la sección transversal o de la dirección de flujo en el tubo, con el efecto de un brusco aumento o disminución de velocidad seguida de un retorno más o menos gradual a la velocidad original.

d) Pérdida de carga debida a codos o curvaturas del tubo, h_b , y que se suman a las pérdidas por fricción en el mismo tramo.

Se ha encontrado experimentalmente, que las pérdidas de carga menores varían aproximadamente con el cuadrado de la velocidad, de manera que se pueden expresar aplicando un coeficiente a la carga por velocidad, que es además variable con la velocidad misma, por lo que para cada caso se elabora una tabla de coeficientes. De esta manera, es fácil incluir las pérdidas menores cuando se aplica el teorema de Bernoulli.

TABLA # 3

VALORES DEL COEFICIENTE K_c , POR CONTRACION BRUSCA PARA APLICARSE A LA FORMULA $h_c = K_c \frac{V^2}{2g}$

Velocidad en el tubo, V , en mts/seg.	Relación de diám. menor a mayor, en el (tubo. 0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.6	.49	.49	.48	.45	.42	.38	.28	.18	.07
1.5	.48	.48	.47	.44	.41	.37	.28	.18	.09
3.0	.47	.46	.45	.43	.40	.36	.28	.18	.10
6.0	.44	.43	.42	.40	.37	.33	.27	.19	.11
12.0	.38	.36	.35	.33	.31	.29	.25	.20	.13

En cambio, cuando se desea determinar la pérdida de energía cuando se conoce el gasto y las características del tubo, según se indicó en el inciso 5.4, es más conveniente convertir las pérdidas menores en términos de la longitud de un tubo equivalente (Tabla # 4).

TABLA # 4

LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBO PARA PERDIDAS EN ACCESORIOS Y VALVULAS
(para tubería de fierro galvanizado)

ACCESORIO	DIAMETRO (pulgadas) 1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
Codo de 90°	0.60 mts.	0.75 mts.	0.90 mts.	1.50 mts
Codo de 45°	0.35	0.45	0.55	0.90
Te de 90°	0.90	1.20	1.50	2.00
Válvula de compuerta (abierta)	0.10	0.15	0.20	0.30
" cerrada 1/2	3.00	4.00	5.00	8.00
Válvula de globo	4.50	6.00	7.70	13.60
Válvula de ángulo	2.40	3.60	4.50	6.70

5.43 PERDIDAS DE CARGA DEBIDAS A FRICCION.- Las pérdidas de carga por fricción h_f para un líquido que fluye por un tubo recto de diámetro interior D, y con velocidad V, cuando su longitud es L , están sujetas a leyes generales obtenidas por observación y experimentación y que pueden establecerse así:

1a.- La pérdida por fricción en un flujo turbulento aumenta generalmente con la aspereza del tubo (en el flujo laminar, la pérdida por fricción es independiente de la aspereza del tubo).

2a.- La pérdida por fricción es directamente proporcional al área de la superficie mojada πDL

3a.- La pérdida por fricción varía inversamente con a guna potencia del diámetro del tubo: $\frac{1}{D^x}$

4a.- La pérdida por fricción varía con alguna potenci de la velocidad: V^n

5a.- La pérdida por fricción varía con alguna potenci de la relación de viscosidad/masa del fluído, o sea: $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^r$

Combinando estos factores, se puede escribir la ecuación para pérdida de carga por fricción para un fluído:

$$h_f = K' \cdot \pi D L \cdot \frac{1}{D^x} \cdot V^n \cdot \left(\frac{\mu}{\rho}\right)^r \qquad (37)$$

en donde K' es un coeficiente de aspereza y factor de pr porcionalidad.

Como a temperaturas normales en la naturaleza, y en el uso común de líquidos, la variación de la viscosidad y l masa del líquido es insignificante, puesto que también l velocidad varía dentro de rangos muy limitados, envolvie do en un solo factor K, el producto de K' x π x $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)^r$, substituyendo el exponente x por $m+1$, se tiene:

$$h_f = K \frac{L}{D^m} \cdot V^n \qquad (38)$$

En donde los valores de K, m y n, se tienen que determinar previamente para poder aplicar la ecuación para la s lución de problemas de flujo.

Chezy estableció que la pérdida de carga para el flujo d agua en conductos varía aproximadamente con el cuadrado

de la velocidad. Posteriormente Darcy, Weisbach y otros investigadores, dar un valor de 2 para la n, 1 para la m, y además, por conveniencia, dividir la fórmula entre $2g$, para que quedara en función de la carga por velocidad, teniéndose:

$$h_f = (K \cdot 2g) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (39)$$

siendo con la última expresión, la fórmula de Darcy---- Weisbach, en donde f es un factor numérico, L/D es una relación de longitudes y h_f y $\frac{V^2}{2g}$ se expresan en unidades de longitud.

