Tuberías de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV). Consumos Energéticos.

Pablo J. Peinado Marchante

Jefe de Producto de Tubería de Poliéster

Introducción

La utilización de tuberías de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) en conducciones tanto de presión como de saneamiento se ha incrementado de forma considerable en los últimos años. Este aumento es consecuencia directa, principalmente, de su elevada resistencia mecánica y fiabilidad, lo que unido a su bajo peso respecto a otras soluciones tradicionales y a su rápido y económico montaje, dan como resultado un producto ideal para muchas de las aplicaciones e instalaciones que se dan en el mercado.

La amplia gama del material en diámetro, presión y rigidez, así como la posibilidad de diseño y fabricación en resistencias mecánicas fuera de las estándar, permiten la adecuación del producto a cada instalación, de tal forma que es sencillo encontrar una tubería a la medida de cada necesidad.

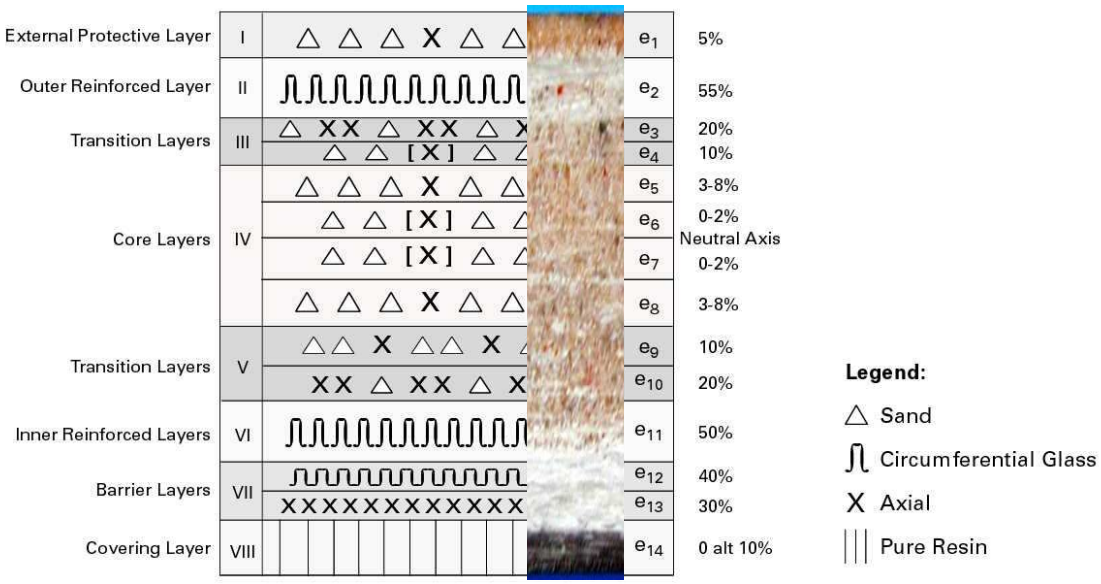
De igual forma existe una completa gama de accesorios y piezas especiales (codos, tes, reducciones, pozos de registro, etc.) que dan solución a todas las necesidades específicas en las obras.

Diseño de la tubería PRFV

Una tubería de PRFV queda normalmente definida mediante la indicación de su diámetro nominal (DN), presión nominal (PN) y rigidez nominal (SN), que se determinan a partir de las necesidades mecánicas e hidráulicas de la obra que se vaya a realizar.

