

46
rej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS HIDRAULICO EN CONDUCTOS
A PRESION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N
HUGO JIMENEZ AMAYA
MARCOS RAFAEL OCAMPO HEREDIA



MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-034/96

Señores
HUGO JIMENEZ AMAYA
MARCOS RAFAEL OCAMPO HEREDIA
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JESUS GALLEGOS SILVA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

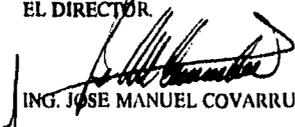
"ANALISIS HIDRAULICO EN CONDUCTOS A PRESION"

- I. INTRODUCCION**
- II. ANTECEDENTES**
- III. ECUACIONES BASICAS**
- IV. RESISTENCIA AL FLUJO**
- V. SISTEMAS DE TUBOS**
- VI. CONCLUSIONES**

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universidad, a 12 de marzo de 1996.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*nl

DEDICATORIAS DE HUGO JIMÉNEZ

A mis padres

Raymundo Jiménez Borja y Cecilia Amaya Berrocal.

Con cariño y agradecimiento por haberme dado todo su apoyo en la culminación de mi carrera de Ingeniero Civil.

A mis hermanos

César, Norma, Adriana, Héctor, Verónica y Víctor.

Que con su apoyo, consejos y buen humor me hicieron volver a sentir el valor de la vida cuando más derrotado me sentí.

Al Ing. Héctor

Héctor García Gutiérrez.

Con respeto a su gran calidad como profesor y ser humano, así como por su valiosa e incondicional amistad y confianza.

Y a mis compañeros y amigos

Ya que gracias a su competitividad y ayuda nos impulsamos unos a otros con el objetivo de ser cada día mejores estudiantes.

DEDICATORIAS DE RAFAEL OCAMPO

*Este trabajo está dedicado a J. Inés y Alejandra, mi Padre y mi Madre,
que me enseñaron algo más de lo que se puede aprender en cualquier
escuela.*

*A mis hermanos Donato, Alejandro, Irma y Vicki,
por su apoyo, cariño y comprensión.*

A Laura y Lilliana.

A Lucila, que nunca conocí.

A toda mi familia.

A la memoria de mis abuelos.

*A todos mis amigos que compartieron
conmigo un espacio de su vida.*

A la vida.

DEDICATORIAS DE HUGO JIMÉNEZ Y RAFAEL OCAMPO

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Ingeniería.

A Nuestros Profesores.

Al Laboratorio de Hidráulica.

Al Ing. Jesús Gallegos Silva por su apoyo en la elaboración de ésta tesis.

A todos los amigos y compañeros.

INDICE

CAPITULO	Pág.
INTRODUCCION.	1
I.- ANTECEDENTES.	3
II.- ECUACIONES BASICAS.	10
II.1.- Generalidades.	10
II.2.- Ecuaciones Fundamentales.	12
II.2.1.- Ecuación de continuidad.	12
II.2.2.- Ecuación de la energía.	13
II.2.3.- Ecuación de impulso o cantidad de movimiento.	15
III.- RESISTENCIA AL FLUJO.	24
III.1.- Pérdidas por Fricción.	25
III.1.1.- Fórmula de Darcy-Weisbach.	26
III.1.2.- Factor de fricción "f".	27
III.1.3.- Conductos de sección transversal no circular.	36
III.2.- Pérdidas Locales.	39
III.2.1.- Pérdida por entrada.	41
III.2.2.- Pérdida por rejilla.	44
III.2.3.- Pérdida por ampliación.	48
III.2.4.- Pérdida por reducción.	55
III.2.5.- Pérdida por diafragma.	58
III.2.6.- Pérdida por dispositivos para medición de gasto.	63
III.2.7.- Pérdida por cambio de dirección.	64
III.2.8.- Pérdida en uniones y bifurcaciones.	79
III.2.9.- Pérdida por válvulas.	102
III.2.10.- Pérdida por salida.	113
III.2.11.- Método de las longitudes equivalentes.	115
III.3.- Tubos Comerciales.	120
III.4.- Dispositivos de Seguridad en Tuberías.	121
IV.- SISTEMAS DE TUBOS.	123
IV.1.- Sistemas en Serie(o Conducto Simple).	126
IV.1.1.- Problemas de revisión.	127

IV 1.2.- Problemas de diseño.	128
IV 2.- Sistemas en Paralelo.	137
IV.2.1.- Determinación del Gasto en cada Ramal y el Gasto Total.	137
IV2.2.- Determinación de la Pérdida de Carga (ΔH) y Distribución de gastos en cada Ramal.	139
IV.3.- Redes Abiertas	148
IV.3.1.- Diseño de una red abierta.	154
IV.4.- Redes Cerradas.	165
IV.4.1.- Método de Hardy Cross para problemas de revisión.	167
IV.4.2.- Método de Hardy Cross para problemas de diseño.	169
IV.5.- DIAMETRO ECONOMICO	185
V.- CONCLUSIONES.	190
Anexo 1. Programas para computadora.	192
Bibliografía.	213

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo fue proyectado en base a la inquietud de crear una referencia bibliográfica en donde los alumnos de las asignaturas del área de hidráulica puedan consultar y ampliar los temas relacionados con el estudio, análisis y solución de problemas relacionados con los sistemas de conductos a presión, que van desde el tubo sencillo hasta el de redes de agua potable.

Cabe mencionar que aunque este trabajo pretende ser una ayuda práctica principalmente para los estudiantes que cursan la asignatura de hidráulica básica (o de cualquier otra asignatura del área) y que le interese los temas descritos en el mismo, por lo que deberá tener un conocimiento claro de los temas y conceptos relativos al problema de los conductos a presión.

Se recomienda al estudiante que considere este trabajo como un libro de consulta de los temas correspondientes, ya que así complementará y fijará aún más sus conocimientos que va adquiriendo en sus cursos respectivos.

Para lograr lo anterior el trabajo se ha desarrollado de la siguiente manera: En el capítulo uno " Antecedentes", se hace una breve descripción del concepto de conducto a presión, los distintos tipos de conductos a presión que existen así como de sus principales componentes. Se hace también mención de los distintos tipos de flujo que existen en dichos conductos.

En el capítulo dos " Ecuaciones básicas ",se describe de manera muy general las características, aplicaciones y alcances de las ecuaciones básicas de la hidráulica (Ecuación de continuidad, Ecuación de la energía y la Ecuación del Impulso o Cantidad de Movimiento), las cuales ayudan a resolver una gran variedad de problemas hidráulicos con flujo permanente.

En el capítulo tres " Resistencia al flujo " ,se procura dar un panorama más amplio sobre las pérdidas de energía que se presentan en el flujo a presión de fluidos en conductos cerrados o tubos (pérdidas por fricción y pérdidas locales).

Para el cálculo de la pérdida de energía por fricción se empleó la expresión de Darcy-Weisbach, utilizando diferentes criterios para la determinación del factor de fricción " f " aplicable a dicha ecuación. Asimismo, para el caso de las pérdidas locales, se presenta una amplia información para obtener el coeficiente " k " de pérdida local (dependiendo del tipo de pérdida de que se trate).

También se tratan conceptos necesarios para el estudio de éstas pérdidas como lo son: el número de Reynolds, tipos de flujo; concepto de rugosidad absoluta y relativa, así como el efecto corrosivo del agua y del número de años de servicio de las tuberías en el valor de su rugosidad absoluta.

En el capítulo cuatro " Sistemas de tubos " ;se presenta breve descripción de los

sistemas de tubos; simples y en paralelo, redes abiertas y cerradas, así como algunos de los métodos de análisis y solución de los mismos. Lo anterior con el fin de ampliar los conceptos aquí tratados.

En el capítulo cinco " Conclusiones ", se considera una serie de observaciones y recomendaciones que a nuestro juicio resultan ser las más importantes y de mayor trascendencia en el presente análisis y diseño hidráulico de los conductos a presión.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

I.- ANTECEDENTES.

El problema de flujo de fluidos en tuberías se encuentra en muchas áreas de la práctica de la ingeniería. El flujo a presión en tuberías abarca aquellos problemas en los cuales el conducto es forzado (se considera forzado el conducto en el cual el líquido fluye con una presión diferente a la atmosférica). La tubería funciona siempre totalmente llena y está siempre cerrada. Los conductos de distribución de agua en las ciudades, por ejemplo, siempre funcionan o deben funcionar como conducto a presión. Los flujos que llenan parcialmente el tubo, por ejemplo, los de las líneas de drenaje y alcantarillado, se tratan como canales abiertos, que caen fuera de los alcances del presente trabajo.

Los conductos a presión incluyen, entre otros:

- Tuberías de baja presión.
- Tuberías de descarga.
- Tuberías de aspiración.
- Sifones.
- Conductos de centrales hidroeléctricas.

Una conducción a presión puede formarse de diferentes partes:

- Tramos rectos de sección transversal y velocidad constantes
- Tramos de velocidad variable, como reducciones y ampliaciones.
- Tramos de gasto variable, como las ramificaciones y las uniones en general.
- Tramos conteniendo órganos de regulación, como válvulas.
- Tramos de energía variable, como el caso de turbinas y bombas y disipadores de energía.
- Tramos de dirección variable, como codos y curvas.

Algunos tramos pueden ser mixtos, por ejemplo, un codo de sección variable, o un tramo con una reducción y un disipador de energía.

La pérdida de carga en un conducto depende de si el flujo es laminar o turbulento y de la rugosidad del tubo. Un flujo laminar es aquel en que las fuerzas viscosas son más importantes que las de inercia. En tuberías esto se presenta para números de Reynolds menores de 2000. La característica esencial del flujo laminar es que la trayectoria de sus partículas es perfectamente regular sin intercambio o mezcla de partículas fluidas y sin movimientos erráticos. En flujo turbulento las fuerzas de inercia son más importantes que las fuerzas viscosas. Existe una transición de flujo laminar a turbulento a partir de un valor crítico del número de Reynolds, que oscila entre 2000 y 4000. La característica fundamental de los flujos turbulentos es que sus partículas no siguen trayectorias definidas, sino que se mueven aleatoriamente.

La solución de los problemas prácticos del flujo en tuberías a presión, resulta del principio de conservación de la energía, la ecuación de continuidad y los principios y ecuaciones de la resistencia de fluidos. La resistencia al flujo en los tubos, es ofrecida no sólo por los tramos largos de tubos, sino también por los accesorios de las conducciones como codos, válvulas, etc., que disipan energía al producir turbulencias.

