6.- CIRCUITO EN SERIE - PARALELO.

Esta instalación es posible tanto en circuitos eléctricos como de acueducto. Admite dos modalidades básicas, a saber:

a)- En una serie típica se intercala un circuito menor en paralelo, como en la figura 208.

b)- Varias series se instalan en paralelo, figura 209.

Adoptamos ahora un tipo de dibujo más convencional, en el que aparece a la izquierda el voltaje V_T ó diferencia de potencial entre los extremos A y B. En la figura 208, una de las resistencias de la serie, se ha ramificado en paralelo.

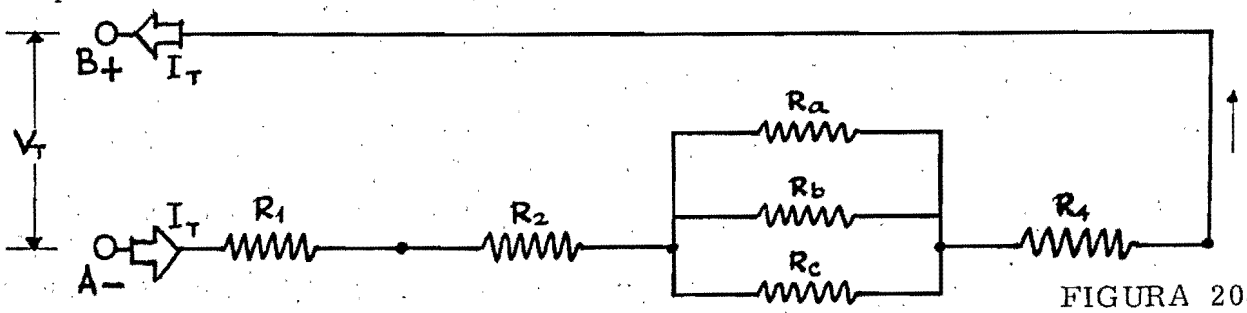


FIGURA 208

Como en el circuito total en serie, I_T es constante, significa que al pasar esa corriente por la parte en paralelo (resistencias R_a, R_b y R_c) se reparte la corriente entre las tres resistencias y sale el mismo valor I_T de entrada.. La resistencia de la parte en paralelo es:

$$R_3 = 1 \div \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \right)$$

Se sustituye esa parte por la resistencia R_3 y se resuelve la serie de la manera conocida (como en la figura 206). Ahora en la figura 209, aparecen varias series diferentes, instaladas en paralelo, también expresadas en un dibujo convencional y sencillo, en el que se omite la batería.

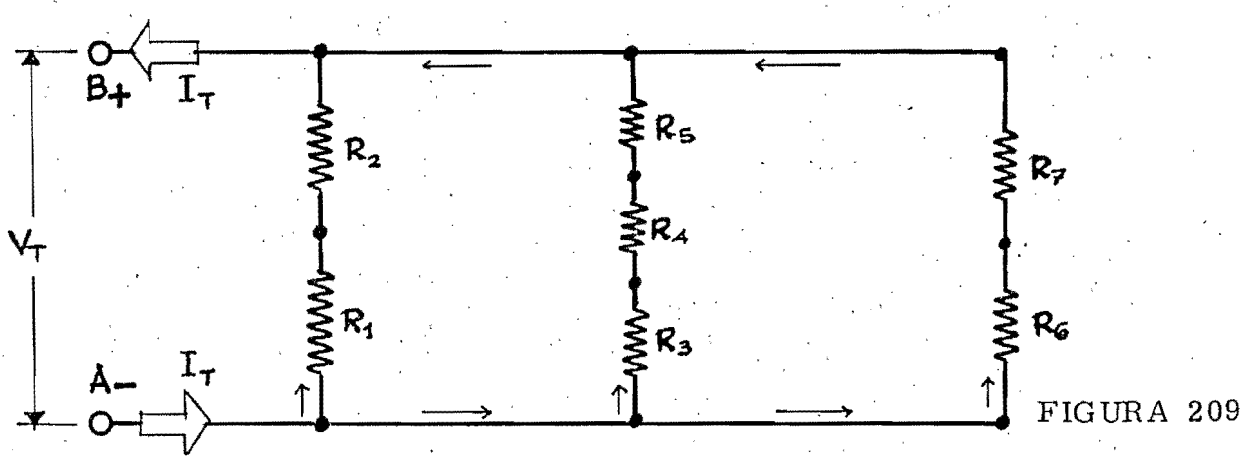


FIGURA 209

La primera serie tiene las resistencias R_1 y R_2. La segunda, comprende R_3, R_4 y R_5 y la tercera está compuesta por R_6 y R_7. Están instaladas en paralelo porque tienen puntos coincidentes de partida y de llegada (A y B respectivamente).

Basta resolver separadamente cada serie de manera que al final se obtiene un típico sistema en paralelo con sólo tres resistencias como en la figura 207.

Después de este paréntesis, retornamos a la información relativa a las redes de acueducto.

7.- TUBERIAS EQUIVALENTES.

Aunque esta clase de problema ya ha sido resuelto anteriormente, nos conviene hacer un rápido repaso y puntualizar los casos:

a)- Una tubería es equivalente a otra.

b)- Una tubería es equivalente a varias.

c)- Una tubería es equivalente a un accesorio.

Estudiemos someramente los tres casos, utilizando las herramientas conocidas.

a)- Una tubería es equivalente a otra.

- Para que dos tuberías de diferentes diámetros y longitudes sean equivalentes, deben producir la misma pérdida de carga hf entre sus extremos, cuando conducen el mismo caudal Q. (El máterial es el mismo).

  Por lo tanto: $hf = J_1 \cdot L_1 = J_2 \cdot L_2$

  Para la tubería original se conocen Q, D_1 y L_1; en el nomograma se determina J_1 y por consiguiente se obtiene $hf = J_1 \cdot L_1$.

  Para la tubería equivalente, se conoce Q y se puede asignar D_2 o L_2 según convenga, pués existen las dos alternativas.

- En caso de fijar previamente D_2, entonces este valor y Q dan J_2 para la nueva tubería, cuya longitud será $L_2 = hf/J_2$. Cuando se aplica p.e. la fórmula Universal, entonces:

  Para la tubería original: $hf = K Q^2 . L_1/D_1^5$ (Q, L_1 y D_1 conocidos)

  Para la tubería equivalente: $hf = K Q^2 . L_2/D_2^5$

- En caso de asignar D_2 para la tubería equivalente, se debe hallar L_2.

  Igualando las dos expresiones para hf y despejando L_2 se obtiene:

  $$L_2 = L_1 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$$ L_2 = Longitud de la tubería equivalente.

- Si por el contrario, se ha prefijado L_2 y se quiere hallar D_2; basta despejar este diámetro de la expresión propuesta:

$$D_2 = \left(\frac{L_2}{L_1} \cdot D_1^5\right)^{1/5} = \left(\frac{L_2}{L_1} \cdot D_1^5\right)^{0,2}$$

Nota: En esta explicación se dá por supuesto que no cambia la naturaleza o material de la tubería, es decir, el coeficiente C de H-Williams es el mismo para ambas. También el factor K de la fórmula Universal no varía (involucra el coeficiente de rozamiento f_o).

Por otra parte, téngase presente que se trata de equivalencia hidráulica y no geométrica.

B)- Una tubería es equivalente a varias

Nos remitimos a los problemas típicos No. 1 al No. 4 resueltos en su oportunidad para instalaciones en serie y en paralelo. Simplemente nos limitaremos a recordar lo siguiente :

a)- Una tubería de cierto diámetro y de cierta longitud es equivalente a una serie, cuando es capaz de conducir el mismo caudal Q que la serie con igual pérdida de carga total hf entre sus extremos. (El material de las tuberías es idéntico).

b)- Una tubería (de cierto diámetro y longitud) es equivalente a una instalación en paralelo, cuando el caudal en ella es la suma de los caudales en las ramas y produce igual "caída de presión" entre sus puntos extremos. (El material de las tuberías es siempre el mismo).

Veamos enseguida un caso particular de gran interés práctico.

VARIAS TUBERIAS DE IGUAL DIAMETRO SON EQUIVALENTES A OTRA.

Este problema práctico, es equiparable a una instalación en paralelo y se resuelve como tal. En efecto :

Dada una tubería de cierto diámetro mayor D y longitud L, sustituírla por un número N de tuberías de menor diámetro d que tengan todas la misma longitud de la primera y sean del mismo material.

Para la tubería original: Se conoce el diámetro D y la longitud L la cual puede igualarse a 1 si se quiere.

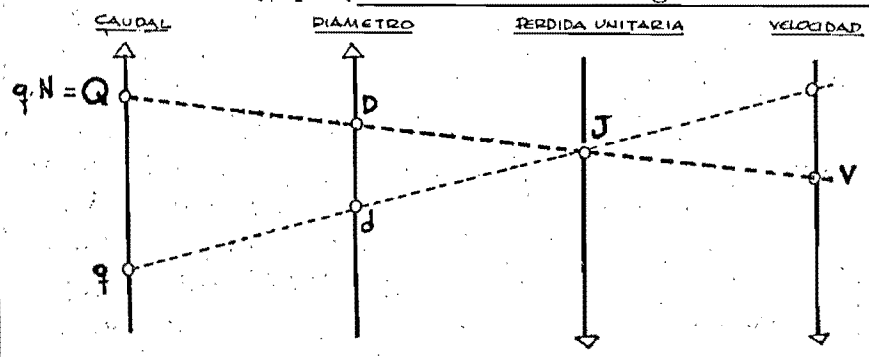
Suponemos un caudal Q conveniente (equivale a suponer una velocidad puesto que Q = A . V). El caudal puede también asignarse por tablas.

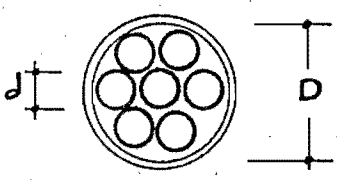
En un nomograma para el C adecuado, con D y Q se obtiene J. Con este valor se averigua hf = J.L

Para cada una de las tuberías iguales: Se trata de hallar el número N de tuberías que equivalen a la original, cuando d es el diámetro seleccionado para ellas.

Como se trata de una "instalación en paralelo", la pérdida de carga hf es igual para cualquiera de las tuberías. Entonces hf = J. L

Si la longitud L es igual para todas, forzosamente J también lo será; en consecuencia, en el nomograma se localiza el diámetro d (fig. 210) se une con el valor J ya encontrado y se obtiene el valor del menor caudal q. Finalmente N = Q/q (No. de tuberías iguales buscado).





La equivalencia es hidráulica; no geométrica.

FIGURA 210

Como es razonable, este problema también se resuelve por medio de fórmulas. Para no repetirlas, véase la expresión general de la página 345, referente a instalaciones en paralelo.

Si en esa expresión D y L corresponden a la tubería original y los demás diámetros son todos iguales a d y las longitudes son idénticas a L, entonces simplemente :

$$D^{2,5} = N \cdot d^{2,5} \quad \therefore \quad N = \left(\frac{D}{d}\right)^{2,5} = \sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^{5}}$$

En caso de aplicar la fórmula de H-Williams, puede escribirse :

Tubería original : $Q = 0,2785\ C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$

Una tubería pequeña : $q = 0,2785\ C \cdot d^{2,63} \cdot J^{0,54}$

A pesar de que Q y q no se conocen, puede dividirse la primera por la segunda y como C y J son constantes, entonces :

$$N = \frac{Q}{q} = \left(\frac{D}{d}\right)^{2,63}$$

No se necesita conocer Q pués basta la relación de diámetros. Por un procedimiento similar, empleando la fórmula Universal, se llega al mismo resultado escrito arriba.

Influencia del cambio de material en las tuberías.

Qué sucedería si la tubería original es de un material para el cual C = 100 y se quiere sustituír por varias tuberías de menor diámetro d y la misma longitud, pero más lisas interiormente ?. Esto quiere decir que $C_1 > 100$ y obviamente resultará un menor número de tuberías, que en el caso anterior ($N' < N$) porque aumenta la capacidad de conducción de las tuberías.

Puede comprobarse p.e. de esta manera :

Tubería Original :

$C = 100 \qquad Q = 0,2785 \cdot 100 \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$

Una tubería pequeña:

$C_1 > 100 \qquad q_1 = 0,2785 \cdot C_1 \cdot d^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad \therefore \quad q_1 > q$

Al dividir la primera por la segunda, se obtiene un número N' :

$$N' = \frac{100}{C_1}\left(\frac{D}{d}\right)^{2,63} \quad \text{o también} \quad N' = \frac{100}{C_1} \cdot N$$

En esta última como $C_1 > 100$, resulta $N' < N$. En conclusión, el número de tuberías es ahora menor, más "económico".

Nota: El cambio de material puede ser extendido a gran cantidad de problemas para resolver por fórmulas o nomogramas, pero no hemos insistido en este aspecto, para simplificar los problemas.

C)- Una tubería es equivalente a un accesorio.

Esto es lo que se conoce como "longitud equivalente de accesorios" o también "desarrollos virtuales de accesorios".

Recordemos por qué una resistencia localizada tal como un codo, te, válvula, entrada o salida de un tanque, etc., puede ser expresada en términos de longitud equivalente de tubería del diámetro requerido.

Así, en un circuito de cierto diámetro, compuesto por tramos rectos y accesorios, para el cálculo de la pérdida de carga total entre sus extremos, resulta muy práctico "enderezar" el circuito, es decir, convertirlo en una larga tubería del mismo diámetro conformada ahora por tramos rectos reales y por otros "imaginarios" o "virtuales" que son los correspondientes a los accesorios. Ese desarrollo es posible gracias a que un accesorio puede ser convertido en una tubería recta del diámetro que se necesite, y de una longitud tal, que dé lugar a la misma pérdida de carga que el accesorio en cuestión.

Así pués, como se recuerda por la Primera Parte, la expresión general para la pérdida de carga en una resistencia localizada, es la siguiente :

$hf = K' . v^2/2g$ en m c.a.

v = Velocidad media en la tubería a la cual está vinculada la resistencia.

K' = Es un coeficiente adimensional, propio para cada accesorio. Se encuentra debidamente tabulado. Para simplificar puede decirse que depende principalmente de la forma del accesorio ("resistencia de forma") aunque también influyen otros factores según el tipo de flujo contemplado.

Si una tubería equivalente a ese accesorio debe producir igual pérdida de carga hf entre sus extremos, entonces de acuerdo con la fórmula Universal expresada en función de la velocidad, se puede escribir :

$$hf = f_o . \frac{L}{D} . v^2/2g \quad \text{en m c.a.}$$

Igualando las dos expresiones para la pérdida de carga hf :

$$K' . v^2/2g = f_o . L/D . v^2/2g \quad \therefore \quad K' = f_o . L/D$$

Por lo tanto se concluye que la longitud equivalente de un accesorio que tenga un factor K' de cierto valor, puede ser expresada como la longitud L de una tubería que tenga un diámetro D y un coeficiente de rozamiento f_o, es decir :

$$L = \frac{K'}{f_o} . D \qquad \text{Longitud equivalente de un accesorio}$$

Con esta fórmula se preparan tablas muy conocidas y de gran empleo en la práctica. Obsérvese que si a la relación K'/f_o se le designa por un número n, entonces L = n . D ; L = n veces el diámetro.
L y D se deben expresar en las mismas unidades para efectos de la conversión.

8.- ALGUNAS NOCIONES SOBRE REDES EXTERIORES

Básicamente estas redes son de dos clases :

a)- Redes ramificadas (Figura 211)
b)- Redes tipo malla o anillo (Figuras 212).

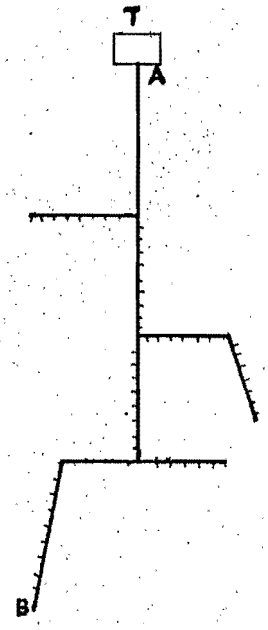
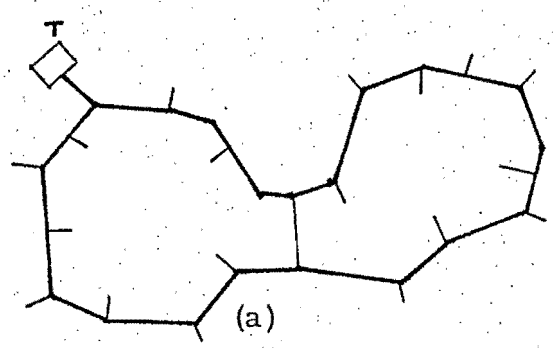
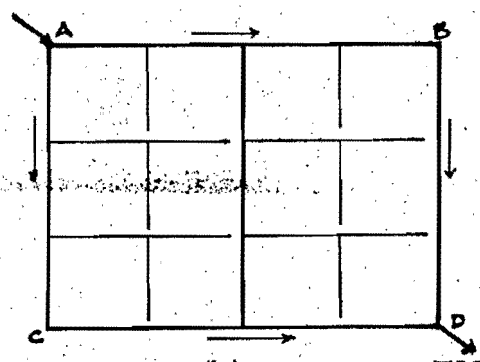
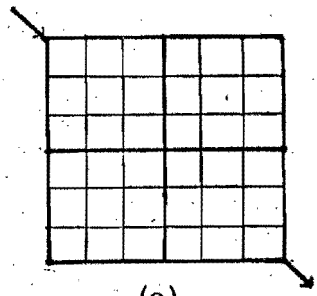


FIGURA 211





(b)



(c)

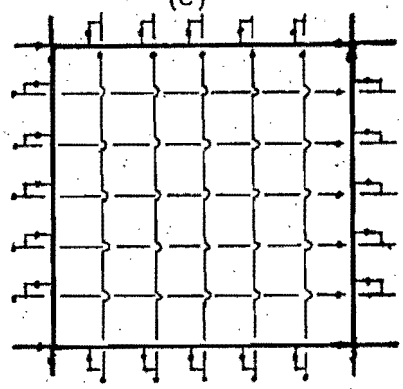


FIGURA 212 (d)

Las redes ramificadas pueden ser usadas en pequeños poblados. El caudal siempre avanza desde A hacia B, pero como es paulatinamente "distribuído en la distancia", no será constante. De allí que el sistema no sea estrictamente una serie, tal como la hemos entendido, puesto que ahora cada tramo tiene derivaciones laterales. Calculada la demanda de los habitantes Q en litros/seg se divide por la longitud total de la red, de modo que se obtiene un caudal unitario q en litros/seg x metro. Este caudal unitario es básico para el cálculo de la red ya sea ramificada o tipo malla.