Atendiendo a estos requerimientos mecánicos, se procede a diseñar la pared del tubo, que quedará conformado por las siguientes capas:

- Capa protectora externa: es la capa que protege la pared estructural del tubo del terreno en el que vaya a estar enterrado o de los rayos ultravioletas y las inclemencias meteorológicas para tubería a la intemperie, según el caso.
- Capa reforzada externa: forma parte de la pared estructural del tubo y va a conferirle resistencia a los esfuerzos a tracción circunferencial (presión interior).
- Capa de transición: confiere rigidez al tubo, es decir, resistencia a la deformación vertical consecuencia de las cargas del terreno, de tráfico, etc.
- Capa reforzada interna: esta capa también confiere al tubo resistencia a tracción circunferencial.
- Capa barrera: es la encargada de realizar la transición entre la pared estructural y la de recubrimiento interior. Confiere al tubo flexibilidad y estanqueidad.
- Capa protectora interior: aporta resistencia química al tubo, además de su bajo grado de rugosidad y su alta resistencia a la abrasión.



Sinóptico del diseño en capas de la tubería PRFV

Tubería PRFV fabricada por centrifugación

En el mercado existen distintos métodos de fabricación de tubos de Poliéster reforzados con Fibra de Vidrio, uno de los cuáles es el proceso de centrifugación.

Este proceso se caracteriza por la aportación de las materias primas utilizadas para la fabricación de los tubos (resinas de poliéster, fibra de vidrio, arena de sílice y carbonato cálcico principalmente) en un molde centrífugo, de tal forma que el material se dosifica y compacta sobre las paredes del mismo, conformando el tubo. La fuerza centrífuga aplicada durante el proceso, que llega a alcanzar hasta 75 veces la fuerza de la gravedad, consigue la eliminación del aire ocluido de la pared del tubo, evitando coqueras y, por lo tanto, dando como resultado una pared completamente homogénea en todo el desarrollo y la longitud del mismo.

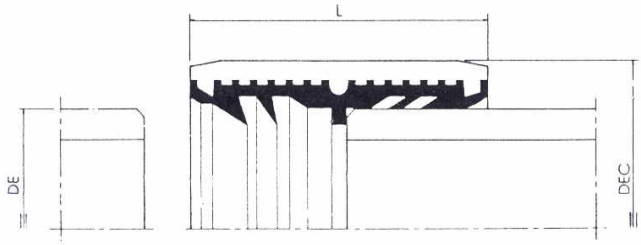
Otra consecuencia importante del proceso de fabricación utilizado es la posibilidad de aportar una resina de recubrimiento interior (que es la última materia prima que se aporta al molde centrífugo) de un espesor tal que permite una excelente resistencia química, una muy baja rugosidad y por lo tanto baja pérdida de carga, y una excelente resistencia a la abrasión.

Distintas vistas del proceso de fabricación por centrifugación de la tubería de PRFV

Características generales

Algunas de las características principales del PRFV son las siguientes:

- Diseño a medida. El proceso de fabricación, permite el diseño a medida según las necesidades de cada obra.
- Manejabilidad y facilidad de montaje. Su bajo peso para diámetros grandes, permite una sencilla y rápida instalación.
- Inerte frente a corrosiones. La resina de Poliéster es un material que no se oxida, lo que permite un perfecto funcionamiento a largo plazo, y abarata el coste total de instalación y mantenimiento al no ser necesaria la aplicación de elemento auxiliares que eviten corrosiones.
- Excelente resistencia química. Soportando efluentes y terrenos agresivos.
- Resistencia a la intemperie. Como consecuencia del diseño de la capa protectora exterior.
- Bajo valor de golpe de ariete. Por su menor módulo de elasticidad respecto a otras tuberías rígidas más tradicionales.
- Flexibilidad frente a asentamientos. Debido al refuerzo axial de la tubería y a la longitud nominal de los tubos (6 metros), que permiten la adaptación de la misma a los movimientos del terreno.
- Óptima capacidad hidráulica. El coeficiente de rugosidad de esta tubería da como resultado una baja pérdida de carga.
- Elevada resistencia a la abrasión. Consecuencia del espesor de resina pura de la capa protectora interior.
- Ausencia de incrustaciones, también consecuencia del bajo coeficiente de rugosidad.
- Posibilidad de fabricar tubos de muy elevada rigidez. Principalmente utilizados para la realización de hincas directas, sin necesidad de escudos o camisas de otros materiales.
- Junta de unión flexible con goma EPDM en todo su desarrollo. Con un doble labiado para una mayor seguridad en la estanqueidad. Permite cierta desviación angular en tubos contiguos para la adaptación de la tubería a la traza, sin necesidad de utilización de piezas especiales.
- Máxima lisura exterior. El proceso de fabricación genera un acabado externo tal, que permite la manipulación de la tubería a pie de obra sin necesidad de tratamientos o torneados posteriores para su acoplamiento a una nueva junta de unión.