El cálculo del diámetro económico en una conducción tiene especial importancia en sistemas hidroeléctricos o en estaciones de bombeo, ya que los espesores necesarios pueden encarecer el costo de la tubería. De especial interés son las presiones negativas (se considera presión negativa, aquella que es menor que el cero de referencia) en los álabes de una turbina, y aunque la temperatura del agua sea baja se puede presentar el fenómeno de cavitación; algo semejante se produce en sifones o en tramos cuyas presiones sean negativas.

En los párrafos siguientes se mencionan brevemente, algunas de las principales propiedades de lo agua

- Densidad. Es la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

en donde:

ρ : en kg/m^3 .
 M : masa, en kg.
 V : volumen, en m^3 .

- Peso Volumétrico. Es el peso por unidad de volumen.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

en donde:

γ : en kg/m^3 .
 W : peso, en kg.
 V : volumen, en m^3 .

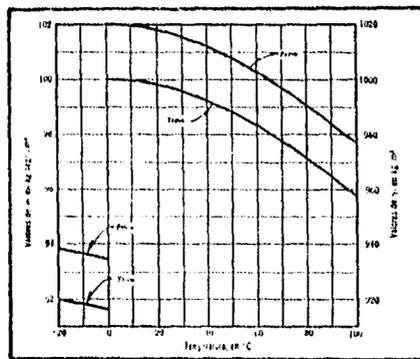


Fig. 1.1 Densidad y peso específico del agua a nivel del mar.

- Viscosidad. La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a fluir. La viscosidad μ suele llamarse viscosidad dinámica, para evitar confundirla con la viscosidad cinemática ν , que es el cociente de la viscosidad dinámica por la densidad.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

en donde:

- ν : viscosidad cinemática, en m^2/s .
- μ : viscosidad dinámica, en $kg/m \cdot s$.
- ρ : densidad, en kg/m^3 .

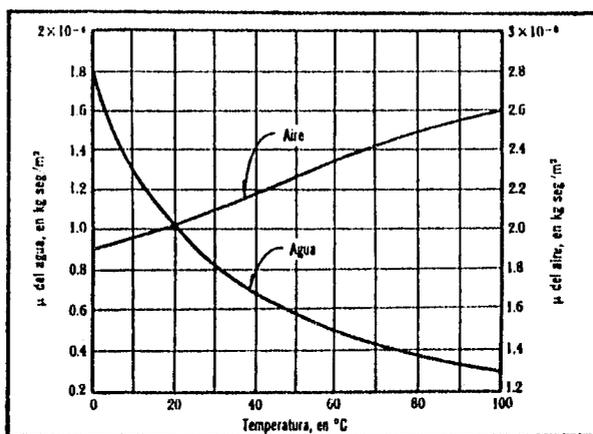


Fig. 1.2 Viscosidad dinámica del agua y del aire a nivel del mar.

- Compresibilidad. Es una medida de cambio de volumen cuando se somete a diversas presiones. En los fluidos se verifica la ley fundamental de la elasticidad: el esfuerzo unitario es igual a la deformación unitaria. El esfuerzo considerado es el de compresión Δp ; la deformación unitaria es la deformación unitaria del volumen $\Delta V / V = \Delta v / v$. Por tanto, la ley anterior se traduce en la fórmula siguiente:

$$\Delta p = -E \frac{\Delta v}{v}$$

donde:

- Δp : esfuerzo unitario de compresión, en kg/m^2 .
- v : volumen inicial, en m^3 .
- Δv : variación de volumen, en m^3 .
- E : módulo de elasticidad volumétrica, en kg/m^2 .

El signo negativo indica que aun incremento de presión corresponde un decremento de volumen. Al aumentar la temperatura y la presión, aumenta también E.

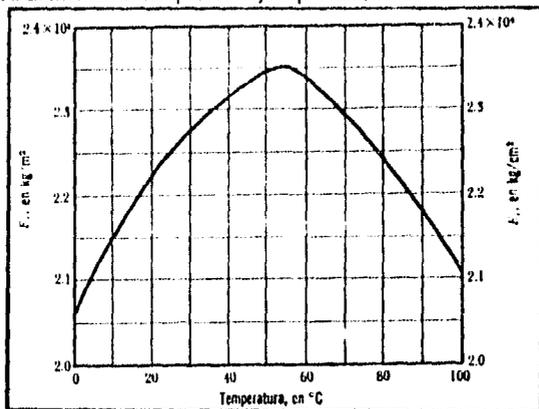


Fig. 1.3 Módulo de elasticidad volumétrica del agua.

- Presión de vaporización. Aquella que la hace entrar en ebullición, y es una característica que depende de la temperatura. Éste fenómeno se presenta cuando en un escurrimiento ocurren grandes descensos locales de la presión, por debajo de la atmosférica.

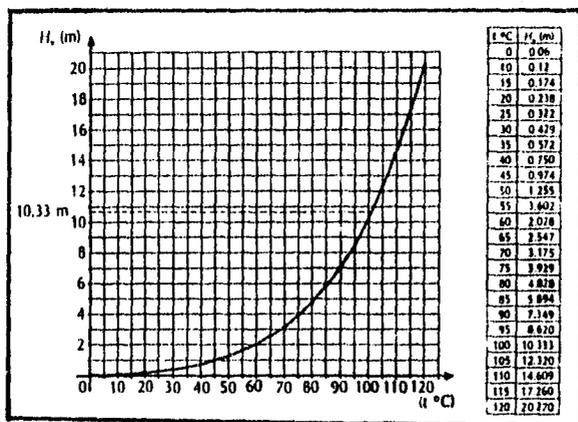


Fig. 1.4 Presión de vaporización del agua.

En el presente trabajo se tratan los problemas relacionados con el flujo de un líquido en un conducto forzado o a presión. Además, se considera que el escurrimiento es permanente o independiente del tiempo; es decir, las características hidráulicas (presión, velocidad, etc.) en cualquier sección no cambian con el tiempo.

El número de Reynolds, Re , tiene importancia en flujos a poca velocidad donde las fuerzas viscosas predominan sobre las de inercia, utilizándose a menudo como criterios de semejanza en modelos de naves aéreas, cuerpos sumergidos en un flujo, medidores de gasto, transiciones en conductos, etc., en los cuales las características del flujo están sujetas a efectos viscosos.

NÚMERO DE REYNOLDS.

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que toma en cuenta la relación que existe entre la velocidad del fluido que circula y el material que lo envuelve, una dimensión lineal típica, (diámetro, profundidad, etc.) y la viscosidad cinemática del fluido. En el caso de flujo a presión en tubos de sección circular, se considera el diámetro como una dimensión típica, resultando la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{VD}{\nu}$$

donde:

- V : Es la velocidad del fluido; en m/s.
- D : Es el diámetro del tubo; en m.
- ν : Es la viscosidad cinemática del fluido; en m^2/s .

Los términos del numerador se refieren a las fuerzas de inercia, es decir, a las fuerzas que se originan por la aceleración o desaceleración del fluido, mientras que el término del denominador a las fuerzas viscosas. La viscosidad cinemática puede obtenerse de la figura 1.5.

El número de Reynolds nos permite distinguir entre regímenes de flujo, tales como laminar o turbulento en conducciones a presión. Cualquiera que sea el sistema de unidades empleado, el valor de R_e será siempre el mismo.

Si el flujo en tuberías se verifica con número de Reynolds superior a 4000 el movimiento se considera como turbulento. El flujo en régimen laminar ocurre para valores de R_e inferiores a 2000, existiendo además una zona de transición entre los 2000 y los 4000.

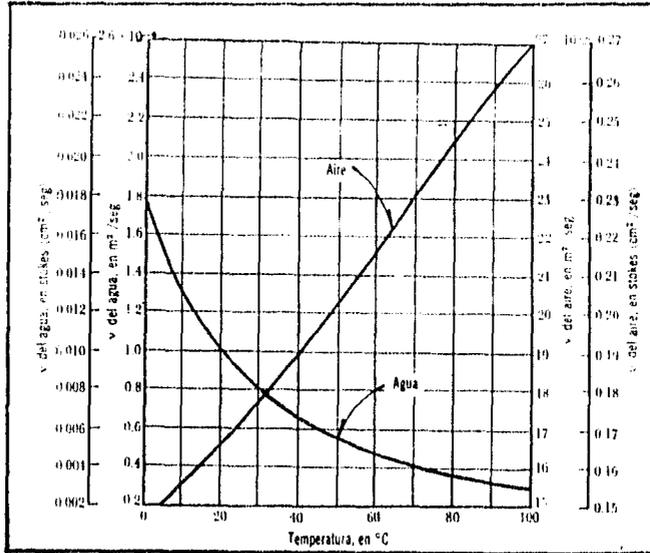


Fig. 1.5 Viscosidad cinemática del agua y del aire.

FLUJO LAMINAR.

Para este tipo de flujo, ya sea en tuberías de sección transversal circular u otra, el fluido se desplaza en capas anulares concéntricas que se deslizan unas sobre otras con velocidad decreciente desde el eje de la conducción (velocidad máxima) hasta la pared de la tubería (velocidad cero).

El movimiento es ordenado y estratificado, el fluido se mueve en capas que no se mezclan entre sí. En flujo laminar la viscosidad frena la tendencia a la turbulencia. Este flujo no es estable (es decir se rompe transformándose en turbulento) cuando es pequeña la viscosidad, o es grande la velocidad o el gasto.

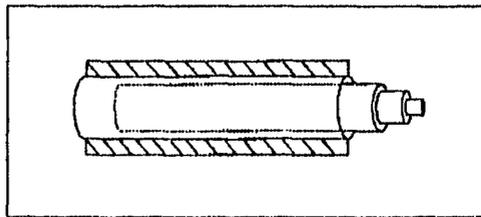
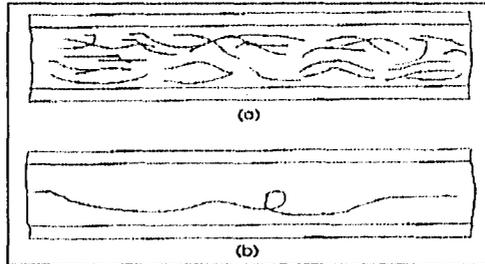


Fig. 1.6 Esquema de un flujo laminar.

FLUJO TURBULENTO

El flujo turbulento es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de la ingeniería. En ésta clase de flujo el movimiento es caótico; es decir, las partículas de fluido se mueven desordenadamente y las trayectorias se entrecruzan formando pequeños remolinos.



- a) Segmentos de trayectorias de diversas partículas en un mismo periodo breve de tiempo.
- b) Trayectoria de una sola partícula en un periodo mayor de tiempo.

Fig. 1.7 · Esquema de un flujo turbulento.

