FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS

Flujo en Superficie Libre

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

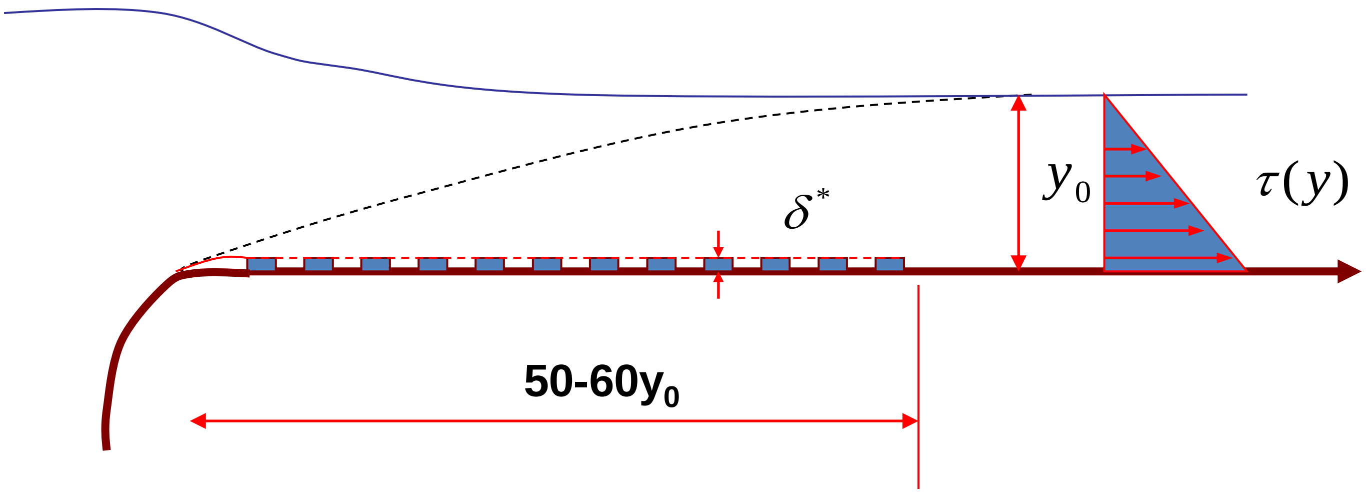
1. FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS (1)

- Por lo numeroso de las investigaciones en tuberías en el caso de flujo turbulento, se le usa para asimilarlo al caso de canales abiertos.

- Para tuberías lisas, con flujo completamente desarrollado (longitud mayor a 50 o 60 veces el diámetro), se cumple la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$-\frac{dp}{dx} = \frac{\lambda}{d}\frac{\rho}{2}\overline{u}^2$$

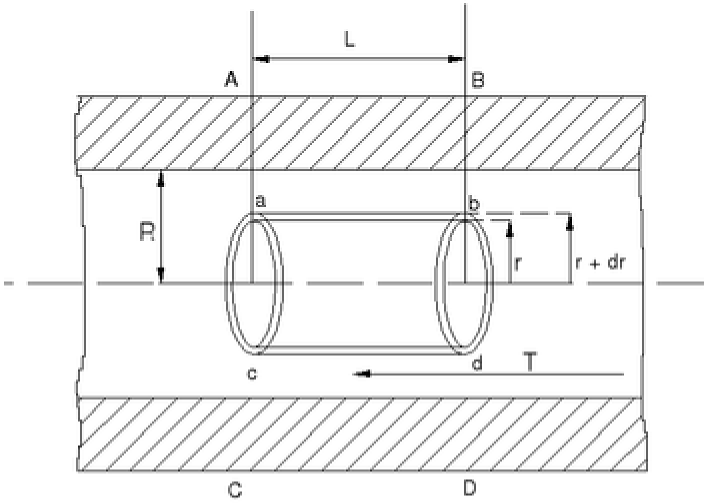
donde λ, es un coeficiente de resistencia al flujo y d, diámetro.



1. FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS (2)

- Integrando:

$$\frac{p_1 - p_2}{L} = \frac{\lambda}{d}\frac{\rho}{2}\overline{u}^2$$



- Por definición:

$$\tau = \frac{p_1 - p_2}{L}\frac{r}{2}$$

- Igualando ambas ecuaciones se tiene:

$$\frac{2\tau}{r} = \frac{\lambda}{d}\frac{\rho}{2}\overline{u}^2$$

- Para un r=R, se obtiene el esfuerzo sobre las paredes del tubo:

$$\boxed{\tau_0 = \frac{1}{8}\lambda\rho\overline{u}^2}$$

1. FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS (3)

- Blasius estima el valor de λ:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\mathrm{Re}^{1/4}}$$

que es válida para

$$\mathrm{Re} = \frac{\bar{u}d}{\upsilon} \leq 100{,}000$$

- Reemplazando y operando:

$$\tau_0 = 0.03325 \rho \bar{u}^{7/4} \upsilon^{1/4} R^{-1/4}$$

donde R es el radio.

- Por definición de velocidad de corte, debe ser igual a $\rho u_*^{\,2}$. Igualando y despejando:

$$\left(\frac{\bar{u}}{u_*}\right)^{7/4} = \frac{1}{0.03325}\left(\frac{u_* r}{\upsilon}\right)^{1/4} \Rightarrow \left(\frac{\bar{u}}{u_*}\right) = 6.99\left(\frac{u_* r}{\upsilon}\right)^{1/7}$$

1. FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS (4)

- La ecuación encontrada no se ajusta a los valores experimentales.
- Experimentalmente, se conoce que la relación

$$\left(\frac{\bar{u}}{U}\right) = 0.8$$

para $Re=10^5$, la ecuación se corrige a:

$$\left(\frac{\bar{u}}{u_*}\right) = 8.74\left(\frac{u_* r}{\upsilon}\right)^{1/7}$$

- Para una distancia cualquiera:

$$\boxed{\left(\frac{\bar{u}}{u_*}\right) = 8.74\left(\frac{U_* y}{\upsilon}\right)^{1/7}}$$

Ley de 1/7 de potencia que reproduce los valores encontrados experimentalmente

1. FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS (5)

- Para altos números de Reynolds:

$$\left(\frac{\overline{u}}{u_*}\right) = 2.50 \ln n + 5.5 \quad \text{; donde:} \quad n = \frac{u_* y}{\upsilon}$$

que al ser corregida se convierte en:

$$\left(\frac{\overline{u}}{u_*}\right) = 5.75 \ln n + 5.5$$

- A distancia cercanas al fondo, la subcapa laminar produce desviaciones de la ecuación. Reichardt (1940) incluyo investigaciones para distancias muy pequeñas del fondo.

1. FLUJO TURBULENTO EN TUBERÍAS (6)

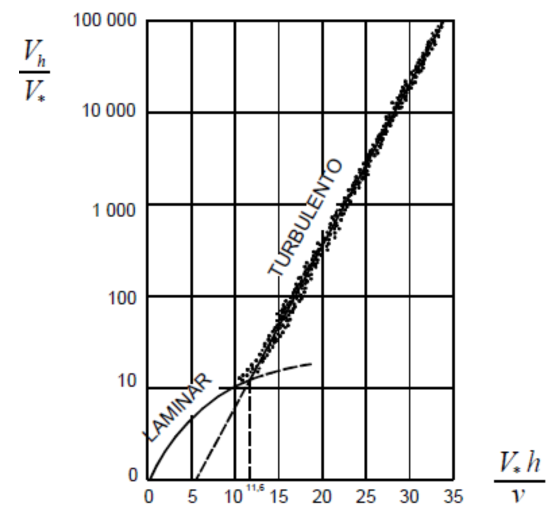
Para valores de $n = \dfrac{U_* y}{\upsilon} < 5$ la contribución de la fricción turbulenta puede ser ignorada y considerar solo la fricción laminar.

$5 < n < 10$ Efectos de fricción laminar y turbulento.

$n > 70$ Efecto puramente turbulento. Resulta entonces.