En definitiva, en las redes ramificadas se conoce el sentido del caudal en un tramo cualquiera.

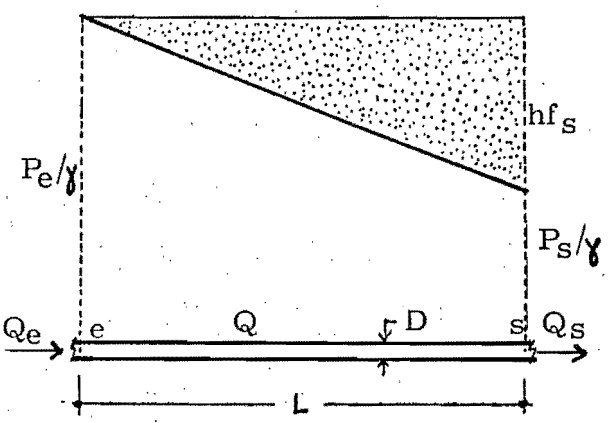
Las redes tipo malla o anillo pueden tener formas regulares o irregulares como en las figuras 212. El cálculo básicamente se hace para las tuberías dibujadas en línea gruesa como si se tratara de una instalación en paralelo a la cual pueden ser asimiladas a pesar de que exista "distribución en la distancia", debido a que la pérdida de carga hf p.e. en la figura 212b, debe ser la misma cuando se siguen caminos simétricos como ABD y ACD con distribución equilibrada. Se dice entonces que el sistema cierra. Idealmente la diferencia de pérdidas por los dos caminos de un circuito, debe ser cero, aceptándose por normas una discrepancia hasta de 1 m c.a. Las tuberías menores dependientes de la malla principal, generalmente no exigen un cálculo estricto puesto que las Normas establecen diámetros mínimos admisibles para longitudes razonables y determinado valor de C.

Entre nosotros se usan estos valores: diámetro mínimo 3", C= 140, velocidad máxima 2 m/seg y presión mínima: 15 mc.a., principalmente. En este caso es también válido el concepto de caudal unitario q en litros/seg x metro. Veamos enseguida en qué consiste la "distribución uniforme en la distancia".

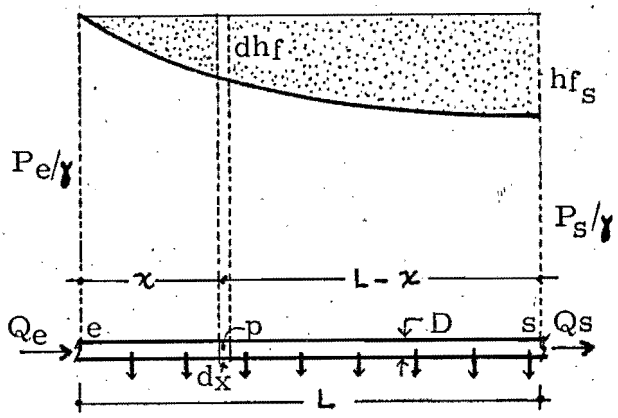
9.- DISTRIBUCION UNIFORME EN EL RECORRIDO L

(Véase el Manual de Hidráulica de Azevedo-Alvarez, Edit. Harla, México, 1976, en el cual se ha basado en parte esta información).

Para empezar, es importante comparar las dos figuras siguientes:



$Q_e = Q_s$ FIGURA 213



$Q_e > Q_s$ FIGURA 214

FIGURA 213: No hay distribución uniforme en el recorrido L

Es el caso corriente de una tubería de diámetro D y longitud L que conduce un caudal constante Q, de modo que el caudal de entrada Q_e es igual al caudal de salida Q_s y la pérdida de carga es hf_s entre los extremos e y s, (cuando la presión en la entrada es P_e/γ).

FIGURA 214: Hay distribución uniforme en el recorrido L

Esto significa que el caudal de entrada Q_e puede ser parcial o totalmente distribuído a lo largo del recorrido L. En el primer caso, el caudal de salida será $Q_s < Q_e$ de tal modo que el caudal total distribuído será :

$$Q_e - Q_s = Q$$

Como la distribución ha sido uniforme, entonces también :

$Q = q \cdot L$ En la cual q = caudal unitario en litros seg x metro.

En el segundo caso, el caudal de salida será nulo, es decir, $Q_s = 0$ y por lo tanto :

$$Q_e - Q_s = Q_e - 0 = Q_e = q \cdot L$$

En los problemas comunes de redes, interesan las dos situaciones, cuando se trata de una tubería "distribuidora" que luego empalma con otra de función similar; o también puede tratarse de una tubería distribuidora terminal p.e., en una red ramificada.

Antes de proceder a hacer una demostración, es fácil intuír en la figura 214 que si la tubería tiene un diámetro constante y el caudal es progresivamente reducido de manera uniforme (equivale a reducir la velocidad del agua) también la pérdida de carga en cada recorrido unitario es menor que en la figura 213, como función del menor caudal existente. Al final, la pérdida total hf obviamente resultará menor que en la figura 213.
En conclusión: en una misma tubería, la pérdida de carga es menor cuando existe distribución uniforme a lo largo del recorrido, y mayor cuando no se dá esa circunstancia, es decir, el caudal Q es constante.

A- Cálculo de la pérdida de carga hf cuando hay distribución uniforme

En la figura 214 podemos plantearnos inicialmente este problema:

Cuál será el valor de la pérdida de carga hf en la tubería de longitud L sabiendo que se ha realizado una distribución uniforme de caudal a lo largo del recorrido de tal manera que exista un caudal de salida $Q_s \neq 0$?.

Para resolver este problema tomemos en la figura 214 un punto intermedio p de la tubería, situado en un pequeño tramo de longitud dx, a una distancia x del origen e.

De acuerdo con la fórmula Universal, la pérdida de carga en ese pequeño tramo será una función del cuadrado del caudal existente en el punto p, o sea Q_p^2 :

$$dhf = K \cdot Q_p^2 \cdot \frac{dx}{D^5} \quad \text{o simplemente } dhf = K.Q_p^2 . dx \text{ (K incluye } D^5\text{).}$$

El caudal en el punto p es igual al caudal de entrada, menos el caudal distribuído en el recorrido x ; por lo tanto :

$$Q_p = Q_e - q \cdot x$$

(También podría escribirse $Q_p = Q_s + q(L - x)$ es decir, Q_p es igual al caudal de salida, más el caudal que falta todavía por distribuír).

Continuemos con la primera expresión, más sencilla para Q_p.
Basta ahora integrar la expresión arriba entre los límites de x, para encontrar la pérdida de carga hf en todo el recorrido. En efecto :

$$hf = \int_0^L K.(Q_e - q.x)^2 dx = K.\int_0^L (Q_e^2 - 2Q_e.q.x + q^2.x^2)\, dx$$

$$hf = K.\left[Q_e^2 . x - 2Q_e . q . x^2/2 + q^2 . x^3/3\right]_0^L \quad \text{y finalmente :}$$

$$\boxed{hf = K.\left[Q_e^2 - Q_e . q . L + q^2 . L^2/3\right] . L \qquad \text{(Pérdida total en L en función de } Q_e\text{).}} \quad (1)$$

Si en lugar de encontrar hf en función del caudal "aguas arriba" o de entrada Q_e, la averiguamos en función del caudal de salida Q_s o de "aguas abajo" entonces se llega a una expresión semejante para hf, a saber :

$$\boxed{hf = K.\left[Q_s^2 + Q_s . q . L + q^2 . L^2/3\right] . L \qquad \text{(Pérdida total en L en función de } Q_s\text{).}} \quad (2)$$

(para obtenerla, se ha empleado $Q_p = Q_s + q(L - x)$ como se indicó). Naturalmente si la pérdida de carga es igual, averiguada de las dos maneras, en consecuencia las dos expresiones son equivalentes. Como se observa, estas expresiones encierran una especie de cuadrado de un caudal, escrito en una forma menos acostumbrada. Por ello, la explicación siguiente se orienta en el sentido de introducir una simplificación práctica a este problema para definir un "caudal equivalente" al encerrado en el paréntesis.

En vista de que para el cálculo de redes, el valor más definitivo es el de caudal y estamos acostumbrados a manejarlo en expresiones tan simples como la fórmula Universal :

$$hf = K \cdot Q^2 \cdot L \qquad \text{(K incluye el diámetro)}$$

De la misma manera, la primera expresión obtenida para hf en funcion de Q_e, puede escribirse en forma análoga, es decir, se considera que la pérdida hf es producida por un Caudal Ficticio o Caudal de Cálculo con el fin de simplificar los cálculos. Por lo tanto puede escribirse :

$$Q_F^2 = \left(Q_e^2 - Q_e \cdot q \cdot L + q^2 \cdot \frac{L2}{3} \right) \qquad Q_F = \text{Caudal Ficticio}$$

La parte encerrada en el paréntesis es muy semejante al siguiente cuadrado :

$$\left(Q_e - \frac{q \cdot L}{\sqrt{3}} \right)^2 = \left(Q_e^2 - 2\, Q_e \cdot \frac{q \cdot L}{\sqrt{3}} + q^2 \cdot \frac{L2}{3} \right) = Q_F^2$$

De la comparación de estas expresiones, se concluye que el Caudal Ficticio o de Cálculo está comprendido entre dos valores extremos, así :

$$\left(Q_e - \frac{q \cdot L}{\sqrt{3}} \right) < Q_F < \left(Q_e - \frac{q \cdot L}{2} \right) \qquad \text{o también :}$$

$$\left(Q_e - 0{,}58\, q \cdot L \right) < Q_F < \left(Q_e - 0{,}50\, q \cdot L \right)$$

Adoptando un valor medio aproximado para Q_F, se tiene :

1a)- $$\boxed{Q_F = Q_e - 0{,}55\, q \cdot L}$$ (en función de Q_e)

Por un razonamiento casi idéntico, empleando ahora la expresión de hf en función del caudal de salida Q_s de la página anterior, el caudal ficticio también puede darse en los siguientes términos :

2a)- $$\boxed{Q_F = Q_s + 0{,}55\, q \cdot L}$$ (en función de Q_s)

Hemos encontrado dos maneras de estimar el caudal ficticio o de cálculo, considerado "constante" en la tubería. Sin embargo, cabe todavía una tercera manera muy sencilla, que es la normalmente usada (p.e. en redes ramificadas) para asignar el caudal de cálculo. Basta entonces sumar las dos expresiones arriba, para anular el término 0,55 q.L y conseguir la siguiente :

3a)- $$\boxed{Q_F = \frac{Q_e + Q_s}{2}}$$

Q_F = Caudal Ficticio o de cálculo.
Q_e = Caudal de entrada ("aguas arriba").
Q_s = Caudal de salida ("Aguas abajo").

Veamos a continuación el caso particular en que $Q_s = 0$.

B- Hallar la pérdida hf cuando hay distribución uniforme y $Q_s = 0$.

En la segunda expresión para hf consignada al final de la página 357 se obtuvo la pérdida de carga en función del caudal de salida Q_s, a saber :

$$hf = K.\left[Q_s^2 + Q_s \cdot q \cdot L + \frac{q2\ L^2}{3} \right] \cdot L$$

Cuando en esta expresión se hace $Q_s = 0$, entonces simplemente :

$$hf = K\ (\frac{q^2 . L^2}{3}) . L$$

La interpretación de esta fórmula puede hacerse así:

Como es sabido, siempre que hay distribución uniforme, el caudal repartido en el recorrido es la diferencia $Q_e - Q_s = Q = q . L$.

Cuando $Q_s = 0$, entonces $Q_e = q . L$; todo el caudal de entrada se reparte en el recorrido L y no existe caudal de salida.

En consecuencia, en la expresión arriba puede escribirse :

$$hf = K . \frac{Q_e^2 . L}{3}$$

Esto significa, que en este caso, la pérdida hf es la tercera parte de la contemplada en la figura 213, en la cual el caudal Q_e es constante, por no existir "distribución en la distancia".

Finalmente, el caudal ficticio es ahora : $Q_F = \frac{Q_e}{\sqrt{3}} \cong \frac{Qe}{2}$

C- Significado Numérico de $Q = q . L$.

En el cálculo de redes exteriores de acueducto la definición de Q es de la mayor importancia. Este caudal que va a ser distribuído de manera uniforme, atiende la demanda de agua para el consumo normal y corresponde al producto q.L.

De conformidad con los diferentes criterios establecidos en los textos de Hidráulica o en las Normas locales, es preciso definir el volumen demandado por día, a partir del volumen que se ha fijado por persona y por día. Luégo se aplica un coeficiente de mayoración para obtener el volumen probable en aquellos días en que el consumo puede ser máximo. Este volumen se divide por 86.400 seg/día para conseguir Q en litros/seg. Así por ejemplo, supongamos que una población tendrá unos 3500 habitantes, con un consumo medio de 160 litros/pers x día :

Volumen medio por día: 3500 x 160 = 560.000 litros/día. Este volumen se afecta del producto de una serie de coeficientes, el cual ya efectuado, suponemos que es igual a 1,5. Por lo tanto :
Volumen en los días de mayor consumo: 560.000 x 1,5 = 840.000 litros/día.
El caudal Q en litros/seg es : $\frac{840.000}{86.400} \frac{\text{litros}}{\text{seg}} \cong 10$ litros/seg

Si la longitud total de la red es por ejemplo de 4.000 metros, entonces el caudal unitario será $q = Q/L = 10/4000 = 0,0025$ litros/seg x metro.

Nota: Otros consumos especiales deben ser contabilizados separadamente, p.e. industrias, hidrantes, etc. ; son consumos localizados, no por distribuír.

10.-REDES RAMIFICADAS.

De manera muy condensada y sólo como aproximación al cálculo de estas redes (con apariencia de series), veamos el caso más sencillo de una red plana (para no introducir cotas geométricas en los tramos; sólo se hará para el tanque). Esta red atiende una pequeña población con casas de dos pisos, por lo cual la mínima presión admisible es 15 m c.a.* en el punto i más desfavorable (más alejado del tanque). Como incógnitas aparecen los diferentes diámetros de los tramos. La altura del tanque ha sido fijada razonablemente o puede ser corregida por el cálculo. Se conocen también el caudal Q por distribuír y la longitud total L de la red, de tal modo que $q = Q/L$.

I)- Determinación del Caudal Ficticio o de Cálculo en cada tramo.

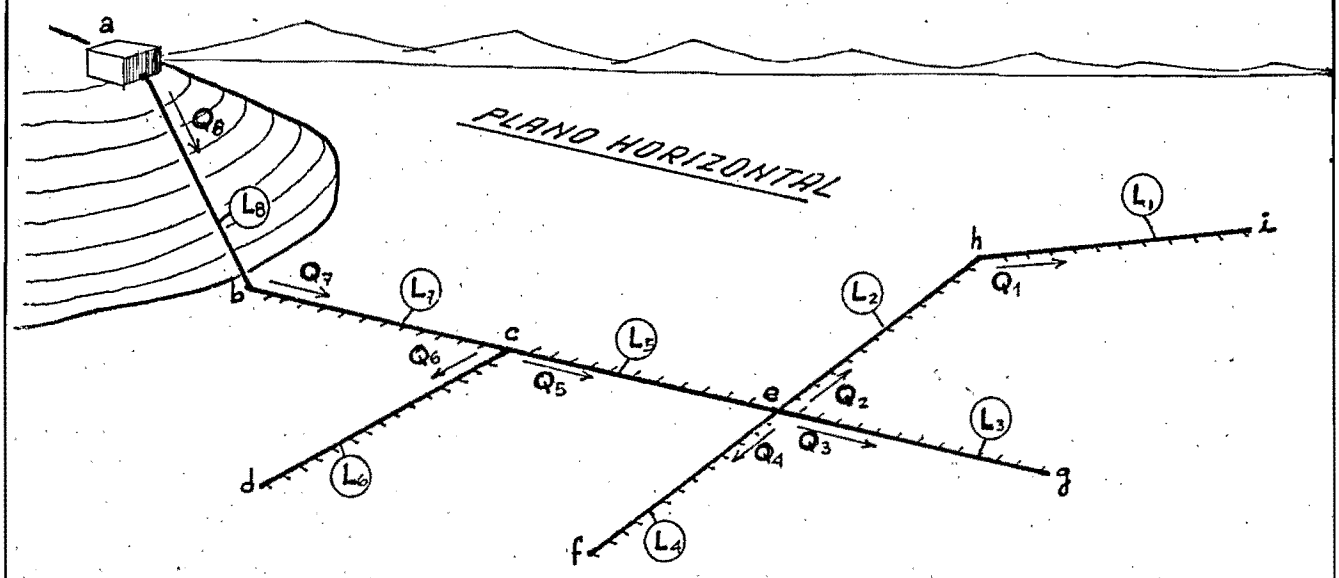


FIGURA 215

1o)- Cuadro auxiliar para definir el Caudal de Cálculo en cada tramo.

