

INFORME TÉCNICO

Cálculo hidráulico en sistemas de saneamiento

Coeficiente de rugosidad



Cálculo hidráulico en sistemas de saneamiento.

Coeficiente de rugosidad

Existe gran número de fórmulas para el cálculo hidráulico de una tubería en función del caudal, diámetro de la misma, gradiente hidráulico y coeficiente de rugosidad (Darcy-Weisbach, Manning, Hazen-Williams, Colebrook...).

Para el cálculo de la **pérdida de carga** debida a rozamientos en tubos de hormigón armado sin presión se utiliza frecuentemente la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{i} \cdot R_h^{2/3}$$

Siendo:

v , velocidad media

n , coeficiente de Manning

i , pendiente de la conducción

R_h , radio hidráulico (área de la sección perpendicular a la dirección del flujo dividida entre el perímetro mojado)

Para el cálculo del caudal que puede transportar una tubería, es por tanto imprescindible, establecer un valor del **coeficiente de rugosidad**. Cuanto menor sea este valor, mayor será la capacidad hidráulica de la tubería y, por tanto, mayor el volumen de fluido que ésta podrá conducir. Fijar un valor demasiado conservador supone sobredimensionar la tubería mientras que si ese valor es inferior al real puede ocasionar un resultado deficiente en el servicio de la misma.



El cálculo real de las pérdidas de carga de una tubería en servicio debe tener en cuenta, no sólo las correspondientes a la rugosidad intrínseca de la tubería, sino también aquellas producidas por las condiciones de servicio. Éstas últimas resultan más importantes y son tales como la existencia de juntas entre los tubos, válvulas, codos, cambios de sección, pozos, las derivadas de la naturaleza del fluido que circula por la tubería (que inevitablemente producirá depósitos y sedimentos)... Es decir, el cálculo real deberá tener en cuenta las condiciones más desfavorables a nivel hidráulico que se vayan a dar a lo largo de toda la vida útil del sistema. Un valor de laboratorio obtenido con agua limpia en una tubería sin ningún tipo de deformación (en el caso de tuberías flexibles) será, por tanto, poco representativo de la realidad de lo que sucederá luego en servicio.

Los fenómenos de deformación mencionados anteriormente se producen en los tubos flexibles durante su vida útil y dan lugar a una pérdida de carga. Hay tres tipos básicos de deformación que deben ser conocidos y tenidos en cuenta:



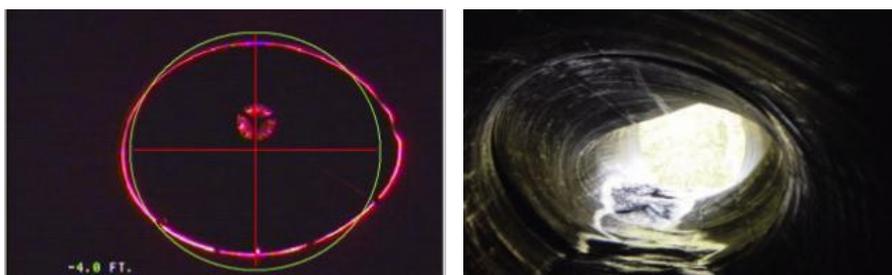
- **Deflexión (ovalación)**

Los tubos flexibles deben deformarse para que los empujes pasivos del terreno entren en acción y el sistema tubería-terreno sea capaz de soportar las cargas del terreno que se encuentra sobre el tubo, el tráfico de vehículos...

Si no se realiza adecuadamente la instalación, las deformaciones pueden ser excesivas.

La deflexión tiene influencia en la capacidad hidráulica por dos razones.

- si el tubo pierde su circunferencialidad disminuye su diámetro hidráulico.
- el cambio de sección que implica la ovalación supone también que, para transportar el mismo caudal, la altura de la columna de agua disminuye.



- **Aumento de la corruga**

Buena parte de los tubos de plástico utilizados en los sistemas de saneamiento y drenaje son estructurados de doble capa.

La capa interior es muy fina, siendo la capa exterior, corrugada, la que realmente aporta inercia y, en última instancia, rigidez al conjunto de la pared.

Puede suceder que, en el momento en que el tubo es sometido a las cargas de proyecto, las corrugas exteriores se claven sobre la capa interior y esta pasa, a efectos prácticos, a ser corrugada en lugar de lisa. Estas corrugas, en la condición de flujo máximo, generan turbulencias en el fluido que provocan una pérdida de capacidad hidráulica importante.



- Deformación longitudinal

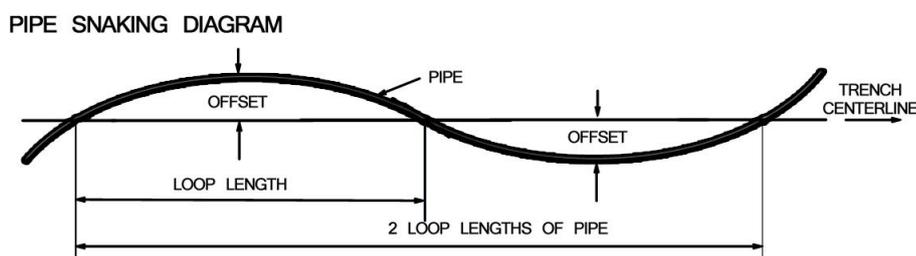
Por último, los tubos flexibles, que generalmente se presentan con longitudes de unos 6 m, no sólo se deforman en su sección transversal, sino también longitudinalmente.

Esto puede deberse a un incorrecto acondicionamiento del terreno o a fenómenos de flotación, durante la ejecución o a posteriori.

Lo que sucede en este caso es que en el tubo en cuestión se producen ondulaciones en la dirección longitudinal que necesariamente implican la existencia de “valles” y “picos” en el sistema.