CAPÍTULO II

ECUACIONES BÁSICAS

II.- ECUACIONES BÁSICAS.

II.1 - GENERALIDADES

Antes de mencionar las ecuaciones básicas se incluyen algunas definiciones.

Cinemática de líquidos. Trata del movimiento de las partículas sin considerar la masa ni las fuerzas, en base sólo al conocimiento de las magnitudes cinemáticas (velocidad, aceleración, etc).

Velocidad de las partículas de fluido: Es la rapidez temporal de cambio en su posición.

Trayectoria de una partícula: Línea que une todos los puntos por los que pasa dicha partícula al transcurrir el tiempo.

Línea de corriente: Línea trazada en el interior de un campo de flujo de manera que la tangente a dicha línea en cada punto proporciona la dirección del vector velocidad.

Vena líquida: Fluido contenido en un tubo de corriente.

Tubo de corriente: Es un tubo imaginario o real cuya pared lateral está formada por líneas de corriente

Velocidad media: Es el promedio calculado de la relación entre el gasto y el área de una superficie transversal al flujo.

Gasto: Volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente.

Contrariamente a lo que sucede en los sólidos, las partículas de un fluido en movimiento pueden tener diferentes velocidades y estar sujetas a distintas aceleraciones.

Tres principios fundamentales que se aplican al flujo de fluidos son:

- a) Principio de conservación de la masa, a partir del cual se establece la ecuación de continuidad,
- b) El principio de conservación de la energía a partir del cual se deduce la ecuación de la energía, y
- c) El principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen ecuaciones para calcular fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento.

La ecuación de continuidad es un balance de masas que establece la igualdad de gasto en todas las secciones de una vena líquida, siendo el conducto la frontera de ésta. La ecuación de la energía aplicada a una vena líquida establece la invariabilidad de la energía, mediante su transformación y distribución, en cada una de las secciones. La ecuación de impulso es la aplicación de la segunda ley de Newton a los problemas de hidráulica y sirve para cuantificar las fuerzas resultantes debidas a los cambios de cantidad de movimiento.

Cuando las ecuaciones fundamentales se aplican a una vena líquida, se utilizan valores medios de las variables características del flujo, ya que el análisis es equivalente a estudiar el escurrimiento sobre la línea de corriente ideal que coincide con el eje de la vena líquida (conducto).

En las ecuaciones de la energía y del impulso se utilizan los coeficientes de Coriolis (α) y Boussinesq (β), que corrigen el error de considerar el valor medio de la velocidad y el

efecto de la distribución irregular de la velocidad. Éstos coeficientes tienen valores muy cercanos a uno en flujo turbulento, y alcanzan sus valores máximos en flujo laminar. El valor de éstos coeficientes depende de la forma de distribución de las velocidades. Los coeficientes de corrección de Coriolis (α) y Boussinesq (β), pueden expresarse en función del factor de fricción, según las expresiones

$$\alpha = 1 + 2.93f - 1.55f^{1/2}$$

$$\beta = 1 + 0.98f$$

Considerando que generalmente $0.01 \leq f \leq 0.05$ se tendrían los límites $1.03 \leq \alpha \leq 1.13$ y $1.01 \leq \beta \leq 1.05$, por lo que es admisible tomar $\alpha = \beta = 1.0$ en flujo turbulento; además de que en la mayoría de los problemas de hidráulica, los escurrimientos son turbulentos y es común considerarlos igual a la unidad.

En un conducto a presión con escurrimiento permanente, cualquier problema hidráulico se puede resolver con las ecuaciones de continuidad, de la energía y del impulso, utilizando la primera y la segunda, la primera y la tercera o una sola de ellas según la naturaleza del problema.

En la ecuación de la energía la carga de presión y de posición se miden al centro del conducto.

En general, cualquier sistema de ecuaciones debe plantearse entre secciones donde las condiciones de frontera queden bien definidas, estos es, donde se conozca la energía total y las proporciones que las constituyen: energía de posición, presión y cinética. Dichas secciones pueden ser:

- a) La superficie libre de un líquido en un recipiente al cual se conecta un conducto.
- b) La sección inicial de un chorro descargado por un chiflón a la atmósfera.
- c) La salida de las conducciones que descargan a la atmósfera o a recipientes cuya carga hidráulica sobre el conducto sea conocida o pueda valuarse.
- d) Secciones intermedias de una conducción donde concurren varios tramos, en los cuales la energía es la misma para todos.

II.2.- ECUACIONES FUNDAMENTALES.

II.2.1.- ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.

Esta ecuación es una expresión analítica del principio general de conservación de la masa, se desarrolla en varias formas empleando los conceptos sistema y volumen de control. Esto significa que es constante el gasto que circula por cada sección del conducto con flujo permanente. Se expresa como:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3 \dots \dots \dots A_i V_i \quad (2.1)$$

en donde:

Q : Es el gasto que circula por el conducto; en m^3/s .

A_i : Es el área de la i -ésima sección transversal; en m^2 .

V_i : Es la velocidad media en la i -ésima sección transversal; en m/s .

En la siguiente figura se muestra una interpretación de lo anterior;

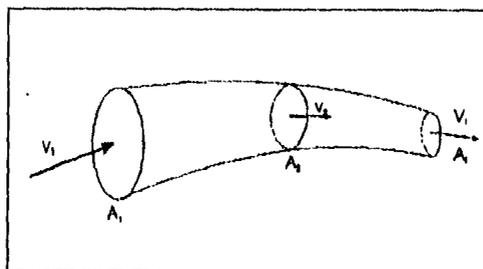


Fig. 2.1 Interpretación de la ecuación de continuidad.

En las ramificaciones deberá cumplirse:

$$Q = \sum V_i A_i$$

II.2.2.- ECUACIÓN DE LA ENERGÍA.

La ecuación de la energía expresa la igualdad de energía en un flujo permanente a lo largo de la conducción. Cada término es una carga que representa las diferentes formas de energía. Esto es, la carga de posición corresponde a la energía potencial, la carga de presión es el trabajo mecánico debido a las fuerzas de presión, la carga de velocidad es la energía cinética y las pérdidas representan la transferencia de calor, medidas verticalmente a partir de un nivel horizontal de referencia.

Introduciendo el concepto de carga, la ecuación de la energía se enuncia diciendo que la suma de las cargas de posición, presión y velocidad, permanece constante para toda sección de un conducto en el cual fluye un líquido con régimen permanente.

Esta ecuación se aplica entre dos secciones transversales del conducto mediante la siguiente expresión:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_f + \sum_1^2 h_l \quad (2.2)$$

donde:

- z : Es la energía de posición, correspondiente a la elevación del eje del conducto con respecto a un nivel horizontal de referencia; en m.
- P : Es la presión en el centro de gravedad de la sección transversal; en kg/m²
- γ : Es el peso volumétrico del fluido; en kg/m³.
- α : Es el coeficiente de Coriolis, adimensional, igual a la unidad para flujo turbulento.
- V : Es la velocidad media en la sección del conducto; en m/s.
- g : Es la aceleración de la gravedad; en m/s².

Σh_f : Es la suma de las pérdidas de energía debidas a la fricción entre las secciones 1 y 2; en m.

Σh_l : Es la suma de las pérdidas de energía locales que se presentan entre las secciones 1 y 2; en m.

La carga o energía total, H_i, en una sección transversal se representa como:

$$H_i = z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \alpha_i \frac{V_i^2}{2g} \quad (2.3)$$

Cabe mencionar que en la mayor parte de los problemas de flujo en tubos, se puede considerar α=1 dado que en gran parte de los problemas en ingeniería acerca del flujo en tubos implica un flujo turbulento, en el cual α es apenas ligeramente mayor que la unidad. El efecto de α tiende a cancelarse, ya que aparece en ambos lados de la ecuación.

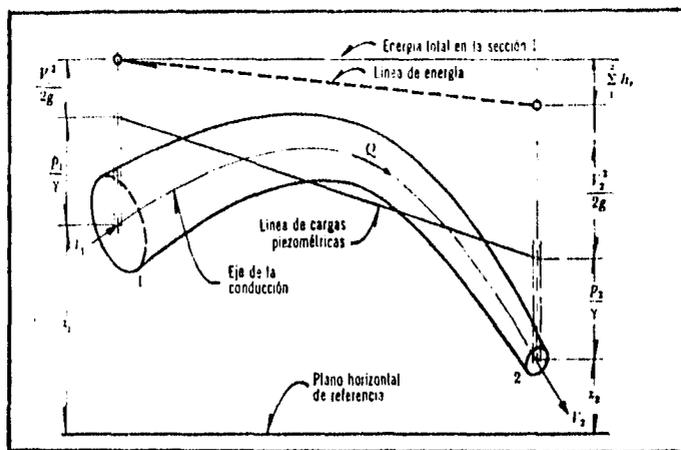


Fig. 2.2 Interpretación de la ecuación de la energía en un conducto a presión.

Si la ecuación de Bernoulli es la siguiente:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Se puede ver que en ésta expresión no se incluyen las pérdidas de energía provocadas por la fricción, por lo que esto es un punto de comparación importante; mientras que la ecuación de la Bernoulli se utiliza para un fluido ideal (sin rozamiento del fluido con las paredes del tubo), la ecuación de la energía se utiliza para un fluido real en donde la viscosidad origina un rozamiento, y éste a su vez, pérdidas de energía.

II.2.3.- ECUACIÓN DE IMPULSO O CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

Es una expresión vectorial que se deduce de la segunda ley de Newton, y se acostumbra trabajarla en componentes escalares, según tres direcciones ortogonales, mutuamente perpendiculares

$$\Sigma F_x = \frac{\gamma}{g} \Sigma (Q\beta V_x)$$

$$\Sigma F_y = \frac{\gamma}{g} \Sigma (Q\beta V_y)$$

$$\Sigma F_z = \frac{\gamma}{g} \Sigma (Q\beta V_z)$$

donde:

$F_{x,y,z}$: es la suma de fuerzas externas e internas en una de las tres direcciones ortogonales x, y o z que actúan sobre un volumen de control. Estas pueden ser: a) de inercia o de cuerpo, como las debidas a la acción de algún campo electromagnético o a la aceleración de Coriolis, pero generalmente son las fuerzas gravitacionales; b) de superficie, como los empujes -estáticos y dinámicos- producidos por la presión, y c) fuerzas de reacción externas en razón a la acción del flujo.

γ : peso volumétrico del fluido, en kg/m³.

β : coeficiente de Boussinesq, adimensional, igual a 1 en flujo turbulento.