Tramo metros	Caudal de salida Q_s	Caudal distribuído	Caudal de entrada Q_e	Caudal Ficticio $Q_F = (Q_e + Q_s)/2$
L_1	0	$q.L_1$	Q_1 (1)	$Q_{F1} = (Q_1 + 0)/2$
L_2	Q_1	$q.L_2$	Q_2	$Q_{F2} = (Q_2 + Q_1)/2$
L_3	0	$q.L_3$	Q_3	$Q_{F3} = (Q_3 + 0)/2$
L_4	0	$q.L_4$	Q_4	$Q_{F4} = (Q_4 + 0)/2$
L_5	$Q_2 + Q_3 + Q_4$	$q.L_5$	Q_5	$Q_{F5} = (Q_5+Q_2+Q_3+Q_4)/2$
L_6	0	$q.L_6$	Q_6	$Q_{F6} = (Q_6 + 0)/2$
L_7	$Q_5 + Q_6$	$q.L_7$	Q_7	$Q_{F7} = (Q_7+Q_5+Q_6)/2$
L_8	Q_7	cero	$Q_8 = Q_7$	$Q_{F8} = (Q_8 + Q_8)/2$

(1)
Nota: El caudal de entrada en cualquier tramo es igual al caudal de salida del tramo más el caudal distribuído por el mismo: $Q_e = Q_s + q.L$.

* Puede aplicarse la expresión:
$P_{min} = (3N + 6)\,1{,}2$ en m c.a. N = No. de Pisos.
(Fórmula adoptada por la Empresa de Acueducto de Bogotá).

II)- Definición de las cotas piezométricas y de las presiones disponibles.

(La red plana coincide con el plano de referencia, la única cota geométrica para considerar es la del tanque; las demás se suponen iguales a cero).

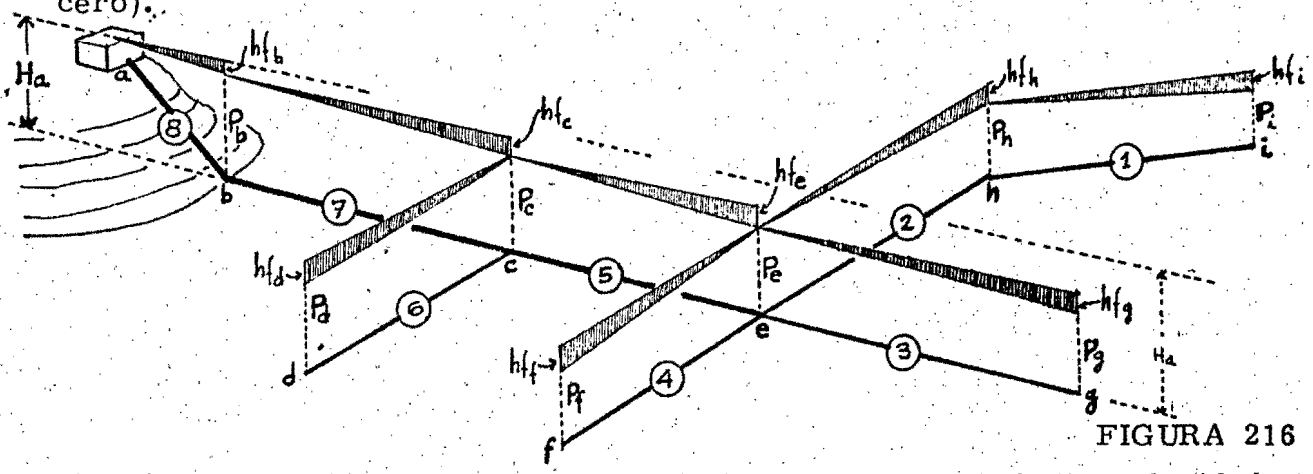


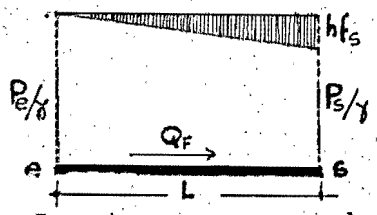
FIGURA 216

Con los caudales ficticios del cuadro anterior y adoptando bajas velocidades (en este caso no mayores de 1 m/seg), se determinan los diámetros de los tramos y la pérdida de carga unitaria en cada uno. Los cálculos continúan como se indica en el siguiente cuadro auxiliar. Téngase presente la nota al pié del cuadro; además recuérdese que en el punto i más desfavorable del sistema, en este caso, la presión debe ser la mínima especificada. (P_i = 15 m c.a.).

2o)-Cuadro auxiliar para definir las cotas piezométricas:

	Tramo	Q_F	V (baja)	D	J	hf = J x L	Presión de salida P_s/γ (m c.a.)	Presión de entrada $P_e = P_s + hf_s$ (m c.a.)
*	L_1 h - i	Q_{F1}	V_1	D_1	J_1	hf_i	$P_i = 15$	$P_h = P_i + hf_i$
*	L_2 e - h	Q_{F2}	V_2	D_2	J_2	hf_h	P_h	$P_e = P_h + hf_h$
	L_3 e - g	Q_{F3}	V_3	D_3	J_3	hf_g	P_g	$P_e = P_g + hf_g$
	L_4 e - f	Q_{F4}	V_4	D_4	J_4	hf_f	P_f	$P_e = P_f + hf_f$
*	L_5 c - e	Q_{F5}	V_5	D_5	J_5	hf_e	P_e	$P_c = P_e + hf_e$
	L_6 c - d	Q_{F6}	V_6	D_6	J_6	hf_d	P_d	$P_c = P_d + hf_d$
*	L_7 b - c	Q_{F7}	V_7	D_7	J_7	hf_c	P_c	$P_b = P_c + hf_c$
*	L_8 a - b	Q_{F8}	V_8	D_8	J_8	hf_b	P_b	$H = P_b + hf_b$

Nota: En cualquier tramo horizontal (Z = 0) debe cumplirse:



$$\boxed{P_e/\gamma = P_s/\gamma + hf_s}$$ en m c.a.

Presión de entrada = presión de salida + pérdida en L.

(Véanse otras observaciones en página siguiente).

* Los tramos marcados con asterisco, constituyen el "camino crítico" hasta la salida más desfavorable del sistema.

Observaciones al cuadro auxiliar anterior.

a)- Los diámetros mínimos admisibles de tramos secundarios tales como L_1, L_3, L_4 y L_6 dependen a veces más de las Normas que del propio cálculo. En general, no deben ser inferiores a 2".

b)- Existe un tronco principal compuesto por los tramos L_8, L_7, L_5, L_2 y L_1 que es el "camino crítico" hasta el extremo considerado como más desfavorable en el sistema. En la figura es el punto i del tramo L_1.

c)- Hay tablas para redes exteriores en las cuales a un diámetro de tubería corresponde una velocidad recomendable para el agua. Esta velocidad debe ser baja; valores usados son 0,25 - 0,40 - 0,50 - 0,60 .... y hasta 1,0 m/seg (para 4"); como máximo se admite 2 m/seg sólo en diámetros mayores.

Se comprende esta limitación por cuanto las pérdidas de carga, tanto continuas como localizadas, son proporcionales a V^2.

d)- En el cuadro 2o. no se han incluído pérdidas localizadas, debidas a accesorios, válvulas, etc. En un cálculo más estricto, podrían ser consideradas, sobretodo a lo largo del "camino crítico" mencionado.

e)- Para definir las cotas piezométricas, en los "nudos" del sistema, se aplica a cada tramo, la ecuación de Bernoulli de tal manera que, en general :

$$Z_e + P_e/\gamma + V_e^2/2g = Z_s + P_s/\gamma + V_s^2/2g + hf_s$$

Como en la figura 215 hemos propuesto una red completamente plana, las cotas geométricas son iguales a cero. Por otra parte, despreciamos las alturas cinéticas. Por estas razones, hemos aplicado la simple expresión entre los extremos de entrada e y salida s de cada tramo :

$$\boxed{P_e/\gamma = P_s/\gamma + hf_s} \text{ en m c.a.}$$

f)- Solamente en el caso del tanque existe la altura geométrica Z_a; por lo tanto la cota piezométrica en el tanque es como sigue :

$$\boxed{H_a = Z_a + P_a/\gamma} \text{ m c.a.}$$ (Ver figura 217)

H_a = Energía o presión total para consumir en el sistema.

Z_a = Altura geométrica de la salida del tanque.

P_a/γ = Altura media del agua en el tanque (presión "hidrostática").

g)- Se comprende que la energía H_a o presión total disponible en a, debe ser la suficiente para superar todas las resistencias en la red a lo largo del "camino crítico" hasta alcanzar el punto i más desfavorable con la presión mínima especificada para ese punto, (15 m c.a. u otra), tal como se muestra en la figura 217 a continuación.

En la figura 217 se muestran proyectados en un sólo plano vertical, los "planos piezométricos" de los tramos propios del recorrido crítico desde el tanque hasta el punto i :

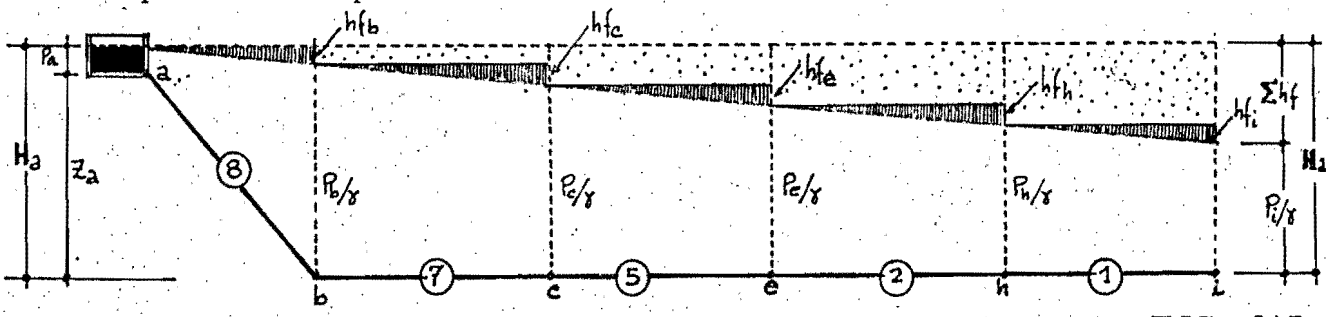


FIG. 217

Como la altura H_a es constante en todo el sistema entonces :

$$H_a = Z_a + P_a/\gamma = P_i/\gamma + \sum hf = \text{constante}$$

La presión total (o energía total) en la entrada debe ser igual a la presión de salida en i, más la suma de pérdidas de carga en el recorrido de a hasta i. Puede resultar que al calcular las pérdidas de carga, se obtenga un valor de P_i/γ menor que el requerido. Se recurre a la reducción de pérdidas por ampliación de uno o más diámetros y se hace la consiguiente comprobación. También es posible aumentar la altura del tanque, pero teniendo en cuenta que al no variar los diámetros, el aumento de presión causado por la elevación del tanque, equivale al incremento del caudal en las tuberías (o sea de la velocidad). Deben conjugarse entonces las alternativas para conseguir la adecuada solución. Recuérdese que $Q^2 = f(H)$.

Casos de redes no planas.

En estos casos, es imprescindible introducir las cotas geométricas de todos los puntos de la red y consignarlas en el cuadro auxiliar de cálculo. Normalmente en estos casos, el punto más desfavorable de la red será el más alto y alejado con relación al tanque, como en la figura 218. Ello da explicación a la denominada "cota máxima de servicio" (Véase el punto d en la figura 218):

FIG. 218

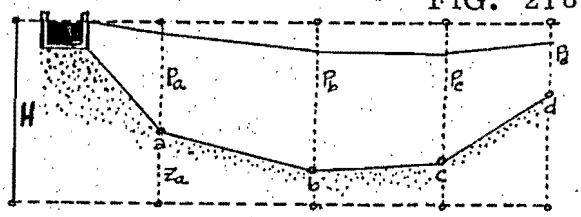
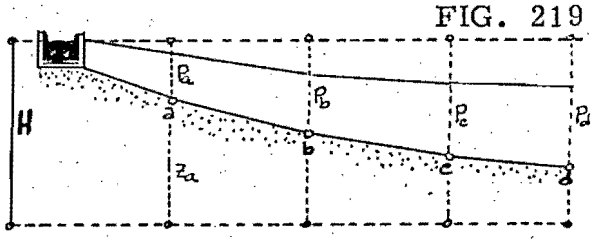


FIG. 219



Hay casos de redes descendentes, en los cuales un punto como "a" resulta ser el más desfavorable porque su cota geométrica es muy semejante a la del tanque (Fig. 219). Es preciso garantizar que la presión mínima en "a" sea la especificada. Los puntos más bajos de la red, se ven favorecidos por su menor cota geométrica, mientras se controlen adecuadamente las pérdidas de carga. En el cálculo de las cotas piezométricas se empleará el criterio siguiente :

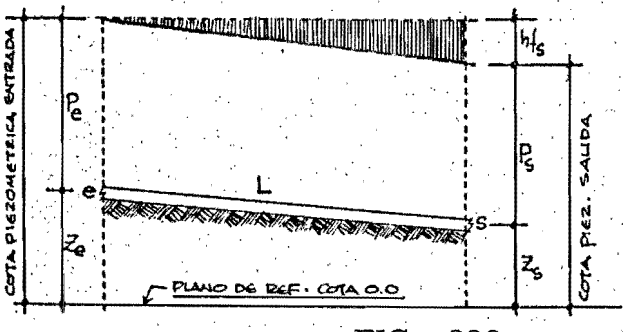


FIG. 220

$$Z_e + P_e/\gamma = Z_s + P_s/\gamma + hf_s \quad \text{m c.a.}$$

"La cota piezométrica de entrada es igual a la cota piezométrica de salida, más las pérdidas de carga en el recorrido L, desde el punto e hasta el punto s". Z_e y Z_s son las cotas geométricas que intervienen, como se vé en la figura 220.

11.- REDES TIPO MALLA Y EL METODO DE CROSS

En este punto estudiaremos las bases del Método del Profesor Hardy-Cross ideado expresamente para resolver las redes tipo malla o anillo. Conviene hacer antes las siguientes anotaciones:

a)- Este sistema es el empleado normalmente en las redes urbanas de acueducto. Adopta formas regulares o irregulares como se ilustró en las figuras 212.

b)- La ciudad se divide en sectores bien definidos de modo que cada uno es atendido por una malla o anillo dispuesto por los sitios de mayor consumo y no propiamente como una envolvente exterior, lo cual no es recomendable.

c)- El anillo está constituído por el conjunto de tuberías principales para las cuales se realiza efectivamente el cálculo. Las tuberías que parten de la malla, son consideradas secundarias y aunque pueden ser objeto de cálculo, lo más corriente es que el diámetro mínimo está definido por las Normas Municipales (entre nosotros 3").

d)- Los ramales secundarios tienen interés en cuanto es necesario calcular el caudal que va a ser distribuído en ellos (q. L) para contabilizarlo en el caudal del anillo.

e)- En los tramos propios del anillo puede existir distribución a lo largo del recorrido, además de alimentar ramales secundarios; esta circunstancia influye en la definición de los caudales en el anillo.

f)- Otros consumos especiales como los de industrias, hidrantes, etc., se consideran generalmente de manera separada para sumarlos a los caudales del literal anterior.

g)- En la solución de una malla o anillo, se emplea un método diferente al utilizado en las redes ramificadas estudiadas antes, semejantes a tuberías en serie.
El método se basa fundamentalmente en considerar que un anillo se comporta en cierto modo como una instalación en paralelo (no estrictamente), es decir, la pérdida de carga entre los puntos de entrada y de salida del anillo (A y D en la figura 221), debe ser la misma, o por lo menos muy semejante, ya sea cuando se sigue el recorrido ABD o el recorrido ACD. En esta figura no existe distribución en la distancia, por tanto $Q_e = Q_s$.

