



Manual Técnico Tubosistemas **BIAXIAL**



| | |
|---|-----------|
| Tubosistemas BIAXIAL® de PAVCO WAVIN | 5 |
| Resistencia | 6 |
| Fortaleza | 8 |
| Resistencia Química a la Corrosión | 10 |
| Resistencia a los Efectos Ambientales | 10 |
| Paredes Internas Lisas | 10 |
| Peso Liviano | 11 |
| Flexibilidad | 11 |
| Baja Conductividad Térmica | 11 |
| | |
| Propiedades | 12 |
| Normas | 12 |
| | |
| Portafolio | 13 |
| Tuberías BIAXIAL® de PAVCO WAVIN | 13 |
| Accesorios BIAXIAL® de PAVCO WAVIN | 13 |
| | |
| Diseño | 18 |
| Diseño | 18 |
| Diseño Hidráulico | 19 |
| Coefficiente de Pérdidas Menores | 25 |
| Cálculo del Golpe de Ariete | 25 |
| Diseño de Anclajes | 26 |
| Diseño de Curvatura Longitudinal | 27 |
| | |
| Cálculo de la Cimentación | 29 |

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| Guía de Instalación | 30 |
| Recepción, Transporte y Almacenamiento | 30 |
| Manipulación | 31 |
| Instalación | 31 |
| Acometidas Domiciliarias | 34 |
| Mantenimiento | 34 |
| Puesta en Servicio | 35 |
| Prueba Hidrostática | 34 |
| Prueba de Hermeticidad | 35 |
| Limpieza y Desinfección | 35 |
| Rotulado | 36 |

Tubosistemas BIAxIAL® de PAVCO WAVIN para Acueducto

Tecnología

El Policloruro de Vinilo, PVC es el plástico por excelencia, básicamente inerte y virtualmente indestructible.

El desarrollo de la tecnología industrial ha permitido la manufactura en masa de este polímero para múltiples aplicaciones.

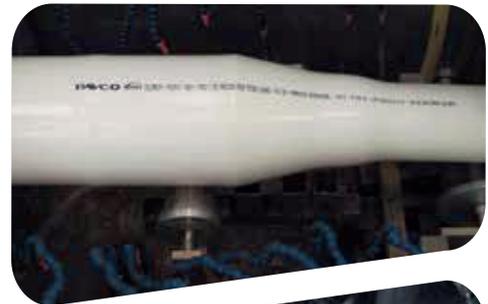
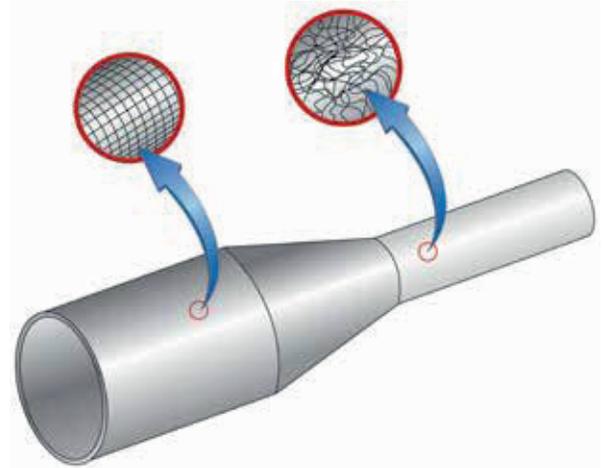
En la fabricación de Tuberías para acueducto, tradicionalmente se ha trabajado con el PVC Rígido, PVC-U, en su estado polimérico normal, rígido sin plastificar brindando características muy exitosas en el uso específico.

Detrás de este éxito y crecimiento, hay un continuo desarrollo como el avance tecnológico de los procesos de fabricación, mejoramiento de los sistemas de unión, mejoramiento de calidad y ensayos, así como desarrollos en el conocimiento fundamental de la estructura de la molécula de PVC.

Ese conocimiento de la estructura misma de la molécula en la formación del producto, permite desarrollar sistemas y procesos de fabricación de alta tecnología para orientar las moléculas de PVC-U dentro del proceso mismo de fabricación de los tubos y así obtener tubos de características superiores, el Super PVC, BIAxIAL® de PAVCO WAVIN, la mejor tecnología disponible hoy para uso en acueductos.

La tecnología BIAxIAL® de PAVCO WAVIN es la tecnología por medio de la cual se estiran en línea las moléculas del polímero, obteniéndose su orientación, en el sentido circunferencial y longitudinal, generando planos de orientación molecular, una real estructura laminada en capas, incrementando significativamente la resistencia mecánica y fortaleza del material.

Este material garantiza la conservación de la calidad del agua para consumo humano ya que ha sido verificado de acuerdo a la ANSI/NSF 61 sin exceder los valores máximos de aluminio, antimonio, cobre, arsénico, bario, cadmio, cromo, plomo, mercurio, níquel, selenio y plata que establece la Resolución 0501 de 2017. Además la resina de PVC con que se fabrica ha sido certificada de tal forma que el cloruro de vinilo monómero residual es menor a 3,2mg/kg.



Características

Gracias a la biorientación de las moléculas, BIAxIAL® de PAVCO WAVIN mejora las características del PVC-U, aumentando su resistencia y fortaleza.

Resistencia

La máxima tensión a la falla, es la propiedad de las tuberías de resistir la rotura debido a la presión interna.

Al ser orientadas las moléculas en las Tuberías BIAxIAL® de PAVCO WAVIN, éstas pueden soportar más “carga”. La fuerza requerida para tensionar la estructura molecular orientada es mucho mayor, la carga es soportada por las fuerzas atómicas dentro de las cadenas moleculares. La fuerza requerida para estirar las moléculas ya estiradas, es mucho mayor.



Resistencia a la Tensión

El gráfico a continuación muestra el incremento en resistencia a la tensión en el sentido diametral de BIAxIAL® de PAVCO WAVIN respecto al PVC-U.

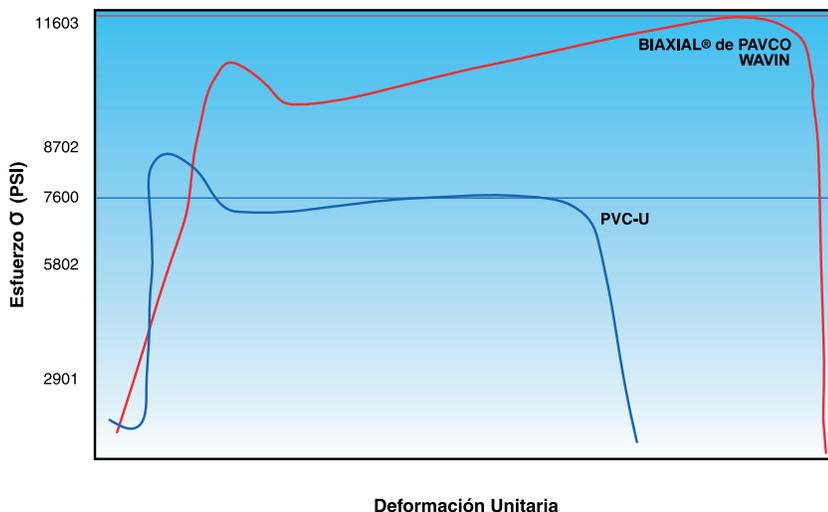
Para BIAxIAL® de PAVCO WAVIN la resistencia última a la tensión es de 11.600 psi., para PVC-U es de 7.600 psi. El incremento es del 50% aproximadamente, debido a la biorientación de las moléculas.

Resistencia Hidrostática

El esfuerzo máximo de servicio en los materiales plásticos, depende del tiempo. Es por esto necesario definir el esfuerzo máximo de servicio en un tiempo de vida útil. Se ha escogido para los plásticos, 50 años. Este tiempo puede ser mayor, dependiendo del factor de seguridad.

Para conocer el comportamiento del material en los 50 años se toman muestras de Tubería y se hacen ensayos de rotura desde 60 segundos hasta 10.000 horas a 23°C. Estos datos se grafican usando escala logarítmica y los 50 años son obtenidos por análisis de regresión de acuerdo con la ASTM D2837.

BIAxIAL® de PAVCO WAVIN está diseñada de acuerdo a la ASTM F1483 y NTC 5425, con: LTHS: Resistencia Hidrostática a Largo Plazo, tensión estimada en la pared de la Tubería en la dirección diametral que aplicada en forma continua causará falla a las 100.000 horas.



Fórmula:

$$HDS = \frac{HDB}{SF}$$

Donde:

- HDB: Base Hidrostática de Diseño, categorización de LTHS
- SF: Factor de Seguridad, (diseño)
- HDS o S: Presión Hidrostática de Diseño, la tensión estimada en la pared de la Tubería en la dirección diametral generada por la presión hidrostática que puede ser aplicada en forma continua con un alto grado de certeza de que la Tubería no va a fallar.

Fórmula:

La relación con HDS, Ecuación ISO:

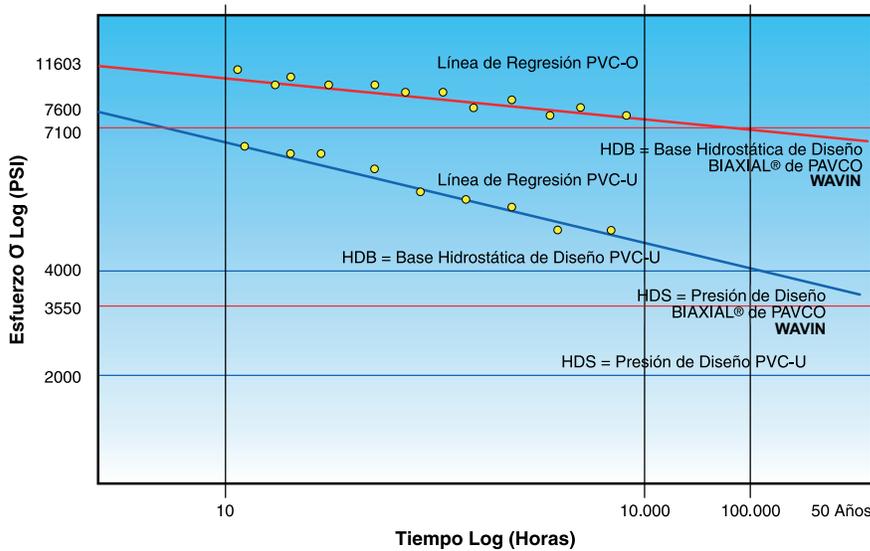
$$PR = \frac{2HDS}{RDE - 1} \quad \text{con} \quad RDE = \frac{DE}{t}$$

Donde:

- PR: Rata de Presión. La presión estimada máxima que el medio puede causar en la Tubería con un alto grado de certeza de que la Tubería no va a fallar.
- t: Espesor mínimo de pared
- DE: Diámetro exterior

| Descripción | PVC U | BIAXIAL® DE PAVCO WAVIN PVC0 1135(4" A 20") | BIAXIAL® DE PAVCO WAVIN PVC0 1125(3") |
|-------------|------------------------------------|--|--|
| LTHS | 3.830 a 4.800 psi | 6.810 a 7.920 psi | 4.800 a 6.040 psi |
| HDB | 4.000 psi | 7.100 psi | 5.000 psi |
| SF | 2 | 2 | 2 |
| HDS | 2.000 psi | 3.550 psi | 2.500 psi |
| PR | 200 psi, RDE 21 160 psi, RDE 26 | 200 psi, RDE 37 160 psi, RDE 46 | 200 psi, RDE 26 160 psi, RDE 32.25 |

RESISTENCIA HIDROSTÁTICA A LARGO PLAZO



La vida útil mínima es de 50 años*

*Esta información no es una Garantía de Producto dado que PAVCO WAVIN no ejerce control sobre todos los aspectos que se presentan en la instalación y que afectan directamente el desempeño y la vida útil del producto.

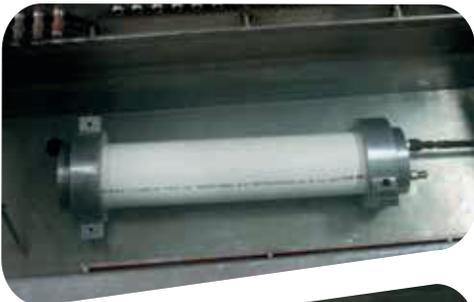
Los planos moleculares biorientados que se generan en el proceso de biorientación aumenta considerablemente su fortaleza. Estos planos responden a las fallas en forma "independiente", sin transmitir la falla a los planos siguientes. Esta fortaleza se ve reflejada en la resistencia a la fractura frágil. Es la resistencia al daño externo por impacto y a la propagación lenta de fracturas. Es respuesta dúctil en el evento de fallas.

Resistencia a la Fractura Frágil

La estructura laminada, por capas, producto de la biorientación ofrece excelente resistencia a la fractura frágil.

En la secuencia de fotos puede verse, como la Tubería BIAxIAL® de PAVCO WAVIN va inflándose por efecto de la sobre presión interna, hasta obtenerse una rotura dúctil. La Tubería es capaz de absorber sobre presiones causadas por lo efectos del golpe de ariete.

Resistencia a la Fractura Frágil Secuencia



Resistencia al Impacto

Las Tuberías tradicionales en PVC-U pueden volverse propensas a la rotura debido a golpes durante la manipulación y almacenamiento o por elementos duros como rocas, próximos a la línea enterrada, esto es por impactos inadvertidos.

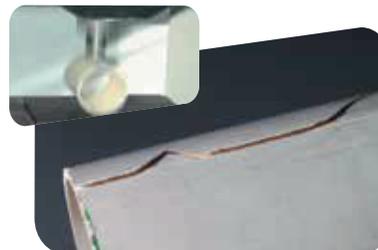
El requerimiento, de acuerdo con la ASTM F1483, NTC 5425 y el método de la ASTM D2444 es que soporte una baliza de 9kg (20lb) lanzada desde una altura de 1,5m (5 pie) para 4", 2,3m (7.5pie) para 6" y 3,0 m (10pie), para 8" y mayores. Es decir 100, 150 y 200 lb-pie, respectivamente. Para Tuberías de 4" se exige una resistencia al impacto de un 11% mayor al del PVC-U mientras que para Tuberías de 6" y mayores se exige un 25% más de resistencia al impacto comparado con el PVC-U.