En virtud de que la pérdida de carga por fricción, no - es una función exacta del cuadrado de la velocidad, ni del diámetro a la primera potencia, el valor de f debe reflejar esta discrepancia, al igual que las variaciones de la masa y de la viscosidad, y en consecuencia, del número de Reynolds. Para el caso, se han desarrollado - distintas fórmulas y diagramas, entre los que el Diagrama de Moody es uno de los más prácticos.

5.5 PERIMETRO MOJADO Y RADIO HIDRAULICO.- Se llama perímetro mojado a la línea de intersección de la superficie mojada de un conducto con una sección transversal.

El radio hidráulico de un conducto, es la relación entre el área de una sección transversal y su correspondiente perímetro mojado. Para conductos circulares, ya sea que vayan llenos o a media sección, tiene un valor de:

$$R = \frac{D}{4} \qquad (40)$$

5.6 GRADIENTE HIDRAULICO Y GRADIENTE DE ENERGIA.- La pérdida de carga en un tubo recto se muestra gráficamente en la figura 16, en donde están marcadas dos líneas rectas que representan el gradiente hidráulico y el gradiente de energía.

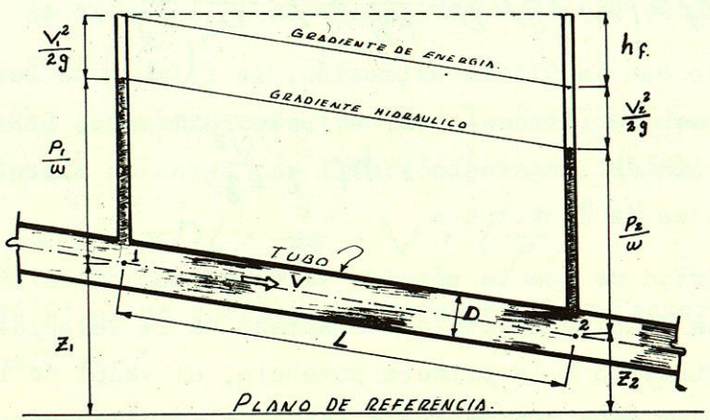


Figura No. 16

El gradiente hidráulico se define como el lugar geométrico de las elevaciones a las cuales el líquido llega en piezómetros colocados sucesivamente en el tubo, y en la representación gráfica, con respecto a un plano, de la suma de las energías por posición y por presión que el líquido posee en todas las secciones del tubo.

El gradiente de energía está sobre el gradiente hidráulico a una distancia igual a la carga por velocidad en cada sección, y es una representación gráfica, con respecto a cualquier plano, de la energía o carga total que el líquido posee.

5.7 OTRAS FORMULAS PARA TUBERIAS.- Si en la fórmula de Darcy-Weisbach (39), substituímos el valor de D, por $4R$ (40), y la relación h_f/L por S, que de acuerdo con la figura # 16, es el valor de la pendiente del gradiente de energía, expresada en metros por metro de tubo, y además despejamos la velocidad, reagrupando en una constante el producto de los valores fijos, se tiene:

$$V = C\sqrt{RS} \qquad (41)$$

conocida como FORMULA DE CHEZY, en la que el coeficiente C es función de las mismas variables que el coeficiente f de la fórmula de Darcy-Weisbach. En consecuencia, se requieren gráficas o tablas de valores empíricos para determinar el valor de C.

5.71 FORMULA DE MANNING.- Otra fórmula derivada de la anterior, y usada originalmente para canales abiertos, pero que actualmente se usa mucho también para tuberías, es la fórmula de Manning, en la cual se han modificado, de acuerdo con estudios experimentales, los valores exponenciales de la fórmula de Chezy. Se expresa en la siguiente forma:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (42)$$

en la que la velocidad y el radio hidráulico, están expresados en metros, y el valor de n se obtiene de tablas elaboradas en función de las características del tubo a emplearse. (Tabla # 5).

5.72 FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS.-La fórmula de Hazen-Wil se ha usado extensamente para diseñar abastecimien de agua en los Estados Unidos. Derivada también de fórmula de Chezy, al igual que la de Manning, su e sión es:

$$V = 0.85\,C \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54} \qquad (4$$

o, en función del gasto:

$$Q = 0.2785 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot S^{0.54} \qquad (4$$

en dónde la velocidad, el diámetro y el radio hidr co están expresados en metros, y el gasto, en metr cubicos por segundo. Como en el caso de la fórmula Manning, el valor de C, se obtiene por medio de ta (Tabla # 5).