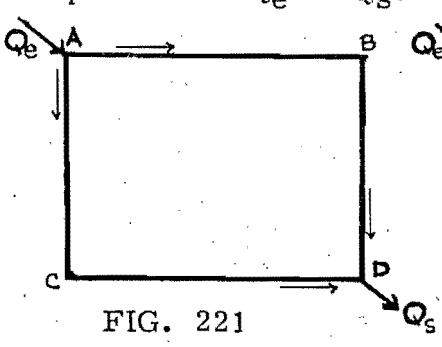


FIG. 221

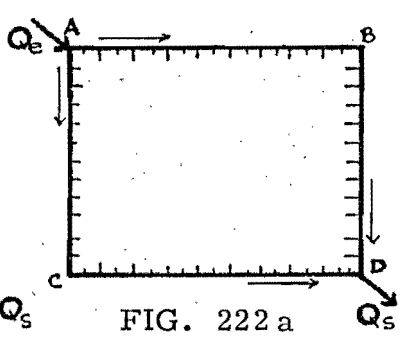


FIG. 222 a

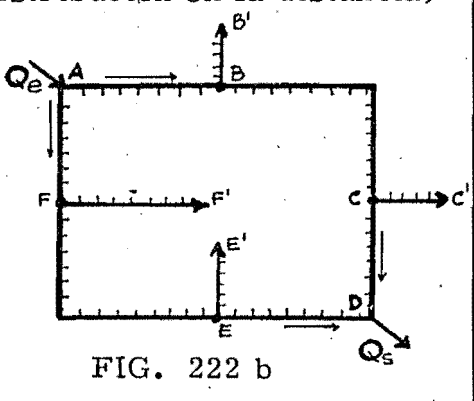
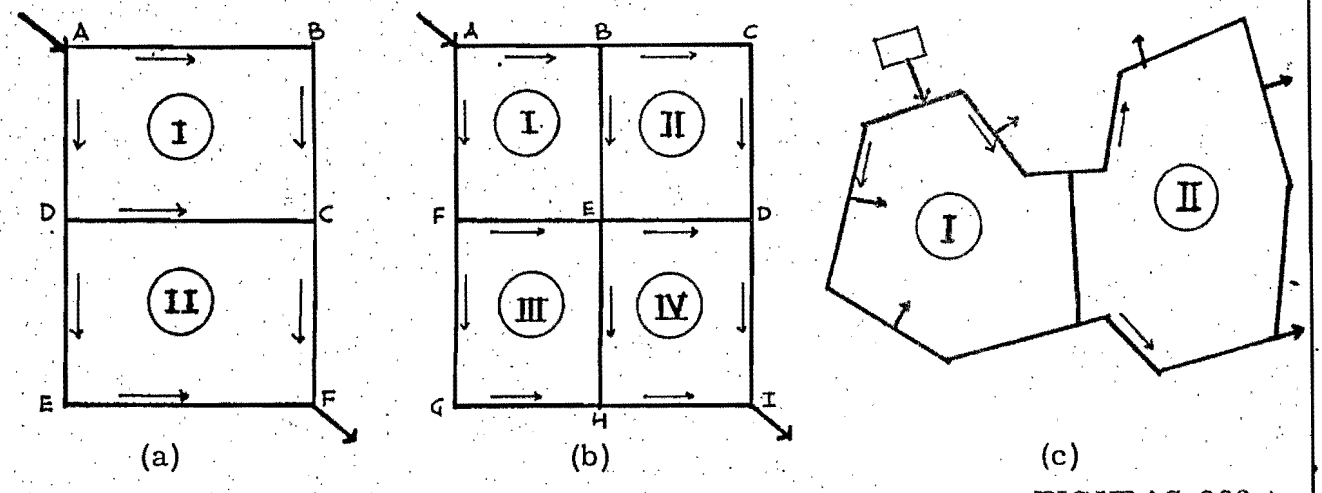


FIG. 222 b

En la figura 222a, el propio anillo tiene distribución en el recorrido, de manera que Q_s puede ser o no igual a cero.
En la figura 222b, además se introducen ramales secundarios con distribución a lo largo de sus propios recorridos (como en BB' p.e.).

En las figuras anteriores sólo aparece un anillo; en la práctica son frecuentes los "acoplamientos" de anillos como se ilustra a continuación en las figuras 223.



FIGURAS 223

Cada anillo puede tener distribución en sus tramos, además de ramales secundarios; por otra parte, aparecen ramas comunes a dos anillos, como DC en la primera figura. El problema se trata de nuevo buscando que la pérdida de carga hf en el recorrido ABC sea igual a la pérdida en el recorrido ADC (ambos en el anillo I), siguiendo siempre la dirección del flujo.

De manera semejante, en el anillo II, la pérdida de carga en DCF debe ser igual a la pérdida en DEF. (Figura 223 a).

En el conjunto de los dos anillos, también existirá la similitud de pérdidas cuando se siguen caminos diferentes entre los puntos A y F. Así pués, la pérdida de carga producida en el trayecto ABCF, debe ser igual a la producida en el trayecto ADEF. Las normas admiten una discrepancia hasta de 1 m c.a. en el "cierre de un anillo o circuito".

En la figura 223 b, caben consideraciones semejantes. La malla es ahora un poco más compleja pués consta de cuatro anillos o circuitos, con parejas de ramas comunes.

Sin embargo, el problema se trata tal como antes, es decir, en el anillo I se busca el equilibrio de pérdidas en los caminos ABE y AFE, siguiendo el sentido asignado a los caudales. En el anillo II, las pérdidas en los trayectos BCD y BED deberán estar equilibradas. En el anillo III, los recorridos FEH y FGH deben dar pérdidas similares y finalmente, en el anillo IV, también deberán equilibrarse las pérdidas en los caminos EDI y EHI.

Podrá observarse en el conjunto total, que las pérdidas de carga entre los puntos A e I, calculadas por distintos caminos, siempre siguiendo la dirección del flujo, deberán ser muy semejantes. Así por ejemplo la pérdida hf en el recorrido ABCDI será similar (igual idealmente) a la pérdida en el recorrido ABEHI o también en el trayecto AFGHI.
La figura 223 c es análoga a la primera, sólo que ha tomado forma irregular. Son válidas las observaciones hechas antes para la primera figura.

Nota Importante:

Es preciso tener muy presente que en un nudo cualquiera del sistema, la suma de caudales que llegan al nudo, debe ser igual a la suma de los caudales que salen de él (Kirchhoff).

EL METODO DE CROSS PARA REDES TIPO MALLA

Para explicar el método es conveniente auxiliarnos de una figura muy sencilla referente al caso más elemental de un anillo en el cual el caudal de entrada Q_e es igual al caudal de salida Q_s, o sea que no hay distribución en el recorrido. Lo que realmente interesa es hallar la manera de equilibrar las pérdidas de carga por medio de las correcciones convenientes a los caudales inicialmente supuestos en cada recorrido de la figura 224.

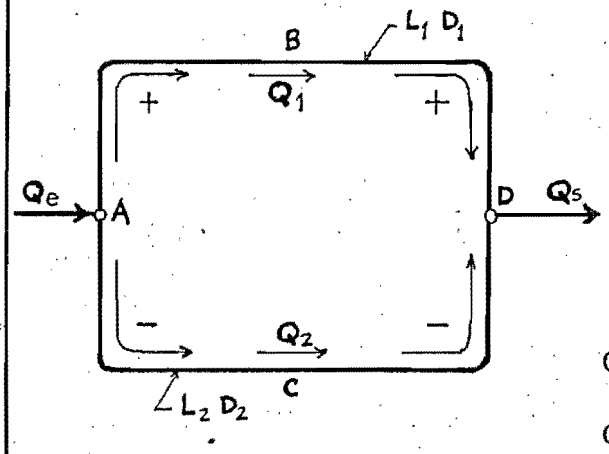


FIGURA 224

En esta figura :

$Q_e = Q_s = Q_1 + Q_2$

Q_1 = Caudal supuesto en ABD.

Q_2 = Caudal supuesto en ACD.

Q_1 real = Caudal real en ABD.

Q_2 real = Caudal real en ACD.

Bases del Método de Cross:

I- En esta figura hay un recorrido ABD de longitud L_1 y diámetro D_1 en el cual se ha supuesto un caudal Q_1; y otro recorrido ACD de longitud L_2 y diámetro D_2, que conduce un caudal Q_2 supuesto.

II- El flujo en L_1 sigue el sentido de las agujas del reloj; por lo tanto al caudal Q_1 se le asigna signo positivo: $+ Q_1$. (+)

El flujo en L_2 tiene sentido contrario; en consecuencia el caudal Q_2 llevará signo negativo : $- Q_2$. (−)

Estos signos son simplemente indicativos del sentido del flujo.

III- Como la pérdida de carga en cada recorrido depende del caudal supuesto, se le puede dar el mismo signo del caudal correspondiente. Así se tendrá que en L_1 la pérdida de carga entre los puntos A y D llevará signo positivo ($+hf_1$) y en L_2, entre esos mismos puntos, la pérdida de carga llevará signo negativo ($- hf_2$).

(Estas pérdidas se averiguan normalmente con ayuda de un nomograma con base en el caudal supuesto y el diámetro asignado a un recorrido de longitud conocida). Con Q y D se obtiene J y en consecuencia :

$$hf = J \times L \text{ (en m c.a.)}$$

IV- Si "casualmente" los caudales supuestos Q_1 y Q_2 y los diámetros asignados corresponden a los reales, obviamente resultará que las pérdidas de carga son iguales, o de otro modo :

$+ hf_1 = - hf_2$ y también $hf_1 + (- hf_2) = 0$ (Suma algebraica).

En general : $\sum hf_n = 0$ Por lo tanto, idealmente :

"La sumatoria de las pérdidas de carga es igual a cero" (Entre A y D).

V- Esta misma sumatoria puede ser escrita de otra manera empleando por ejemplo la Fórmula Universal.

Como se recuerda, para una tubería cualquiera, la pérdida de carga entre sus extremos es principalmente una función de Q^2 :

$hf = K \cdot Q^2$ (En K se han incluído el diámetro y la longitud).

Por lo tanto $\sum hf_n = \sum Kn \cdot Q_n^2 = 0$ (idealmente)

(ambas son sumas algebraicas, como se observó antes).

VI- Como en la práctica los caudales son supuestos y rara vez coinciden con los reales, esto significa que los caudales Q_1 y Q_2 supuestos en la figura 224, deberán ser corregidos, es decir, aumentados o disminuídos en un cierto valor Δ (caudal), de tal manera que al averiguar las pérdidas de carga hf_1 y hf_2 en función de los caudales corregidos, la sumatoria de pérdidas sea cero.

Así pués, conforme a la explicación anterior, podemos escribir :

$Q_{1real} = Q_1 \pm \Delta$ (Caudal supuesto $\pm$ corrección de caudal).

$Q_{2real} = Q_2 \mp \Delta$ (Caudal supuesto $\mp$ corrección de caudal).

Ahora, la pérdida de carga real en cada recorrido, en función del caudal corregido, será entonces :

$+ \overset{\frown}{hf_1} = K_1 \cdot (Q_1 \pm \Delta)^2$ y $- \overset{\frown}{hf_2} = - K_2 \cdot (Q_2 \mp \Delta)^2$

La suma algebraica de las pérdidas de carga debe ser cero :

$+ hf_1 + (- hf_2) = 0 \quad \therefore \quad K_1 (Q_1 \pm \Delta)^2 - K_2 (Q_2 \mp \Delta)^2 = 0$

Esta suma algebraica expresada como sumatoria es la siguiente :

$\sum K_n (Q_n \pm \Delta)^2 = 0$ (con base en la fórmula Universal).

VII- A continuación elevamos al cuadrado la "suma" entre paréntesis.

Despreciando el valor Δ^2 por ser relativamente pequeño, puede simplificarse así :

$\sum K_n \cdot Q_n^2 \pm \sum K_n \cdot 2\Delta \cdot Q_n = 0$ de la cual se obtiene :

$$\Delta = \mp \frac{\sum K_n \cdot Q_n^2}{2 \cdot \sum K_n \cdot Q_n}$$ Expresión básica para Δ.

Obsérvese que el numerador es igual a $\sum hf_n$ y en el denominador $\sum K_n \cdot Q_n$ es igual a $\sum hf_n / \sum Q_n$ por lo tanto , finalmente :

$$\Delta = \mp \frac{\sum hf_n}{2 \cdot \sum hf_n / \sum Q_n} \quad \therefore \quad \Delta = - \frac{\sum hf_n}{2 \cdot \sum (hf_n / Q_n)}$$ (litros/seg).

VIII- Hemos llegado a la expresión acostumbrada para Δ, cuando se ha obtenido con base en la fórmula universal; así pues :

$$\Delta = - \frac{\sum hf_n}{2\sum(hf_n/\ Q_n)} \qquad \text{(en litros/seg)}$$

Conviene ahora interpretar claramente los componentes de esta expresión, antes de hacer aplicaciones numéricas.

Obsérvese que el numerador idealmente debería ser cero; pero como no sucede así al operar con caudales supuestos, entonces pueden darse dos casos :

a)- El numerador es positivo: Esto significa que hay exceso de pérdidas de signo positivo, debido a que están un poco exagerados los caudales supuestos del mismo signo; en cambio los caudales de signo negativo, están disminuídos y es preciso incrementarlos.

En este caso Δ toma el signo negativo, de tal manera que los caudales positivos deben ser rebajados en la cantidad $-\Delta$ y los caudales negativos, quedarán incrementados en la cantidad $-\Delta$.

b)- El numerador es negativo: Existe exceso de pérdidas en el sentido negativo, porque los caudales negativos supuestos son un poco abundantes; por el contrario, los caudales positivos se han quedado cortos y es necesario aumentarlos un poco.

Ahora Δ toma el signo positivo, de tal manera que a los caudales positivos se les suma la cantidad $+\Delta$ y los caudales negativos quedarán disminuídos en la cantidad $+\Delta$.

En conclusión, el signo de Δ depende del signo del numerador.

Nota: Es importante tener mucho cuidado con los signos de los caudales, para evitar errores, en especial cuando se trata de una rama común a dos anillos adyacentes, como en la figura 223 a, puesto que en el tramo DC el caudal supuesto es negativo en el anillo I y positivo en el anillo II.

Lo anterior significa que el caudal supuesto en DC queda afectado por dos valores de Δ a saber, Δ_I del primer anillo y Δ_{II} del segundo anillo. Entonces la primera corrección del caudal en DC depende de los signos de Δ_I y Δ_{II} simultáneamente.

Mayor claridad sobre el tema se tendrá en las aplicaciones numéricas.

Después de esta observación, continuamos explicando la expresión general para Δ.
El denominador que aparece en esa expresión, contiene la sumatoria de las relaciones hf/Q encontradas para cada tubería; no es necesario tener en cuenta signos, de manera que el denominador es siempre positivo.

La expresión general para Δ sufre alguna modificación, cuando en lugar de obtenerla a partir de la fórmula Universal, se utilizan fórmulas prácticas como la de Hazen-Williams, con el fin de agilizar los cálculos por el auxilio de nomogramas o tablas para determinado valor de C.

Así pués, si la demostración efectuada en la página 367 se hace ahora a partir de la expresión condensada de la fórmula de H-Williams, es decir:

$hf = K \cdot Q^{1,85}$ y también $hf = K(Q \pm \triangle)^{1,85}$

Entonces se llega a una expresión muy semejante a la obtenida antes, pués sólo difieren en el denominador y obviamente, en la manera de calcular las pérdidas de carga. Esta expresión es :

$$\triangle = - \frac{\sum hf_n}{1,85 \sum (hf_n/Q_n)} \qquad \text{(litros/seg)}$$

IX- Una vez corregidos inicialmente los caudales en el valor $\triangle$, conforme se indicó en el paso VIII, se procede de la siguiente manera :

a)- Con los caudales corregidos se determina de nuevo la pérdida de carga hf en cada tubería y se establece la relación hf/Q correspondiente.

b)- A continuación, se efectúan las sumatorias requeridas en la fórmula y se halla un nuevo valor de $\triangle_{II}$ que sirve para hacer una segunda corrección a los caudales.

c)- Con los caudales de nuevo corregidos, se repite el proceso hasta un punto en que $\triangle$ es tan pequeño, que no vale la pena introducir más correcciones a los caudales, más aún si se tiene en cuenta la aproximación existente cuando se opera con tablas.

En definitiva, los caudales originalmente supuestos, han sido sometidos a sucesivas correcciones o ajustes, en función de la serie de valores encontrados para $\triangle$ a saber : $\triangle_I$, $\triangle_{II}$, $\triangle_{III}$ .....

Como es razonable, mientras más se aproximen los caudales originales supuestos a los caudales reales, menor será el número de correcciones necesarias para equilibrar las pérdidas de carga entre los puntos claves del sistema en estudio.

X- El problema generalmente se complementa con la definición de las cotas piezométricas, de manera muy semejante a como se procedió en el caso de redes ramificadas.

Es preciso partir de la presión mínima requerida en los puntos más desfavorables de la red (p.e. 15 m c.a.); así mismo son importantes las cotas geométricas (topografía del terreno) y la cota de los tanques (fuente de energía en este caso).

En el cálculo definitivo de las pérdidas de carga, se utilizan los caudales corregidos. Normalmente se desprecian las resistencias localizadas.

Enseguida proponemos ejemplos numéricos muy simplificados orientados en el sentido de ilustrar la aplicación básica del Método de Cross, objetivo perseguido con esta explicación.

PROBLEMA No. 1

En la figura 225, un anillo tiene un caudal de entrada de 100 litros/seg. El caudal de salida es igual al anterior, porque no se considera distribución en los recorridos, para simplificar. A la derecha de la figura, aparecen los datos del problema.

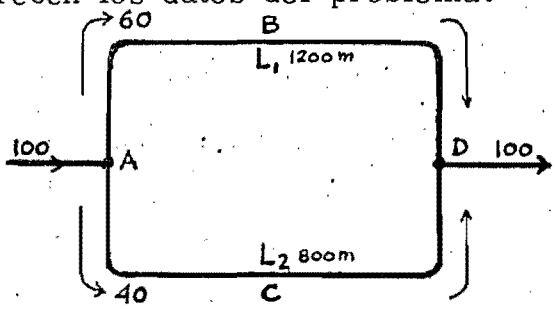


FIGURA 225

Recorrido ABD: L_1 = 1200 metros
Diámetro asignado: D_1 = 12" (30 cm)
Caudal supuesto: Q_1 = 60 l/seg

Recorrido ACD: L_2 = 800 metros
Diámetro asignado: D_2 = 10" (25 cm)
Caudal supuesto: Q_2 = 40 l/seg

El problema será resuelto con un nomograma de H-Williams para tubería con C = 100. Las lecturas resultan aproximadas.