Si causamos una fisura a ambas Tuberías, PVC-U y a BIAxIAL® de PAVCO WAVIN, de una profundidad del 25% de su espesor y hacemos prueba de impacto con 80lb-pie a cada una de ellas, vemos que el PVC-U se fractura en múltiples pedazos, en cambio en BIAxIAL® de PAVCO WAVIN solo se rompe la parte fisurada, no transmite la fractura más allá del plano molecular biorientado fisurado previamente.

RESISTENCIA AL IMPACTO



Biaxial de PAVCO WAVIN



PVC - U



Propagación de Fracturas

La estructura laminada de BIAxIAL® de PAVCO WAVIN evita la transmisión de fracturas a través de la pared de la Tubería. PAVCO WAVIN ha realizado el ensayo de comprobación, simulando esta condición con fisuras a ambas Tuberías y sometiénolas a tensión, de tal forma que se abre el anillo 5 pulgadas y se puede comparar el comportamiento de la fisura.

BIAxIAL® de PAVCO WAVIN alcanza una fuerza máxima de tensión de 6.17 lb-f para una abertura de 4.974" y para PVC-U de 7.83 lb-f para una abertura de únicamente 1.60". Para BIAxIAL® de PAVCO WAVIN la fuerza es siempre creciente.



El diseño de producto y el desempeño en un sistema de Tuberías para transporte de fluidos, como el caso de los sistemas de acueducto, depende del balance de estos dos criterios, Resistencia y Fortaleza. BIAxIAL® de PAVCO WAVIN mejora considerablemente estas dos características, ofreciendo ventajas y beneficios a los sistemas, como son:

| Característica | Beneficio |
|---|---|
| Mayor resistencia | Incrementa resistencia a la presión hidrostática y a la tensión, permite reducir los espesores de pared, conservando alta rigidez y mayor durabilidad. Tuberías más livianas para la misma presión de servicio. |
| Mayor fortaleza | Aumenta la resistencia al impacto a bajas temperaturas, mayor resistencia a la fractura frágil, mayor resistencia a la propagación lenta de fracturas. Los golpes causados durante la manipulación no conducen a daños en el corto o mediano plazo. Respuesta dúctil. Es tolerante al maltrato. |
| Menor espesor de pared | Mayor flexibilidad, menor peso, más fácil manipulación, beneficios para la salud y seguridad humana, se incrementa la capacidad de transporte de agua. Ahorros en instalación y energía consumida para la operación de los sistemas. |
| Proceso en línea | Garantía de consistencia y calidad del producto. Confiabilidad. Mayor productividad. Entregas oportunas. |
| Campana con hidrosello instalado en fábrica | Elimina riesgo de desplazamiento del sello durante el ensamble confiabilidad. |

Además, BIAxIAL® de PAVCO WAVIN ofrece los beneficios propios de las Tuberías para Acueducto PAVCO WAVIN tradicionales.

Resistencia Química a la Corrosión

Las Tuberías de PVC son inmunes a casi todos los tipos de corrosión, químicas y electroquímicas, que pueden encontrarse en un sistema de Tuberías enterradas. Efectos galvánicos y electroquímicos no existen en sistemas con Tuberías de PVC, ya que el PVC no es conductor de la electricidad. Las Tuberías de PVC no sufren daños por aguas o suelos agresivos, en consecuencia no requieren protecciones catódicas, recubrimientos especiales o pinturas. Esto significa ahorro en costos iniciales de los sistemas y garantía de larga vida de éstos, durabilidad.

Resistencia a los Efectos Ambientales

Temperatura

La temperatura de operación tiene significación importante en el comportamiento de las Tuberías de PVC, teniendo en cuenta que este es un material termoplástico. Las Tuberías están diseñadas para operar a 23°C, como temperatura promedio.

Si la temperatura decrece, su rigidez y resistencia a la tensión incrementa, por lo que su capacidad de presión y habilidad de soportar cargas aumenta.

Pero si la temperatura aumenta, disminuye su rigidez y resistencia a la tensión, lo que significa que debe tenerse mayor cuidado en la instalación y que su capacidad de resistencia a la presión interna disminuye y debe tenerse en cuenta anticipadamente en el diseño. Ver cuadro a continuación.

Ataque Biológico

FACTORES PARA CORRECCIÓN DE PRESIÓN DE TRABAJO POR AUMENTO DE TEMPERATURA

| Temperatura °C (°F) | Factor para Multiplicar Presión de Trabajo a 23°C |
|---------------------|---|
| 27 (80) | 0,88 |
| 32 (90) | 0,75 |
| 38 (100) | 0,62 |
| 43 (110) | 0,50 |
| 49 (120) | 0,40 |
| 54 (130) | 0,30 |
| 60 (140) | 0,22 |

Tomado de Handbook of PVC Pipe UniBell

Es la degradación o deterioro causada por la acción de micro y macroorganismos. El PVC no es atacado, ya que no sirve como nutriente a estos organismos. Esto significa que no se requiere especiales consideraciones de instalación para prevenir ataque biológico en sistemas de Tuberías de PVC.

Clima

Largas exposiciones a la radiación ultravioleta, UV, provenientes de la luz solar, pueden causar deterioro en la superficie de las Tuberías de PVC. Este término es llamado Degradación Ultravioleta. El deterioro causa disminución en la resistencia al impacto, pero no afecta la resistencia a la presión. Las Tuberías de PVC no son recomendadas para aplicaciones donde van a estar expuestas en forma permanente a la luz solar, a menos que se provea alguna protección física como pintura o recubrimientos.

Abrasión

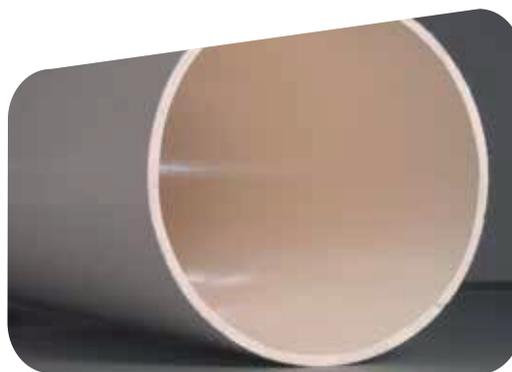
Alta resistencia a la abrasión gracias a la resiliencia del compuesto de PVC. Supera a todos los materiales convencionales.

Formación de Tubérculos

Los elementos incrustantes solubles, tales como carbonato de calcio, no se precipitan en las paredes lisas de las Tuberías de PVC. Como las Tuberías de PVC no se corroen, no se produce tuberculación.

Paredes Internas Lisas

Ofrecen baja resistencia al flujo, lo que permite mayores capacidades hidráulicas. Dificultan la formación de biopelículas y facilitan su desprendimiento en las operaciones de limpieza.



Peso Liviano

Las Tuberías de PVC son más livianas, fáciles de transportar y manipular, así como de instalar. No requieren equipos pesados. Esto permite ahorro en costos y seguridad en los sistemas.



PESOS COMPARATIVOS APROXIMADOS

| Diámetro Nominal | BIAXIAL PR 160psi | UNIÓN PLATINO RDE 26 | BIAXIAL PR 200psi | UNIÓN PLATINO RDE 21 | HIERRO DÚCTIL K7 |
|------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------|
| Pulg | kg/tubo | kg/tubo | kg/tubo | kg/tubo | kg/tubo |
| 3 | 6.84 | 8.63 | 8.40 | 10.56 | |
| 4 | 7.50 | 14.26 | 9.24 | 17.40 | 109.20 |
| 6 | 16.20 | 30.89 | 20.10 | 37.86 | 163.80 |
| 8 | 27.48 | 52.41 | 33.90 | 64.02 | 222.00 |
| 10 | 42.72 | 82.00 | 52.86 | 99.78 | 289.80 |
| 12 | 60.12 | 115.73 | 74.16 | 140.70 | 324.60 |
| 14 | 79.08 | 135.90 | 96.12 | 168.84 | 393.00 |
| 16 | 103.02 | 181.32 | 126.96 | 220.68 | 468.42 |
| 18 | 129.24 | 228.18 | 159.78 | 279.18 | 553.92 |
| 20 | 160.86 | 263.82 | 198.54 | 322.92 | 637.92 |

Flexibilidad

Capacidad de acomodarse sin afectación estructural de las Tuberías a las condiciones del terreno.

De acuerdo con la norma ASTM F1483 y NTC 5425, se hacen ensayos de aplastamiento, de tal forma que las Tuberías no presenten evidencia de fractura al ser deflectadas al 40% de su diámetro externo.



Baja Conductividad Térmica

Propiedades que permiten que se use como aislante térmico.

BIAXIAL® de PAVCO WAVIN es la mejor opción para acueductos con Tubosistemas dúctiles, flexibles, más resistentes a la propagación de fisuras y livianos.



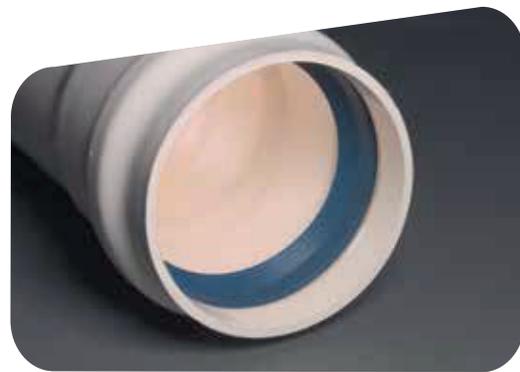
Celda 12454 BIAxIAL® de PAVCO WAVIN

| Propiedades | Número de Celda | Valores | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------|
| Propiedades Mecánicas | | | |
| Material | 1 | PVC | |
| Peso específico | | 1,41 gr/cm ³ | |
| Resistencia al impacto (Izod) | 2 | 0,65 pie-lbf/pulg | 0,39 j/m |
| Resistencia a la tensión | 4 | 7.000 psi | 47.78 MPa |
| Módulo de elasticidad en tensión | 5 | 400.000 psi | 2.730 MPa |
| Temp. de deflexión bajo carga | 4 | 158°F | 70°C |

Normas

- La Tubería BIAxIAL® de PAVCO WAVIN es fabricada de acuerdo con la Norma ASTM F1483, Standar Specification for Oriented Poly (Vinyl Chloride), PVC0, Pressure Pipe para diámetros de 4" a 16" y NTC 5425 para 3", 18" y 20"
- Para las campanas la norma NTC 2295 Uniones con Sellos Elastoméricos Flexibles para tubos Plásticos empleados para el Transporte de Flúidos a Presión.
- Para los hidrosellos la norma NTC 2536
- Recomendaciones de instalación, norma NTC 3742

Portafolio Tuberías Biaxial® de PAVCO WAVIN



Las Tuberías se fabrican campana – espigo, con el hidrosello instalado en fábrica, con retenedor en la cuna que garantiza adecuado ensamble en obra, evitando su desplazamiento en el proceso de instalación.

Las nuevas tuberías BIAxIAL también se pueden unir a campanas de accesorios de PVC-P con cemento solvente (soldaduras), siguiendo las instrucciones contenidas en este manual.



Nota: Todos los hidrosellos de las Tuberías Biaxial están fabricados bajo la especificación: 1/3 de SBR (Stireno Butadieno Rubber) + 2/3 de Caucho Natural.

Presión Nominal o de Trabajo a 23°C PR160 psi (RDE 46)*

| Referencia | Diámetro Nominal | Diámetro Exterior | Espesor de Pared | Diámetro Interior | Peso Aprox | Longitud | | Rigidez Tubería |
|------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------|----------|---------|-----------------|
| | pulg. | mm | | | | Tubo | Campana | |
| | | | mm | mm | Kg/m | m | mm | psi |
| 2905080 | 3 | 88.90 | 2.76 (RDE 32.5)* | 83.38 | 1.14 | | 105.3 | 58 |
| 2900110 | 4 | 114.30 | 2.52 | 109.26 | 1.25 | | 139.2 | |
| 2900112 | 6 | 168.28 | 3.71 | 160.86 | 2.70 | | 161.7 | 20 |
| 2900114 | 8 | 219.08 | 4.83 | 209.42 | 4.58 | 6.0 | 179.8 | |
| 2900106 | 10 | 273.05 | 6.02 | 261.01 | 7.12 | | 203.4 | |
| 2900108 | 12 | 323.85 | 7.14 | 309.57 | 10.02 | | 220.5 | |
| 2900523 | 14 | 355.60 | 7.85 | 339.90 | 13.18 | | 211.4 | |
| 2905387 | 16 | 406.40 | 8.97 | 388.46 | 17.17 | | 232.7 | |
| 2905392 | 18 | 457.20 | 10.07 | 437.06 | 21.54 | | 265.0 | |
| 2905394 | 20 | 508.00 | 11.19 | 485.62 | 26.81 | | 295.0 | |