Corte en sección de una junta de unión PRFV

Acabado interior del tubo PRFV

Accesorios y piezas especiales

Con el fin de dar solución a las necesidades que se presentan en las obras, otra de las grandes ventajas de este tipo de tubería es la disponibilidad de una completa gama de piezas especiales para presión y saneamiento, fabricada como una calderería de PRFV, utilizando principalmente segmentos de tubos soldados químicamente con resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio.

Los tipos de piezas que ofrece esta tubería son:

- Codos. Con distintos radios de giro y cualquier ángulo necesitado.
- Piezas en Te. Con cuerpo principal y salidas de igual o distinto diámetro, así como salidas con o sin brida.
- Racores con brida.
- Reducciones / Ampliaciones. Tanto concéntricas como excéntricas.
- Pozos de registro. Con posibilidad de suministrarse con pates y con cono superior.
- Manguitos pasamuros. Para adaptar el PRFV a pozos y arquetas de hormigón, evitando cizalladuras por asentamiento diferenciales, consecuencia de las grandes diferencias en peso de ambos materiales.
- Piezas híbridas. Compuestas por varias de las anteriormente mencionadas e incluso con partes de las mismas de otros materiales, principalmente PVC.

Manguito pasamuros

Doble codo registrable

Pozo de resalto con salidas embridadas

Te con pates y salida en PVC corrugado

Aplicaciones de la tubería de PRFV

Debido a la versatilidad y características del material, las aplicaciones de la tubería de PRFV son muy variadas, unas más tradicionales y otras de más reciente utilización con este tipo de material.

Riegos a Presión

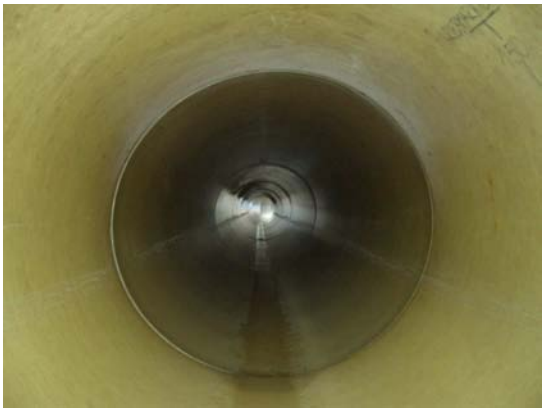
Esta es una de las aplicaciones del producto que más se utiliza en nuestro país, tanto por la gran necesidad que en este campo existe para nuevas instalaciones de riego y renovación de las antiguas, como por la adaptabilidad del material en las presiones necesarias.

Montaje con desviación angular

Fácil manipulación debido al peso ligero

Saneamientos con y sin Presión

Las tuberías de PRFV también son ampliamente utilizadas en saneamientos con y sin presión, debido principalmente a su gran resistencia química y perfecta resistencia a la corrosión. De igual forma el bajo coeficiente de rugosidad de la tubería evita la aparición de incrustaciones que, debido al tipo de fluido que suelen conducir los saneamientos, generan importantes problemas en otros tipos de materiales.



Vista interior de tubería PRFV montada en obra

Saneamiento tubería DN 1800 y DN 1600

Abastecimientos e Impulsiones

El producto final permite la resistencia a los requerimientos mecánicos de tracción circunferencial de forma continua, así como la calidad adecuada y constante del fluido conducido en el caso de abastecimientos de agua potable.