TABLA # 5.
FORMULAS DE MANNING Y HAZEN-WILLIAMS.
VALORES DEL COEFICIENTE DE
FRICCION PARA DIVERSOS TIPOS DE TUBOS.

Tipo de tubo	Manning. "n"	H & W "C"
Plástico, cobre, vidrio	.009	145
Asbesto cemento	.010	140
Aluminio	.012	120
Fierro fundido (nuevo)	.011	130
Fierro fundido (usado)	.013	100
Acero galvanizado (a 10 años de uso)	.013	100
Acero soldado (a 10 años de uso)	.012	120
Concreto áspero	.015	90
Concreto común	.013	100
Concreto liso	.011	130
Concreto muy liso	.010	140
Barro vitrificado	.015	90
Lámina corrugada	.024	60

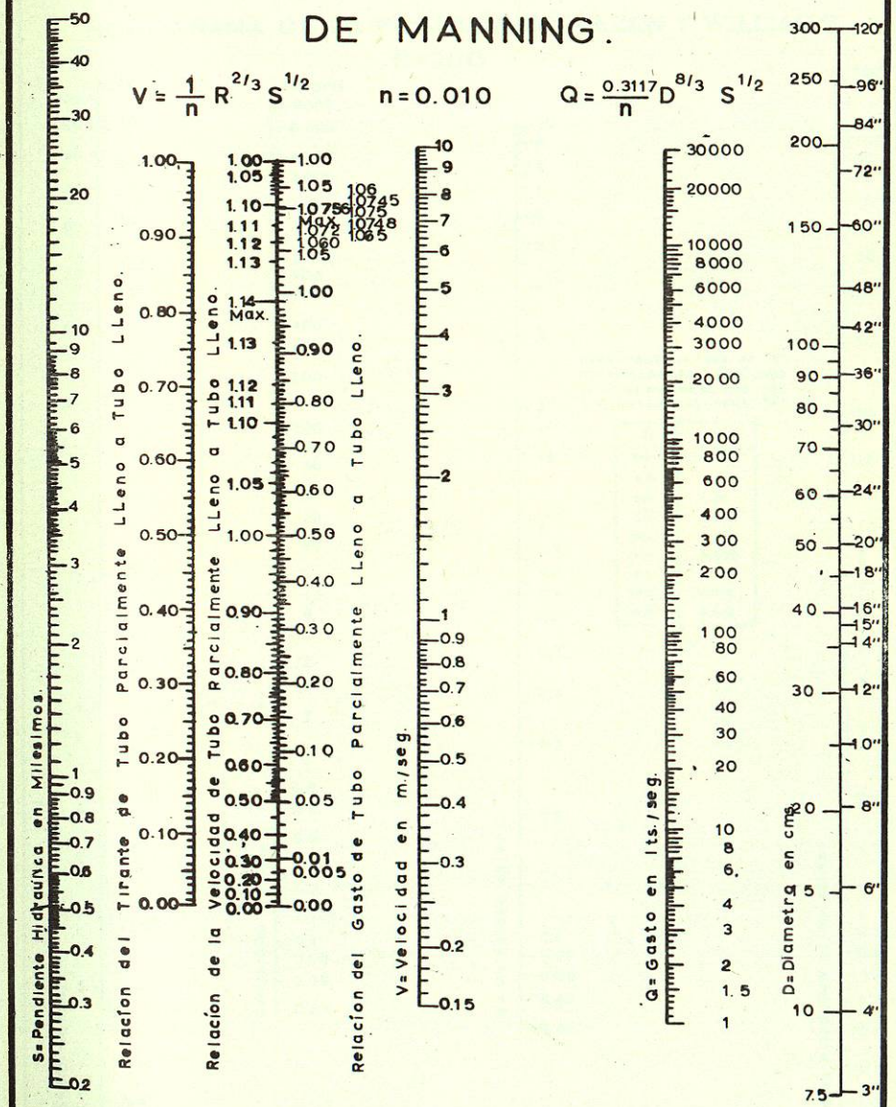
Nota:.- Los valores anotados se usan generalmente en el diseño, aunque pueden variar según las condiciones del tubo y las características del agua.

El uso de las fórmulas de Manning o de Hazen-Williams, se simplifica considerablemente si se elaboran ábacos o nomógramas. Para el objeto, se incluyen al final de estas notas un nomograma de la fórmula de Manning, para "n" .010 y otro para la de Hazen-Williams con "C" igual a 100.