Presión Nominal o de Trabajo a 23°C PR200 psi (RDE 37)*

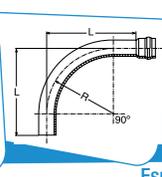
| Referencia | Diámetro Nominal | Diámetro Exterior | Espesor de Pared | Diámetro Interior | Peso Aprox | Longitud | | Rigidez Tubería |
|------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------|----------|---------|-----------------|
| | pulg. | mm | | | | Tubo | Campana | |
| | | | mm | mm | Kg/m | m | mm | psi |
| 2905079 | 3 | 88.90 | 3.42 (RDE 26)* | 82.06 | 1.40 | | 105.3 | 114 |
| 2900109 | 4 | 114.30 | 3.12 | 108.06 | 1.54 | | 139.2 | |
| 2900111 | 6 | 168.28 | 4.62 | 159.04 | 3.35 | 6.0 | 161.7 | 39 |
| 2900113 | 8 | 219.08 | 5.99 | 207.10 | 5.65 | | 179.8 | |
| 2900105 | 10 | 273.05 | 7.49 | 258.07 | 8.81 | | 203.4 | |
| 2900107 | 12 | 323.85 | 8.86 | 306.13 | 12.36 | | 220.5 | |
| 2900524 | 14 | 355.60 | 9.75 | 336.10 | 16.02 | | 211.4 | |
| 2905388 | 16 | 406.40 | 11.13 | 384.14 | 21.16 | | 232.7 | |
| 2905393 | 18 | 457.20 | 12.49 | 432.22 | 26.63 | | 265.0 | |
| 2905395 | 20 | 508.00 | 13.88 | 480.24 | 33.09 | | 295.0 | |

*NOTA: EL RDE DE LAS TUBERIAS BIAxIAL NO CORRESPONDE AL RDE DEL PVC-U CONVENCIONAL

Accesorios BIAxIAL® de PAVCO WAVIN

PR 200 psi Presión de trabajo a 23°C: 200 psi - 1.38 MPa



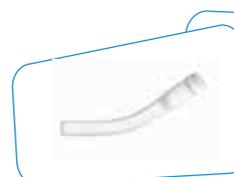


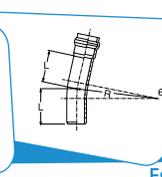
Codos Gran Radio 90°

Espigo x Unión Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Diámetro Nominal pulg. | R mm | L mm |
|------------|---------------------|------------------------|------|------|
| *2902680 | 88 | 3 | 381 | 533 |
| *2902682 | 114 | 4 | 457 | 686 |
| *2902684 | 168 | 6 | 686 | 914 |
| 2902686 | 219 | 8 | 1067 | 1372 |
| 2902672 | 273 | 10 | 1372 | 1753 |
| 2902674 | 323 | 12 | 1600 | 1981 |

*Bajo pedido





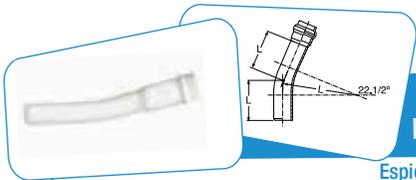
Codos Gran Radio 45°

Espigo x Unión Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Diámetro Nominal pulg. | R mm | L mm |
|------------|---------------------|------------------------|------|------|
| *2902660 | 88 | 3 | 381 | 305 |
| *2902663 | 114 | 4 | 457 | 406 |
| *2902665 | 168 | 6 | 686 | 533 |
| 2902667 | 219 | 8 | 1067 | 711 |
| 2902652 | 273 | 10 | 1372 | 914 |
| 2902654 | 323 | 12 | 1600 | 1067 |

*Bajo pedido

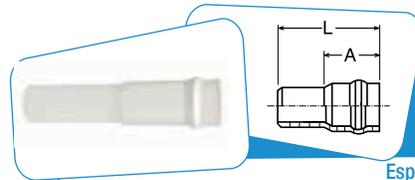
Accesorios BIAXIAL® de PAVCO WAVIN



Codos Gran Radio 22.1/2°

Espigo x Unión Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | R mm | L mm |
|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 2902643 | 88 | 3 | 381 | 229 |
| 2902645 | 114 | 4 | 457 | 305 |
| 2902648 | 168 | 6 | 686 | 381 |
| 2902650 | 219 | 8 | 1067 | 508 |
| 2902635 | 273 | 10 | 1372 | 686 |
| 2902637 | 323 | 12 | 1600 | 762 |

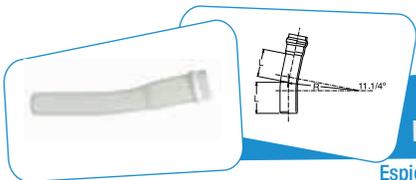


Adaptadores Biaxial®

Espigo x Unión Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 2902591 | 88 | 3 | 381 | 171 |
| 2902595 | 114 | 4 | 381 | 184 |
| 2902601 | 168* | 6 | 490 | 216 |

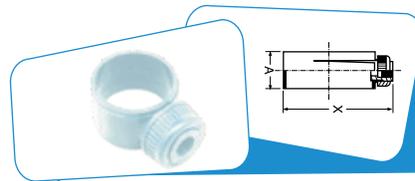
*No amparados bajo el sello NTC 2295



Codos Gran Radio 11.1/4°

Espigo x Unión Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | R mm | L mm |
|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 2902626 | 88 | 3 | 381 | 191 |
| 2902628 | 114 | 4 | 457 | 279 |
| 2902631 | 168 | 6 | 686 | 318 |
| 2902633 | 219 | 8 | 1067 | 406 |
| 2902618 | 273 | 10 | 1372 | 521 |
| 2902620 | 323 | 12 | 1600 | 559 |



Collares de Derivación

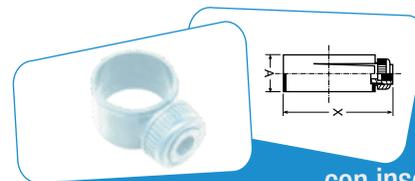
| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | A mm | X pulg. | | |
|------------|---------------------|---------------|-------|---------|--------|--------|
| 2901239 | 88 x 26 | 3 x 3/4 | 60.30 | 2.375 | 131.40 | 5.173 |
| 2901243 | 114 x 26 | 4 x 3/4 | 60.30 | 2.375 | 156.80 | 6.173 |
| 2901247 | 168 x 26 | 6 x 3/4 | 69.90 | 2.752 | 210.30 | |
| 2901248 | 219 x 33 | 8 x 1 | 87.31 | 3.437 | 279.20 | 10.992 |



Codos Gran Radio 6°

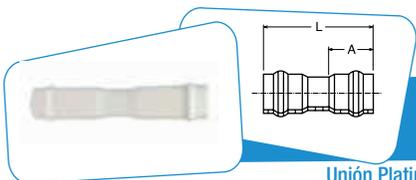
Espigo x Unión Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | R mm | L mm |
|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 2902670 | 219 | 8 | 1067 | 214 |
| 2902668 | 273 | 10 | 1372 | 256 |
| 2902669 | 323 | 12 | 1600 | 293 |



Collares de Derivación con inserto metálico

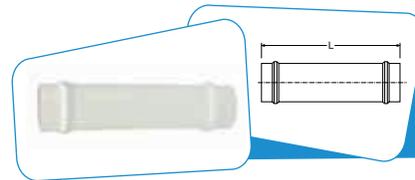
| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | A mm | X pulg. | | |
|------------|---------------------|---------------|-------|---------|--------|-------|
| 2904569 | 88 x 21 | 3 x 1/2 | 60.30 | 2.375 | 131.40 | 5.173 |
| 2904570 | 114 x 21 | 4 x 1/2 | 60.30 | 2.375 | 156.80 | 6.173 |
| 2904571 | 168 x 21 | 6 x 1/2 | 69.90 | 2.752 | 210.30 | 8.279 |



Uniones

Unión Platino x Unión Biaxial®

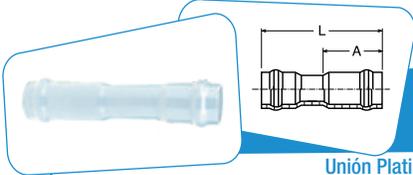
| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 2902900 | 88 | 3 | 381 | 171 |
| 2902904 | 114 | 4 | 406 | 184 |
| 2902907 | 168 | 6 | 533 | 216 |
| 2902912 | 219 | 8 | 610 | 254 |
| 2902887 | 273 | 10 | 762 | 298 |
| 2902891 | 323 | 12 | 762 | 330 |



Uniones Rápidas*

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | L mm |
|------------|---------------------|---------------|------|
| 2902898 | 88 | 3 | 380 |
| 2902901 | 114 | 4 | 420 |
| 2902905 | 168 | 6 | 460 |
| 2902909 | 219 | 8 | 490 |
| 2902885 | 273 | 10 | 580 |
| 2902889 | 323 | 12 | 570 |

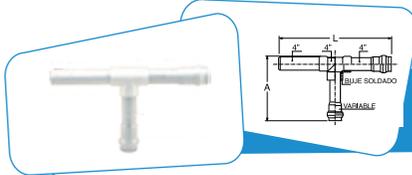
*No amparados bajo el sello NTC 2295



Uniones de Reparación

Unión Platino x Unión Biaxial®

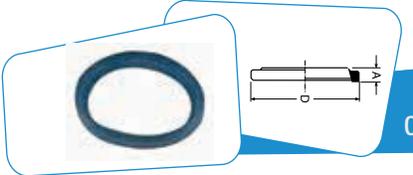
| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|---------------------|---------------|------|------|
| 2902950 | 88 | 3 | 495 | 254 |
| 2902953 | 114 | 4 | 546 | 270 |
| 2902956 | 168 | 6 | 660 | 318 |
| 2902959 | 219 | 8 | 724 | 352 |
| 2902941 | 273 | 10 | 864 | 432 |
| 2902943 | 323 | 12 | 902 | 438 |



Tee de 4 x 4"

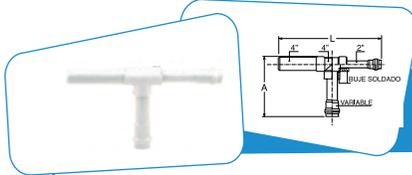
| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|------------------------|--------|--------|
| *2902819 | 4 x 4 x 4 | 878.48 | 497.48 |
| 2902864 | 4 x 4 x 3 | 877.48 | 514.94 |
| 2902858 | 4 x 4 x 2.1/2 | 877.48 | 451.29 |
| 2902853 | 4 x 4 x 2 | 877.48 | 457.64 |

*Bajo pedido



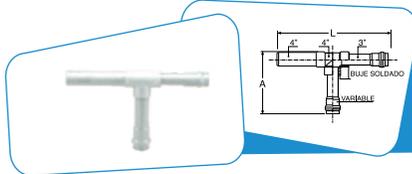
Hidrosellos de Caucho Biaxial®

| Referencia | Diámetro Nominal mm | Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|---------------------|---------------|--------|-------|
| 2001268 | 88 | 3 | | |
| 2001269 | 114 | 4 | 133.50 | 19.10 |
| 2001270 | 168 | 6 | 191.90 | 22.20 |
| 2001271 | 219 | 8 | 245.60 | 25.40 |
| 2001272 | 273 | 10 | 303.30 | 28.58 |
| 2001273 | 323 | 12 | 359.84 | 34.04 |
| 2001334 | 356 | 14 | | |
| 2001053 | 406 | 16 | | |
| 2000627 | 457 | 18 | | |
| 2000628 | 508 | 20 | | |



Tee de 4 x 2"

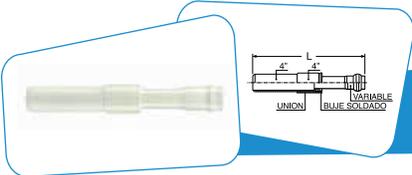
| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|------------------------|--------|--------|
| 2902854 | 4 x 2 x 4 | 837.64 | 497.48 |
| 2902855 | 4 x 2 x 3 | 837.64 | 514.94 |



Tee de 4 x 3"

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|------------------------|--------|--------|
| 2902865 | 4 x 3 x 4 | 894.94 | 497.48 |
| 2902863 | 4 x 3 x 3 | 894.94 | 514.94 |
| 2902868 | 4 x 3 x 2.1/2 | 894.94 | 451.29 |
| 2902867 | 4 x 3 x 2 | 894.94 | 457.64 |

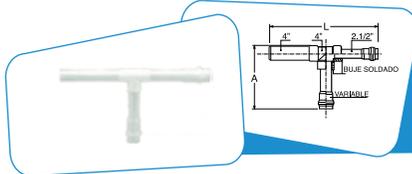
Accesorios Ensamblados



Reduccion de 4"

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | L mm |
|------------|------------------------|--------|
| *2902755 | 4 x 3 | 783.81 |
| 2902754 | 4 x 2.1/2 | 720.16 |
| 2902752 | 4 x 2 | 756.51 |

*Bajo pedido



Tee de 4 x 2.1/2"

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | L mm | A mm |
|------------|------------------------|--------|--------|
| 2902859 | 4 x 2.1/2 x 4 | 831.29 | 497.48 |

Nota:

Otros accesorios, consultar Manual Técnico Unión Platino.