Los diámetros se han fijado de manera que con los caudales supuestos no se supere una velocidad de 1 m/seg. Hay tablas para definir el caudal y el diámetro de acuerdo con la velocidad recomendable.

En general, no debe ser superior a 2 m/seg, en los mayores diámetros.

En el problema se trata de corregir los caudales supuestos, de manera que se equilibren en lo posible las pérdidas de carga en L_1 y L_2.

A)- PRIMERA CORRECCION - CUADRO DE CALCULO.

L m	D pulg.	Q l/seg	J m/1000 m	hf = J . L	hf/Q	Primera Corrección
1200	12"	+ 60	+ 4,1	+ 4,92	0,082	Q_1' = + 60 - 3,8 = +56,2
800	10"	- 40	- 4,6	- 3,68	0,092	Q_2' = - 40 - 3,8 = -43,8
		100		+ 1,24	0,174	$-\Delta_I$ 100,0

$$\Delta_I = -\frac{1,24}{1,85 \times 0,174} = -3,8 \text{ l/seg}$$

Con los caudales corregidos se calculan de nuevo las pérdidas de carga:

B)- SEGUNDA CORRECCION - CUADRO DE CALCULO.

L	D	Q	J	hf	hf/Q	Segunda Corrección
1200	12"	+ 56,2	+ 3,7	+ 4,44	0,079	Q_1'' = + 56,2 - 1,4 = +54,8
800	10"	- 43,8	- 5,0	- 4,00	0,091	Q_2'' = - 43,8 - 1,4 = -45,2
		100,0		+ 0,44	0,170	$-\Delta_{II}$ 100,0

$$\Delta_{II} = -\frac{0,44}{1,85 \times 0,170} = -1,4 \text{ l/seg}$$

El exceso de pérdidas es ya muy pequeño (+ 0,44) e inferior a 1 m c.a.

PROBLEMA No. 2.

En la figura 226 se tienen dos anillos I y II con un tramo AD común. El caudal de entrada en A es 110 l/seg, igual al caudal de salida por no considerar distribución a lo largo de los recorridos, para simplificar.

Se trata como antes de corregir los caudales supuestos en los tramos, de manera que la pérdida de carga en cualquiera de ellos sea prácticamente la misma. A la derecha de la figura se incluyen los valores conocidos y los supuestos o asignados.

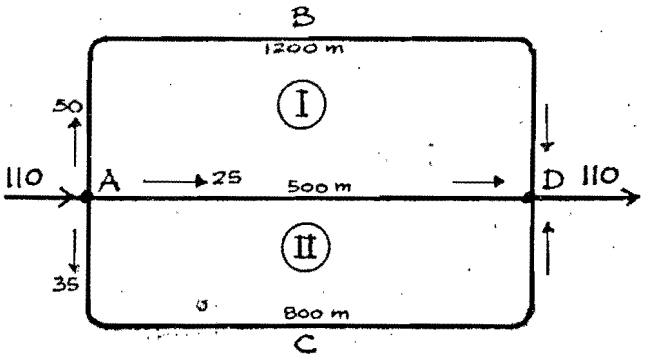


FIGURA 226

Recorrido ABD: L_1 = 1200 metros
Diámetro : D_1 = 12" (30 cm)
Caudal supuesto : Q_1 = 50 l/seg

Recorrido AD : L_2 = 500 metros
Diámetro : D_2 = 8" (20 cm)
Caudal supuesto : Q_2 = 25 l/seg

Recorrido ACD : L_3 = 800 metros
Diámetro : D_3 = 10" (25 cm)
Caudal supuesto : Q_3 = 35 l/seg.

El problema se resuelve con ayuda de un nomograma de H-Williams, para C = 100. Se destaca que el tramo común AD en la Primera Corrección hecha en cada anillo, queda afectado por dos valores de Δ (Δ_I y Δ_{II}).

A)- PRIMERA CORRECCION PARA EL ANILLO I.

L	D	Q	J	hf	hf/Q	Primera Corrección
1200	12"	+ 50	+ 3,0	+ 3,6	0,072	$Q_1' = + 50 - 2,5 = - 47,5$
500	8"	- 25	- 5,6	- 2,8	0,112	$Q_2' = - 25 - 2,5 - (+0,5) = -28$
				+ 0,8	0,184	$-\Delta_I$

$$\Delta_I = - \frac{0,8}{1,85 \times 0,184} = - 2,5 \text{ l/seg}$$

Nótese que el caudal en AD es negativo para el anillo I y positivo para el anillo II.

$+\Delta_I$

B)- PRIMERA CORRECCION PARA EL ANILLO II.

L	D	Q	J	hf	hf/Q	Primera Corrección
500	8"	+ 25	+ 5,6	+ 2,8	0,112	$Q_2' = +25 + 2,5 + 0,5 = +28$
800	10"	- 35	- 3,7	- 3,0	0,085	$Q_3' = -35 + 0,5 = -34,5$
				- 0,2	0,197	$+\Delta_{II}$

$$\Delta_{II} = - \frac{- 0,2}{1,85 \times 0,197} = + 0,5 \text{ l/seg}$$

La suma de los valores absolutos de los tres caudales corregidos es: 47,5 + 28 + 34,5 = 110.

Si se considera necesario, con los caudales corregidos, se repite el procedimiento para hacer una segunda corrección en los dos anillos y así sucesivamente.

Distribución a lo largo de los recorridos:

Este es el caso corriente en las redes exteriores. En la figura 227 suponemos que la distribución uniforme, se realiza a lo largo de los tramos ABD y ACD; puede existir o no un caudal de salida (consumo especial).

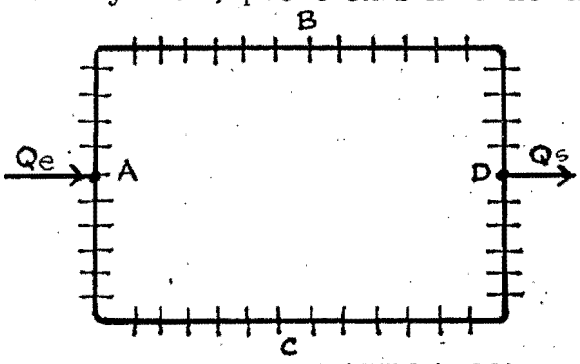


FIGURA 227

Para calcular el caudal en cada tramo, es preciso conocer el caudal total que se va a distribuír en ellos, de manera que :

$$Q_1 = q \cdot L_1 \quad y \quad Q_2 = q \cdot L_2$$

(Q_1 y Q_2: caudales supuestos por distribuír). El caudal unitario se encuentra como se indicó en las redes ramificadas.

Otros consumos especiales localizados, ya sea en el punto D o en otros, deben ser sumados al caudal total por distribuír.

El concepto de caudal ficticio o supuesto, es también válido en estas redes. Finalmente se aplica el Método de Cross para ajustar los caudales hasta lograr un equilibrio razonable en las pérdidas de carga entre A y D.

En la figura 228, el propio anillo tiene distribución uniforme y a la vez alimenta ramales secundarios, de tal manera que aparecen nudos bien definidos. Existe un nudo más lejano con relación al punto de entrada; en ese nudo puede haber o no previsto un caudal de salida, p.e., para un consumo especial localizado.

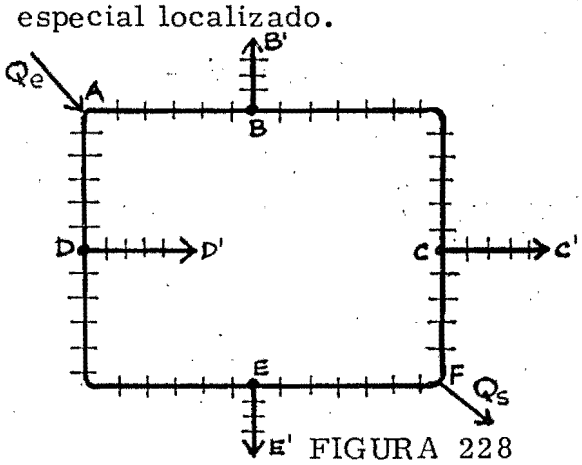


FIGURA 228

En este caso, para calcular el caudal en los distintos tramos, es más práctico empezar por el punto F. Así por ejemplo, el caudal en el tramo CF se calcula en función del q unitario, multiplicado por la longitud de CF; se le suma la parte del caudal Q_s que se estima conveniente, sea aportada por el tramo. Quedan así determinados el caudal de entrada y el caudal de salida del tramo CF.

Para definir el caudal en BC, el caudal unitario q se multiplica por la longitud de BC; se le suma el producto de q por la longitud de CC' (caudal por distribuír en ese ramal secundario) y finalmente se le suma el caudal de entrada requerido por el tramo CF.

De igual manera se procede para el tramo AB. Quedan definidos los caudales supuestos con signo positivo en el recorrido principal ABCF.

Por un procedimiento similar se definen los caudales negativos en ADEF. Es preciso asignar diámetros a los diferentes tramos principales y luégo aplicar el Método de Cross al anillo para equilibrar las pérdidas (entre A y F).

Véanse ejemplos completos de cálculo en Manuales de Hidráulica. El objetivo de esta información ha sido la explicación fundamental del Método de Cross en términos simplificados.

12.- ALGUNAS ANALOGIAS INTERESANTES

Para cerrar este capítulo vamos a establecer analogías entre algunas máquinas y redes, repetidas veces mencionadas a lo largo del texto. Lo haremos con la finalidad exclusiva de hacer notar cómo existe una sorprendente similitud entre ellas y que tanto las máquinas como las redes, no hacen más que adecuarse al tipo de fluído en circulación.

Empezaremos por comparar tres típicas máquinas generadoras:

I- ANALOGIA ENTRE ALGUNAS MAQUINAS GENERADORAS

Una bomba centrífuga, un ventilador centrífugo y una dínamo son "máquinas generadoras," desde el punto de vista del fluído obligado a circular por las conducciones.

a) - Bomba centrífuga, para hacer circular agua por tuberías;

Una bomba centrífuga aspira agua por una tubería de succión; le comunica energía al fluído y lo obliga a circular por la tubería de impulsión (con cierta velocidad y presión). En este proceso, el peso específico del agua se mantiene constante; en consecuencia se dice que la bomba centrífuga es una máquina hidráulica. La energía mecánica suministrada a la bomba (p.e. por un motor eléctrico), es transferida al fluído en forma de energía cinética y energía de presión. Así pués, la bomba centrífuga es una máquina hidráulica generadora de energía para el fluído forzado a circular.

b) - Ventilador centrífugo, para hacer circular aire por ductos:

Un ventilador centrífugo aspira aire por su boca de succión, la cual puede estar o no provista de un ducto; comunica energía al aire y lo hace circular por un ducto de impulsión o de suministro con cierta velocidad y una presión generalmente inferior a 1 m c.a. En este proceso y suponiendo que el aire no se comprime, se acepta que el peso específico del aire se mantiene constante. En conclusión, y aunque parezca extraño, un ventilador centrífugo es también una máquina hidráulica.

Tal como en la bomba, la energía mecánica suministrada al ventilador (p.e. por un motor eléctrico) se transfiere al aire en forma de energía cinética y de presión.

Por lo tanto, un ventilador centrífugo es además una máquina hidráulica generadora de energía para el aire puesto en circulación en el sistema. Hemos llegado a la misma clasificación para las dos máquinas, a pesar de que mueven fluídos diferentes, pero con la condición de que no varíe el peso específico del fluído en circulación y se tome éste como el receptor de energía.

Se comprende que en el fondo, ambas máquinas no son más que "transformadoras" de una clase de energía en otras, ya que transfieren al fluído la energía que ellas previamente han absorbido.

A continuación extenderemos la analogía a una dínamo, a pesar de que pueda parecer un poco forzada y acomodaticia. Pero no lo es tanto, como veremos:

c) - Dínamo, para hacer circular corriente continua por conductores:

Aunque no vamos a llegar a la conclusión de que una dínamo es una "máquina hidráulica" en el mismo sentido que le asignamos antes, por lo menos concluiremos que es una máquina generadora de energía para el fluído obligado a circular por los conductores.

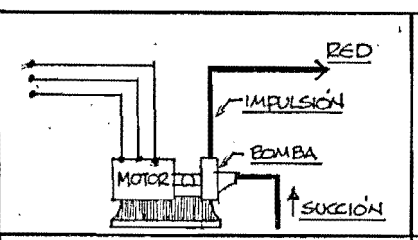
Así pués, antes que todo, podemos suponer que la electricidad es un "fluído electrónico" como una especie de gas que al circular por la máquina, "mantiene constante su peso específico" (el de los electrones, en este caso). La corriente de electrones se desplaza siempre en el mismo sentido, cuando se trata de "corriente continua".

La Dínamo "aspira" electrones por un conductor de entrada, le comunica energía al fluído electrónico y lo "impulsa" por un conductor de salida. La energía mecánica suministrada a la Dínamo (p.e. por una turbina Pelton u otra; por un motor, etc.) es transferida al "fluído electrónico" principalmente en forma de energía de "presión" (voltaje) que hace circular las cargas eléctricas, invariablemente en el mismo sentido (corriente continua), empujándose mutuamente los electrones como en una cadena sinfín.

En conclusión, desde el punto de vista de los electrones obligados a circular, la Dínamo es una máquina generadora de energía. Por ello se le conoce normalmente con el nombre de generador de corriente continua. Sin embargo, en realidad, la Dínamo es una máquina más "transformadora" de una clase de energía en otra.

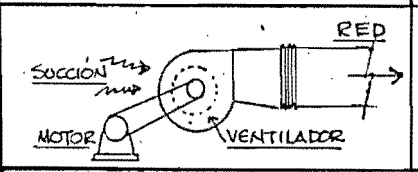
NOTA: Cuando se trata de corriente alterna, simplemente sucede que el proceso explicado, se invierte n veces en un segundo, como si los electrones fueran sacudidos, "alternadamente" en el conductor, primero en un sentido y luégo en el otro (cambio alternado de "polaridad"). El número n hace que se diga "corriente alterna de 60 ciclos" como es la común entre nosotros.

Finalmente, en las tres máquinas podemos comprobar que existe básicamente un elemento rotor (con álabes, paletas o bobinas) que gira en el interior de un cuerpo inmóvil o estator (caja espiral, culata con polos y bobinas). En las tres existe un fluído más o menos "tangible" y el conjunto se complementa con tuberías, ductos o conductores para conformar la "red de distribución". Véase la figura 229 a continuación:



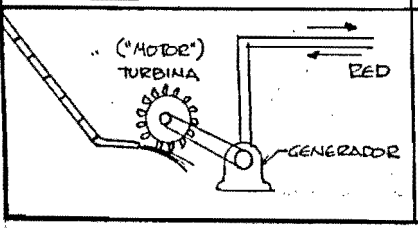
BOMBA CENTRIFUGA

E. Eléctrica → E. Mecánica → E. Cinética y de presión.
Cada paso se afecta por un rendimiento η.
Potencia entrada x η = Potencia útil de salida.



VENTILADOR CENTRIFUGO

E. Eléctrica → E. Mecánica → E. Cinética y de Presión
Potencia entrada x η = Potencia salida.



GENERADOR DE C.C.

E. Hidráulica → E. Mecánica → E. Eléctrica.
Potencia entrada x η = Potencia salida.

FIGURA 229

INVERSION DEL PROCESO EN LAS TRES MAQUINAS COMPARADAS.

Podemos preguntarnos enseguida: Qué sucedería si ahora las tres máquinas se convierten en receptoras de energía comunicada por el fluído, al efectuar una inversión del proceso para cada una de ellas ?

Simplemente puede responderse en principio, que las tres "trabajarán al revés". En otras palabras, hechas pequeñas modificaciones, las tres quedarán convertidas en "máquinas motoras", movidas o accionadas por un fluído diferente en cada caso.

a)- Hechas algunas modificaciones a la bomba, se convierte en un "motor hidráulico" o mejor en una turbina hidráulica, la cual es accionada por agua que llega por una tubería y sale por otra o escapa libremente. La energía hidráulica del fluído se transforma en energía mecánica para la turbina.

b)- De la misma manera, supongamos que un ventilador se modifica de tal manera que su rotor esté provisto de paletas o hélices, de manera que pueda aprovechar un "chorro" de aire o viento (provisto de energía eólica). El aire es ahora el fluído capaz de accionar el "motor" que toma el nombre de turbina eólica (como sucede en los molinos de viento).

c)- Finalmente, ligeras transformaciones efectuadas a una dínamo (generador de C.C.) hacen que al alimentarla con el "fluído electrónico", trabaje como un "motor". Bajo esta última acepción nos resulta bastante familiar y apropiada la denominación de motor eléctrico, a pesar de que la analogía propuesta nos sugiere posiblemente el nombre de "turbina eléctrica", pero que no se usa en la práctica por su ambigüedad.

En definitiva; ha resultado una clasificación preliminar para estas máquinas fundamentales, en función del comportamiento conjunto de la máquina y el fluído.

Si el fluído recibe energía de la máquina, ésta será generadora. Cuando el fluído comunica energía a la máquina, ésta será motora.

II- ANALOGIAS DE INTERES EN LAS REDES DE DISTRIBUCION.

También hemos hecho constante mención en este texto, de tres típicas redes de distribución, a saber :

Red Hidráulica, Red de Aire Acondicionado y Red Eléctrica.

Las tres redes admiten comparaciones y analogías interesantes que vale la pena destacar.