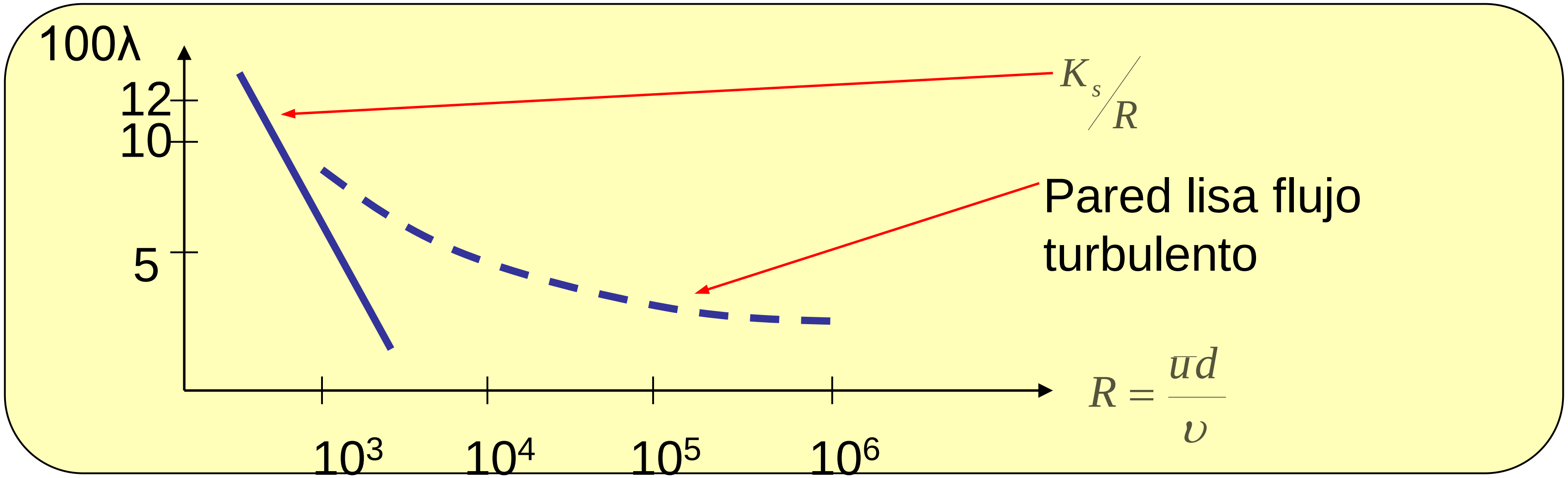
Resulta entonces $\delta` \approx 5 \dfrac{\upsilon}{u_*} = 5 \dfrac{\upsilon}{\sqrt{\tau_0 / \rho}}$ Espesor de la sub capa laminar

También se define $\delta` = 11.6 \dfrac{\upsilon}{\sqrt{\tau_0 / \rho}}$ Espesor nominal



La mayoría de las tuberías usadas en las obras hidráulicas no pueden considerase hidráulicamente lisos, por lo menos con altos R, de modo que la resistencia al flujo resulta mayor que lo que se obtiene con las ecuaciones para tuberías lisas.

Los resultados de diferentes investigaciones se han presentado en el diagrama de Moody.



Ks, altura de arena equivalente para la rugosidad de Nikuradse

R, radio medio hidráulico.