Accesorios Unión Mecánica Radio Corto Clase 200, Inyectados en una sola pieza

Ventajas

- Livianos y fáciles de instalar
- Resistentes a la corrosión
- Hidráulicamente eficientes
- Paredes lisas



Tees

Campana x Campana

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | A mm |
|------------|------------------------|------------|--------|--------|
| 2903459 | 8 | 9.65 | 495.30 | 378.46 |
| 2903529 | 8 x 6 | 8.74 | 495.30 | 365.76 |
| 2903530 | 8 x 4 | 8.47 | 495.30 | 353.06 |
| 2903531 | 6 x 4 | 4.98 | 414.02 | 299.72 |
| 2903532 | 6 x 3 | 1.36 | 317.50 | 292.10 |
| 2903533 | 4 x 3 | 2.22 | 332.74 | 223.52 |
| 2903534 | 4 x 2.1/2 | 2.22 | 332.74 | 215.90 |
| 2903535 | 4 x 2 | 1.95 | 332.74 | 218.44 |
| 2903536 | 3 x 2.1/2 | 1.40 | 203.20 | 302.26 |
| 2903537 | 3 x 2 | 1.27 | 289.56 | 195.58 |



Tees Inyectadas

Campana x Campana

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | B mm |
|------------|------------------------|------------|-------|-------|
| 2908624 | 6 | 8.32 | 565.8 | 391.6 |
| 2909099 | 4 | 3.33 | 429.8 | 293.4 |
| 2909098 | 3 | 2.00 | 363.2 | 244.5 |



**Codo 90°
Radio Corto**

Campana x Campana

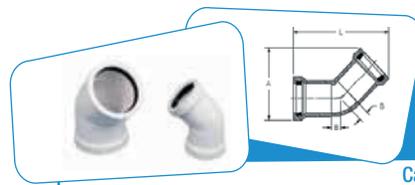
| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | A mm |
|------------|------------------------|------------|--------|--------|
| 2903463 | 8 | 7.38 | 378.46 | 114.30 |



**Codo 90°
Radio Corto Inyectados**

Campana x Campana

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | D mm |
|------------|------------------------|------------|-------|--------|
| 2909097 | 6 | 4.95 | 364.5 | 219.27 |
| 2909096 | 4 | 2.20 | 287.1 | 157.28 |
| 2909095 | 3 | 1.17 | 220.9 | 126.04 |



**Codo 45°
Radio Corto**

Campana x Campana

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | B mm | A mm |
|------------|------------------------|------------|--------|-------|--------|
| 2903467 | 8 | 6.02 | 401.32 | 50.80 | 350.52 |



**Codo 45°
Radio Corto Inyectados**

Campana x Campana

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | B mm |
|------------|------------------------|------------|-------|-------|
| 2909094 | 6 | 4.39 | 417.4 | 322 |
| 2909093 | 4 | 1.90 | 339.6 | 245.5 |
| 2909092 | 3 | 1.01 | 262.5 | 194.3 |

Fabricados bajo Normas ASTM D1784, ASTM D3139
Standar Specification for Joints for Plastic Pressure Pipes Using Flexible Elastomeric
Seals y ASTM F477



Reducción

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | Campana x Espigo | |
|------------|------------------------|------------|------------------|--------|
| | | | L mm | A mm |
| 2903471 | 8 x 6 | 2.63 | 236.22 | 228.60 |
| 2903544 | 4 x 2.1/2 | 0.82 | 210.82 | 127.00 |
| 2903545 | 4 x 2 | 0.68 | 254.00 | 119.38 |
| 2903546 | 3 x 2.1/2 | 0.59 | 187.96 | 106.68 |
| 2903547 | 3 x 2 | 0.41 | 200.66 | 93.98 |



Reducción Inyectada

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | Campana x Espigo | |
|------------|------------------------|------------|------------------|-------|
| | | | L mm | B mm |
| 2908619 | 6 x 4 | 2.19 | 329 | 190.9 |
| 2908618 | 4 x 3 | 0.93 | 270.9 | 121.9 |



Tapones

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | A mm |
|------------|------------------------|------------|--------|--------|
| 2903474 | 8 | 1.72 | 162.56 | 226.06 |



Tapones Inyectados

| Referencia | Diámetro Nominal pulg. | Peso kg/un | L mm | B mm |
|------------|------------------------|------------|--------|-------|
| 2908622 | 6 | 2.15 | 211.37 | 218.6 |
| 2908621 | 4 | 1.03 | 164.7 | 157.1 |
| 2908620 | 3 | 0.57 | 128.6 | 127.5 |

Brida ajustable de PVC SCH 80



Características y Ventajas

- Ideal para hacer transiciones de pvc a otros materiales.
- Unión resistente a la tensión.
- Ajustable para fijar el enfrentamiento de los orificios de las bridas a empatar.
- Presión de trabajo 150 psi a 23°C
- Unión soldable.

| Referencia | Diámetro Nominal | D | L | M | N | S | R |
|------------|------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 2903783 | 3 | 188.91 | 53.98 | 105.57 | 3.18 | 49.21 | 23.02 |
| 2903784 | 4 | 229.39 | 66.68 | 133.35 | 3.18 | 58.74 | 26.99 |
| 2903785 | 6 | 278.61 | 81.76 | 192.09 | 3.18 | 78.58 | 30.96 |
| 2903786 | 8 | 338.93 | 109.54 | 246.06 | 4.76 | 105.57 | 38.10 |
| 2903787 | 10 | 406.40 | 144.46 | 298.45 | 15.88 | 127.79 | 42.86 |
| 2903788 | 12 | 482.60 | 185.74 | 348.46 | 14.29 | 171.45 | 42.86 |

| Referencia | Diámetro Nominal | Diám. del círculo de los tornillos | Diám. del orificio de los tornillos | Núm. de los orificios de los tornillos | Diámetro de los tornillos | Largo mín. de los tornillos* | Peso |
|------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------|------------------------------|------|
| | | mm | pulg. | un | pulg. | pulg. | kg |
| 2903783 | 3 | 152.40 | 3/4 | 4 | 5/8 | 3 1/4 | 0.73 |
| 2903784 | 4 | 190.50 | 3/4 | 8 | 5/8 | 3 1/2 | 1.14 |
| 2903785 | 6 | 241.30 | 31/32 | 8 | 3/4 | 4 | 1.76 |
| 2903786 | 8 | 298.45 | 29/32 | 8 | 3/4 | 4 1/2 | 3.28 |
| 2903787 | 10 | 361.95 | 1 | 12 | 7/8 | 5 | 5.34 |
| 2903788 | 12 | 431.80 | 1 | 12 | 7/8 | 5 | 8.22 |

*El largo fue calculado usando 2 bridas de PVC, puede variar dependiendo de la otra brida o accesorio.

Nota: Para accesorios PVC-P de unión con cemento solvente (soldadura) se debe ver el Manual Técnico Tubosistemas Construcción de PAVCO WAVIN.

Lubricante BIAxIAL · PAVCO WAVIN, Novaloc, Novafort, Unión Platino

Empaque de 500 gr, Referencia 2902743

| Díámetro Nominal | Longitud de Entrada de los Espigos | Uniones por 500g de Lubricante |
|------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| pulgadas | mm | unidades |
| 3 | 105.3 | 160 |
| 4 | 139.2 | 100 |
| 6 | 161.7 | 45 |
| 8 | 179.8 | 30 |
| 10 | 203.4 | 20 |
| 12 | 220.5 | 15 |
| 14 | 211.4 | 12 |
| 16 | 232.7 | 10 |
| 18 | 265.0 | 8 |
| 20 | 295.0 | 6 |



Diseño

El estudio sobre el comportamiento hidráulico y la determinación del coeficiente de rugosidad en tuberías de acueducto, forma parte de uno de los diferentes temas de investigación que desarrolla el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA) de la Universidad de los Andes a través de la "Cátedra PAVCO WAVIN" período 2001 – 2002, proyecto de investigación patrocinado por PAVCO WAVIN desde hace 13 años.

El estudio consistió en la modelación de las pérdidas por fricción generadas por diferentes regímenes de flujo a partir de la disposición de un montaje realizado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de los Andes con la Tubería BIAxIAL PAVCO WAVIN y la valoración de la información observada es valorada por un modelo matemático. A partir del montaje del modelo físico a escala real para simular las pérdidas de energía generadas bajo diferentes caudales, se obtienen datos experimentales de la presión en diferentes tramos de la tubería. Los datos experimentales son valorados por un modelo matemático de análisis de flujo en Tuberías con flujo a presión aplicando las ecuaciones de Bernoulli para las

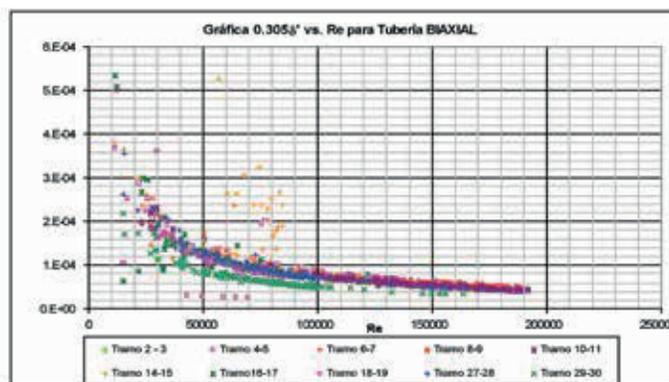
pérdidas por fricción, de Darcy-Weisbach para la valoración de los resultados, el entendimiento del Diagrama de Moody y de los diferentes tipos de flujo presentes en las Tuberías con flujo a presión (flujos laminar, turbulento hidráulicamente liso, hidráulicamente rugoso y flujo transicional).

A partir de los resultados se obtienen curvas experimentales que son graficadas en el Diagrama de Moody en donde el principal objetivo es analizar el desempeño de la Tubería BIAxIAL bajo diferentes condiciones de caudal y establecer la rugosidad absoluta del material de la Tubería.

Resultados

Luego de analizar el ensayo de laboratorio se logró establecer el caudal necesario para que la rugosidad teórica de la Tubería BIAxIAL (0.0015 mm) empiece a afectar las pérdidas por fricción que se generan, es decir el caudal necesario para que la subcapa laminar viscosa disminuya hasta que la rugosidad teórica supere el límite de $0.305 \delta'$, donde δ' corresponde al espesor de la subcapa laminar viscosa.

Se encontró que para que se cumpla lo anterior la magnitud del caudal debe ser muy alta, correspondientes a velocidades que superan ampliamente las velocidades máximas permitidas por las empresas operadoras del servicio de agua potable, por lo que se puede asegurar que las tuberías BIAxIAL siempre van a estar trabajando bajo flujo hidráulicamente liso y por lo tanto la rugosidad del material no va a afectar las pérdidas de energía que se generen. La principal conclusión del ensayo permite asegurar que las pérdidas de energía que se van a producir en una Tubería BIAxIAL son muy pequeñas en comparación con otros materiales y que además su rugosidad (k_s) no va a afectar el régimen de flujo.



Comportamiento del límite de los flujos en los datos experimentales

Metodología según la Fórmula William & Hazen

Fórmula:

$$H_f = \frac{10,64 \times Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,871}}$$

$$H_f = 0,000927 \frac{Q^{1,852}}{D^{4,871}}$$

Donde:

- H_f: Pérdida de presión en m.a.c/1 mt
- Q: Flujo m³/s
- D: Diámetro interior en m
- C: Factor de fricción constante = 150

Nota:

Los parámetros de diseño de un proyecto y obra son responsabilidad exclusiva del diseñador

Metodología Darcy-Weisbach

Para diseñar de acuerdo con la metodología de Darcy-Weisbach se utilizan las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$H_f = f \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{K_s}{3,7d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Donde:

- H_f: Pérdida de cabeza a lo largo del tramo (m)
- f: Factor de fricción de Darcy (Adimensional)
- l: Longitud del tramo de tubería (m)
- d: Diámetro interior de la tubería (m)
- v: Velocidad media de flujo (m/s)
- g.: Aceleración de la gravedad (m/s²)
- K_s: Rugosidad absoluta de la tubería (m).
Para PVC = 1.5*10⁻⁶m
- Re: Número de Reynolds = V d/v (Adimensional)
- ν: Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Viscosidad Cinemática del Agua

Tomado de Tuberías, tomo 1 J.M. Mayol

| Temperatura | Viscosidad Cinemática |
|-------------|-----------------------|
| °C | cm ² /sg |
| 0 | 0,0176 |
| 10 | 0,0131 |
| 12 | 0,0124 |
| 20 | 0,0100 |
| 30 | 0,0080 |
| 40 | 0,0066 |
| 60 | 0,0048 |
| 80 | 0,0036 |
| 100 | 0,0030 |