Podemos suponer que la fuente de energía en cada red es una máquina generadora: bomba centrífuga, ventilador centrífugo y generador eléctrico respectivamente. Por ello el cuadro sinóptico a continuación, termina con las tres fórmulas de Potencia para cada una de las máquinas, con el fin de constatar la gran similitud en las expresiones de la Potencia, en las cuales aparece básicamente el producto siguiente :

$$\boxed{\text{POTENCIA} = \text{CAUDAL} \times \text{PRESION}}$$

Potencia Instalada x Rendimiento = Potencia Util de Salida

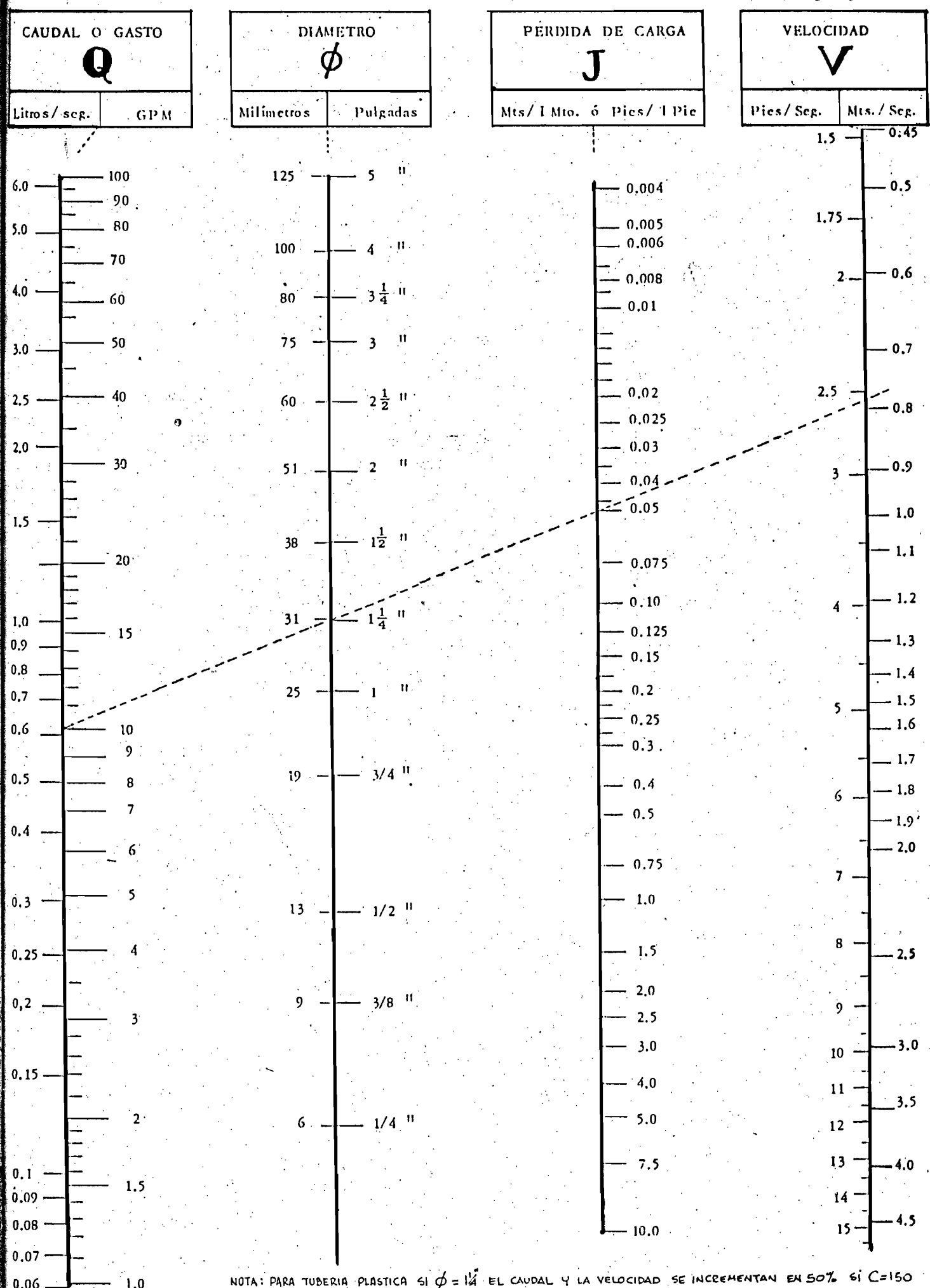
ITEM	RED HIDRAULICA	RED A. ACONDICIONADO	RED ELECTRICA
Fluído	Agua	Aire seco + Vapor Agua	"Fuído electrónico"
Caudal	Q = litros/seg GPM = gal/min.	Q = m^3/seg CFM = $pies^3$/min.	I = Coulombs/seg I = amperios
Velocidad	v = m/seg FPM = piés/min.	v = m/seg FPM = piés/min	EL IMPULSO TIENE LA VELOCIDAD: v ≈ 300.000 Km/seg VELOCIDAD REAL < 1mm/seg
Diámetro	D = mm, cms, pulg.	D = cms, pulg.	D = mm
Sección	A = cm^2 A = m^2	A = cm^2, m^2 A = $piés^2$(SF)	Calibre AWG (CIRCULAR MIL) A = mm^2 (1 mm^2 = 2.000 C.M. APROX.)
Presión	P = Kg/cm^2 H = 10 P m c.a. (1 kg/cm^2 = 10 m c.a.)	P = Kg/m^2 H = P mm c.a. (1 kg/m^2 = 1 mm c.a.)	V = voltios
Caída de Presión en una resistencia continua ó tramo recto L de diámetro D constante	$hf = K.\ Q^2$ en m c.a. K = f(f_o, L, D) f_o = coef. rozamien. (también hf = J.L)	$hf = K\ .\ Q^2$ pulgs, mm c.a. K = f(f_o, L, D) f_o = coef. de rozam. (también hf = J. L)	$\Delta V = R\ .\ I$ en voltios R = f(ρ, L, D) $\rho = \frac{\text{ohmios}}{100 m/mm^2}$ (Resistencia específica)
Caída de presión en una resistencia localizada (accesorio, etc.)	$hf = K.Q^2$ en m c.a. K = "Factor K" propio del accesor.	$hf = K\ .\ Q^2$ pulgs, mm c.a. K = "factor K" propio del accesorio	$\Delta V = R\ .\ I$ en voltios R = ohmios Ω propia de la resistencia
Presión restante o residual después del recorrido L. D constante	$P_r = P_o - \Delta P$ en kg/cm^2 $H_r = H_o - hf$ en m c.a.	$P_r = P_o - \Delta P$ en Kg/m^2 $H_r = H_o - hf$ en m m c.a.	$V_r = V_o - \Delta V$ Voltaje después del recorrido L, en voltios
Relación entre presión y caudal en la misma línea: D y L constantes.	$\frac{H}{H_1} = \frac{Q^2}{Q_1^2}$	$\frac{H}{H_1} = \frac{Q^2}{Q_1^2}$	$\frac{V}{V_1} = \frac{I}{I_1}$
Potencia de entrada que debe aplicarse para accionar estas máquinas generadoras	Bomba Centrífuga $Pot = \frac{Q\ .\ H_D}{76.n}$ Pot = H.P. Q = litros/seg H_D = m c.a. 76 kg-m/seg = 1 H.P. n = rendimiento	Ventilador Centrífugo $Pot = \frac{Q\ .\ P}{76.n}$ Pot = H.P. Q = m^3/seg P = kg/m^2 76 kg-m/seg = 1 H.P. n = rendimiento	Dínamo $Pot = \frac{I\ .\ V}{746.n}$ Pot = H.P. I = amperios V = voltios 746 watios = 1 H.P. n = rendimiento

Potencia de entrada x rendimiento = Potencia útil de Salida (H.P.)

NOMOGRAMA PARA LA DETERMINACION DE PERDIDAS DE PRESION EN TUBOS PEQUEÑOS

TABLA I
C=100

FORMULA HAZEN-WILLIAMS PARA C = 100



NOTA: PARA TUBERIA PLASTICA SI ϕ = 1¼" EL CAUDAL Y LA VELOCIDAD SE INCREMENTAN EN 50% SI C=150 OBTENIÉNDOSE LA MISMA PERDIDA DE CARGA J (APROX.).

MANEJO DEL NOMOGRAMA

Conocidos dos valores, se unen por una línea recta que corta las cuatro verticales. En las intersecciones se encuentran los otros valores busca-

PARA DETERMINAR V y J CONOCIDO Q en litros/seg.

C = 100 Tubería "teórica"
C = 100 Tubería HG
C = 150 Tubería PVC RDE 21 (aprox. para tubería de Cu).

PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD V Y LA PERDIDA DE CARGA UNITARIA J EN FUNCION DEL CAUDAL Q

CASO	----C = 100---- TEORICO		----C = 100---- HG (METALICA)		----C = 150---- PVC RDE 21	
	Ø 0.0127 M		Ø 0.0165 M		Ø 0.0183 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
0.05	0.395	0.0393	0.234	0.0110	0.192	0.0031
0.10	0.790	0.1419	0.468	0.0397	0.381	0.0113
0.15	1.185	0.3008	0.702	0.0840	0.571	0.0240
0.20	1.579	0.5124	0.936	0.1432	0.761	0.0408
0.25	1.974	0.7746	1.170	0.2165	0.951	0.0617
0.30	2.369	1.0857	1.403	0.3034	1.141	0.0865
0.35	2.764	1.4445	1.637	0.4037	1.331	0.1150
0.40	3.159	1.8498	1.871	0.5169	1.521	0.1473
0.45	3.554	2.3006	2.105	0.6429	1.712	0.1832
0.50	3.948	2.7964	2.339	0.7814	1.902	0.2227
0.55	4.343	3.3362	2.573	0.9323	2.092	0.2657
0.60	4.738	3.9196	2.807	1.0953	2.282	0.3122
0.65	5.133	4.5459	3.041	1.2703	2.472	0.3620
0.70	5.528	5.2146	3.275	1.4572	2.662	0.4153
0.75	5.923	5.9254	3.509	1.6558	2.852	0.4719
0.80	6.318	6.6776	3.743	1.8660	3.043	0.5318
0.85	6.713	7.4711	3.977	2.0877	3.233	0.5950
0.90	7.107	8.3053	4.210	2.3209	3.423	0.6615
0.95	7.502	9.1800	4.444	2.5653	3.613	0.7311
1.00	7.897	10.0949	4.678	2.8209	3.803	0.8040
	Ø 0.0191 M		Ø 0.0221 M		Ø 0.0236 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
0.05	0.175	0.0054	0.132	0.0026	0.117	0.0009
0.10	0.350	0.0194	0.261	0.0096	0.230	0.0033
0.15	0.524	0.0412	0.392	0.0202	0.343	0.0069
0.20	0.698	0.0702	0.522	0.0345	0.457	0.0118
0.25	0.873	0.1061	0.652	0.0521	0.571	0.0178
0.30	1.047	0.1488	0.782	0.0731	0.685	0.0249
0.35	1.222	0.1979	0.913	0.0972	0.799	0.0331
0.40	1.397	0.2534	1.043	0.1245	0.913	0.0424
0.45	1.571	0.3152	1.174	0.1549	1.027	0.0528
0.50	1.746	0.3831	1.304	0.1883	1.141	0.0641
0.55	1.920	0.4571	1.434	0.2246	1.255	0.0765
0.60	2.095	0.5370	1.565	0.2639	1.369	0.0899
0.65	2.269	0.6228	1.695	0.3060	1.483	0.1042
0.70	2.444	0.7145	1.825	0.3511	1.597	0.1196
0.75	2.619	0.8118	1.956	0.3989	1.711	0.1359
0.80	2.793	0.9149	2.086	0.4495	1.825	0.1531
0.85	2.968	1.0236	2.217	0.5030	1.939	0.1713
0.90	3.142	1.1379	2.347	0.5591	2.053	0.1905
0.95	3.317	1.2578	2.477	0.6180	2.167	0.2105
1.00	3.491	1.3831	2.608	0.6796	2.281	0.2315
	Ø 0.0254 M		Ø 0.0276 M		Ø 0.0302 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
0.10	0.198	0.0049	0.169	0.0032	0.143	0.0010
0.20	0.395	0.0175	0.338	0.0117	0.286	0.0036
0.30	0.593	0.0371	0.508	0.0248	0.429	0.0075
0.40	0.790	0.0632	0.677	0.0422	0.572	0.0128
0.50	0.987	0.0956	0.846	0.0638	0.715	0.0194
0.60	1.185	0.1340	1.015	0.0894	0.858	0.0272
0.70	1.382	0.1782	1.184	0.1189	0.998	0.0362
0.80	1.579	0.2282	1.353	0.1523	1.143	0.0464
0.90	1.777	0.2839	1.523	0.1894	1.286	0.0577
1.00	1.974	0.3450	1.692	0.2302	1.429	0.0701
1.10	2.172	0.4116	1.861	0.2747	1.572	0.0836
1.20	2.369	0.4836	2.030	0.3227	1.715	0.0982
1.30	2.566	0.5609	2.199	0.3743	1.858	0.1139
1.40	2.764	0.6434	2.368	0.4293	1.999	0.1307
1.50	2.961	0.7311	2.538	0.4878	2.142	0.1485
1.60	3.159	0.8239	2.707	0.5498	2.285	0.1673
1.70	3.356	0.9218	2.876	0.6151	2.428	0.1872
1.80	3.553	1.0248	3.045	0.6838	2.571	0.2081
1.90	3.751	1.1327	3.214	0.7558	2.714	0.2301

CASO	----C = 100---- TEORICO		----C = 100---- HG (METALICA)		----C = 150---- PVC RDE 21	
	Ø 0.0318 M		Ø 0.0363 M		Ø 0.0381 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
0.20	0.253	0.0059	0.195	0.0031	0.179	0.0011
0.30	0.379	0.0124	0.291	0.0065	0.265	0.0024
0.40	0.504	0.0212	0.387	0.0111	0.352	0.0041
0.50	0.630	0.0320	0.484	0.0168	0.439	0.0062
0.60	0.756	0.0448	0.580	0.0235	0.526	0.0087
0.70	0.882	0.0597	0.677	0.0313	0.614	0.0116
0.80	1.008	0.0764	0.774	0.0401	0.701	0.0148
0.90	1.134	0.0950	0.870	0.0499	0.788	0.0184
1.00	1.260	0.1155	0.967	0.0606	0.876	0.0224
1.10	1.386	0.1378	1.063	0.0723	0.963	0.0268
1.20	1.511	0.1619	1.160	0.0850	1.050	0.0314
1.30	1.637	0.1877	1.257	0.0985	1.138	0.0365
1.40	1.763	0.2153	1.353	0.1130	1.225	0.0418
1.50	1.889	0.2447	1.450	0.1284	1.313	0.0475
1.60	2.015	0.2758	1.547	0.1447	1.400	0.0535
1.70	2.141	0.3085	1.643	0.1619	1.487	0.0599
1.80	2.267	0.3430	1.740	0.1800	1.575	0.0666
1.90	2.393	0.3791	1.837	0.1990	1.662	0.0736
2.00	2.519	0.4169	1.933	0.2188	1.750	0.0809
2.10	2.645	0.4563	2.030	0.2395	1.837	0.0886
2.20	2.771	0.4974	2.126	0.2610	1.925	0.0966
2.30	2.897	0.5400	2.223	0.2834	2.012	0.1049
2.40	3.023	0.5843	2.320	0.3067	2.099	0.1135
2.50	3.149	0.6302	2.416	0.3308	2.187	0.1224
	Ø 0.0381 M		Ø 0.0423 M		Ø 0.0436 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
0.40	0.352	0.0088	0.286	0.0053	0.270	0.0021
0.50	0.439	0.0133	0.357	0.0080	0.336	0.0032
0.60	0.527	0.0186	0.428	0.0112	0.403	0.0045
0.70	0.615	0.0247	0.499	0.0149	0.469	0.0060
0.80	0.702	0.0317	0.570	0.0190	0.536	0.0077
0.90	0.790	0.0394	0.641	0.0237	0.602	0.0096
1.00	0.878	0.0479	0.712	0.0288	0.669	0.0116
1.10	0.965	0.0571	0.783	0.0343	0.736	0.0139
1.20	1.053	0.0671	0.855	0.0403	0.802	0.0163
1.30	1.141	0.0778	0.926	0.0468	0.869	0.0189
1.40	1.229	0.0893	0.997	0.0537	0.936	0.0217
1.50	1.316	0.1015	1.068	0.0610	1.002	0.0246
1.60	1.404	0.1143	1.139	0.0687	1.069	0.0277
1.70	1.492	0.1279	1.210	0.0769	1.136	0.0310
1.80	1.579	0.1422	1.282	0.0855	1.202	0.0345
1.90	1.667	0.1572	1.353	0.0944	1.269	0.0381
2.00	1.755	0.1728	1.424	0.1039	1.336	0.0419
2.10	1.843	0.1892	1.495	0.1137	1.402	0.0459
2.20	1.930	0.2062	1.566	0.1239	1.469	0.0500
2.30	2.018	0.2239	1.637	0.1345	1.536	0.0543
2.40	2.106	0.2423	1.708	0.1456	1.603	0.0588
2.50	2.194	0.2613	1.780	0.1570	1.669	0.0634
2.60	2.281	0.2810	1.851	0.1688	1.736	0.0681
2.70	2.369	0.3013	1.922	0.1811	1.803	0.0731
2.80	2.457	0.3223	1.993	0.1937	1.870	0.0782
2.90	2.544	0.3440	2.064	0.2067	1.936	0.0834
3.00	2.632	0.3663	2.136	0.2201	2.003	0.0888
3.10	2.720	0.3892	2.207	0.2339	2.070	0.0944
3.20	2.808	0.4128	2.278	0.2480	2.136	0.1001
3.30	2.895	0.4370	2.349	0.2626	2.203	0.1060
3.40	2.983	0.4618	2.420	0.2775	2.270	0.1120
3.50	3.071	0.4873	2.491	0.2928	2.337	0.1182

PARA DETERMINAR V Y J CONOCIDO Q en litros/seg.