$V_{x,y,z}$: componente de la velocidad media en la dirección x, y o z de cada entrada o salida de flujo al cuerpo de control, en m/s.

La ecuación se aplica a un volumen de control totalmente lleno de líquido y se deduce de un diagrama de cuerpo libre, es decir, las fuerzas se consideran externas al volumen de control.

El componente de la velocidad media en la dirección considerada estará afectado por dos signos: uno debido a la dirección de la velocidad con respecto a los ejes coordenados, y el otro será positivo cuando el flujo salga del volumen de control, o negativo si el flujo entra.

Para cada producto $Q\beta V$, deberá considerarse el gasto y el coeficiente de Boussinesq correspondientes a la porción de la superficie de control que atraviesen.

En casos particulares se puede conocer la fuerza, y el teorema del impulso sirve para calcular la variación de la cantidad de movimiento. En otros casos se puede conocer ésta variación y el mismo teorema permite calcular la fuerza.

Entre las aplicaciones de ésta ecuación se encuentran las siguientes:

a) En él se basa el cálculo de la fuerza que al fluido ejerce sobre un conducto en un cambio de dirección, como en un codo, el cálculo de ésta fuerza es necesario para el proyecto de anclajes de una tubería forzada que conduce agua.

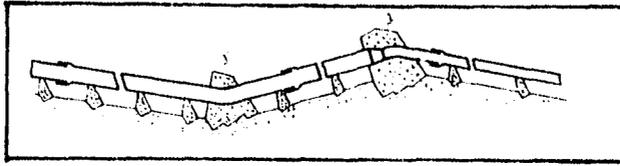


Fig 2.9 Tubería forzada. En los puntos 1 y 2 el agua cambia su cantidad de movimiento y surge una fuerza que hay que compensar con el anclaje.

b) Fuerza sobre un álabe. En el rodete de una turbina los álabes, que tienen forma de cucharas, se fijan en su periferia, como lo muestra la figura 2.10, el agua al incidir en uno de éstos álabes con una velocidad, es desviada, variando así su cantidad de movimiento. El agua ha estado sometida a una fuerza, por lo tanto el álabe experimenta una fuerza igual y de sentido contrario.

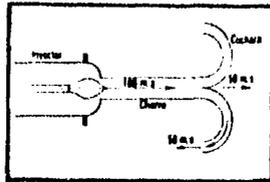


Fig 2.10 Álabe de una turbina.

A).- APLICACIONES.

La ecuación de la energía es una de las expresiones fundamentales de la hidráulica, son innumerables los problemas prácticos que se resuelven mediante ésta ecuación:

- Con ella se determina la carga de succión a que debe instalarse una bomba.
- Es necesaria para el cálculo de la carga efectiva o carga útil que se necesita en una bomba.
- Con ella se estudia el problema de cavitación.
- Interviene no sólo en el cálculo de tuberías de agua, sino además de oleoductos, tuberías de refrigeración y aire acondicionado, tuberías a presión en centrales hidroeléctricas, etc.

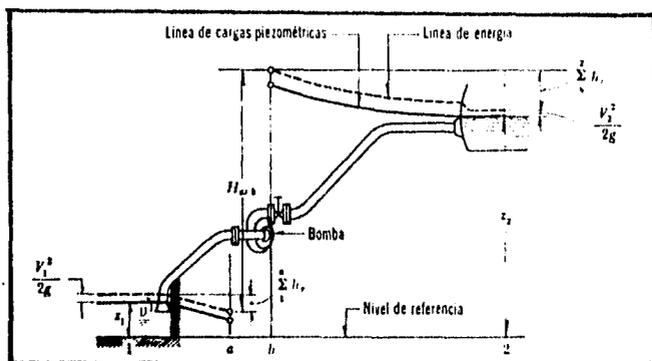


Fig. 2.3 Representación gráfica de la carga útil de un bomba aplicando la ecuación de la energía.

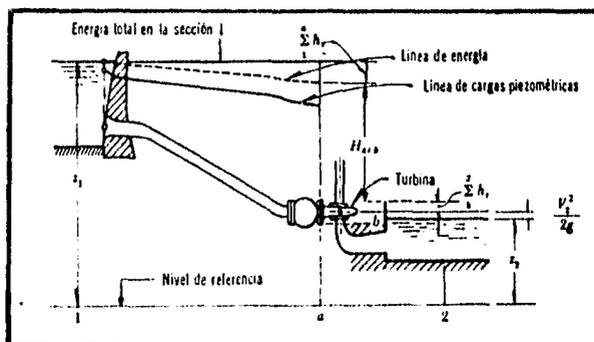


Fig. 2.4 Representación de la carga de una turbina con la ecuación de la energía.

Una de las aplicaciones de la ecuación de la energía y de la de continuidad se puede hacer en el tubo de Venturi que se presenta en la figura 2.5, es un elemento deprimógeno, cuya función es provocar una diferencia de presiones. Siendo el gasto Q una función de dicha diferencia, midiendo ésta se puede calcular el valor de Q .

Consta de tres partes: una convergente, una de sección mínima o garganta, y finalmente una tercera parte divergente. La sección transversal del Venturi es circular. Se mide la diferencia de presiones entre la sección 1, aguas arriba de la parte convergente, y la sección 2, garganta del Venturi, utilizando un manómetro diferencial cerrado.

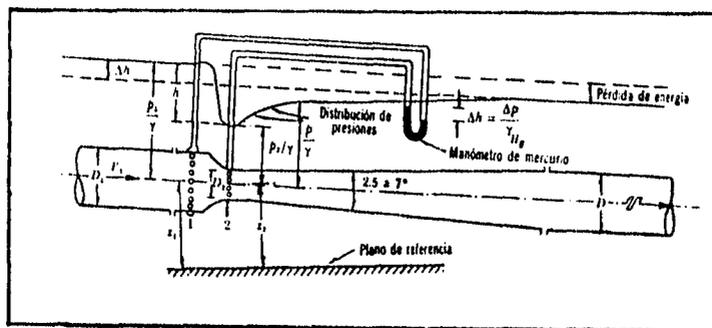


Fig. 2.5 Esquema del tubo de Vénturi.

Despreciando en primera instancia las pérdidas, la ecuación de la energía entre las secciones 1 y 2 nos dará:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

considerando el plano horizontal de referencia al centro de la conducción resulta que;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

ya que el eje de la tubería se encuentra en posición horizontal; es decir $z_1 = z_2$.

Aplicando la ecuación de continuidad entre las secciones 1 y 2, se tiene que;

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

por lo tanto

$$V_1 = V_2 \frac{A_2}{A_1}$$

sustituyendo:

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)$$

despejando V_2 , que llamaremos V_{2t} o velocidad teórica, pues no se ha tomado en cuenta las pérdidas; se tiene:

$$V_{2t} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right)}$$

Ahora bien, por definición $Q=AV$, entonces el gasto teórico será:

$$Q_t = A_2 V_{2t} = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right)}$$

el gasto real Q será igual a $V_{2r} A_2$, siendo V_{2r} la velocidad real:

$$V_{2r} = C_v V_{2t}$$

donde C_v es el coeficiente de velocidad, es decir:

$$Q = \frac{C_v A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right)}$$

Por otro lado, la diferencia de presiones en una manómetro diferencial cerrado se calcula como:

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \Delta h (\gamma_{Hg} - \gamma_o)$$

donde:

- P_1 / γ : Es la carga de presión en la sección 1; en kg/m^2 .
 P_2 / γ : Es la carga de presión en la sección 2; en kg/m^2 .
 γ_{Hg} : Es el peso volumétrico del mercurio; en kg/m^3 .
 γ_o : Es el peso volumétrico del agua; en kg/m^3 .
 Δh : Es la diferencia de alturas en el manómetro diferencial; en m.

sustituyendo:

$$Q = \frac{C_v A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g(\Delta h(\gamma_{Hg} - \gamma_o))}$$

y llamando coeficiente de gasto a la expresión:

$$C_d = \frac{C_v}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

se obtiene finalmente:

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g(\Delta h(\gamma_{Hg} - \gamma_o))}$$

El coeficiente C_d depende de la relación A_2 entre A_1 llamado grado de estrangulamiento "m" ($m = A_2/A_1$), de los efectos viscosos y rugosidad del tubo, además, del tipo de venturímetro. Una forma de obtener el coeficiente C_d se muestra en la figura 2.6

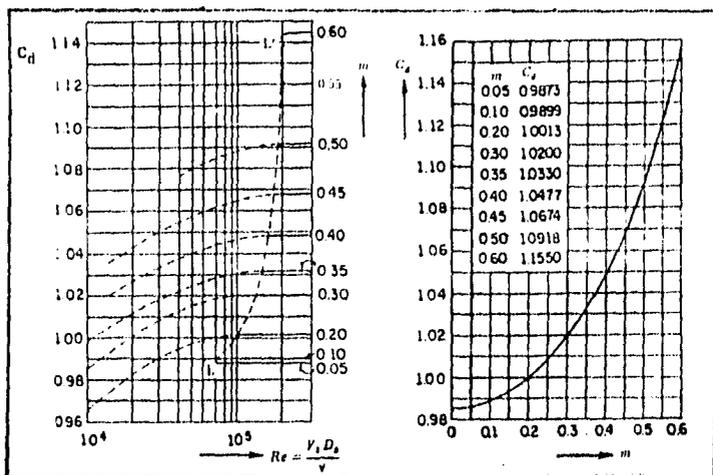


Fig 2.6 Coeficiente C_d para un venturímetro.

Otra aplicación es para calcular la velocidad de salida por un orificio, a saber: Sea el depósito de la figura 2.7 de forma cualquiera que contiene un líquido, y que en la parte inferior tiene un orificio "O" provisto de una tubería "T", que termina en una válvula "V".