Tabla de Pérdida de Presión Tuberías Biaxial PR 200

ECUACIÓN HAZEN WILLIAMS Chw 150

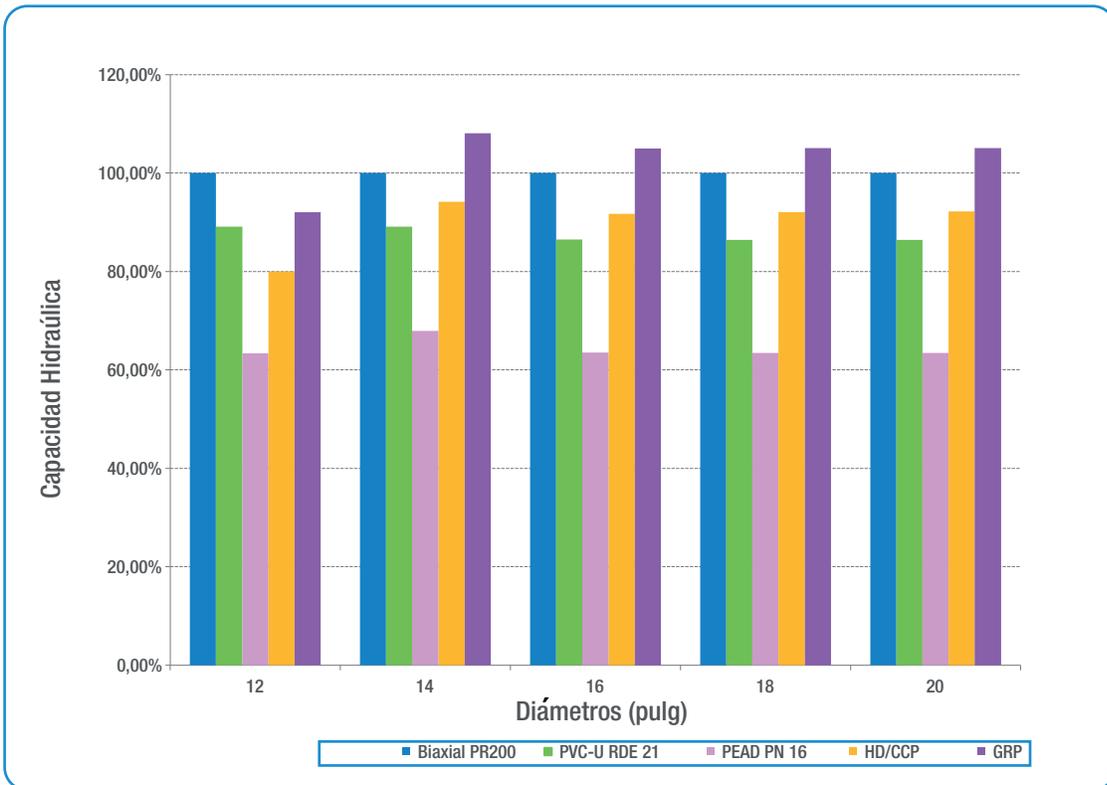
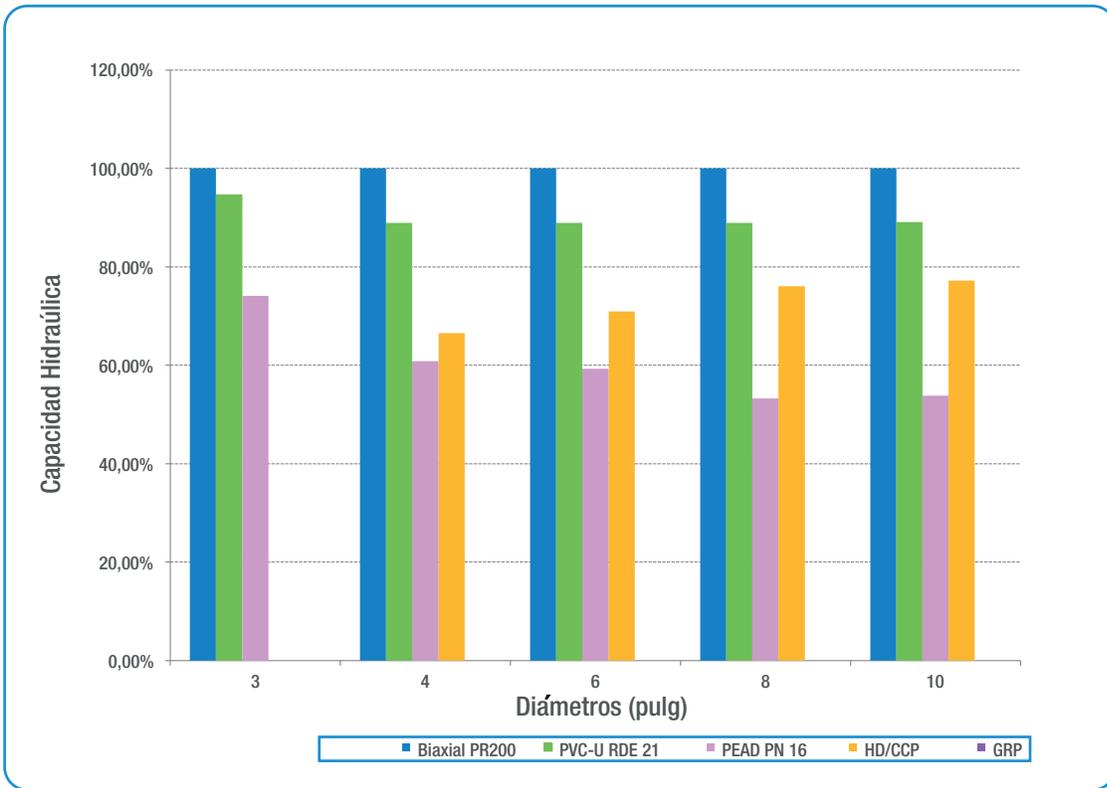
| Diámetro Nominal pulg | 3 | | 4 | | 6 | | 8 | | 10 | | 12 | | 14 | | 16 | | 18 | | 20 | |
|-----------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| Diámetro Exterior mm | 88.90 | | 114.30 | | 168.28 | | 219.08 | | 273.05 | | 323.85 | | 355.60 | | 406.40 | | 457.20 | | 508.00 | |
| Espesor de Pared mm | 2.76 | | 2.52 | | 3.71 | | 4.83 | | 6.02 | | 7.14 | | 7.85 | | 8.97 | | 10.07 | | 11.19 | |
| Diámetro Interior mm | 83.38 | | 109.26 | | 160.86 | | 209.42 | | 261.01 | | 309.57 | | 339.90 | | 388.46 | | 437.06 | | 485.62 | |
| CAUDAL l/s | Vel. m/s | hf m/m |
| 1,00 | 0,19 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,00 | 0,38 | 0,002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,00 | 0,57 | 0,004 | 0,22 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,00 | 0,76 | 0,007 | 0,33 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,00 | 0,95 | 0,011 | 0,44 | 0,002 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,00 | 1,13 | 0,015 | 0,55 | 0,003 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,00 | 1,32 | 0,020 | 0,65 | 0,004 | 0,30 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,00 | 1,51 | 0,025 | 0,76 | 0,005 | 0,35 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9,00 | 1,70 | 0,031 | 0,87 | 0,007 | 0,40 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,00 | 1,89 | 0,038 | 0,98 | 0,008 | 0,45 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,00 | 2,08 | 0,046 | 1,09 | 0,010 | 0,50 | 0,002 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12,00 | 2,27 | 0,054 | 1,20 | 0,012 | 0,55 | 0,002 | 0,33 | 0,001 | | | | | | | | | | | | |
| 13,00 | 2,46 | 0,062 | 1,31 | 0,014 | 0,60 | 0,002 | 0,36 | 0,001 | | | | | | | | | | | | |
| 14,00 | 2,65 | 0,071 | 1,42 | 0,016 | 0,65 | 0,002 | 0,39 | 0,001 | | | | | | | | | | | | |
| 15,00 | 2,84 | 0,081 | 1,53 | 0,019 | 0,70 | 0,003 | 0,42 | 0,001 | | | | | | | | | | | | |
| 20,00 | 3,78 | 0,138 | 1,64 | 0,021 | 0,76 | 0,003 | 0,45 | 0,001 | | | | | | | | | | | | |
| 25,00 | 4,73 | 0,208 | 1,76 | 0,025 | 1,01 | 0,005 | 0,59 | 0,002 | 0,38 | 0,001 | | | | | | | | | | |
| 30,00 | 5,67 | 0,292 | 1,87 | 0,028 | 1,26 | 0,008 | 0,74 | 0,002 | 0,48 | 0,001 | | | | | | | | | | |
| 35,00 | 6,62 | 0,389 | 1,99 | 0,032 | 1,51 | 0,012 | 0,89 | 0,003 | 0,57 | 0,001 | | | | | | | | | | |
| 40,00 | | | 2,11 | 0,036 | 1,76 | 0,015 | 1,04 | 0,004 | 0,67 | 0,001 | 0,48 | 0,001 | | | | | | | | |
| 45,00 | | | 2,23 | 0,040 | 1,99 | 0,020 | 1,19 | 0,005 | 0,76 | 0,002 | 0,54 | 0,001 | 0,45 | 0,001 | | | | | | |
| 50,00 | | | 2,35 | 0,044 | 2,22 | 0,025 | 1,34 | 0,007 | 0,86 | 0,002 | 0,61 | 0,001 | 0,51 | 0,001 | | | | | | |
| 55,00 | | | 2,47 | 0,048 | 2,45 | 0,030 | 1,48 | 0,008 | 0,96 | 0,003 | 0,68 | 0,001 | 0,56 | 0,001 | | | | | | |
| 60,00 | | | 2,59 | 0,052 | 2,68 | 0,035 | 1,63 | 0,010 | 1,05 | 0,003 | 0,75 | 0,001 | 0,62 | 0,001 | | | | | | |
| 65,00 | | | 2,71 | 0,056 | 2,91 | 0,040 | 1,78 | 0,012 | 1,15 | 0,004 | 0,82 | 0,002 | 0,68 | 0,001 | 0,52 | 0,001 | | | | |
| 70,00 | | | 2,83 | 0,060 | 3,14 | 0,045 | 1,93 | 0,013 | 1,24 | 0,005 | 0,88 | 0,002 | 0,73 | 0,001 | 0,56 | 0,001 | | | | |
| 75,00 | | | 2,95 | 0,064 | 3,37 | 0,050 | 2,08 | 0,015 | 1,34 | 0,005 | 0,95 | 0,002 | 0,79 | 0,001 | 0,60 | 0,001 | | | | |
| 80,00 | | | 3,07 | 0,068 | 3,60 | 0,055 | 2,23 | 0,018 | 1,43 | 0,006 | 1,02 | 0,003 | 0,85 | 0,002 | 0,65 | 0,001 | | | | |
| 85,00 | | | 3,19 | 0,072 | 3,83 | 0,060 | 2,37 | 0,020 | 1,53 | 0,007 | 1,09 | 0,003 | 0,90 | 0,002 | 0,69 | 0,001 | 0,55 | 0,001 | | |
| 90,00 | | | 3,31 | 0,076 | 4,06 | 0,065 | 2,52 | 0,022 | 1,63 | 0,008 | 1,15 | 0,003 | 0,96 | 0,002 | 0,73 | 0,001 | 0,58 | 0,001 | | |
| 95,00 | | | 3,43 | 0,080 | 4,29 | 0,070 | 2,67 | 0,025 | 1,72 | 0,008 | 1,22 | 0,004 | 1,01 | 0,002 | 0,78 | 0,001 | 0,61 | 0,001 | | |
| 100,00 | | | 3,55 | 0,084 | 4,52 | 0,075 | 2,82 | 0,027 | 1,82 | 0,009 | 1,29 | 0,004 | 1,07 | 0,003 | 0,82 | 0,001 | 0,65 | 0,001 | | |
| 110,00 | | | 3,73 | 0,092 | 5,00 | 0,108 | 2,97 | 0,030 | 1,91 | 0,010 | 1,36 | 0,004 | 1,13 | 0,003 | 0,86 | 0,001 | 0,68 | 0,001 | | |
| 120,00 | | | 3,91 | 0,100 | | | 3,27 | 0,036 | 2,10 | 0,012 | 1,49 | 0,005 | 1,24 | 0,003 | 0,95 | 0,002 | 0,75 | 0,001 | 0,61 | 0,001 |
| 130,00 | | | 4,09 | 0,108 | | | 3,56 | 0,042 | 2,29 | 0,014 | 1,63 | 0,006 | 1,35 | 0,004 | 1,04 | 0,002 | 0,82 | 0,001 | 0,66 | 0,001 |
| 140,00 | | | 4,27 | 0,116 | | | 3,86 | 0,049 | 2,49 | 0,017 | 1,77 | 0,007 | 1,47 | 0,005 | 1,12 | 0,002 | 0,89 | 0,001 | 0,72 | 0,001 |
| 150,00 | | | 4,45 | 0,124 | | | 4,16 | 0,056 | 2,68 | 0,019 | 1,90 | 0,008 | 1,58 | 0,005 | 1,21 | 0,003 | 0,95 | 0,002 | 0,77 | 0,001 |
| 160,00 | | | 4,63 | 0,132 | | | 4,45 | 0,063 | 2,87 | 0,022 | 2,04 | 0,009 | 1,69 | 0,006 | 1,29 | 0,003 | 1,02 | 0,002 | 0,83 | 0,001 |
| 170,00 | | | 4,81 | 0,140 | | | 4,75 | 0,071 | 3,06 | 0,024 | 2,17 | 0,011 | 1,80 | 0,007 | 1,38 | 0,004 | 1,09 | 0,002 | 0,88 | 0,001 |
| 180,00 | | | 5,00 | 0,148 | | | 5,05 | 0,080 | 3,25 | 0,027 | 2,31 | 0,012 | 1,92 | 0,008 | 1,47 | 0,004 | 1,16 | 0,002 | 0,94 | 0,001 |
| 190,00 | | | | | | | | | 3,44 | 0,030 | 2,45 | 0,013 | 2,03 | 0,008 | 1,55 | 0,004 | 1,23 | 0,002 | 0,99 | 0,001 |
| 200,00 | | | | | | | | | 3,63 | 0,034 | 2,58 | 0,015 | 2,14 | 0,009 | 1,64 | 0,005 | 1,29 | 0,003 | 1,05 | 0,002 |
| 210,00 | | | | | | | | | 3,82 | 0,037 | 2,72 | 0,016 | 2,25 | 0,010 | 1,73 | 0,005 | 1,36 | 0,003 | 1,10 | 0,002 |
| 220,00 | | | | | | | | | 4,01 | 0,040 | 2,85 | 0,018 | 2,37 | 0,011 | 1,81 | 0,006 | 1,43 | 0,003 | 1,16 | 0,002 |
| 230,00 | | | | | | | | | 4,21 | 0,044 | 2,99 | 0,019 | 2,48 | 0,012 | 1,90 | 0,006 | 1,50 | 0,004 | 1,21 | 0,002 |
| 240,00 | | | | | | | | | 4,40 | 0,048 | 3,12 | 0,021 | 2,59 | 0,013 | 1,98 | 0,007 | 1,57 | 0,004 | 1,27 | 0,002 |
| 250,00 | | | | | | | | | 4,59 | 0,052 | 3,26 | 0,023 | 2,71 | 0,014 | 2,07 | 0,007 | 1,64 | 0,004 | 1,32 | 0,003 |
| 260,00 | | | | | | | | | 4,78 | 0,056 | 3,40 | 0,024 | 2,82 | 0,015 | 2,16 | 0,008 | 1,70 | 0,005 | 1,38 | 0,003 |
| 270,00 | | | | | | | | | 4,97 | 0,060 | 3,53 | 0,026 | 2,93 | 0,017 | 2,24 | 0,009 | 1,77 | 0,005 | 1,44 | 0,003 |
| 280,00 | | | | | | | | | 5,16 | 0,064 | 3,67 | 0,028 | 3,04 | 0,018 | 2,33 | 0,009 | 1,84 | 0,005 | 1,49 | 0,003 |
| 290,00 | | | | | | | | | | | 3,80 | 0,030 | 3,16 | 0,019 | 2,42 | 0,010 | 1,91 | 0,006 | 1,55 | 0,003 |
| 300,00 | | | | | | | | | | | 3,94 | 0,032 | 3,27 | 0,020 | 2,50 | 0,011 | 1,98 | 0,006 | 1,60 | 0,004 |
| 320,00 | | | | | | | | | | | 4,08 | 0,034 | 3,38 | 0,022 | 2,59 | 0,011 | 2,04 | 0,006 | 1,66 | 0,004 |
| 340,00 | | | | | | | | | | | 4,35 | 0,038 | 3,61 | 0,024 | 2,76 | 0,013 | 2,18 | 0,007 | 1,77 | 0,004 |
| 360,00 | | | | | | | | | | | 4,62 | 0,043 | 3,83 | 0,027 | 2,93 | 0,014 | 2,32 | 0,008 | 1,88 | 0,005 |
| 380,00 | | | | | | | | | | | 4,89 | 0,048 | 4,06 | 0,030 | 3,11 | 0,016 | 2,45 | 0,009 | 1,99 | 0,005 |
| 400,00 | | | | | | | | | | | 5,16 | 0,053 | 4,28 | 0,034 | 3,28 | 0,017 | 2,59 | 0,010 | 2,10 | 0,006 |
| 420,00 | | | | | | | | | | | | | 4,51 | 0,037 | 3,45 | 0,019 | 2,73 | 0,011 | 2,21 | 0,006 |
| 440,00 | | | | | | | | | | | | | 4,73 | 0,040 | 3,62 | 0,021 | 2,86 | 0,012 | 2,32 | 0,007 |
| 460,00 | | | | | | | | | | | | | 4,96 | 0,044 | 3,80 | 0,023 | 3,00 | 0,013 | 2,43 | 0,008 |
| 480,00 | | | | | | | | | | | | | 5,18 | 0,048 | 3,97 | 0,025 | 3,14 | 0,014 | 2,54 | 0,008 |
| 500,00 | | | | | | | | | | | | | | | 4,14 | 0,027 | 3,27 | 0,015 | 2,65 | 0,009 |
| 520,00 | | | | | | | | | | | | | | | 4,31 | 0,029 | 3,41 | 0,016 | 2,76 | 0,010 |
| 540,00 | | | | | | | | | | | | | | | 4,49 | 0,031 | 3,54 | 0,018 | 2,87 | 0,011 |
| 560,00 | | | | | | | | | | | | | | | 4,66 | 0,034 | 3,68 | 0,019 | 2,98 | 0,011 |
| 580,00 | | | | | | | | | | | | | | | 4,83 | 0,036 | 3,82 | 0,020 | 3,09 | 0,012 |
| 600,00 | | | | | | | | | | | | | | | 5,00 | 0,038 | 3,95 | 0,022 | 3,20 | 0,013 |
| 620,00 | | | | | | | | | | | | | | | 5,18 | 0,041 | 4,09 | 0,023 | 3,31 | 0,014 |
| 640,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,23 | 0,024 | 3,42 | 0,015 |
| 660,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,36 | 0,026 | 3,53 | 0,015 |
| 680,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,50 | 0,027 | 3,64 | 0,016 |
| 700,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,63 | 0,029 | 3,75 | 0,017 |
| 720,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,77 | 0,031 | 3,86 | 0,018 |
| 740,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,91 | 0,032 | 3,97 | 0,019 |
| 760,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5,04 | 0,034 | 4,09 | 0,020 |
| 780,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5,18 | 0,036 | 4,20 | 0,021 |
| 800,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,31 | 0,022 |
| 820,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla de Pérdida de Presión Tuberías Biaxial PR 200