C = 100 Tubería "teórica"
C = 100 Tubería HG
C = 150 Tubería PVC RDE 21 (aprox. para tubería de Cu).

PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD V Y LA PERDIDA DE CARGA UNITARIA J EN FUNCION DEL CAUDAL Q

CASO	C = 100 TEORICO		C = 100 HG (METALICA)		C = 150 PVC RDE 21	
	Ø 0.0508 M		Ø 0.0534 M		Ø 0.0545 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
0.40	0.200	0.0022	0.181	0.0017	0.177	0.0007
0.60	0.298	0.0046	0.270	0.0036	0.261	0.0015
0.80	0.396	0.0078	0.359	0.0061	0.345	0.0026
1.00	0.495	0.0118	0.448	0.0092	0.430	0.0039
1.20	0.593	0.0165	0.537	0.0130	0.515	0.0055
1.40	0.692	0.0220	0.626	0.0172	0.600	0.0073
1.60	0.790	0.0282	0.715	0.0221	0.686	0.0094
1.80	0.889	0.0350	0.805	0.0275	0.771	0.0116
2.00	0.988	0.0426	0.894	0.0334	0.856	0.0142
2.20	1.086	0.0508	0.983	0.0398	0.942	0.0169
2.40	1.185	0.0597	1.072	0.0468	1.027	0.0198
2.60	1.284	0.0692	1.162	0.0543	1.112	0.0230
2.80	1.382	0.0794	1.251	0.0623	1.198	0.0264
3.00	1.481	0.0902	1.340	0.0707	1.283	0.0300
3.20	1.580	0.1017	1.430	0.0797	1.368	0.0338
3.40	1.678	0.1137	1.519	0.0892	1.454	0.0378
3.60	1.777	0.1264	1.608	0.0992	1.539	0.0420
3.80	1.876	0.1398	1.697	0.1096	1.625	0.0465
4.00	1.974	0.1537	1.787	0.1205	1.710	0.0511
4.20	2.073	0.1682	1.876	0.1319	1.796	0.0559
4.40	2.172	0.1834	1.965	0.1438	1.881	0.0609
4.60	2.270	0.1991	2.055	0.1561	1.966	0.0662
4.80	2.369	0.2154	2.144	0.1689	2.052	0.0716
5.00	2.468	0.2323	2.233	0.1822	2.137	0.0772

2"

	Ø 0.0635 M		Ø 0.0645 M		Ø 0.0660 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
1.00	0.318	0.0040	0.308	0.0037	0.297	0.0015
1.20	0.381	0.0056	0.369	0.0052	0.354	0.0022
1.40	0.444	0.0074	0.430	0.0069	0.412	0.0029
1.60	0.507	0.0095	0.491	0.0088	0.470	0.0037
1.80	0.570	0.0118	0.552	0.0109	0.528	0.0046
2.00	0.633	0.0144	0.613	0.0133	0.586	0.0056
2.20	0.696	0.0171	0.675	0.0159	0.644	0.0067
2.40	0.759	0.0201	0.736	0.0187	0.702	0.0078
2.60	0.822	0.0233	0.797	0.0216	0.761	0.0091
2.80	0.885	0.0268	0.858	0.0248	0.819	0.0104
3.00	0.948	0.0304	0.919	0.0282	0.877	0.0119
3.20	1.011	0.0343	0.980	0.0318	0.935	0.0133
3.40	1.075	0.0384	1.042	0.0355	0.994	0.0149
3.60	1.138	0.0426	1.103	0.0395	1.052	0.0166
3.80	1.201	0.0471	1.164	0.0437	1.110	0.0183
4.00	1.264	0.0518	1.225	0.0480	1.168	0.0202
4.20	1.327	0.0567	1.286	0.0526	1.227	0.0221
4.40	1.390	0.0618	1.347	0.0573	1.285	0.0241
4.60	1.453	0.0671	1.409	0.0622	1.343	0.0261
4.80	1.516	0.0727	1.470	0.0673	1.402	0.0283
5.00	1.580	0.0784	1.531	0.0726	1.460	0.0305
5.20	1.643	0.0843	1.592	0.0781	1.518	0.0328
5.40	1.706	0.0904	1.653	0.0837	1.576	0.0352
5.60	1.769	0.0967	1.715	0.0896	1.635	0.0376
5.80	1.832	0.1031	1.776	0.0956	1.693	0.0401
6.00	1.895	0.1098	1.837	0.1019	1.751	0.0427
6.20	1.959	0.1167	1.898	0.1082	1.810	0.0454
6.40	2.022	0.1238	1.960	0.1147	1.868	0.0481
6.60	2.085	0.1310	2.021	0.1214	1.926	0.0510
6.80	2.148	0.1385	2.082	0.1283	1.985	0.0539
7.00	2.211	0.1461	2.143	0.1354	2.043	0.0568
7.20	2.274	0.1539	2.204	0.1427	2.101	0.0599
7.40	2.338	0.1620	2.266	0.1501	2.160	0.0630
7.60	2.401	0.1702	2.327	0.1577	2.218	0.0662
7.80	2.464	0.1785	2.388	0.1655	2.276	0.0695
8.00	2.527	0.1871	2.449	0.1734	2.335	0.0728

2½"

CASO	C = 100 TEORICO		C = 100 HG (METALICA)		C = 150 PVC RDE 21	
	Ø 0.0762 M		Ø 0.0805 M		Ø 0.0804 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
1.00	0.223	0.0016	0.201	0.0013	0.206	0.0006
1.50	0.331	0.0035	0.298	0.0027	0.302	0.0013
2.00	0.441	0.0059	0.395	0.0045	0.399	0.0021
2.50	0.550	0.0089	0.493	0.0068	0.496	0.0032
3.00	0.659	0.0125	0.591	0.0096	0.594	0.0045
3.50	0.769	0.0167	0.669	0.0127	0.692	0.0060
4.00	0.878	0.0213	0.787	0.0163	0.790	0.0077
4.50	0.988	0.0265	0.885	0.0203	0.888	0.0094
5.00	1.097	0.0322	0.984	0.0247	0.987	0.0117
5.50	1.207	0.0385	1.082	0.0294	1.085	0.0140
6.00	1.317	0.0452	1.180	0.0346	1.183	0.0164
6.50	1.426	0.0524	1.278	0.0401	1.282	0.0190
7.00	1.536	0.0601	1.376	0.0460	1.330	0.0218
7.50	1.646	0.0683	1.475	0.0523	1.478	0.0248
8.00	1.755	0.0770	1.573	0.0589	1.577	0.0279
8.50	1.865	0.0861	1.671	0.0659	1.675	0.0313
9.00	1.974	0.0958	1.769	0.0733	1.773	0.0348
9.50	2.084	0.1058	1.868	0.0810	1.872	0.0384
10.00	2.194	0.1164	1.966	0.0891	1.970	0.0422
10.50	2.303	0.1274	2.064	0.0975	2.069	0.0462
11.00	2.413	0.1389	2.162	0.1063	2.167	0.0504
11.50	2.523	0.1508	2.260	0.1154	2.266	0.0547
12.00	2.632	0.1631	2.359	0.1249	2.364	0.0592
12.50	2.742	0.1760	2.457	0.1347	2.462	0.0639
13.00	2.852	0.1892	2.555	0.1448	2.561	0.0687
13.50	2.961	0.2029	2.653	0.1553	2.659	0.0736
14.00	3.071	0.2170	2.752	0.1661	2.758	0.0788
14.50	3.181	0.2316	2.850	0.1773	2.856	0.0841
15.00	3.290	0.2466	2.948	0.1888	2.955	0.0895

3"

	Ø 0.1016 M		Ø 0.1051 M		Ø 0.1044 M	
Q L/SG	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M	V M/SG	J M/M
3.00	0.373	0.0031	0.349	0.0026	0.364	0.0013
4.00	0.496	0.0053	0.464	0.0045	0.482	0.0023
5.00	0.619	0.0079	0.579	0.0067	0.600	0.0034
6.00	0.742	0.0111	0.694	0.0094	0.718	0.0048
7.00	0.865	0.0148	0.809	0.0126	0.837	0.0064
8.00	0.988	0.0190	0.924	0.0161	0.955	0.0082
9.00	1.112	0.0236	1.039	0.0200	1.074	0.0102
10.00	1.235	0.0287	1.154	0.0243	1.193	0.0124
11.00	1.358	0.0342	1.269	0.0290	1.312	0.0148
12.00	1.481	0.0402	1.384	0.0341	1.431	0.0174
13.00	1.605	0.0466	1.500	0.0395	1.550	0.0202
14.00	1.728	0.0535	1.615	0.0453	1.668	0.0231
15.00	1.851	0.0607	1.730	0.0515	1.787	0.0263
16.00	1.975	0.0685	1.845	0.0580	1.906	0.0296
17.00	2.098	0.0766	1.961	0.0649	2.025	0.0331
18.00	2.221	0.0851	2.076	0.0722	2.144	0.0368
19.00	2.345	0.0941	2.191	0.0798	2.263	0.0407
20.00	2.468	0.1035	2.306	0.0877	2.382	0.0448
21.00	2.591	0.1133	2.422	0.0960	2.501	0.0490
22.00	2.715	0.1235	2.537	0.1047	2.620	0.0534
23.00	2.838	0.1341	2.652	0.1137	2.739	0.0579
24.00	2.961	0.1450	2.768	0.1230	2.858	0.0628
25.00	3.085	0.1564	2.883	0.1326	2.977	0.0677
26.00	3.208	0.1682	2.998	0.1426	3.096	0.0729
27.00	3.332	0.1804	3.113	0.1530	3.215	0.0783
28.00	3.455	0.1930	3.229	0.1636	3.334	0.0839
29.00	3.578	0.2059	3.344	0.1746	3.453	0.0896
30.00	3.702	0.2193	3.459	0.1859	3.572	0.0949

4"

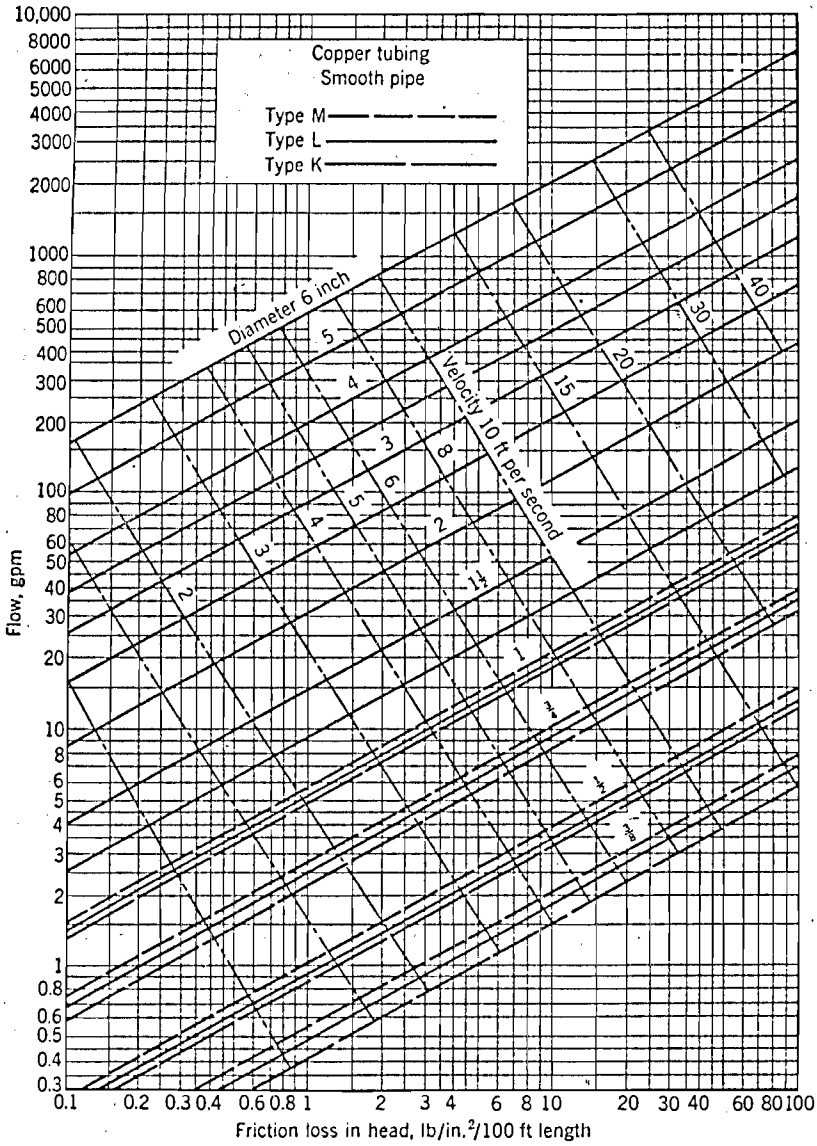


TABLA III

PARA TUBERIA DE COBRE TIPOS M L Y K

FACTORES DE CONVERSION

DIAMETRO:

x PULGADAS $\times 2{,}54 \frac{\text{CMS}}{1 \text{ PULG}} =$ CMS

VELOCIDAD:

$x \frac{\text{PIES}}{\text{SEG}} \times 0{,}30 =$ METROS/SEG

CAUDAL:

$x \frac{\text{GALONES}}{\text{MIN}} \times 0{,}063 =$ LITROS/SEG

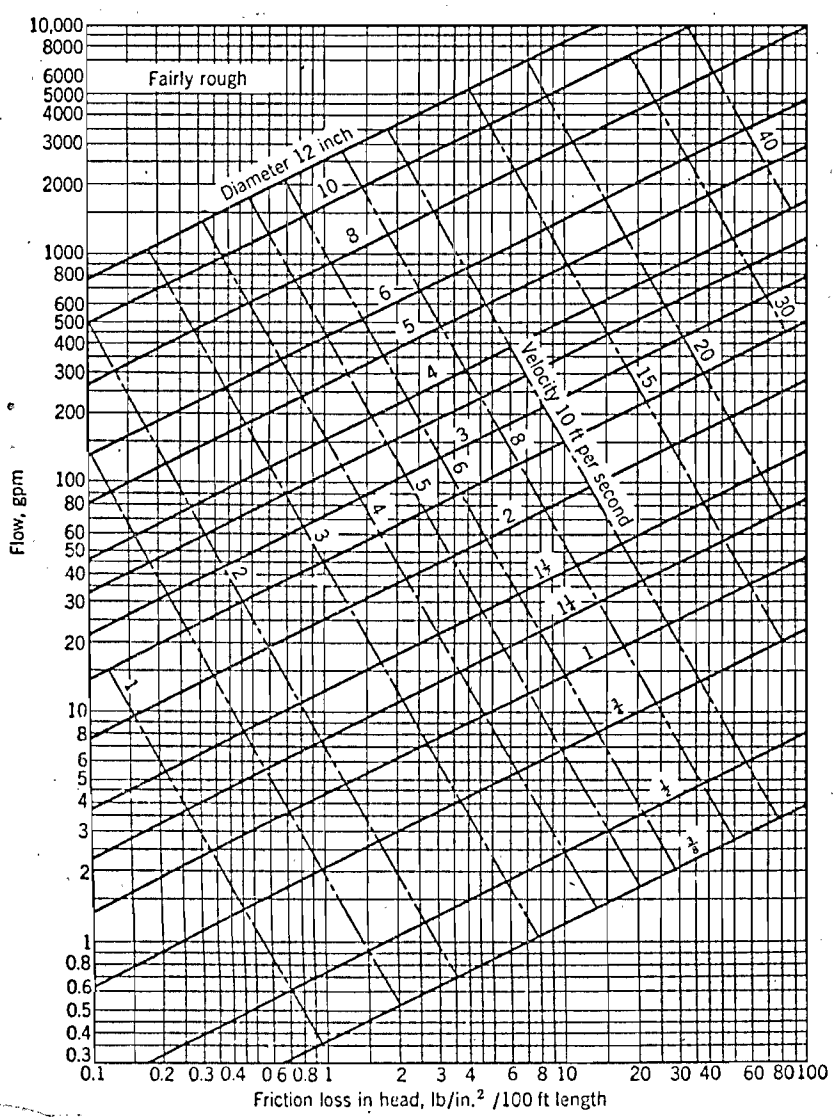
O TAMBIEN APROXIMADAMENTE:

$x \frac{\text{GALONES}}{\text{MIN}} \div 15 =$ LITROS/SEG

PERDIDA DE CARGA:

x PSI $\times 0{,}07 =$ KG/CM²

$x \frac{\text{PSI}}{100 \text{ PIES}} \times 0{,}023 = \frac{\text{m.c.a.}}{1 \text{ METRO}}$



PARA TUBERIA DEBILMENTE RUGOSA

PARA OBTENER UNIDADES METRICAS, APLIQUE LOS FACTORES DE CONVERSIÓN SUGERIDOS ARRIBA.

(Gráficos tomados de HEATING, VENTILATING, AIR CONDITIONING GUIDE, 1953).

