



Rugosidad de la tubería y el Coeficiente de Manning

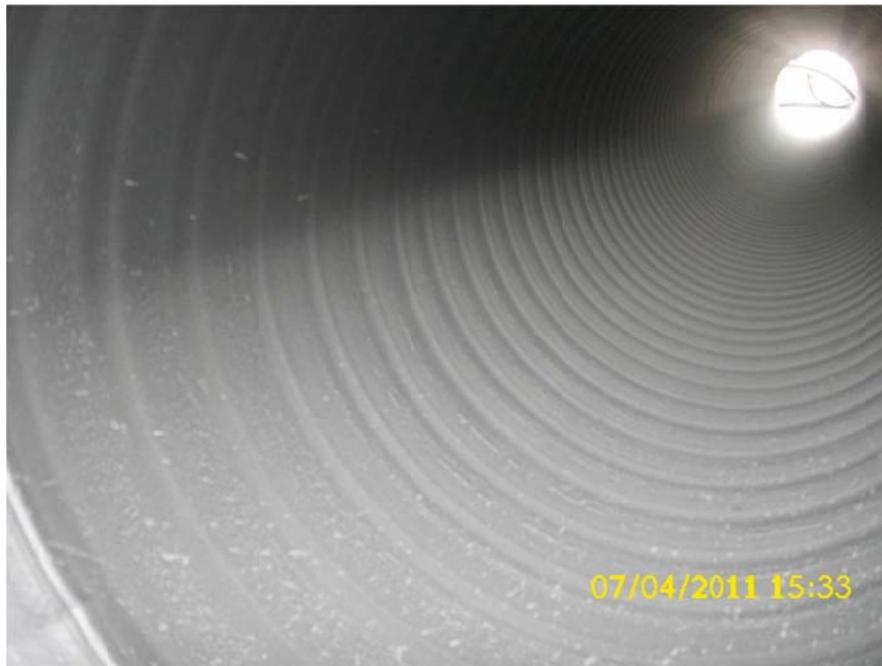
Introducción

Este documento responde a las incertidumbre generadas por el aspecto de “ondulaciones” al interior de la tubería de PEAD corrugada, su efecto en la rugosidad de la tubería y “responder” ante la postura de ADS de proponer un valor de $n = 0.012$.

Ambas situaciones afectan la imagen de la tubería Tododren y la competencia en el mercado; el primer caso, da pie a que “personas” si un sustento técnico refuten un valor de lisura de la pared interior de la tubería, motivando una baja competencia contra tuberías de PVC (en PVC $n=0.009$), al suponer que las ondulaciones incrementan la rugosidad de la tubería.

Segundo caso de análisis: La apreciación anterior se complica cuando ADS señala en sus manuales y catálogos técnicos que el valor adecuado de rugosidad ante estas “ondulaciones” debe considerarse entre 0.010 y 0.012.

Figura 1. Fotografía del interior de una tubería Tododren



El cálculo de los sistemas de drenaje tiene como base la estimación de la capacidad de conducción de una tubería escurriendo a superficie libre y bajo la acción de la gravedad; para lo que se utiliza de forma muy generalizada la ecuación de Manning.

La fórmula de Manning es una evolución de la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés



Robert Manning, en 1889; pero en justicia debería llamarse: de Gaucckler-Manning-Strickler, por atribuirse su origen a estos tres autores.

Ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{n} \times Rh^{\frac{2}{3}} \times So^{\frac{1}{2}} \quad (\text{a.1})$$

Donde:

- V Velocidad, en m/s
n Coeficiente de fricción del material
Rh Radio Hidráulico
So Pendiente hidráulica del conducto

La fórmula de Chézy, desarrollada por el ingeniero francés Antoine de Chézy, conocido internacionalmente por su contribución a la hidráulica de los canales abiertos, es la primera fórmula de fricción que se conoce y fue presentada en 1769, y es una formulación empírica, que se define como:

Ecuación de Chézy

$$V = C\sqrt{Rh \times S} \quad (\text{a.2})$$

Donde

$$C = \sqrt{g / K} \quad (\text{a.3})$$

Es un factor de resistencia o de fricción, con las dimensiones de \sqrt{g}

Gaucckler-Manning-Strickler propusieron como valor de C

$$C = \frac{Rh^{1/6}}{n} \quad (\text{a.4})$$

Donde n es un factor de fricción, llamado coeficiente de Manning, que por ser aplicable a canales hidráulicamente rugosos, depende solo de la rugosidad de la frontera.

Al sustituir C de la ecuación a.4 en la a.2 se obtiene a.1.

Debe recordarse que el origen de estas formulaciones es empírico y que el carácter de coeficiente de rugosidad que se le atribuye al factor n de las ecuaciones de Chézy-Manning, es limitativo pues:

- El coeficiente n no es adimensional, cada valor es válido sólo para las dimensiones del canal en que se obtuvo;
- No considera la influencia de la viscosidad;
- No sigue las leyes generales de fricción;
- La forma de la sección no se considera y por ello un valor conocido de n es válido solo para la sección del canal en que se obtuvo;
- No considera la distribución de velocidades;
- No considera la influencia del arrastre de aire al interior del flujo cuando la velocidad es muy grande;



g) No considera la influencia del transporte de sedimentos;

Por estas razones se le designa como *coeficiente de Manning*.