ECUACIÓN DARCY - WEISBACH f 1.50E-06m / Densidad 999.10 Kg/m3 / Viscosidad 1.14E-03 Pa.s

| Diámetro Nominal pulg | 3 | | 4 | | 6 | | 8 | | 10 | | 12 | | 14 | | 16 | | 18 | | 20 | |
|-----------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| Diámetro Exterior mm | 88.90 | | 114.30 | | 168.28 | | 219.08 | | 273.05 | | 323.85 | | 355.60 | | 406.40 | | 457.20 | | 508.00 | |
| Espesor de Pared mm | 2.76 | | 2.52 | | 3.71 | | 4.83 | | 6.02 | | 7.14 | | 7.85 | | 8.97 | | 10.07 | | 11.19 | |
| Diámetro Interior mm | 83.38 | | 109.26 | | 160.86 | | 209.42 | | 261.01 | | 309.57 | | 339.90 | | 388.46 | | 437.06 | | 485.62 | |
| CAUDAL l/s | Vel. m/s | hf m/m |
| 1,00 | 0,19 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,00 | 0,38 | 0,002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,00 | 0,57 | 0,004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,00 | 0,76 | 0,007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,00 | 0,95 | 0,011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,00 | 1,13 | 0,015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,00 | 1,32 | 0,020 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,00 | 1,51 | 0,025 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9,00 | 1,70 | 0,031 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,00 | 1,89 | 0,038 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,00 | 2,08 | 0,045 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12,00 | 2,27 | 0,052 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13,00 | 2,46 | 0,061 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14,00 | 2,65 | 0,069 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15,00 | 2,84 | 0,079 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20,00 | 3,78 | 0,132 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25,00 | 4,73 | 0,199 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 65,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 75,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 85,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 95,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 130,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 140,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 160,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 170,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 180,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 190,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 210,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 220,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 230,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 240,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 260,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 270,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 280,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 290,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 320,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 340,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 360,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 380,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 400,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 420,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 440,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 460,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 480,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 520,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 540,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 560,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 580,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 600,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 620,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 640,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 660,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 680,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 700,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 720,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 740,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 760,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 780,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 800,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 820,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 840,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 860,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 880,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 900,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 920,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Comparativo Capacidad Hidráulica



Coeficiente de Pérdidas Menores en Accesorios de PVC

Las pérdidas menores o locales generadas por los accesorios se deben calcular con la siguiente ecuación:

Fórmula:

$$h_m = k_m \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- h_m : Pérdida menor
- k_m : Coeficiente de pérdidas menores
- v : Velocidad
- g : gravedad

En la Tabla 1 se presentan los valores de los coeficientes encontrados experimentalmente en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de los Andes.

| Accesorio | km |
|-------------------|---------|
| Unión | 0.15 |
| Codo 45° | 0.5 |
| Codo 90° | 1.15 |
| Tee flujo lateral | 1.0-1.5 |
| Tee flujo directo | 0.3 |
| Reducción | 1.0-1.8 |

Tabla 1. Coeficiente de pérdidas menores para diferentes accesorios en Tuberías Unión Platino y Biaxial.

Fuente: Determinación experimental del coeficiente de pérdidas menores km en accesorios de PVC, Universidad de los Andes, 2011.

Cálculo del Golpe de Ariete

Definición

Una columna de líquido moviéndose tiene inercia, que es proporcional a su peso y a su velocidad. Cuando el flujo se detiene rápidamente, por ejemplo al cerrar una válvula, la inercia se convierte en un incremento de presión. Entre más larga la línea y más alta la velocidad del líquido, mayor será la sobrecarga de presión.

Estas sobrepresiones pueden llegar a ser lo suficientemente grandes para reventar cualquier tipo de Tubería. Este fenómeno se conoce con el nombre de Golpe de Ariete.

Las principales causas de este fenómeno son:

1. La apertura y el cierre rápidos de una válvula
2. El arranque y la parada de una bomba
3. La acumulación y el movimiento de bolsas de aire dentro de las Tuberías

Al cerrar una válvula, la sobrepresión máxima que se puede esperar se calcula así:

Fórmula:

$$P = \frac{aV}{g} \quad \text{con:}$$

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + (K/E) (RDE-2)}}$$

Donde:

- P: Sobrepresión máxima en metros de columna de agua, al cerrar bruscamente la válvula.
- a: Velocidad de la onda (m/s).
- V: Cambio de velocidad del agua (m/s).
- g: Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²
- K: Módulo de compresión del agua = 2.06 x 10⁴ Kg/cm²
- E: Módulo de elasticidad de la Tubería (2.81 x 10⁴ Kg/cm² para PVC Tipo 1, Grado1)
- RDE: Relación diámetro exterior/espesor mínimo.

Un efecto no muy conocido pero mucho más perjudicial para las Tuberías es el del aire atrapado en la línea.

El aire es compresible y si se transporta con el agua en una conducción este puede actuar como un resorte, comprimiéndose y expandiéndose aleatoriamente.

Se ha demostrado que estas compresiones repentinas pueden aumentar la presión en un punto, hasta 10 veces la presión de servicio.

Para disminuir este riesgo se deben tomar las siguientes precauciones:

1. Mantener siempre baja velocidad, especialmente en diámetros grandes. Durante el llenado de la Tubería, la velocidad no debe ser mayor de 0.3 m/seg., hasta que todo el aire salga y la presión llegue a su valor nominal.
2. Instalar ventosas de doble efecto, en los puntos altos, bajos y a lo largo de tramos rectos, muy largos, para purgar el aire, y permitir su entrada cuando se interrumpe el servicio.
3. Durante la operación de la línea, prevenirla entrada del aire en las bocatomas, rejillas, etc., de manera que el flujo de agua sea continuo.

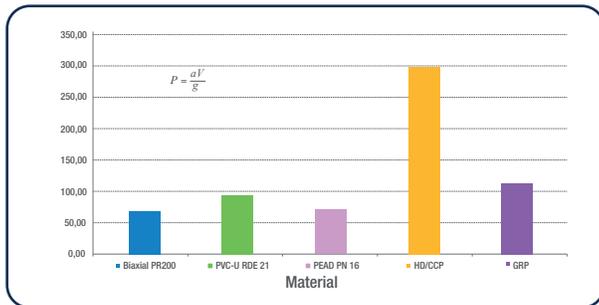
Nota Importante:

Los parámetros de diseño de un proyecto y obra, son de única responsabilidad del diseñador.

Valores de "a" en función del RDE

| RDE | a(m/s) |
|-----|--------|
| 37 | 275 |
| 46 | 246 |

Golpe de Ariete



Diseño de Anclajes

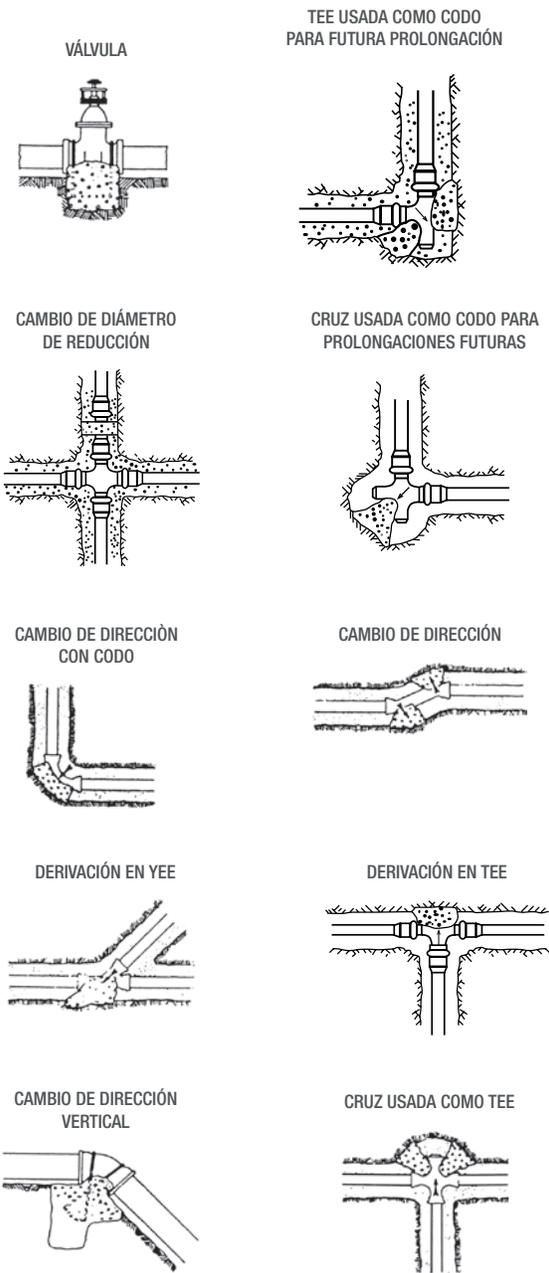
Cuando una Tubería está sujeta a presión hidrostática interna, esta presión actúa igualmente en todas las paredes de la Tubería produciendo "fuerzas de empuje". Es esencial eliminar los movimientos debidos a estos empujes cuando la Tubería no está unida por soldadura o flanches. Debe proveerse empotramiento externo en todas las tees, curvas, tapones, válvulas, etc. para resistir las fuerzas de empuje. Debido a la flexibilidad intrínseca de PVC, es además importante diseñar los empotramientos en las curvas para contrarrestar la tendencia a desacoplarse. Estos anclajes se requieren en:

- Cambios de dirección
- Cambios en tamaño, reducciones
- Tapones en terminales ciegas
- Conexiones a válvulas, hidrantes, ya que se crea empuje cuando se cierran

El tamaño y tipo de esos bloques o anclajes para el empuje dependen de:

- Presión máxima de operación o de prueba del sistema
- Diámetro de la Tubería
- Diámetro de los Accesorios
- Tipo de Accesorios o conexiones
- Perfil de la línea
- Resistencia del suelo

Tipos de Anclaje



EMPUJE DESARROLLADO POR UNA PRESIÓN DE 100psi

| Diámetro Nominal | Codo 90° | Codo 45° | Válvulas, TEES, Tapones Ciegos |
|------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| pulgadas (mm) | Lb fuerza (N) | Lb fuerza (N) | Lb fuerza (N) |
| 4 | 1.800 (8.007) | 1.100 (4.893) | 1.300 (5.783) |
| 6 | 4.000 (17.793) | 2.300 (10.231) | 2.900 (12.900) |
| 8 | 7.200 (32.027) | 4.100 (18.238) | 5.100 (22.686) |
| 10 | 11.200 (48.820) | 6.300 (28.024) | 7.900 (35.141) |
| 12 | 16.000 (71.172) | 9.100 (40.479) | 11.300 (50.265) |

Tomado de AWWA M23

Para dimensionar los bloques hay varios métodos, uno de ellos es asumir la capacidad de soporte del suelo. A continuación se indican valores de acuerdo con el tipo de suelo y son estimadas bajo la premisa de que la profundidad de suelo saturado excede 0.60m. Para mayor seguridad, los valores de capacidad de carga del suelo deben ser determinados para cada proyecto en particular.