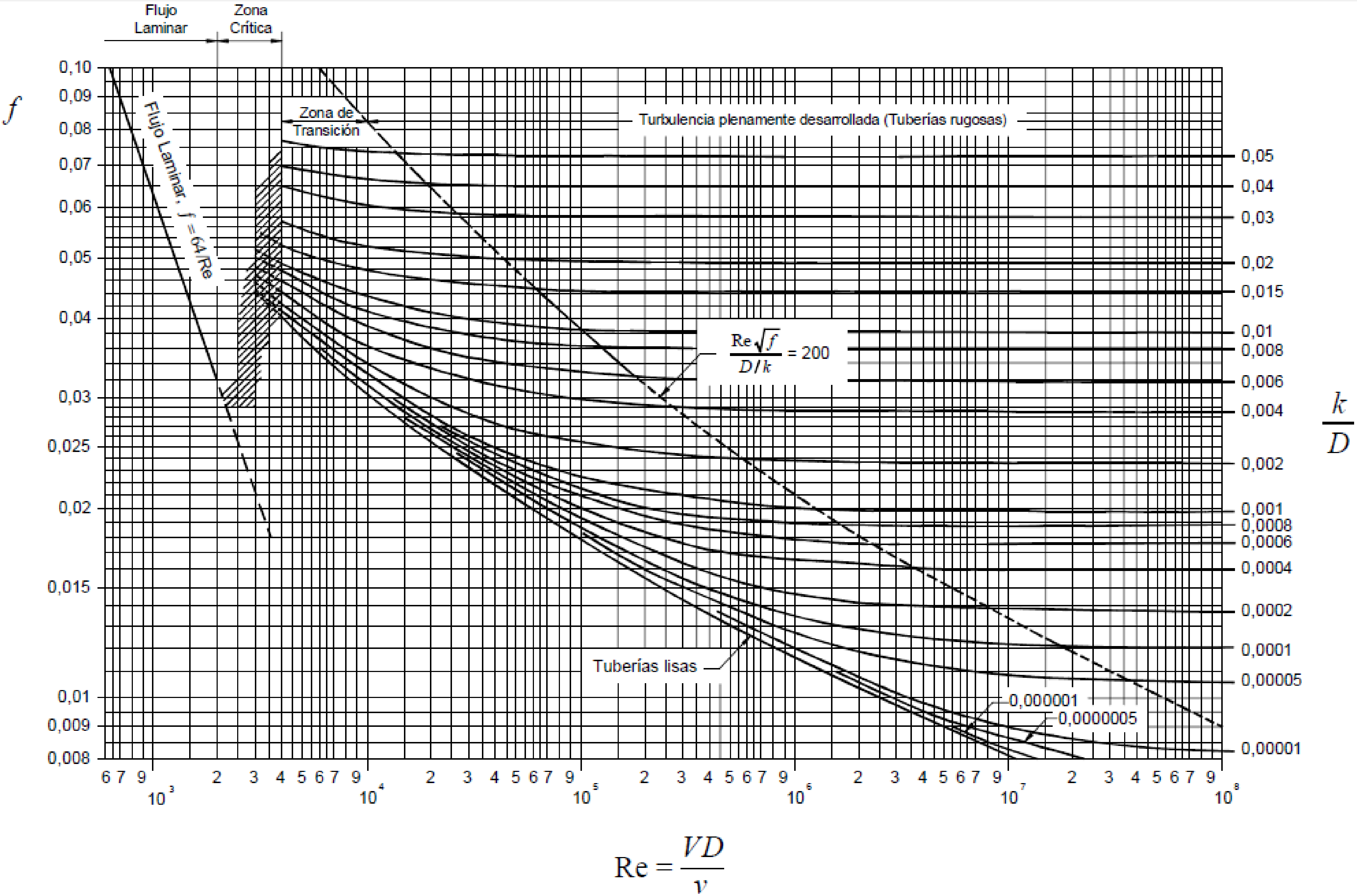


Figura 4.2 Abaco de Moody

El mismo Nikuradse concluye que la ley de logaritmos es valida para la distribución de velocidades que seria del tipo.

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{k}\left(Lny - Lny_0\right)$$

Ya que y_o es pequeña, puede aceptarse proporcional a,

$$K_s \rightarrow y_0 \approx cK_s$$

siendo C, también proporcional a la naturaleza de la rugosidad.

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{k}\left(Ln\frac{y}{K_s} - LnC\right)$$

Si K = 0.4

$$\boxed{\frac{\bar{u}}{u_*} = 2.5Ln\frac{y}{K_s} + C}$$

Para flujos completamente rugosos

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 5.75 Log \frac{y}{K_s} + 8.5$$

Para flujo hidráulicamente liso

C es una función de $\dfrac{u_* K_s}{\upsilon}$

$$C = 5.5 + 2.5 Ln \frac{u_* K_s}{\upsilon}$$