En 1850, Darcy, Weisbach y otros dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular en un tubo las pérdidas por fricción, en función de la velocidad, el diámetro del tubo, la viscosidad del fluido y la rugosidad interna de la tubería, determinándose el llamado coeficiente de fricción de Darcy

$$f = F\left(\frac{VD}{\nu}, \frac{\varepsilon}{D}\right) = F\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right) \quad (\text{a.5})$$

El valor de resistencia o fricción C de Chézy y f de Darcy se relacionan como:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \quad (\text{a.6})$$

Sustituyendo a.6 en a.4 se obtiene:

$$n = \sqrt{\frac{8g}{f}} Rh^{1/6} \quad (\text{a.7})$$

Con lo cual se obtiene una ecuación que toma en cuenta la geometría del conducto, la variación de velocidad, y la rugosidad física de la rugosidad del material.

Osborne Reynolds, un ingeniero y físico irlandés que realizó importantes contribuciones en los campos de la hidrodinámica y la dinámica de fluidos, introdujo el Número de Reynolds en 1883, definiéndolo como:

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{a.8})$$

Donde:

Re es el número de Reynolds, adimensional

V velocidad de flujo, en m/s

D diámetro del conducto, en m

ν Viscosidad cinemática, en m²/s.....

El coeficiente de fricción se puede calcular mediante la ecuación simplificación obtenida por Swamee-Jain, siendo:

$$f = \frac{0.25}{-\log\left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}}\right]^2} \quad (\text{a.8})$$



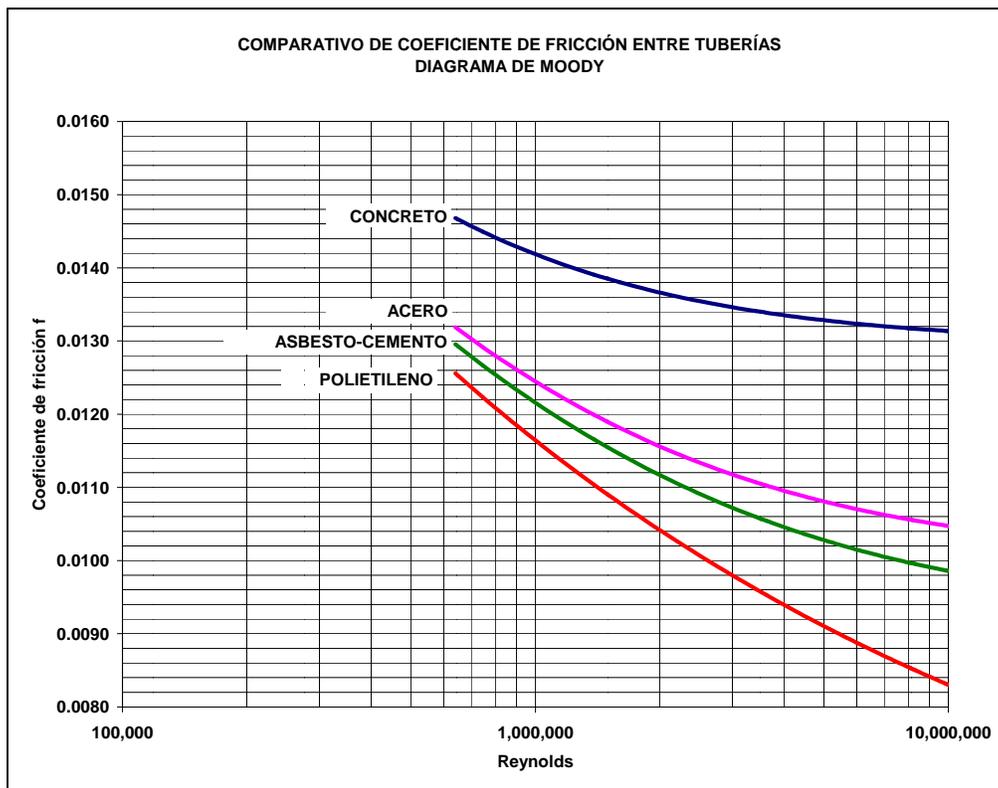
Donde:

- f Valor de resistencia o fricción de Darcy
- Re Número de Reynolds, adimensional
- ε Rugosidad del material, en mm

La grafica presentada en la figura 1 muestra la relación entre el coeficiente de Fricción f y el número de Reynolds, condicionada a la rugosidad de la pared de materiales como concreto, acero, asbesto cemento y polietileno.

Puede notarse que al crecer el número de Reynolds el factor f disminuye su valor, notándose cómo la fricción debido al material va disminuyendo con tendencia a un comportamiento liso.