Aplicaciones Industriales

La resina utilizada de forma estándar para la fabricación de la tubería de Poliéster soporta pHs de entre 1 y 9 y temperaturas de hasta 30ºC del fluido que vaya a conducir.

En el caso de pHs más agresivos o de temperaturas de fluido más elevadas, se pueden utilizar otros tipos de resina de tal forma que, conociendo los productos químicos contenidos en el fluido, así como su concentración, pueden llegar a alcanzarse resistencias químicas con valores de pH de 0,2 a 14 (casi el 100% de los posibles) y temperaturas de hasta 80ºC de forma continua.

Instalación de tuberías en una planta industrial

Colector embridado con salidas de varios diámetros

Desaladoras

En aplicaciones para desalación de agua, la tubería de PRFV es probablemente la más adecuada técnicamente, debido principalmente a su elevada resistencia a la corrosión y su alta resistencia química. Además, el bajo peso y su rápido montaje, redunda en bajos costes totales de instalación.

Instalación de tubería PRFV por debajo el nivel del mar

Pozo de registro con escala de PRFV para evitar corrosiones

Emisarios Submarinos. Junta Tracción

Para tubería enterrada en el fondo marino, una draga de alta capacidad es importante para cortos periodos de trabajo de zanja y así limitar el impacto en la vida marina.

En algunas de estas aplicaciones de emisarios submarinos se está comenzando a utilizar tubería de PRFV, que presenta las siguientes interesantes características en este tipo de aplicación:

- No se necesita un gran espacio de ocupación en la costa ni en el la zona marina para el montaje de la tubería ni para el empuje de la misma al agua.
- No es necesaria protección catódica, contrariamente a lo que ocurre con la tubería de acero.
- Debido a la rápida instalación, los costes finales pueden llegan a ser hasta de un 25% inferiores respecto a otras alternativas.
- La resistencia a la corrosión externa del material por el agua marina, así como interior por los efluentes normalmente conducidos es muy importante.
- Su bajo peso permite manipulaciones sencillas en zonas normalmente poco accesibles, incluso bajo el agua.
- En cuanto a las presiones utilizadas, actualmente se tiene experiencia de realización de instalaciones con junta tracción con tuberías de PRFV en presiones de hasta PN 16.

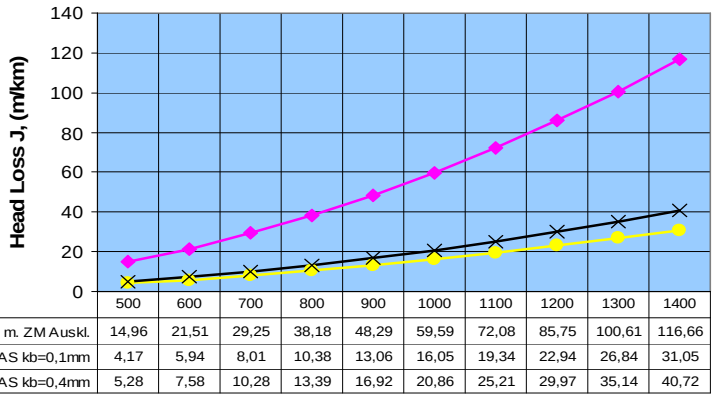
Manipulación de la tubería de PRFV junto a la costa

Momento en que se sumerge la tubería

Plantas Hidroeléctricas

En minicentrales hidroeléctricas, para transformar la energía del agua en electricidad, fluyendo a través de turbinas, un dato muy importante es la rugosidad de la tubería que se utilice, ya que, si ésta es suficientemente baja y presenta, por lo tanto, una baja pérdida de carga, se pueden utilizar menores diámetros y, como consecuencia, con un menor coste, para la conducción del mismo caudal.