Capacidad de Carga Estimada

| Tipo de Suelo | Lb/pie ² | N/m ² |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| Turba | 0 | 0 |
| Arcilla suave | 500 | 23.940 |
| Arena | 1.000 | 47.881 |
| Arena y grava | 1.500 | 71.821 |
| Arena y grava con arcilla | 2.000 | 97.761 |
| Arena y grava cementada con arcilla | 4.000 | 191.523 |
| Arcillas impermeables consolidadas | 5.000 | 239.403 |

Tomado de AWWA M2

Nota: El concreto no debe envolver totalmente la Tubería o accesorio PAVCO WAVIN ya que con los cambios de presión interna se presentan variaciones en el diámetro externo que no se deben impedir, pues causaría esfuerzos innecesarios en la pared del tubo. Para esto es buena práctica aislar la Tubería con un fieltro asfáltico o un polietileno grueso colocado entre la Tubería o accesorio PAVCO WAVIN y el concreto.

Diseño de Curvatura Longitudinal

La respuesta de BIAxIAL® de PAVCO WAVIN a la curvatura longitudinal es una gran ventaja en instalaciones enterradas. Estas curvaturas pueden hacerse para cambiar el alineamiento para evitar obstrucciones o puede simplemente ocurrir en respuesta a situaciones no planeadas, tales como asentamientos diferenciales de válvulas e hidrantes a los que la Tubería está rígidamente conectada, asentamientos dispares o erosión del encamado de la Tubería, movimientos del suelo debidos a variaciones a las condiciones de humedad, presencia de nivel freático o movimientos sísmicos.

Para el cálculo de la curvatura longitudinal a que puede someterse la Tubería, sin considerar deflexión longitudinal en las uniones:

Cálculo de la tensión de curvatura permitida:

Fórmula:

$$S_b = (HDB - St) * \left(\frac{T}{SF} \right)$$

Donde:

HDB: Base Hidrostática de Diseño

St: HDB/2, Esfuerzo de Tensión, psi

SF: Factor de Seguridad, 2

T: Factor de Corrección de Presión de Trabajo con la Temperatura

El Momento inducido por la curvatura longitudinal,

Fórmula:

$$M = S_b * \frac{I}{c}$$

Donde:

M: Momento de la curvatura, pulg-lb

c: DE/2, distancia de la fibra externa al eje neutro, pulg.

I: Momento de inercia, pulg.

En Tuberías de pared sólida,

Fórmula:

$$I = \frac{\pi}{64} (DE^4 - DI^4) = 0.0491 (DE^4 - DI^4)$$

Donde:

DE: Diámetro exterior, pulg

DI: Diámetro Interior, pulg

Asumiendo que la curvatura conforma un arco circular, el radio mínimo en pulgadas, Rb, será:

Fórmula:

$$R_b = E * \frac{I}{M}$$

Donde:

Además de los definidos arriba,

E: Módulo de Elasticidad de la Tubería, psi

El valor del ángulo β en grados, formado por la longitud de la Tubería L,

Fórmula:
$$\beta = \frac{360L}{2\pi Rb}$$

Con L y Rb con iguales unidades de longitud.

El valor del ángulo α de la deflexión de la Tubería curvada desde una tangente al círculo,

Fórmula:
$$\alpha = \frac{\beta}{2}$$

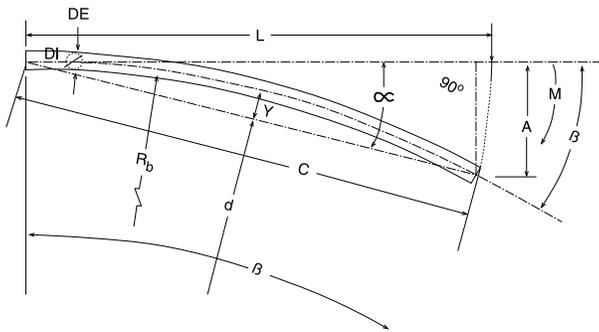
La distancia perpendicular desde la tangente del círculo hasta el extremo de la Tubería,

Fórmula:
$$A = 2RB * \left(\frac{\text{Seno } \beta}{2} \right)^2$$

Si se asume que durante la instalación, la Tubería está temporalmente fija en un extremo y actúa como una viga en cantilever, la fuerza lateral requerida para obtener el desplazamiento A es:

Fórmula:
$$P = 3 * E * I * \frac{A}{L^3}$$

Curvatura Longitudinal Permitida para Tubería de PVC



Curvatura para Biaxial®

E 400,000 psi
HDB Longitudinal 4,500 psi
SF 2

Cálculos a 23°C

Para obtener las curvaturas longitudinales se hace necesario bloquear las uniones para asegurar la alineación recta de éstas. Cuando el valor de β necesario supera el valor permitido para una longitud dada de Tubería, la curvatura longitudinal debe ser alcanzada distribuyéndola en varias longitudes de Tubería.

| Diámetro Nominal pulg. | Diámetro Exterior | | Espesor | | Diámetro Interior | | | | Longitud a Deflectar m | β | | A | | P | | |
|---------------------------|-------------------|-------|---------|-------|-------------------|--------|--------|--------|---------------------------|-----------|-----------|-------|------|--------|----------|----------|
| | mm | pulg. | mm PR | mm PR | mm PR | mm PR | mm PR | mm PR | | grados PR | grados PR | m PR | m PR | lbs PR | lbs PR | |
| 3 | 88,90 | 3,50 | 3,42 | 2,76 | 200 | 160 | 200 | 160 | 200 | 160 | 200 | 160 | 200 | 160 | 200 | 160 |
| 4 | 114,30 | 4,50 | 3,12 | 2,52 | 108,06 | 83,38 | 109,26 | 83,38 | 4,25 | 4,30 | 19,58 | 19,58 | 0,91 | 0,91 | 9,07 | 7,49 |
| 6 | 168,28 | 6,63 | 4,62 | 3,71 | 159,04 | 108,06 | 160,86 | 108,06 | 6,26 | 6,33 | 15,23 | 15,23 | 0,71 | 0,71 | 14,20 | 11,66 |
| 8 | 219,08 | 8,63 | 5,99 | 4,83 | 207,10 | 159,04 | 209,42 | 159,04 | 8,15 | 8,24 | 10,34 | 10,34 | 0,49 | 0,49 | 45,71 | 37,31 |
| 10 | 273,05 | 10,75 | 7,49 | 6,02 | 258,07 | 207,10 | 261,01 | 207,10 | 10,16 | 10,28 | 7,94 | 7,94 | 0,37 | 0,37 | 100,60 | 82,43 |
| 12 | 323,85 | 12,75 | 8,86 | 7,14 | 306,13 | 258,07 | 309,57 | 258,07 | 12,05 | 12,19 | 6,37 | 6,37 | 0,30 | 0,30 | 195,47 | 159,68 |
| 14 | 355,60 | 14,00 | 9,75 | 7,85 | 336,10 | 306,13 | 339,90 | 306,13 | 13,23 | 13,38 | 5,37 | 5,37 | 0,25 | 0,25 | 325,43 | 266,50 |
| 16 | 406,40 | 16,00 | 11,13 | 8,97 | 384,14 | 336,10 | 388,46 | 336,10 | 15,12 | 15,29 | 4,89 | 4,89 | 0,23 | 0,23 | 431,75 | 353,28 |
| 18 | 457,20 | 18,00 | 12,49 | 10,07 | 432,22 | 384,14 | 437,06 | 384,14 | 17,02 | 17,21 | 4,28 | 4,28 | 0,20 | 0,20 | 643,89 | 527,34 |
| 20 | 508,00 | 20,00 | 24,18 | 11,19 | 459,64 | 432,22 | 485,62 | 432,22 | 18,10 | 19,12 | 3,81 | 3,81 | 0,18 | 0,18 | 914,78 | 749,43 |
| | | | | | | | | | | | 3,43 | 3,43 | 0,16 | 0,16 | 2.056,11 | 1.028,20 |

Cálculo de la Cimentación

El diseño de la cimentación se hace controlando la deflexión causada por la carga muerta y viva, usando la Ecuación de Iowa Modificada:

Fórmula:

$$\% \text{ Deflexión} = \frac{(DL \times K \times P \times K \times W) (100)}{0.149 \times PS + 0.061 \times E'}$$

Donde:

| | | |
|-----|--|--|
| DL: | Factor de Deflexión (1.5) ó 1 | Para condición de zanja. (Marston) o Condición Prisma. |
| K: | Constante de Encamado (0.10) | Asumido. (Marston) |
| P: | Presión Carga Muerta, kg/m ² (psi) | Depende del tipo de relleno. (Suelo SM y SC) |
| W: | Presión de Carga Viva, kg/m ² (psi) | Fórmula de Boussinesq. |
| PS: | Rigidez kg/m ² (psi) | Rigidez de los tubos BIAxIAL® de PAVCO |
| E': | Módulo del Suelo kg/m ² (psi) | Capacidad del suelo de resistir deflexión. |

E' para Grado de Compactación del Relleno en psi

| Clase de Suelo | | Baja, <85% Proctor, <40% Densidad Relativa | Moderado, 85% - 95% Proctor, 40% - 70% Densidad Relativa | Alta, >95% Proctor, >70% Densidad Relativa |
|---|------|--|--|--|
| Piedra Quebrada (Clase I) | 1000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| GW, GP, SW, SP (Clase II) | 200 | 1000 | 2000 | 3000 |
| GM, GC, SM, SC (Clase III) | 100 | 400 | 1000 | 2000 |
| ML, CL, ML - CL (Clase IV) | 50 | 200 | 400 | 1000 |
| Exactitud en Términos de % de Deflexión | ±2 | ±2 | ±1 | ±0.5 |

Con:

$$PS = \frac{EI}{0.149 r^3}$$

Para tubos de pared sólida,

$$I = \frac{t^3}{12}$$

Entonces: $PS = 0,559 * E * \left(\frac{t}{r}\right)^3$

Donde:

| | |
|-----|---|
| PS: | Rigidez de Tubería, psi |
| E: | Módulo de Elasticidad, 400.000 psi |
| I: | Momento de Inercia de la pared en la sección transversal por unidad de longitud de Tubería, pulg ⁴ /pulg |
| R: | Radio promedio, RE - t, pulg |

Donde:

t: espesor mínimo de pared, pulg

como: $RDE = \frac{DE}{t}$ Entonces: $PS = \frac{4,47 E}{\left(\left(\frac{DE}{t}\right) - 1\right)^3} = \frac{4,47 E}{(RDE-1)^3}$

Recepción, Transporte, Almacenamiento y Manipulación

Recepción en Obra

A la llegada de las Tuberías BIAxIAL® de PAVCO WAVIN a la obra, deben inventariarse e inspeccionarse, de tal forma que se verifique la adecuada condición y de acuerdo a lo solicitado.



Transporte

Es la práctica ideal, usar vehículos de superficie de carga lisa, libre de clavos o tornillos salientes para evitar daños.

Cuando se transportan distintos diámetros en el mismo viaje, los diámetros mayores deben colocarse primero en la parte baja de la plataforma del camión.

Se deben dejar libres las campanas alternando campanas y espigos para evitar deformaciones innecesarias que impidan el normal ensamble del sistema.

Se recomienda amarrar los tubos con elementos no metálicos, para que no se produzcan cortaduras. Preferiblemente se deben usar correas anchas de lona.

No colocar cargas sobre las Tuberías, en los vehículos de transporte.

Almacenamiento

Las Tuberías BIAxIAL® de PAVCO WAVIN deben almacenarse horizontalmente en una zona plana, aislada del terreno por apoyos espaciados 1.5m de tal forma que se evite el pandeo de los tubos y que no queden en contacto con los extremos. Deben apilarse en una altura máxima de 1.5m, colocando abajo la Tubería más pesada y revisando que no se cause deformación a los tubos.

Las campanas deben quedar libres e intercaladas campanas y espigos.

Si el almacenamiento a la intemperie va a ser mayor a 30 días, debe protegerse de la luz directa del sol con un material opaco pero manteniendo adecuada ventilación.



Manipulación

Las Tuberías BIAxIAL® de PAVCO WAVIN deben descargarse, no dejarlos caer, tanto desde el camión de transporte como a la zanja. Durante la manipulación deben evitarse los golpes y abrasión.

La manipulación no requiere equipos, su peso permite que sea manual, pero si se quiere izar varios tubos a la vez, estos elementos de izaje, que entran en contacto con la Tubería no deben ser metálicos, preferiblemente correas de lona ancha.



Instalación

La apropiada instalación es esencial para el exitoso desempeño de las Tuberías BIAxIAL® de PAVCO WAVIN.

Excavación

Las Tuberías para acueducto se instalan normalmente a una profundidad mínima de 1.0 m a la corona del tubo, pero a criterio del consultor debe definirse esta profundidad. El ancho de la zanja puede variar de acuerdo con las circunstancias. Pueden hacerse zanjas tan estrechas como el DE+100mm, estándares de DE+300mm y máximos recomendados de DE+600mm.



Nota: Cuando hay agua sobre el fondo de la zanja debe evacuarse para mantener la zanja seca hasta que la Tubería sea instalada y rellena al menos un diámetro sobre la clave de la Tubería para evitar flotación.