Figura 3 Diagrama de Moody



Trasladando este análisis a una tubería de drenaje debe reconocerse que un diseño de un conducto a superficie libre parte de definir el material de conducción, teniendo en consecuencia que en la Ecuación de Manning, el valor del Coeficiente de Rugosidad “ n ” se considera constante; sin embargo como lo muestra la gráfica de la Figura 3, donde:

En el Eje-X se muestra la velocidad de flujo en m/s

En el Eje-Y el valor de rugosidad “ n ”.

Puede notarse que el valor de “ n ” se reduce conforme se incrementa la velocidad, es decir se desplaza de arriba abajo, y de izquierda a derecha, y dependiendo del

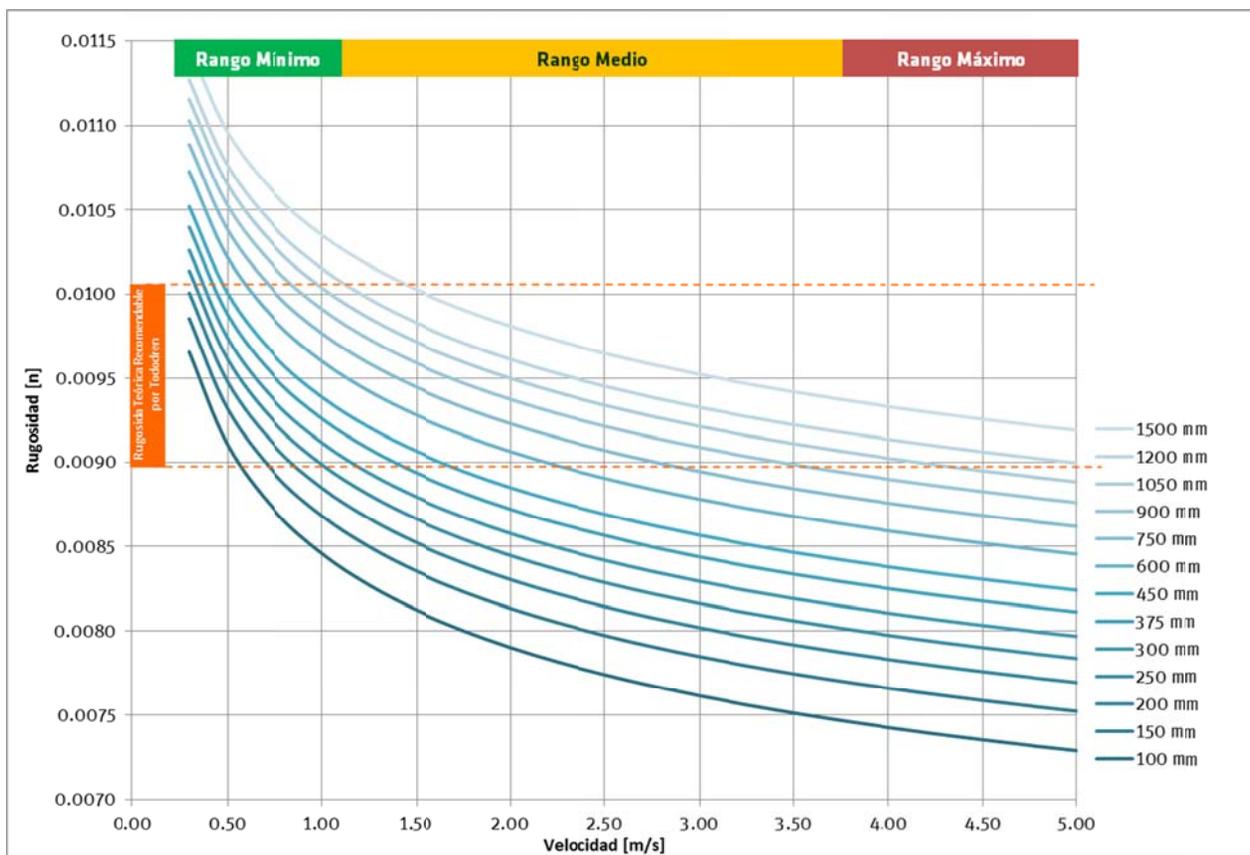


diámetro, las líneas “azules” del gráfico, la rugosidad teórica estimada de “n” se reduce por debajo del valor teórico estimado.

En la naturaleza aún y cuando Tododren recomienda usar un valor de “n” entre 0.0095 y 0.010, es de esperarse que dependiendo del diámetro y la velocidad, el valor real de “n” será menor.

El tubo liso se comporta más liso.

Figura 3 Variación del coeficiente de rugosidad de Manning



Recomendaciones para diseño

Se presentan dos criterios para resolver en el diseño las condiciones de flujo para un drenaje, siendo:

Resolver mediante un proceso de iteraciones, el valor final del coeficiente de rugosidad y por ende las características del flujo; ó

Asumir un criterio de diseño “considerando una rugosidad máxima permisible”, el cual contempla:

1. Considerar el coeficiente de rugosidad de Manning de 0.0095 a 0.010 como máximo y constante;
2. Considerar este valor como máximo asumiéndolo como un factor de seguridad.