También para esta aplicación el tubo de PRFV es adecuado, ya que su coeficiente de rugosidad presenta las pérdidas de carga, en función de los caudales conducidos que aparecen en la tabla adjunta:



	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
GGG m. ZM Auskl.	14,96	21,51	29,25	38,18	48,29	59,59	72,08	85,75	100,61	116,66
HOBAS kb=0,1mm	4,17	5,94	8,01	10,38	13,06	16,05	19,34	22,94	26,84	31,05
HOBAS kb=0,4mm	5,28	7,58	10,28	13,39	16,92	20,86	25,21	29,97	35,14	40,72

Flow rate Q, (l/s)

A menudo en este tipo de plantas se presenta la necesidad de montaje sin enterramiento para realizar las conexiones con las diferencias de altura, para lo que otra interesante característica de este mismo tubo es la resistencia a la intemperie, ya que no presenta degradación mecánica a largo plazo y, además el tubo se puede instalar de forma sencilla en apoyos aislados.

Además, la insensibilidad de los tubos de PRFV a las heladas y al aumento de temperaturas, así como su bajo coeficiente de dilatación lineal facilita el montaje en cualquier condición meteorológica, y evita problemas en instalaciones a la intemperie.

Por todo lo anterior, así como por su alta resistencia química, la vida operativa de las instalaciones es larga, y los costes de mantenimiento son bajos.

En cuanto al cálculo de los golpes de ariete que puede presentar la instalación, son sensiblemente menores con tubería de PRFV, debido a que es flexible y tiene una menor celeridad que las soluciones tradicionales.

Instalación a la intemperie mediante apoyos aislados

Tubería de PRFV en paralelo

Depósitos para Agua

La versatilidad en fabricación de piezas de la tubería de Poliéster reforzado con fibra de vidrio, permite el diseño y la fabricación de depósitos para agua, en los que se puede instalar una amplia variedad de elementos para su utilización. Presentan una excelente resistencia química por ser inertes a la corrosión.

La manipulación y adaptación es muy sencilla, y los depósitos necesarios para cada instalación se pueden diseñar a medida.

Depósitos de PRFV conectados entre sí

Vista interior de un depósito

Hincas Directas

Cuando la instalación de una tubería mediante la apertura de zanja genera graves molestias en sus alrededores por corte de calles y carreteras o perjuicios tanto a personas como al medio ambiente, es recomendable la instalación mediante hinca subterránea, es decir, por empuje directo sobre el terreno sin apertura de zanjas.

Para la aplicación de hinca directa, la tubería de Poliéster centrifugado permite el uso de menores máquinas de enterrado y empuje, como consecuencia de su menor espesor y peso que algunas de las opciones tradicionales para el trabajo en este tipo de montajes. Por el mismo motivo, el resultado es una drástica reducción de los movimientos de tierra necesarios para una misma sección útil de la tubería, lo

que redunda en una velocidad de hincado mayor y, por lo tanto, en un coste menor de la instalación. De igual forma, debido a la lisura externa del material, los costes de lubricación son reducidos.

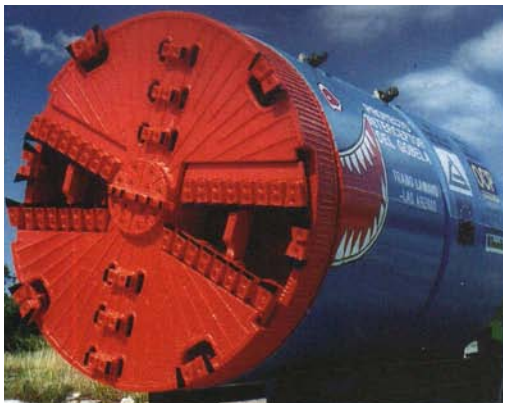
En teoría no existen limitaciones de profundidades para la realización de las hincas, teniéndose experiencia hasta la fecha hasta en 40 metros de profundidad. Además, la tubería de PRFV centrifugado no necesita empaquetaduras de madera entre tubos para la realización de la hinca, siendo éstas sólo necesarias entre los tubos y las estaciones intermedias de hinca.