(TOMADO DE "DISEÑO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADO" LUIS F. SILVA G. Y DE "MANUAL DE HIDRAULICA" JOSE M. AZEVEDO NETTO BRASIL)

LONGITUDES EQUIVALENTES A PERDIDAS LOCALIZADAS
(EN METROS DE TUBERIA RECTILINEA)

PERDIDAS LOCALIZADAS																			
DIAMETRO D		CODO 90°	CODO 90°	CODO 90°	CODO 45°	CURVA 90° R/D=1-1/2	CURVA 90° R/D=1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE "BORDA" (ENTRANTE)	VALVULA DE COMPUERTA ABIERTA	VALVULA DE GLOBO ABIERTA	VALVULA DE ANGULO ABIERTA	TEE DE PASO DIRECTO	TEE DE PASO LADO	TEE DE SALIDA BILATERAL	VALVULA DE PIE CON COLADERA	SALIDA DE TUBERIA	VALVULA DE RETENC. tipo liviano	VALVULA DE RETENC. tipo pesado
MM	PUL.	RADIO LARGO	RADIO MEDIO	RADIO CORTO															
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1-1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1-1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2-1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	8.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

NOTA: PARA REDUCCIONES TOME 6D COMO LONGITUD EQUIVALENTE. D= DIAMETRO MAYOR.
PARA AMPLIACIONES TOME 12D " " " . D= DIAMETRO MAYOR.

LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS

TABLA IV

TABLA V

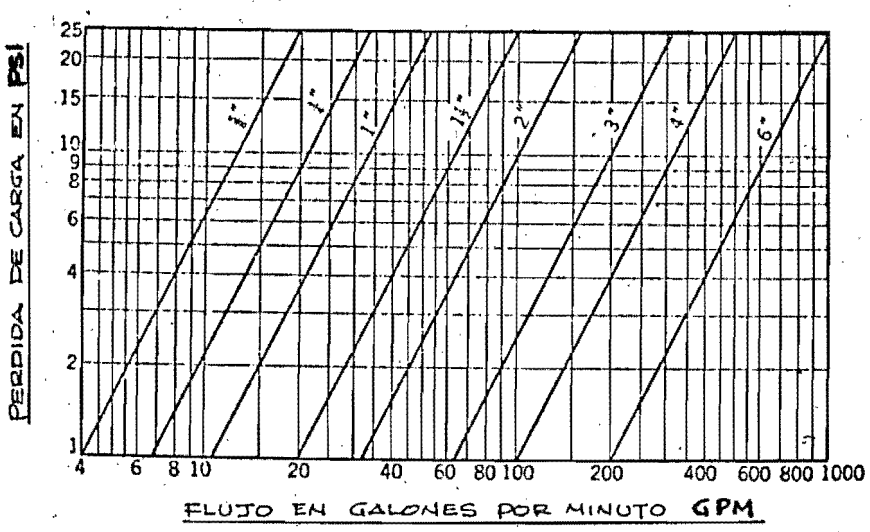
FLUJO DE AGUA EN INSTALACIONES DOMICILIARIAS NUEVAS

(EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN)

Presión en la RED H lbs/pulgs	Q Descarga en lts/seg. Diámetro de la Domiciliaria en pulgs						
	½	¾	1	1½	2	3	4
psi	Para una longitud de 10 m horizontales						
30	0.52	1.42	2.89	7.82	15.74	41.6	82.06
40	0.60	1.64	3.34	9.03	18.17	48.05	94.75
50	0.67	1.84	3.74	10.10	20.31	53.72	105.93
60	0.74	2.01	4.09	11.06	22.25	58.85	116.05
75	0.82	2.25	4.58	12.37	24.88	65.79	129.73
1 00	0.95	2.59	5.28	14.29	28.73	75.97	149.82
1 30	1.08	2.96	6 03	16.29	32.76	86.72	170.82
	Para una longitud de 30 m, horizontales						
30	0.31	0.87	1.78	4.91	10.05	27.46	55.76
40	0.36	1.00	2.06	5.67	11.61	31.71	64.38
50	0.41	1.12	2.30	6.34	12.98	35.46	71.98
60	0.44	1.23	2.52	6.94	14.22	38.84	78.85
75	0.50	1.37	2.82	7.76	17.31	43.43	88.16
1 00	0.58	1.58	3.26	8.96	18.36	50.14	101.80
1 30	0.66	1.81	3.71	10.22	20.93	57.18	116.07
	Para una longitud de 30 m horizontales y 5m de altura						
30	0.26	0.72	1.47	4.04	8.28	22.61	45.39
40	0.31	0.85	1.75	4.83	9.89	27.00	54.75
50	0.35	0.97	2.00	5.51	11.27	30.76	62.40
60	0.39	1.08	2.22	6.11	12.50	34.12	69.20
75	0.44	1.22	2.51	6.91	14.14	38.60	79.30
1.00	0.52	1.42	2.93	8.07	16.52	45.10	91.48
1.30	0.59	1.64	3.37	9.28	18.99	51.83	105.14
	Para una longitud de 30m horizontales y 10 m de altura						
30	0.21	0.57	1.18	3.21	6.66	18.23	37.07
40	0.26	0.72	1.49	4.09	8.40	22.99	46.72
50	0.31	0.84	1.74	4.79	9.83	26.89	54.69
60	0.34	0.95	1.96	5.40	11.07	30.31	61.64
75	0.39	1.03	2.25	6.21	12.72	34.81	70.79
1.00	0.47	1.30	2.67	7.35	15.07	41.24	83.86
1.30	0.54	1.50	3.09	8.53	17.90	47.93	97.25

NÓTESE QUE EN LA MISMA TUBERIA DE DIAMETRO CONSTANTE SE DEBE CUMPLIR $\frac{H}{H_1} = \frac{Q^2}{Q_1^2}$

PERDIDA DE CARGA EN MEDIDORES DE DISCO



FACTORES DE CONVERSIÓN:

x PSI × 0,07 = KG/CM² x PSI × 0,7 = metros c.a.

x GPM ÷ 15 = LITROS/SEG Si 1 GALÓN = 4 LITROS

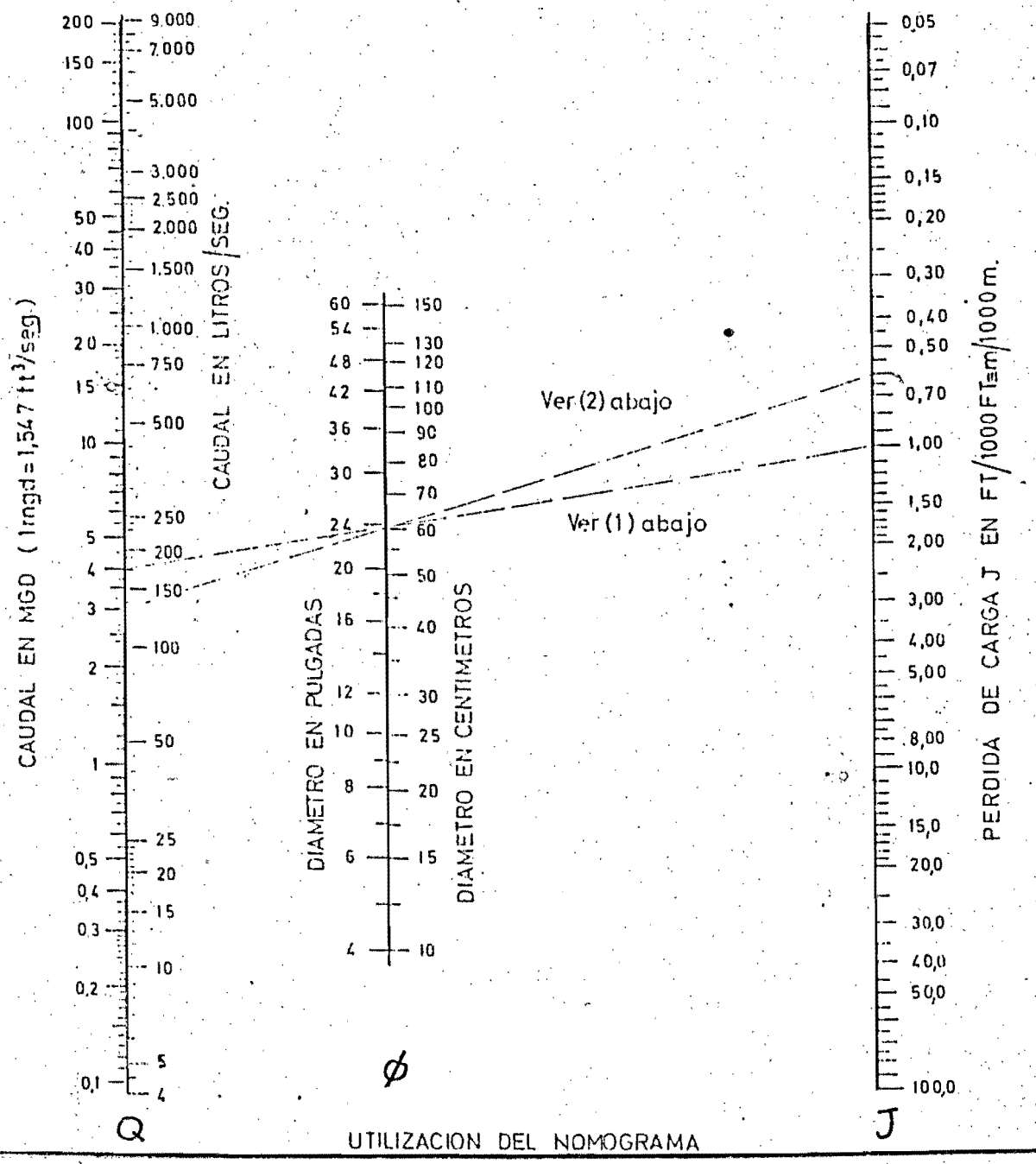
NOMOGRAMA DE CAUDALES

PARA REDES EXTERIORES C=100

TABLA VI

C = 100

FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS, $C_1 = 100$



UTILIZACION DEL NOMOGRAMA

(1) Dado D=60cm., J_{100} = 1,0 m/1000 m, C_1 = 120; determinar el caudal Q_{120}

El nomograma dá Q_{100} = 170 l/seg.

Para C_1 = 120, Q = (120/100) 170 = 204 l./seg. (AUMENTA Q POR SER MÁS LISA LA TUBERIA). C=120

(2) Dado Q = 156 l/seg., D = 60cm., C_1 = 120; determinar la pérdida de carga.

Cambiando Q_{120} a Q_{100} : Q_{100} = (100/120) 156 = 130 l./seg (DISMINUYE Q POR TUBERIA MAS RUGOSA). C=100

El nomograma dá J = 0,60 m./1000m.

(GRÁFICO TOMADO DE "TEORIA Y PROBLEMAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS" DE RANALD V. GILES.) — SERIE DE COMPENDIOS SCHAUM.

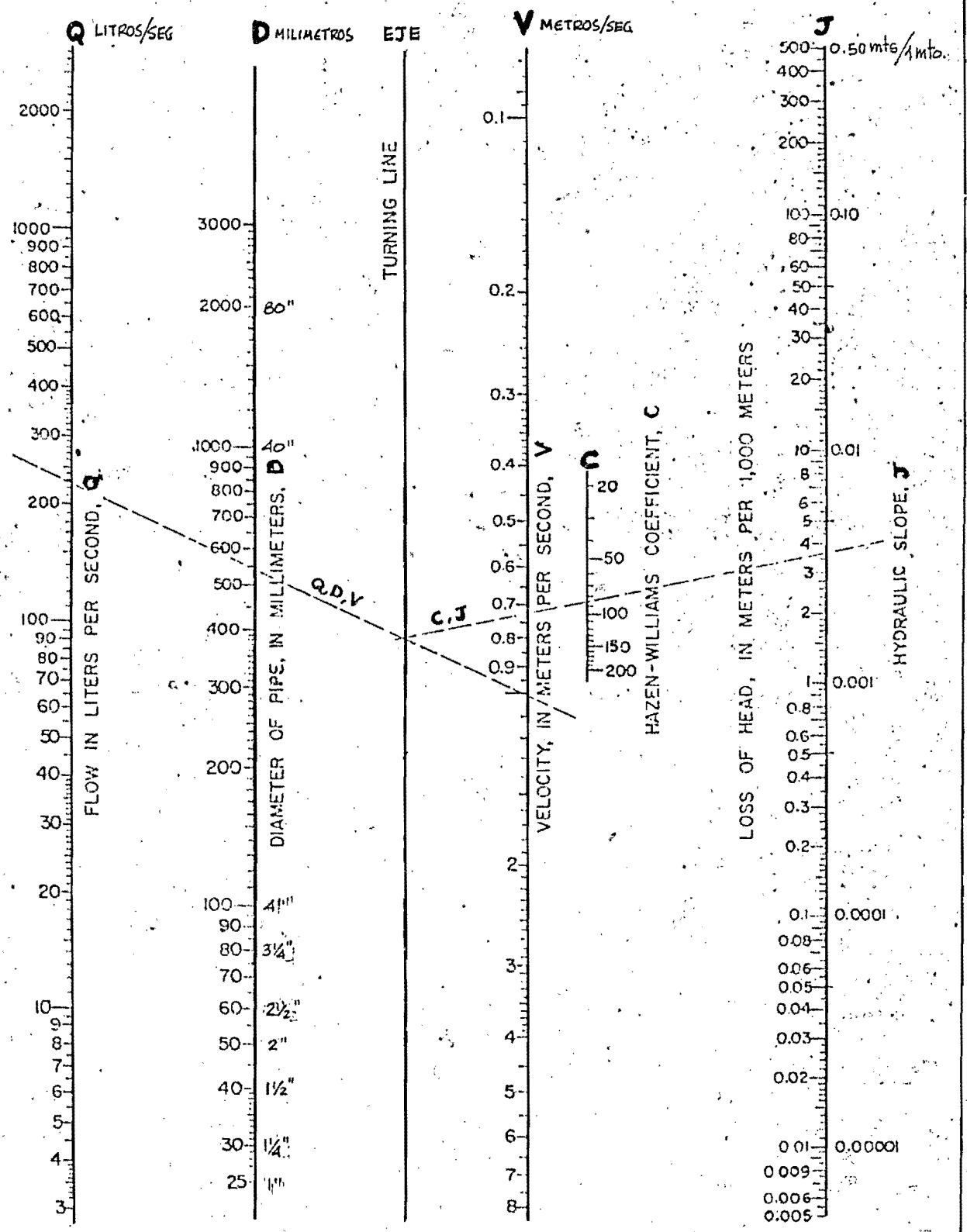
RELACIONES UTILIZADAS PARA OTROS VALORES DE C DIFERENTES DE 100

$\frac{Q_x}{Q_{100}} = \frac{C}{100}$	$\frac{V_x}{V_{100}} = \frac{C}{100}$	$\frac{J_x}{J_{100}} = \left[\frac{100}{C}\right]^{1.852}$	$\frac{\phi_x}{\phi_{100}} = \left[\frac{100}{C}\right]^{0.38}$
CAUDAL	VELOCIDAD	PERDIDA DE CARGA UNITARIA	DIAMETRO

(DE AZEVEDO NETTO).

TABLA VII

NOMOGRAMA "UNIVERSAL" HAZEN-WILLIAMS PARA C=20 a 200



NOMOGRAMA - FORMULA DE HAZEN Y WILLIAMS.
from "Practical Hydraulics for the Public Works Engineer" - McJunkin and Vesilind - reprinted by Public Works Magazine - 1968 (24 pages)

(Tomado de "Problemas Hidráulicos en el Diseño de Plantas de Potabilización de Agua" U. Nal. Medellín)

MANEJO: LAS RECTAS Q, D, V y C, J SE CORTAN EN UN PUNTO DEL EJE.

B I B L I O G R A F I A

A la Bibliografía consignada en la Primera Parte, se agrega:

. CODIGO COLOMBIANO DE FONTANERIA. NORMA ICONTEC 1500
Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1978.

. CODIGO DE SUMINISTRO Y DISTRIBUCION DE AGUA PARA EXTINCION DE INCENDIOS EN EDIFICACIONES. - SISTEMA DE HIDRANTES.
Anteproyecto de Norma Colombiana C 4.124/79.
Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1979.

. NOTAS DE CLASE
Del Curso dictado en la Facultad de Arquitectura por el Profesor Ing. Frank Zuluaga Serna. 1977.

Los Siguientes son Folletos, Boletines o Catálogos:

. DISEÑO DE REDES HIDRAULICAS EN FONTANERIA PARA UTILIZACION DEL "SISTEMA DE PRESION CONSTANTE".
Luis de J. Faccini. Bogotá.

. HYDRO-PNEUMATIC PRESSURE SYSTEMS
Peerless Pump. Hydrodynamics Division FMC Corporation.

. FIRE PROTECTION OF COLOMBIA
División de IMSA. Medellín.

. GRINNELL FIRE PROTECTION SYSTEMS COMPANY INC.

. NORMAS NFPA (National Fire Protection Association).

. PEERLESS FIRE PUMPS.

. FIRE JOURNAL

. FM (Factory Mutual)

. Heating, Refrigerating, Air Conditioning

. Empresas Públicas de Medellín

. ARCHITECTURAL CATALOG FILE. Mc Graw-Hill.

. Eternit Colombiana S.A. - SIMESA - PAVCO.

Tesis de Grado

. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EDIFICIOS ALTOS
Beatriz Eugenia Blair e Iván Botero Méndez
Facultad de Arquitectura, U. Nal. Medellín. 1978.

Textos de Hidráulica

. MANUAL DE HIDRAULICA
J. M. de Azevedo Netto y Guillermo Acosta Alvarez. Editorial Harla México 6a. Edición, 1975.

. MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS
Claudio Mataix. Editorial Harla México, 1977.