Con el auxilio de estos nomogramas, se pueden encontrar fácilmente los valores de otros coeficientes, encontrando los valores equivalentes en diámetros o en longitud, ya que existe una proporcionalidad entre las pérdidas y los coeficientes de las fórmulas para velocidades de flujo normales.

NOMOGRAMA DE LA FORMULA DE MANNING.

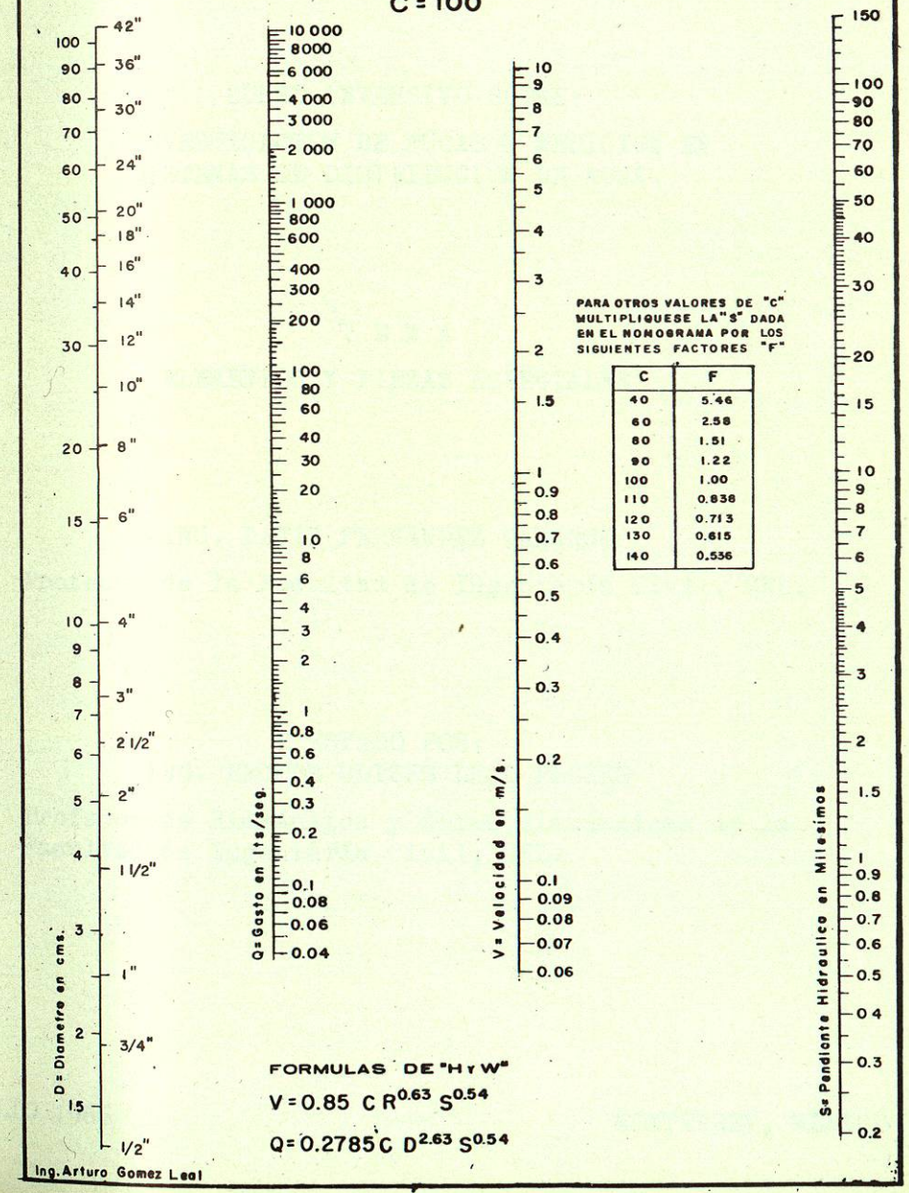
$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ $\quad n = 0.010 \quad$ $Q = \frac{0.3117}{n} D^{8/3} S^{1/2}$



Dibujó:
f. tirado saldivar.

NOMOGRAMA DE LA FORMULA DE HAZEN Y WILLIAMS

C = 100



PARA OTROS VALORES DE "C" MULTIPLIQUESE LA "S" DADA EN EL NOMOGRAMA POR LOS SIGUIENTES FACTORES "F"

C	F
40	5.46
60	2.58
80	1.51
90	1.22
100	1.00
110	0.838
120	0.713
130	0.615
140	0.536

FORMULAS DE "H Y W"

$$V = 0.85\ C\ R^{0.63}\ S^{0.54}$$

$$Q = 0.2785\ C\ D^{2.63}\ S^{0.54}$$

Ing. Arturo Gomez Leal