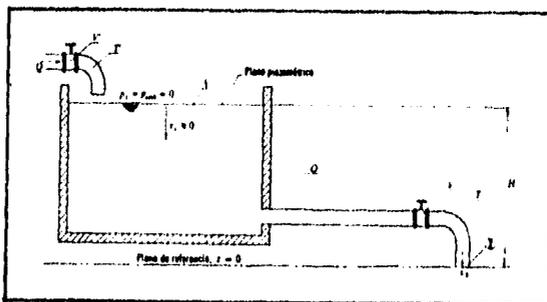


Fig 2.7 Esquema para determinar la velocidad de salida por un orificio.
Se supondrá lo siguiente:

- La superficie libre de depósito se mantiene a una altura H constante con relación al plano de referencia $z=0$, que se toma a la salida de la tubería T ; por continuidad el gasto Q que entra al depósito es igual al que sale por la tubería, regulado por la válvula.
- El área de la superficie libre es suficientemente grande para que pueda considerarse la velocidad del fluido, dentro de éste, nula, $V_1=0$.
- En el punto 1 la carga de posición $z_1=H$.

aplicando la ecuación de la energía entre 1 y 2, despreciando las pérdidas:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

y considerando las hipótesis anteriores la ecuación resulta.

$$H = \frac{V_2^2}{2g}$$

de donde :

$$V_2 = \sqrt{2gH}$$

Esta es una velocidad teórica que no considera las pérdidas de energía, y por lo tanto hay que considerarlas en un coeficiente de velocidad que se puede obtener de la figura 2.8

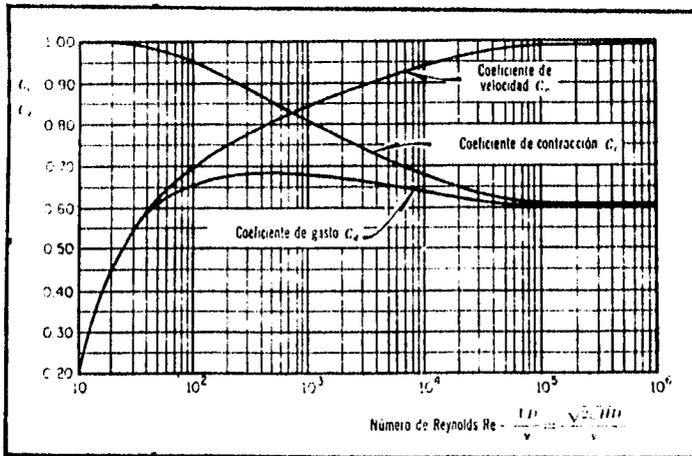


Fig 2.8 Coeficiente de velocidad C_v.

Resultando finalmente la expresión para calcular la velocidad de salida como:

$$V=C_v\sqrt{2gH}$$

en donde

- V : velocidad, en m/s.
- C_v : coeficiente de velocidad, adimensional.
- H : carga, en m.
- g : aceleración de la gravedad igual a 9.81 m/s^2 .

CAPÍTULO III

RESISTENCIA AL FLUJO

III.-RESISTENCIA AL FLUJO.

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, por ejemplo, un avión en el aire, se originan fuerzas en dirección contraria al movimiento. La resultante de dichas fuerzas es la resistencia. El origen de esta fuerza es la viscosidad.

Por el principio de acción y reacción, el cuerpo ejerce sobre el fluido una fuerza igual y de sentido contrario a la que el fluido ejerce sobre el sólido. Es decir, el fenómeno de la resistencia que un sólido experimenta al moverse en un fluido es fundamentalmente igual al de la resistencia que un fluido experimenta al moverse en el interior de un sólido, como una tubería.

Así, la resistencia al flujo, o pérdida de carga en las conducciones cerradas o tuberías es producida:

- 1.- Por el contacto del fluido con las paredes de la tubería o rozamiento de unas capas de fluido con otras o de las partículas de fluido entre sí (llamadas pérdidas por fricción)
- 2.- Por transiciones, como estrechamientos o expansiones de la corriente (llamadas pérdidas locales).

En general las pérdidas de carga en una conducción pueden considerarse como la cantidad de energía que necesita disipar un flujo para existir, (es decir, para poder desplazarse en el interior de un sólido), y que es extraída de la energía total del mismo flujo.

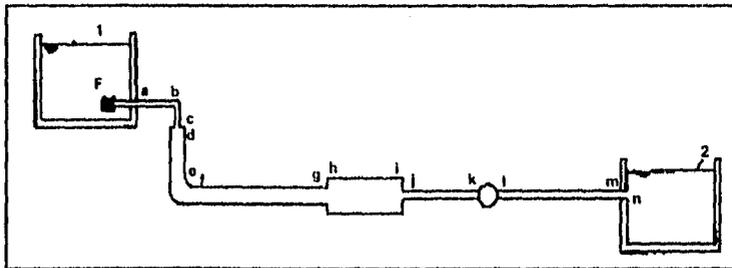


Fig. 3.1 Esquema representativo de una conducción a presión o forzada.

En la figura 3.1 los tramos **a-b, d-e, f-g, h-i, j-k y l-m**, son tramos rectos de tubería de sección constante. En todos ellos se originan pérdidas por fricción, en los restantes tramos se originan pérdidas locales: así **F** es un filtro, **F-a** un desagüe de un depósito o una entrada, **b-c** un codo, **c-d** un ensanchamiento brusco, **e-f** un codo, **g-h** un ensanchamiento brusco, **h-i** un estrechamiento brusco, **i-k** un medidor de gasto y **m-n** un desagüe a un depósito o salida.

III.1.- PÈRDIDAS POR FRICCIÒN.

Las pérdidas por fricción son las pérdidas que se producen por contacto del fluido con la tubería, rozamiento de las capas de fluido con otras en flujo laminar o choque de las partículas de fluido entre sí en flujo turbulento, y que están distribuidas a lo largo de la conducción.

En las pérdidas por fricción en tubos, la rugosidad de los conductos comerciales, no es homogénea, es decir, si amplificamos la pared de un conducto observamos que está formada por Irregularidades y asperezas de diferentes alturas y de distribución Irregular. Dicha característica es difícil de definir, pues depende de factores como la altura de las Irregularidades de la superficie, la forma y distribución geométrica, distancia entre dos Irregularidades vecinas, etc. Puesto que es difícil tomar en consideración todos estos factores, se admite que la rugosidad puede expresarse como un valor medio de la altura de las asperezas, llamada rugosidad absoluta e , la cual se ha obtenido como un promedio de los resultados de un cálculo de las características del flujo, más no propiamente por el obtenido como la media de las alturas determinadas físicamente de las paredes de cada conducto. Es más importante la relación que guarda la rugosidad absoluta con el diámetro del tubo, que se conoce como rugosidad relativa (e/D); la cual nos indica con mayor certeza si el tubo es hidráulicamente liso o rugoso.

III.1.1.- FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH.

Para flujo permanente en un conducto de diámetro constante, la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía e inclinada en la dirección del movimiento.

En 1850, Darcy-Weisbach y otros autores dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular las pérdidas por fricción en un tubo; la cual es la siguiente.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.1)$$

donde:

- h_f : Es la pérdida de carga por fricción; en m.
- f : Es el factor de fricción; adimensional.
- g : Es la aceleración de la gravedad; en m/s^2 .
- D : Es el diámetro del tubo; en m.
- L : Es la longitud del tubo; en m.
- V : Es la velocidad media del flujo; en m/s.

Cabe mencionar que el factor de fricción " f ", es función de la rugosidad absoluta e , y del número de Reynolds R_e , como se verá más adelante.

Esta expresión es básica para calcular la pérdida de carga causada por la fricción en un tubo largo, recto, de sección transversal uniforme y no en conexiones de tubería.

III.1.2.- FACTOR DE FRICCIÓN " f " .

El factor de fricción " f " presentado en la ecuación de Darcy-Weisbach, es obviamente adimensional ya que L/D y $V^2/2g$ tienen la misma dimensión que h_f , es decir, unidades de longitud.

Este factor de fricción " f " depende de la velocidad V , del diámetro de la tubería D , de la densidad ρ , de la viscosidad μ y de la rugosidad absoluta ϵ , la cual como se indica en la siguiente figura, puede expresarse en unidades de longitud.

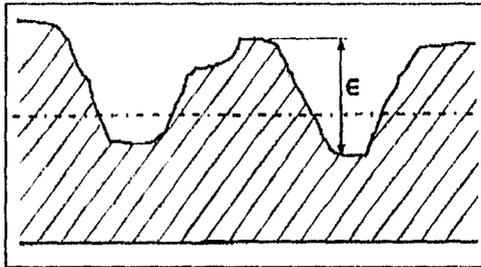


Fig. 3.6 Representación macroscópica de una tubería rugosa.

Por lo dicho anteriormente se deduce que:

$$f = f(V, D, \rho, \mu, \epsilon)$$

Siendo f adimensional, la función f arriba indicada deberá ser una función de variables adimensionales. En efecto, el análisis dimensional demuestra que :

$$f = F\left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{\epsilon}{D}\right)$$

donde;

$VD\rho/\mu$: Es el número de Reynolds.
 ϵ/D : Es la rugosidad relativa.

Se puede ver que si R_e es muy pequeño (régimen laminar) f es sólo función de R_e . Mientras que si R_e es muy grande (régimen turbulento) f no depende de R_e , sino sólo de la rugosidad relativa ϵ/D .

El cálculo del coeficiente f se puede resumir en cuatro casos, a saber:

- Para flujo laminar:

- a) En tuberías lisas ($\epsilon/D \approx 0$; por ejemplo, tubos de vidrio o de cobre)
- b) En tuberías rugosas (Por ejemplo, tubos de hierro , concreto, etc.) .

- Para flujo Turbulento:

- a) En tuberías lisas.
- b) En tuberías rugosas.

En la tabla siguiente (tabla 3.1), se muestran las expresiones para el cálculo del coeficiente f , así como también sus límites de aplicación.

TUBERIA	FLUJO	ECUACION	AUTOR	OBSERVACIONES
Lisas o rugosas	Laminar Re < 2300	$f = \frac{64}{Re}$	Poiseuille	Se aplica la fórmula de Darcy-Weisbach
Lisas	Turbulento Re 100000 Re > 4000	$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$	Blasius	Valde para tubos de aluminio, latón, cobre, plomo, plástico y vidrio asbesto-cemento
Lisas	Turbulento Re 100000	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \sqrt{f}) + 0.8$	Karman-Prandtl (1')	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach
Rugosas	Transición Re 4000	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.3 \log \left(\frac{Re \sqrt{f}}{2.3} \right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$	Colbrook-White	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach
Rugosas	Turbulento Zona final	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{\epsilon} + 1.14$	Karman-Prandtl (2')	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach
Lisas y Rugosas	Transición y turbulento	$f = \frac{0.25}{\log \left(\frac{Re}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2}$	Swanee y Jam	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach
Rugosas	Turbulento Re > 4000	$f = \frac{124 (0.4n)^2}{D^{0.333}}$	Manning	Resulta de considerar Rh = D/4 y S _f = h _f /L n depende del material del tubo según la tabla 3.1a
Rugosas	Turbulento Re > 4000	$f = \frac{2g}{(8.86 \log D + N)^2}$	Kozeny	Se aplica en la ecuación de Darcy-Weisbach para tubos de asbesto-cemento N depende de la tabla 3.1a
Rugosas	Turbulento	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.71D}{\epsilon}$	Nikuradse	Se aplica en la ecuación de Darcy-Weisbach
Rugosas	Turbulento	$f = \frac{8g}{C^2}$	Chezy	C es un coeficiente que se obtiene de fórmulas de Bazin y Kutter
Rugosas	Transición o turbulenta	$V = 0.355 C_{11} D^{0.63} S_f^{0.54}$	Hazen-Williams	C ₁₁ depende del material del tubo de la tabla 3.1a
		$C = \frac{1.49}{\sqrt{R_h}}$	Darm	Δ _s depende del material del tubo de la tabla 3.1a
		$C = \frac{100 \sqrt{R_h}}{m + \sqrt{R_h}}$	Kutter	m depende del material del tubo de la tabla 3.1a

Tabla 3.1 Coeficiente de pérdida de carga por fricción "f".