En los valles habrá una tendencia mucho mayor a la precipitación de sólidos transportados por el efluente. Se formarán depósitos y el tubo se obstruirá parcialmente, con lo que el radio hidráulico efectivo se verá mermado.

En los picos sucederá algo parecido: en la condición de flujo máximo, el aire será incapaz de ser evacuado en estas zonas, con lo que se formará una bolsa de gas que, de nuevo, ocluirá parcialmente el conducto, disminuyendo su diámetro hidráulico.



La capacidad hidráulica de los tubos es prácticamente independiente de su material

Diversos estudios nacionales e internacionales demuestran que, en las tuberías de saneamiento la capacidad hidráulica de los tubos es prácticamente independientemente del material del que estén hechos dichos tubos.

Esto se debe a las siguientes razones:

- Poco después de que la tubería comience a prestar servicio, se produce una proliferación de bacterias que se adhieren al tubo en forma de película (biofilm) que provoca que la superficie de contacto entre el efluente y el conducto sea idéntica para cualquier tubo, independientemente de su material.
- El valor del coeficiente de Manning de diseño utilizado debe garantizar que la conducción sea hidráulicamente adecuada a lo largo de toda su vida útil, por lo que tiene que tenerse en cuenta la deformación máxima que la tubería de plástico en cuestión vaya a alcanzar.
- Un análisis global conjunto de las pérdidas de carga del tubo y las pérdidas locales (codos, cambios de sección, pozos...) pone en evidencia que debe incrementarse el coeficiente de Manning, aumentando el valor de la rugosidad en la medida en que deban prorratearse las pérdidas de carga locales como pérdidas en los tubos. El coeficiente de Manning representa la capacidad hidráulica del **sistema completo**, no únicamente la del tubo.
- El peso que tiene en el coeficiente de Manning la rugosidad superficial de la pared del tubo es menor conforme aumenta el diámetro de la conducción. Esto se debe a que el porcentaje de fluido que se ve influido por las fuerzas de rozamiento viscoso entre la pared del tubo y éste se vuelve cada vez menor respecto al caudal total.



- Así mismo, el número de juntas del sistema (mayor en las canalizaciones de hormigón) se ha demostrado despreciable en su efecto sobre la capacidad hidráulica.

Valores recomendados del coeficiente de Manning

La siguiente tabla muestra los valores recomendados del coeficiente “n” de Manning por la ACPA (American Concrete Pipe Association), para distintos materiales, indicando la diferencia entre los valores del laboratorio y los valores recomendados para el diseño y proyecto.

Tuberías	“n” laboratorio	“n” diseño recomendada
Hormigón	0,009 – 0,011	Red alcantarillado: 0,011-0,012 Red A. residual: 0,012-0,013
HDPE	0.009 – 0,015	Red alcantarillado: 0,012-0,020
PVC	0.009 – 0,011	Red alcantarillado / Red A. residual: 0,011-0,013
Corrugada	0.012- 0,030	0,021 – 0,029

El “[Boletín oficial de Navarra - Número 36](#)” establece el uso de un coeficiente $n = 0,014$ independientemente del material:

“II.7. Criterios de cálculo de las redes.

El cálculo hidráulico de las conducciones de saneamiento, se realizará mediante la fórmula de MANNIG.

Se tomará como coeficiente de rugosidad, $n = 0,014$, independientemente del material de las tuberías de saneamiento proyectadas”

En las “[Normas para Redes de Saneamiento del Canal de Isabel II \(Versión 2006\)](#)” encontramos el siguiente texto:

“IV.2 Dimensionamiento hidráulico

*En cualquier caso, para el predimensionamiento de una acometida en función del caudal a evacuar por la misma, y en ausencia de cálculos justificativos, podrán utilizarse los valores de la tabla adjunta, los cuales han sido obtenidos por aplicación de la fórmula de Manning para las pendientes del 2, 3 y 4%, una **rugosidad del 0,015** y un llenado de la sección del 75% (ver artículo III.5.1).*

Tabla 52 Predimensionamiento de acometidas

DN (mm)	Pendiente 2%		Pendiente 3%		Pendiente 4%	
	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)
300	108	1,90	132	2,33	153	2,69
350	163	2,11	200	2,58	231	2,98
400	233	2,30	285	2,82	329	3,26
450	319	2,49	390	3,05	451	3,52
500	422	2,67	517	3,27	597	3,78
600	686	3,02	840	3,69	970	4,27
700	1.035	3,34	1.268	4,09	1.464	4,73
800	1.478	3,65	1.810	4,48	2.090	5,17



Conclusiones

Aparte de la rugosidad física de cada material, existen muchos otros factores que deben considerarse en el cálculo hidráulico de una tubería que resultan significativamente más importantes y que hacen que **la rugosidad efectiva o real sea mayor que aquella que se haya calculado en laboratorio** usando agua limpia en una conducción sin deformación de ningún tipo (en el caso de tuberías flexibles).

La **capacidad hidráulica de los tubos es prácticamente independiente de su material.**



Bibliografía

- [A Rational Approach to the Hydraulic Design of Pipe Conduits - Concrete Pipe Association of Australasia](#)
- [Design Data 10: Manning's n Values. American Concrete Pipe Association](#)
- [Cálculo hidráulico de las Conducciones de Saneamiento y Drenaje. Valor de coeficiente de Rugosidad recomendado para la Fórmula de Manning.](#)





ANDECE

ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL PREFABRICADO DE HORMIGÓN
PASEO DE LA CASTELLANA 226 ENTREPLANTA A · 28046 MADRID
TEL +34 91 32 38 275 · www.andece.org · FAX +34 91 31 58 302