Relleno

El fondo de la zanja debe prepararse de tal forma que asegure un apoyo estable, firme y uniforme a todo lo largo de la Tubería. Cuando el fondo es inestable, debe excavarse una profundidad adicional y rellenarse con material adecuado como fundación. Cuando hay presencia de rocas puntiagudas y grandes, estas deben ser removidas y proveer un mínimo de 100mm de apoyo con material adecuado. Nunca instale la Tubería apoyada directamente sobre rocas o piedras grandes.



Los materiales adecuados para el encamado pueden ser triturado de roca (angular), tamaño máximo de 3/4", canto rodado, tamaño máximo 1.1/2", arena lavada, arenilla, recebo fino o material proveniente de la excavación si es adecuado. Su selección dependerá de la disponibilidad local y de la presencia o no de nivel freático, caso en el cual debe usarse el primero.

Alrededor de la Tubería y hasta 100 mm sobre la corona del tubo debe usarse un material fino, libre de piedras, compactado adecuadamente, usando pisones de mano.

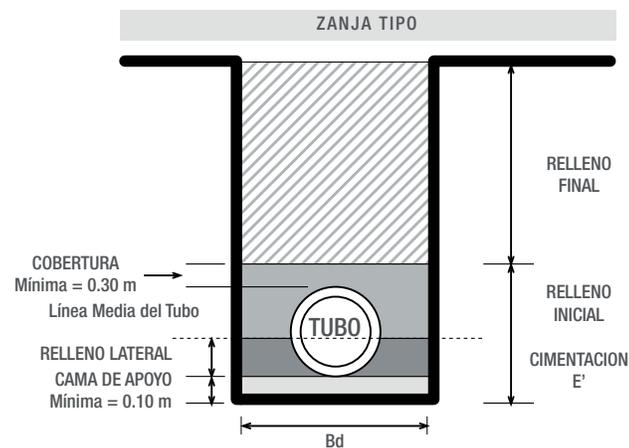
Después de cubrir al menos 300mm sobre la corona del tubo, puede usarse equipo de compactación mecánico.

Instalaciones Especiales

Cuando la Tubería va a estar expuesta a la radiación solar, debe cubrirse con un techo opaco o protegerse con una pintura que cumpla con las siguientes características:

- No debe necesitar solvente o tener base en Thinner. Esta sustancia no se comporta bien con el PVC
- Debe tener un componente reflectivo, como el aluminio o similar
- Debe asegurarse la adherencia al PVC con la aplicación directa o a través de la aplicación de un "primer"

Antes de pintar la Tubería debe prepararse la superficie para asegurar la adherencia; lijar suavemente en seco, limpiar con limpiador PAVCO WAVIN y aplicar la pintura.



Condiciones extremas para el material

- El PVC es un material termoplástico que puede ser fundido aplicando calor, de tal forma que nunca debe instalarse, almacenarse o someterse a una fuente de calor que pueda deformarlo. La temperatura máxima a que puede transportar agua es de 60°C.
- No aplique solventes ni someta la Tubería a contacto con estos.

- No someta la Tubería a contacto directo con elementos punzantes, tales como herramientas metálicas o piedras angulosas mayores a 3/4".
- Consulte con nosotros condiciones especiales no cubiertas por este manual en los teléfonos que aparecen en la contraportada de este manual.

Ensamble de la Tubería:

Preparación

Limpie cuidadosamente el interior de la campana así como el espigo, antes de unir.

Aplicando Lubricante

Lubrique de manera pareja la mitad de la longitud del espigo. Mueva el espigo de tal forma que apenas penetre en la boca de la unión.



Alineando la Tubería

Asegúrese que las Tuberías están perfectamente alineadas en ambos planos. Esto es muy importante. Nunca trate de introducir el espigo en ángulo.



Insertando el espigo en la Unión

Empuje el espigo hasta la marca de entrada. Esto debe hacerse con un movimiento rápido siendo de gran ayuda el impulso que se gana entre la boca de entrada y el sello de caucho.



Utilice una barra apoyándola sobre un trozo de madera colocado en el centro del tubo como indica la figura.



La Tubería BIAxIAL® de PAVCO WAVIN puede ser ensamblada en el borde de la zanja y luego instalada en el fondo como se muestra en las siguientes imágenes.



Anclajes

Los anclajes con bloques de concreto que restrinjan el movimiento de los Accesorios y/o de la Tubería se hacen necesarios en todo sistema presurizado. (Ver Diseño de Anclajes en el numeral de Diseño de este Manual). Estos bloques transmiten al terreno la carga producida por el empuje de la Tubería o de los Accesorios.

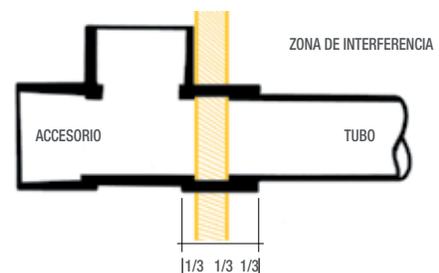
Es conveniente que la mayor parte de la pared externa de los Accesorios quede envuelta en el concreto, pero no en su totalidad. Con las variaciones en la presión interna del sistema ocurren variaciones en el diámetro externo de la Tubería o de los Accesorios que no se debe restringir.

Es buena práctica colocar fieltro asfáltico o polietileno grueso entre la Tubería o Accesorio BIAxIAL® de PAVCO WAVIN y el concreto del anclaje.

Ensamble de Tuberías con Accesorios Soldados

Las tuberías BIAxIAL se pueden unir ó ensamblar con accesorios de PVC-P mediante cemento solvente (soldaduras), dando como resultado uniones seguras y resistentes. Se deben seguir las siguientes instrucciones:

Soldadura PAVCO WAVIN Soldamax PVC Soldadura Líquida PVC



1. Use soldadura líquida PAVCO SOLDAMAX para tuberías PVC producida de acuerdo a la NTC 576.
2. Antes de aplicar la soldadura pruebe el acople entre el tubo BIAxIAL y la campana del accesorio. El tubo no debe quedar flojo dentro del accesorio.

3. No olvide limpiar el extremo del tubo y la campana del accesorio con limpiador removedor LIMPIAMAX de PAVCO. Esto debe hacerse así se vean limpias las partes.
4. Aplique la soldadura adecuadamente en el tubo y muy poca en la campana del accesorio, con una brocha de cerda natural ó con el aplicador que viene en el tarro. No use brocha de nylon u otras fibras sintéticas. La brocha debe tener un ancho igual a la mitad del diámetro del tubo que se está instalando.
5. En una soldadura bien hecha debe aparecer un cordón uniforme de soldadura entre el accesorio y el tubo, el cual debe ser retirado con un trapo seco. Sin embargo, **tenga cuidado de no aplicar soldadura en exceso, cualquier exceso** se debe limpiar, pues puede quedar activa en el interior del tubo debilitándole la pared.
6. Toda la maniobra desde la aplicación de la soldadura hasta la terminación del ensamble debe tardar alrededor de un minuto.
7. Deje secar la soldadura una (1) hora antes de mover la tubería y espere 24 horas antes de someterla a la presión de prueba.
8. No haga la soldadura si el tubo ó el accesorio están húmedos. No permita que el agua entre en contacto con la soldadura líquida. No realice estas maniobras bajo la lluvia.
9. El envase de soldadura debe permanecer cerrado excepto cuando se está aplicando la soldadura.

10. Al terminar limpie la brocha con un poco de limpiador removedor LIMPIAMAX de PAVCO. Al reusar seque bien la brocha antes de introducirla en la soldadura.
11. No diluya la soldadura PAVCO SOLDAMAX con limpiador removedor LIMPIAMAX.

Rendimiento de Soldadura Líquida PVC-CPVC por cuarto de galón

| Nominal | | Número de piezas soldadas | | |
|---------|-------|---------------------------|-------|------|
| mm | pulg. | Soldaduras simples | Codos | Tees |
| 21 | 1/2 | 760 | 380 | 253 |
| 26 | 3/4 | 430 | 215 | 143 |
| 33 | 1 | 320 | 160 | 106 |
| 42 | 1.1/4 | 230 | 115 | 76 |
| 48 | 1.1/2 | 170 | 85 | 56 |
| 60 | 2 | 90 | 45 | 30 |
| 73 | 2.1/2 | 80 | 40 | 26 |
| 88 | 3 | 65 | 32 | 22 |
| 114 | 4 | 45 | 22 | 15 |
| 168 | 6 | 30 | | |

Acometidas Domiciliarias

Ver Manual Unión Platino Páginas 38 a 42.

Mantenimiento

El mantenimiento preventivo debe ser el estipulado por la Empresa de Servicios Públicos que opera el acueducto. Pueden usarse los equipos de inspección y limpieza usualmente dedicados a estas actividades.

Para mantenimiento correctivo, según sea el caso del daño específico, puede consultarse con PAVCO WAVIN en los teléfonos que aparecen en la contraportada de este manual.



Puesta en Servicio

Prueba Hidrostática

El propósito de esta prueba es verificar los materiales y la mano de obra.

El sistema en construcción debe probarse por tramos terminados, antes de completar todo el sistema. Debe tenerse en cuenta que el o los tramos a probar deben estar suficientemente cubiertos, los anclajes en Accesorios suficientemente curados, 3 días al menos, y debidamente restringido el movimiento en los tapones de los extremos.

Llenado de la Tubería

La Tubería debe llenarse lentamente desde el punto más bajo de la línea. Debe calcularse la cantidad de agua necesaria para llenar la línea.

Expulsión de Aire

Todo el aire debe ser expulsado de la línea durante la operación de llenado, antes de iniciar la prueba de presión. Se recomiendan instalar válvulas automáticas de expulsión de aire o ventosas en los puntos altos del tramo a probar.

La presencia de aire en la línea durante la prueba puede causar presiones excesivas debido a su compresión por el agua causando fallas a la Tubería o dar errores en la prueba. Para saber si una Tubería que se está probando tiene aire atrapado, puede hacerse lo siguiente:

1. Presurice con agua a la presión deseada
2. Permita que la presión se reduzca a un cierto nivel
3. Mida la cantidad de agua requerida para llegar de nuevo a la presión deseada
4. Repita los pasos 2 y 3

Si la cantidad de agua requerida para presurizar la línea la segunda vez es significativamente menor que la requerida en la primera vez, hay aire atrapado en la línea. Si no hay una diferencia significativa, hay probable fuga en la línea.

Prueba de presión

La presión de prueba puede ser del orden del 50% sobre la presión de operación. La presión de prueba no debe exceder la presión de diseño de la Tubería, de los Accesorios o de los anclajes. La presión debe ser controlada en el punto más bajo del tramo a probar que no debe ser mayor que la de diseño de la Tubería. Duración mínima una hora.

Prueba de Hermeticidad

El propósito de esta prueba es verificar que no haya fugas en las uniones, conexiones a Accesorios y otros elementos del tramo a probar.

La presión de trabajo del tramo puede ser la presión de prueba. Se mantiene esta presión por un periodo determinado de tiempo. El ajuste en volumen de agua necesario para mantener esa presión debe estar dentro de los valores permitidos por la Ecuación siguiente:

Fórmula:

$$L = \frac{(N * D * P^{0.5})}{7400}$$

Donde:

- L: Permisibilidad de la prueba, gal/hr
- N: Número de uniones en el tramo, de Tubería y Accesorios
- D: Diámetro nominal de la Tubería, pulgadas
- P: Presión promedio de la prueba, psi

El valor de L no es una aceptación de fugas, es un valor en el que se considera variables tales como aire atrapado en el tramo, asentamiento de los hidrosellos, pequeños embombamientos de la Tubería, variaciones de temperatura, etc. Todas las fugas visibles deben ser reparadas.

Limpieza y Desinfección

1. Inyectar agua al tramo de Tubería a desinfectar, manteniendo destapada la salida. Dejar drenar para lavar la Tubería.
2. Calcular el volumen de agua necesaria para llenar el tramo de Tubería a desinfectar y determinar la cantidad de desinfectante a inyectar de tal forma que se garantice una concentración de 50mg/l de Cloro.
3. Inyectar agua potable al tramo a desinfectar, permitiendo que salga por el extremo de salida por unos minutos. Inyectar el desinfectante, bien sea con Cloro líquido o Hipoclorito de Sodio que garantice una concentración de 50mg/l. Este

puede diluirse previamente en el agua de llenado o inyectarse separadamente. Dejar salir unos minutos más y taponar la salida y entrada, cuando se garantice la concentración de 50mg/l.

4. Dejar en reposo 24 horas, tiempo en el cual la concentración de Cloro debe estar, mínimo en 25mg/l. Si está por debajo de este valor, debe agregarse más desinfectante.
5. Tomar una muestra de agua de la Tubería en proceso de desinfección. Al analizarla en un laboratorio calificado para este fin, debe estar libre de microorganismos coliformes.
6. Dejar pasar otras 24 horas y tomar otra muestra haciendo el mismo ensayo.
7. Si los resultados son satisfactorios, debe evacuarse el agua de la desinfección y proceder a hacer la conexión definitiva.

Rotulado

| | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Marca y uso | BIAXIAL de PAVCO WAVIN | | | | | |
| Uso | Presión Agua Potable | | | | | |
| País de origen y fabricante | PAVCO WAVIN COLOMBIA | | | | | |
| Material | PVC0 1135 ó PVC0 1125 | | | | | |
| Norma de fabricación | ASTM F1483 - NTC 5425 | | | | | |
| Diámetro nominal | Por Ejemplo IPS 4" (114mm) | | | | | |
| Presión de Trabajo | Por ejemplo PR 200 psi (1.38 mPa) | | | | | |
| Código de Trazabilidad | Planta | año | mes | día | turno | No.Máquina |
| | 1 dígito | 2 dígitos |
| Lote RT | Por ejemplo 001 | | | | | |
| Resolución | 0501 | | | | | |