MATERIAL	C_H	Δ	m	n	N
Acero corrugado	60	-	-	-	-
Acero con juntas lock-bar (nuevo)	135	-	-	-	-
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125	-	-	0.014	-
Acero remachado (nuevo)	110	-	-	0.015 a 0.016	31
Acero remachado (usado)	85	-	-	-	28 a 26
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	120	-	-	0.012 a 0.013	34
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado)	90	-	-	-	31 a 27
Acero sin costura (nuevo)	-	0.10	0.25	-	38
Acero sin costura (usado)	-	-	0.35	-	36
Acero soldado, con revestimiento especial (nuevo y usado)	130	-	-	-	-
Hierro fundido limpio (nuevo)	130	0.16	0.25	0.013	35
Hierro fundido, sin incrustaciones (usado)	110	0.23	0.275	-	-
Hierro fundido, con incrustaciones (viejo)	90	0.36	0.35	-	30
Plástico	150	-	-	-	-
Asbesto-cemento (nuevo)	135	0.06	-	-	-
Cobre y latón	130	-	-	-	-
Conductos con acabado interior de cemento pulido	100	-	0.10	-	-
Concreto, acabado liso	130	-	0.20	-	38
Concreto, acabado común	120	0.18	-	-	-
Concreto monolítico, colado con cimbras deslizantes (D>1.25 m)	-	-	-	0.010 a 0.011	-
Concreto monolítico bien cimbrado y pulido (D>1.25 m)	-	-	-	0.011 a 0.0123	-
Concreto monolítico bien cimbrado y sin pulir (D>1.25 m)	-	-	-	0.014 a 0.015	-
Concreto con acabado tosco (D>1.25 m)	-	-	-	0.015 a 0.017	27 a 26
Concreto con juntas de macho y campana (D>0.8 m)	-	-	-	0.0105 a 0.012	-
Concreto con juntas toscas (D>0.5 m)	-	-	-	0.0125 a 0.014	30
Concreto con juntas toscas (D<0.5 m)	-	-	-	0.014 a 0.017	-
Conductos para alcantarillado	-	-	-	-	28
Tubos de barro vitrificado (drenes)	110	-	-	0.011	34
Túneles perforados en roca sin revestimiento	-	-	-	0.025 a 0.040	-
Madera cepillada o en duelas	120	-	0.10	0.0105 a 0.012	-

TABLA 3.1a Valores de C_H , Δ , m, n y N aplicables a las fórmulas de la tabla 3.1 de acuerdo con el material de que está construido el tubo.

- Diagrama de Moody.

Las ecuaciones de la tabla 3.1 permiten calcular el coeficiente " f " para todos los casos de flujo y material de la tubería. Dichas ecuaciones pueden programarse para la resolución de problemas. Pero en ocasiones estas expresiones no suelen ser de uso universal, ya que con frecuencia no toman en cuenta todas las variables de que en general depende el coeficiente " f ". Por lo que Moody con base en las expresiones de Poiseuille y de Colebrook - White preparó el diagrama universal que lleva su nombre. (Ver la figura 3.7 y el listado del programa en basic que se anexa).

Este diagrama presenta las siguientes características:

- Es un diagrama adimensional, utilizable con cualquier sistema congruente de unidades.
- Resuelve todos los problemas de pérdida de carga por fricción en tuberías de cualquier diámetro, material o gasto.
- Puede emplearse en tuberías de sección no circular, sustituyendo el diámetro D por el diámetro hidráulico, ($D_h = 4R_h$), donde R_h es el radio hidráulico.

El procedimiento para el cálculo de las pérdidas por fricción (h_f) utilizando el diagrama de Moody conocidos Q , L , D , v y ϵ es el siguiente:

Si la tubería no es circular sustituir D por $4R_h$.

- 1.- Según el material de la tubería se toma ϵ de la tabla 3.2.
- 2.- Se calcula la rugosidad relativa ϵ/D .
- 3.- Se calcula el número de Reynolds Re .
- 4.- Se lee " f " en el diagrama de Moody.
- 5.- Este valor se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach.

En la tabla 3.2, se presentan los valores de la rugosidad absoluta " ϵ " para tubos comerciales.

Programa para calcular el coeficiente de fricción "f".
(Para todos los regímenes de flujo, cualquier tipo de material y sección transversal del conducto).

Notación :

f : Es el coeficiente de fricción;adimensional.

D : Es el diámetro del conducto;en mm.

Nota : Si el conducto tiene sección transversal distinta de la circular ,entonces sustitúyase "D" por el diámetro hidráulico $D_h = 4R_h$, (R_h es el radio hidráulico).

e : Es la rugosidad absoluta;en mm.

Re : Es el número de Reynolds;adimensional.

```

5   Clear f= 0.02 Print "Coeficiente de fricción "f"
6   Print "Escojo la opción que deseas."
7   Input "Tubos lisos o rugosos en la zona laminar (1)"; A
8   If A=1 Then Goto 20
9   Input "Tubos lisos en la zona de transición o turbulenta (2)"; A
10  If A=2 Then Goto 30
11  Input "Tubos rugosos en la zona de transición o turbulenta(3)"; A
12  If A=3 Then Goto 40
13  Input "Tubos rugosos en la zona turbulenta (4)"; A
14  If A=4 Then Goto 50
15  If A<>1 Or A<>2 And A<>3 Or A<>4 Then Goto 6
20  Print "Tubos lisos o rugosos en la zona laminar"
21  Print " Re < 2300 "
22  Input "Dame Re=";Re
23  W = 64/Re
24  Print "f=";W
25  Goto 61
30  Print "Tubos lisos en la zona de transición o turbulenta."
31  Print " 23,000 ≤ Re ≤ 3'400,000 "
32  Input "Dame Re=";Re
33  W = 0.25*(log((Re*SQR(f)/2.51)))^-2
34  If ABS(W-f) < 0.001 Then Goto 60
35  f=W : Goto 33
40  Print "Tubos rugosos en la zona de transición o turbulenta."
41  Print " Re > 4000 "
42  Input "Dame Re=";Re
43  Input "Dame D en mm =";D
44  Input "Dame e en mm =";e
45  W = 0.25*(log((e/(3.71*D)) + (2.51/(Re*SQR(f)))))^-2
46  If ABS(W-f) < 0.001 Then Goto 60
47  f=W : Goto 45
50  Print "Tubos rugosos en la zona turbulenta."
51  Input "Dame D en mm =";D
52  Input "Dame e en mm =";e
53  W = 0.25*(log((3.71*D/e)))^-2
54  If ABS(W-f) < 0.001 Then Goto 60
55  f=W : Goto 53
60  Print "f=";W
61  Input "¿ Deseas continuar Si o No ? (Teclas S ó N)";A$
62  If A$ = "S" Or A$ = "s" Then Goto 5
63  If A$ = "N" Or A$ = "n" Then goto 65
64  If A$ <> "S" Or A$ <> "s" And A$ <> "N" Or A$ <> "n" Then Goto 61
65  End

```

MATERIAL:	ϵ , en mm
<i>Tubos lisos</i>	
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura, tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Hierro forjado	0.05
Hierro fundido nuevo	0.25
Hierro fundido con protección interior de asfalto	0.12
Hierro fundido oxidado	1 a 1.5
Hierro fundido con incrustaciones	1.5 a 3
Hierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
Hierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3.5
Hierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1 a 4
Hierro galvanizado	0.15
Acero rolado, nuevo	0.05
Acero laminado, nuevo	0.04 a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05
<i>Tubos de acero soldado de calidad normal</i>	
Nuevo	0.05 a 0.10
Limpio después de mucho uso	0.15 a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4
Con muchas incrustaciones	3
Con remaches transversales, en buen estado	0.1
Con líneas (transversales de remaches, sencilla o doble, o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla, sin incrustaciones)	0.6 a 0.7
Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia	1
Acero soldado, con doble hilera transversal de pernos, agua turbia, tuberías remachadas con doble costura longitudinal de remaches y transversal sencilla, interior asfaltado o laqueado	1.2 a 1.1
Acero soldado, con costura doble de remaches transversales, muy oxidado. Acero remachado, de cuatro a seis filas longitudinales de remaches, con mucho tiempo de servicio	2
<i>Tubos remachados, con filas longitudinales y transversales</i>	
a) Espesor de lámina < 3 mm	0.65
b) Espesor de lámina de 3 a 12 mm	1.95
c) Espesor de lámina > 12 mm, o entre 6 y 12 mm, si las hileras de pernos tienen cubrejuntas	3
d) Espesor de lámina > 12 mm con cubrejuntas	5.5
Asbesto-cemento nuevo	0.025
Asbesto-cemento con protección interior de asfalto	0.0015
Concreto centrifugado nuevo	0.16
Concreto en galerías, colado con cimbrado normal de madera	1 a 2
Concreto en galerías, colado con cimbrado rugoso de madera	10
Concreto armado en tubos y galerías, con acabado interior cuidadosamente terminado a mano	0.01
Concreto de acabado liso	0.025
Conductos de concreto armado, con acabado liso y varios años de servicio	0.2 a 0.3
Concreto alisado interiormente con cemento	0.25
Galerías con acabado interior de cemento	1.5 a 1.6
Concreto con acabado normal	1 a 1
Concreto con acabado rugoso	10
Cemento liso	0.3 a 0.8
Cemento no pulido	1 a 2
Mampostería de piedra, bien junteada	1.2 a 2.5
Mampostería de piedra rugosa, sin juntear	8 a 15
Mampostería de piedra, mal acabada	1.5 a 3

Tabla 3.2 Rugosidad absoluta ϵ en tubos comerciales

La precisión en el uso del diagrama universal de Moody, depende de la selección del valor de la rugosidad absoluta ϵ , según el material de que está construido el tubo. Al evaluar el efecto corrosivo del agua en los conductos y el número de años de servicio de los mismos, se ha llegado a la conclusión de que existe una gran influencia de estos factores sobre el valor de la rugosidad absoluta ϵ , como lo indica en su fórmula Genijew,

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + at \quad (3.2)$$

donde:

- ϵ_t : Es la rugosidad absoluta del tubo después de t años de servicio; en mm.
(Estrictamente ésta es la rugosidad que debería considerarse cuando se realizan revisiones o modificaciones a instalaciones hidráulicas ya existentes).
- ϵ_0 : Es la rugosidad absoluta del tubo nuevo; en mm.
- a : Es el coeficiente que depende del grupo en el que se clasifique el agua que va a conducirse; en mm/año (Ver la tabla 3.2a).
- t : Es el número de años de servicio de la tubería.