Para este tipo de tubo, existen dos tipos distintos de junta de unión, que se acoplan a los extremos torneados de la tubería de Poliéster, de tal forma que, en ambos casos, el diámetro exterior del manguito coincide con el del tubo para un empuje menos costoso. Los dos tipos son: de poliéster reforzado con fibra de vidrio y de acero inoxidable.

Manguito de PRFV para hinca

Manguito de acero inoxidable

Se consiguen muy altas resistencias al empuje axial así como rigideces de hasta 1.000.000 N/m^2, mientras que el espesor máximo de pared es de 80 mm. Los empujes máximos realizados hasta la fecha sin estaciones intermedias de hincado han alcanzado los 360 metros de longitud, siendo 180 metros una longitud habitual de hinca.



Cabezal de microtunelado de gran diámetro

Detalle del empujador hidráulico

Rehabilitación de Tuberías

Debido a la gran cantidad de tuberías envejecidas que están instaladas en zonas en las que es complicado abrir una zanja, por encontrarse bajo ciudades, calles o avenidas, carreteras, etc., se presenta la necesidad de realizar el encamisado para rehabilitar las mismas sin causar perjuicios en las zonas que las rodean.

Para ello, la tubería que se utilice ha de ser capaz de conducir como mínimo el mismo caudal, pero con un diámetro menor, ya que se va a instalar en el interior de la tubería antigua. Esto sólo es posible si el

coeficiente de rugosidad de la tubería para la rehabilitación es bajo y se justifica mediante cálculo hidráulico. Los coeficientes de rugosidad de la tubería de PRFV son los siguientes:

- Prandt-Colebrook; k = 0,01 para aguas limpias.
- Hazen Williams; C = 155.
- Manning; n = 0,009.

Además, no sólo es importante la rugosidad interior, sino también la exterior ya que, cuanto menor sea la misma, mayor será el ritmo de montaje. En el caso de los tubos de PRFV por centrifugación, la rugosidad exterior permite que éste sea elevado, por ser muy lisa y completamente homogénea a lo largo de toda su longitud.

De igual forma, la alta capacidad de carga de los tubos PRFV, permiten el relleno del espacio entre el tubo a rehabilitar y el de Poliéster, evitando de este modo, posible colapsados posteriores de la tubería antigua que puedan dañar el tubo nuevo, y también el flotado de la de PRFV en el caso de la aparición de agua entre ambas tuberías.

Dos momentos en la rehabilitación de tuberías mediante PRFV, con distintos sistemas de empuje

Consumos Energéticos. Pérdidas de Carga y Cálculo Hidráulico

La selección en el material a emplear en una tubería, así como su diámetro y clase de presión depende de varios factores, entre ellos el caudal, la pérdida de carga, la sección longitudinal del tubo, el coste de materiales y diámetros alternativos y como no, de restricciones económicas entre las que una de las más importantes es el consumo energético cuando el fluido conducido por la tubería va a ser impulsado de forma forzada.

Para el cálculo de la velocidad del fluido y, por lo tanto mediante la sección útil de la tubería, del caudal, hay numerosas fórmulas disponibles. Las más comúnmente utilizadas son:

- Hazen-Williams $v = 0{,}36\ C\ d^{0{,}63}\ I^{0{,}54}$

- Manning $v = 1/n\ R^{0{,}65}\ I^{0{,}5}$

- Chezy $v = 0{,}55\ Cz\ R^{0{,}5}\ I^{0{,}5}$

- Darcy $v = \left(\frac{2g\ I\ d}{f}\right)^{0{,}5}$

- Colebrook-White $v = -2\ \sqrt{2gd\ I}\ \log\left(\frac{k}{3{,}7\ D} + \frac{2{,}51\nu}{d\sqrt{2gd\ I}}\right)$

Aunque son distintas ecuaciones para obtener la velocidad del fluido, todas tienen en común la necesidad de conocer unos coeficientes o valores que están íntimamente ligados a la rugosidad de la tubería que conduce el fluido y, por lo tanto, al material que la constituye.