<i>Grupo I</i> Agua con poco contenido mineral que no origina corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro: a varía de 0.005 a 0.055; valor medio, 0.025
<i>Grupo II</i> Agua con poco contenido mineral que origina corrosión. Agua que contiene menos de 3 mg/lit de materia orgánica y hierro en solución: a varía de 0.055 a 0.018; valor medio, 0.07
<i>Grupo III</i> Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfitos (menos de 100 a 150 mg/lit.). Agua con un contenido de hierro de más de 3 mg/lit: a varía de 0.18 a 0.40; valor medio, 0.20
<i>Grupo IV</i> Agua que origina corrosión, con un gran contenido de sulfatos y cloruros (más de 500 a 700 mg/lit). Agua impura con una gran cantidad de materia orgánica: a varía de 0.40 a 0.60; valor medio, 0.51
<i>Grupo V</i> Agua con cantidades importantes de carbonatos, pero de dureza pequeña permanente, con residuo denso de 2000 mg/lit: a varía de 0.6 a más de 1

Tabla 3.2a Coeficiente "a" que se utiliza en la fórmula de Genijew

III.1.3.- CONDUCTOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL NO CIRCULAR.

Aunque la mayor parte de los conductos utilizados en la práctica de la ingeniería son de sección transversal circular, se presentan ocasiones en las cuales debe hacerse el cálculo de pérdidas de carga en conductos rectangulares y de otras secciones transversales distintas.

Por medio del concepto de Radio Hidráulico " R_h ", se pueden adaptar las expresiones de Darcy-Weisbach, Reynolds y de rugosidad relativa utilizadas para conductos circulares, a éstos problemas especiales.

El radio hidráulico R_h , se define como la relación entre el área A , de la sección transversal del conducto y su perímetro mojado P , es decir ;

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (3.3)$$

En un conducto circular de diámetro D , el radio hidráulico se calcula como.

$$R_h = \frac{D}{4} \quad (3.3a)$$

es decir, $D = 4R_h$,

que al sustituir en las fórmulas de Darcy-Weisbach y número de Reynolds así como en la expresión de rugosidad relativa, resultan las expresiones siguientes:

$$h_f = \frac{f}{4} \frac{L}{R_h} \frac{V^2}{2g} \quad (3.4)$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{\epsilon}{4R_h} \quad (3.5)$$

$$R_o = \frac{4VR_h}{\nu} \quad (3.6)$$

A partir de las cuales se puede calcular la pérdida de carga en conductos de sección transversal no circular, con ayuda del diagrama de Moody.

Cabe mencionar que estudios hechos por Schiller y Nikuradse, mismos que determinaron la ley de fricción y la distribución de velocidades para tubos de sección rectangular, triangular, trapezoidal y circular, esta última con escotadura, llevaron a la conclusión que en éstas, el factor de fricción podía calcularse, en las tres distintas zonas de flujo, con las mismas fórmulas obtenidas para tubos de sección circular, solo basta cambiar D (diámetro del tubo circular) por $4R_h$ como se ha indicado en las expresiones anteriores.

Sin embargo, en 1963 J. Malaika en base a experimentos en tubos de sección no circular con el objeto de encontrar fórmulas para el factor de fricción " f ", centró sus ideas considerando que un mismo valor del radio hidráulico puede caracterizar a un número ilimitado de geometrías de la sección, por lo que deberían intervenir otros parámetros (de la sección) que tomáran en cuenta esta contingencia.

Malaika encontró que los errores causados al despreciar los efectos geométricos son, a menudo más pequeños que los cometidos en la apreciación de la rugosidad del conducto; sin embargo, dichos efectos pueden inducir errores en el factor de fricción " f " de hasta 35%, dependiendo su magnitud del gasto y de las condiciones de frontera.

Las conclusiones de Malaika fueron las siguientes:

- 1.- Como el diámetro del círculo inscrito en una sección cualquiera es una dimensión lineal más representativa de la sección, es posible utilizar las ecuaciones antes obtenidas si en lugar del diámetro " D ", se usa el diámetro " d " del círculo inscrito en las secciones.
- 2.- La eficacia hidráulica relativa, de una variedad de formas de secciones transversales de conductos, puede expresarse por la relación adimensional entre el diámetro del círculo inscrito y el radio hidráulico.

En la figura siguiente, se presentan algunas formas de secciones transversales distintas, donde se muestra el diámetro " d " del círculo inscrito en ellas.

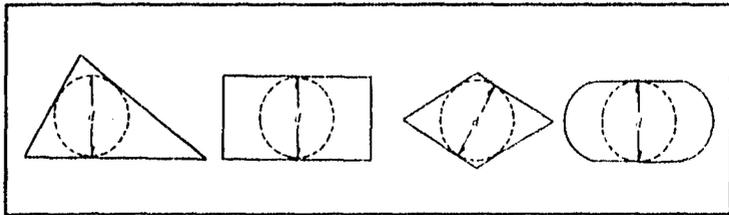


Fig. 3.5 Círculo inscrito en las formas geométricas de secciones en conductos.

Criterios de uso.

1.- El criterio de uso del diámetro D , es recomendable cuando la relación de esbeltez $b/w > 6$, donde:

b : es la longitud característica menor de una sección geométrica (ancho)

w es la longitud característica mayor de una sección geométrica (altura o largo).

2.- El criterio de uso del diámetro del círculo inscrito, d , en la geométrica en vez del diámetro D , es recomendable cuando la relación de esbeltez $b/w \leq 6$

El error al considerar el diámetro D en lugar del diámetro del círculo inscrito d de la sección transversal para relaciones $b/w \leq 6$:

a) Disminuye a medida que aumenta el número de Reynolds, basado en el diámetro d . Es decir, para $b/w \leq 6$:

- Si R_e es muy bajo (flujo laminar) conviene utilizar el diámetro d .

- Si R_e es muy alto (flujo turbulento) da los mismos resultados utilizar D o d .

El número de Reynolds se calcula:

$$R_e = \frac{Vd}{\nu}$$

b) Disminuye a medida que disminuye la rugosidad relativa, basada en el diámetro D . Es decir, para $b/w \leq 6$:

- Si ϵ/D es muy grande (tubo rugoso) conviene utilizar el diámetro d .

- Si ϵ/D es muy pequeño (tubo liso) es lo mismo utilizar D o d .

III.2.- PÉRDIDAS LOCALES

En la práctica, las tuberías no son constituidas exclusivamente de tubos rectilíneos y del mismo diámetro usualmente se incluyen piezas especiales, conexiones y dispositivos de control y medición como válvulas, medidores de caudal, codos, ampliaciones, etc.; que por la forma y disposición, elevan la turbulencia, provocan fricciones y causan el choque de partículas, dando origen a pérdidas de carga, son estas pérdidas denominadas locales, por el hecho de resultar específicamente en puntos o partes bien determinadas de la tubería al contrario de lo que ocurre con las pérdidas a consecuencia del flujo a lo largo de la misma.

La magnitud de la pérdida local se expresa como una fracción de la carga de velocidad aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida. La fórmula general de pérdida local es :

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (3.8)$$

donde:

h_L : Es la pérdida de carga local, en m.

K : Es el coeficiente de pérdida local, sin dimensiones y que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo.

$V^2/2g$: Es la carga de velocidad aguas abajo de la zona de alteración del flujo (salvo aclaración en contrario), en m.

La nomenclatura que a continuación se presenta, es la considerada usualmente para identificar cada uno de los distintos coeficientes de pérdidas locales.

K_e : Coeficiente de pérdida por entrada.

K_R : Coeficiente de pérdida por rejilla.

K_a : Coeficiente de pérdida por ampliación.

K_r : Coeficiente de pérdida por reducción.

K_d : Coeficiente de pérdida por diafragma.

K_m : Coeficiente de pérdida por dispositivo de medición de gasto.

K_{cd} : Coeficiente de pérdida por cambio de dirección.

K_u : Coeficiente de pérdida por uniones.

K_b : Coeficiente de pérdida por bifurcación.

K_v : Coeficiente de pérdida por válvula.

K_s : Coeficiente de pérdida por salida.

pero por razones de simplicidad, se considerará solo como " K ".

Importancia de las pérdidas locales.

Las pérdidas locales pueden ser despreciadas:

- 1.- En tuberías largas, cuya extensión supere 4000 veces el diámetro.
- 2.- En tuberías en que la velocidad es baja
- 3.- En tuberías en que el número de piezas especiales no es grande

Así por ejemplo, las pérdidas locales no son tomadas en cuenta;

- a) En líneas de conducción.
- b) En redes de distribución, etc.

Pero si son consideradas;

- a) En pérdidas de entrada y de velocidad para las tuberías cortas ($L < 4000 D$).
- b) En tuberías que incluyan gran número de piezas especiales como son las instalaciones en edificios e industrias, conductos forzados de las centrales hidroeléctricas, etc.

La influencia de las diversas pérdidas en las tuberías en función de la relación longitud entre diámetro (L/D), puede ser visible por la siguiente tabla de valores medios calculados para tubos de 0.30 m de diámetro, con una carga inicial de 30 m.

LONGITUD EN DIÁMETROS	5	50	100	1000	10000
CARGA DE VELOCIDAD	62%	41%	28%	5%	0.5%
PÉRDIDA POR ENTRADA	32%	20%	15%	2%	0.2%
PÉRDIDA POR FRICCIÓN	6%	38%	58%	93%	99.3%

Tabla 3.3 Porcentaje de influencia de las distintas pérdidas, según la longitud de la tubería .

III.2.1.- PÉRDIDA POR ENTRADA.