Los valores típicos de rugosidad de la tubería de PRFV fabricada por centrifugación son los siguientes:

Hazen-Williams	C	155
Manning	N	0,008 – 0,01
Colebrook-White	k	0,01

Por ejemplo en una tubería de Hormigón el valor de Colebrook-White está comprendido entre 0,4 y 1,5, por lo que los caudales y velocidades a sección llena de ambos tipos de tubo, teniendo en cuenta sus diámetros interiores y manteniendo constante la pérdida de carga, aparecen representados a continuación:

		Diámetro Nominal (mm.)	Diámetro interior (mm.)	Pendiente (P. de carga) (m/km.)	Coeficiente Rugosidad K (mm)	Viscosidad Cinemática ν (m/s2)	A Sección llena	
							Q (l/s)	V (m/s)
PRFV centrifugado	Uralita	400	409,0	10,00	0,100	1,31	**300**	**2,28**
		500	509,0	10,00	0,100	1,31	**532**	**2,61**
		600	592,0	10,00	0,100	1,31	**790**	**2,87**
		700	691,0	10,00	0,100	1,31	**1.183**	**3,16**
		800	789,0	10,00	0,100	1,31	**1.673**	**3,42**
		900	889,0	10,00	0,100	1,31	**2.285**	**3,68**
		1000	988,0	10,00	0,100	1,31	**3.009**	**3,93**
		1200	1.194,0	10,00	0,100	1,31	**4.930**	**4,40**
Hormigón		400	400,0	10,00	1,000	1,31	222	1,77
		500	500,0	10,00	1,000	1,31	400	2,04
		600	600,0	10,00	1,000	1,31	647	2,29
		700	700,0	10,00	1,000	1,31	970	2,52
		800	800,0	10,00	1,000	1,31	1.378	2,74
		900	900,0	10,00	1,000	1,31	1.877	2,95
		1000	1.000,0	10,00	1,000	1,31	2.475	3,15
		1200	1.200,0	10,00	1,000	1,31	3.993	3,53

Como se puede observar, los caudales para un tubo de PRFV Centrifugado respecto a uno del mismo diámetro de Hormigón, llegar a ser entre un 20 y un 35% superiores, mientras que las velocidades del fluido lo son en un 25% aproximadamente.

Esta información llevada a un ejemplo práctico nos puede dar una idea de las diferencias en consumo energético según el tipo de material elegido para la tubería de conducción de nuestro fluido. Supongamos que tenemos que comparar para ambos materiales en una instalación con las siguientes características:

Caudal de 350 l/s.

Longitud de 10 Km.

Diámetro Nominal DN 600

Coste energético 0,1 € por Kwh

Eficiencia del motor/bomba 0,65

18 horas diarias de bombeo

Altura 50 m

Para una tubería de PRFV Centrifugado, la pérdida de carga para un caudal de 350 l/s en una tubería de DN 600, es de 1,9 m por cada 1000 m, es decir 19 m en el total de nuestro ejemplo. Por lo tanto, la altura total será de 50 m + 19 m = 69 m.

En el caso de una tubería de Hormigón, la pérdida de carga para el mismo caudal y diámetro es de aproximadamente 3,5 m por Km. y, por lo tanto 35 m en nuestro ejemplo, quedando un total de 85 m.

Teniendo en cuenta que la fórmula del coste de energía de bombeo anual es:

$$Y = \frac{0{,}0098\, Q\, H}{\eta}\, c\, t$$, donde

Q es el caudal (l/s)

H es el desnivel total (m)

c es el coste de energía por Kwh (€)

t es la duración del bombeo por año

η es la eficiencia total (motor y bomba)

El coste energético total del bombeo para una tubería de PRFV Centrifugado sería de 239.219 €, mientras que para una tubería del mismo diámetro en Hormigón, sería de 294.690 €, es decir, unos 55.000 € más, lo que supone un 23% por encima.