A la entrada de las tuberías se produce una pérdida por el efecto de contracción que sufre la vena líquida y la formación de zonas de separación, la brusquedad con que se efectúa esta contracción del chorro es la que determina el valor del coeficiente K. Cuatro son las condiciones más comunes que se presentan en la práctica, y que se pueden observar en las figuras siguientes:

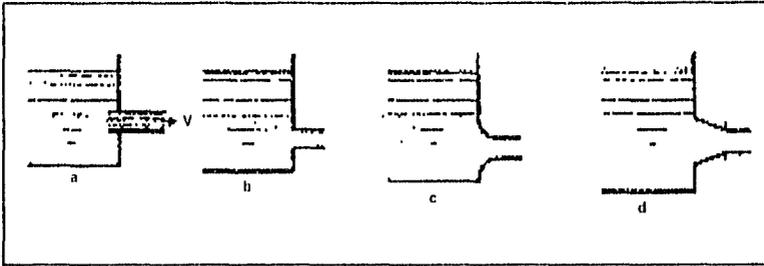


Fig. 3.8 Condiciones más comunes de entradas.

- Entrada tipo reentrante o de borda.- es aquella en que la tubería se encuentra dentro de las paredes de los depósitos.
- Entrada tipo normal.- es aquella en que la tubería hace un ángulo de 90° con las paredes o con los fondos de los depósitos, constituyendo una arista viva.
- Entrada tipo campana.- es aquella en que las entradas han sido redondeadas y por lo tanto el valor de K se reduce sensiblemente.
- Entrada tipo reducción.- es aquella en que la entrada se hace concordar con una reducción.

Cabe mencionar que en la práctica, siempre que las proporciones de la obra lo justifiquen, podrán ser mejoradas las condiciones de la entrada, instalándose una reducción en la entrada de la tubería.

En las siguientes figuras, se muestran algunos valores del coeficiente K para condiciones de entrada distintas a las anteriores:

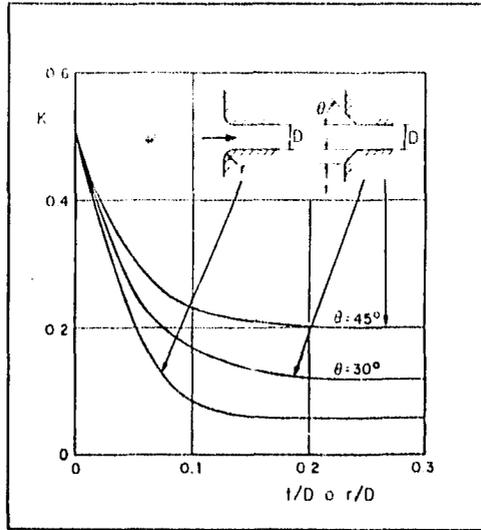


Fig. 3.9a Coeficiente de pèrdua por entrada redondeada

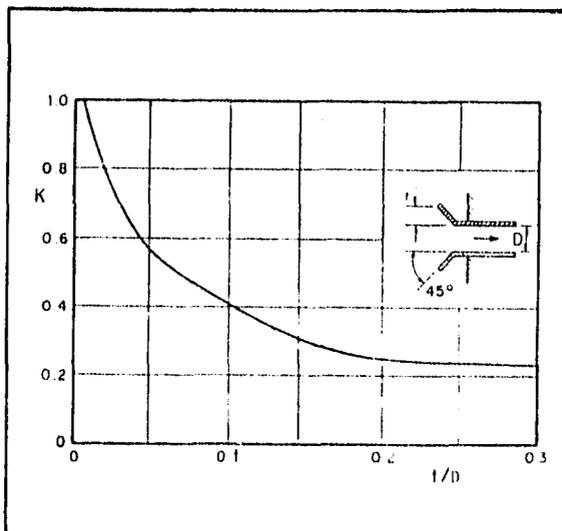


Fig. 3.9b Coeficiente de pèrdua para entradas reentrantes.

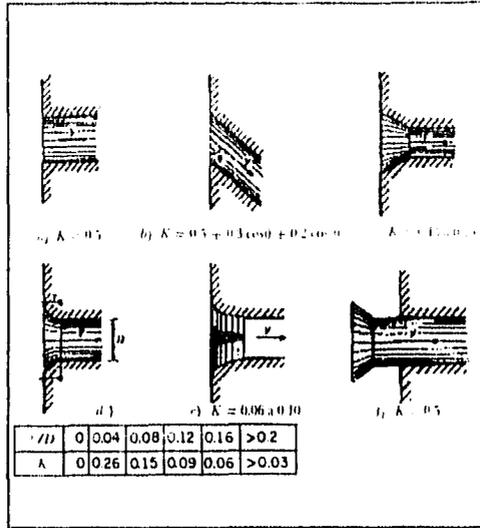


Fig. 3.9c

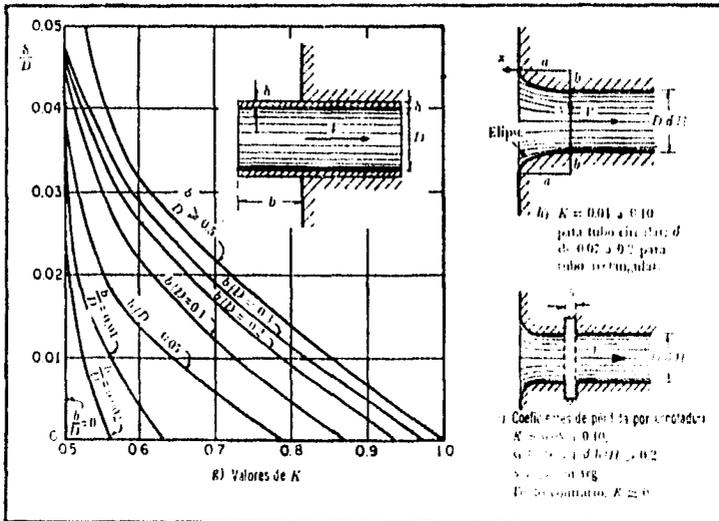


Fig. 3.9d

III.2.2.- PÉRDIDA POR REJILLA.

Las rejillas son estructuras formadas por un sistema de barras o soleras verticales, regularmente espaciadas, que se apoyan sobre miembros estructurales; y cuyo objeto es el de impedir la entrada de cuerpos sólidos a las tuberías, obstaculizando el flujo y produciendo una pérdida de energía.

- Cálculo del coeficiente K para rejillas.

1.- Cuando las rejillas están parcialmente sumergidas y sobresalen del nivel de la superficie del agua, el coeficiente K puede calcularse con la fórmula de Kirschmer que esta de acuerdo con las experiencias de Fellenius y Spangler, además de ser válida para el flujo normal al plano de rejillas:

$$K = C_f (s/b)^{1.5} \sin \theta \quad (3.9)$$

donde:

- C_f : Es un coeficiente adimensional que depende de la forma de la reja.
- S : Es el ancho de cada elemento o barra de la rejilla, en m.
- b : Es la separación entre los lados de las barras, en m.
- θ : Es el ángulo que forma la rejilla con la horizontal, en grados.

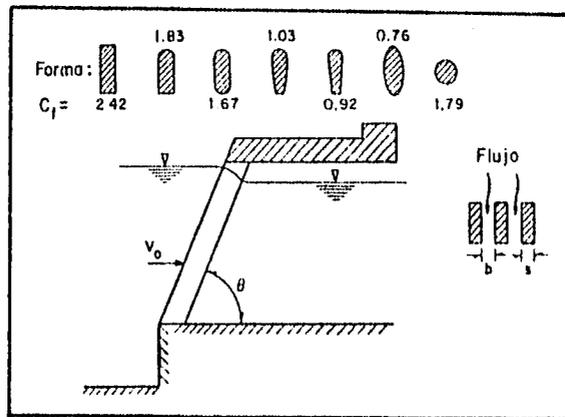


Fig. 3.10 Coeficiente C_f para utilizarse en la fórmula de Kirschmer.

Si el flujo no fuera normal al plano de la rejilla, es necesario modificar el coeficiente K para flujo normal al plano de la rejilla según la fórmula de Mosonyi:

$$K_e = K\beta \quad (3.10)$$

donde:

- K_e : Es el coeficiente de pérdida para flujo esviado.
- K : Es el coeficiente de pérdida para flujo no esviado (fórmula de Kirschmer).
- β : Es el coeficiente que depende de la relación s/b y del ángulo δ de inclinación del flujo.

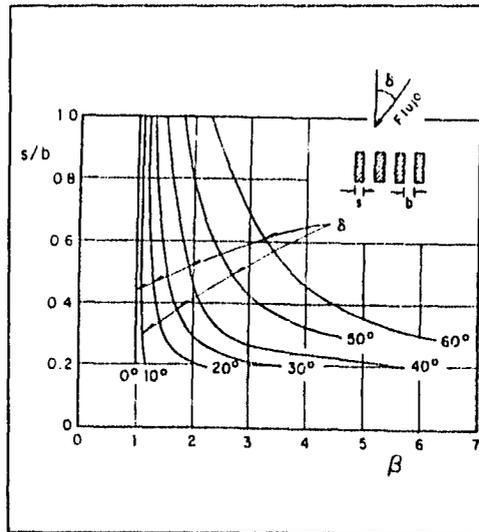


Fig. 3.11 Valores de β para flujo esviado, según Mosonyi.

- 2.- Cuando las rejillas están completamente sumergidas, el coeficiente K puede calcularse con la fórmula de Creager, siguiente:

$$K = 1.45 - 0.45(A_n/A_b) - (A_n/A_b)^2 \quad (3.11)$$

donde:

- A_n : Es el área neta de paso entre rejillas.
 A_b : Es el área bruta de la estructura de rejillas.

Nota: para poder aplicar el coeficiente K arriba indicado en la fórmula general de pérdida local, se debe sustituir en V , la velocidad neta a través de las rejillas.

3.- Obtención del coeficiente de pérdida en rejillas:

- Formadas por barras.-

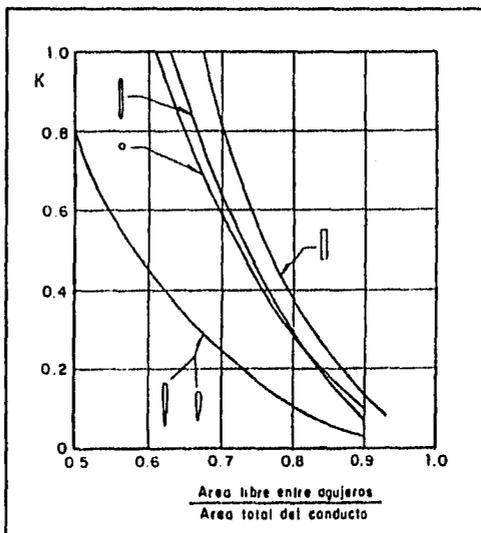


Fig. 3.12

- En forma de panal de abeja.-

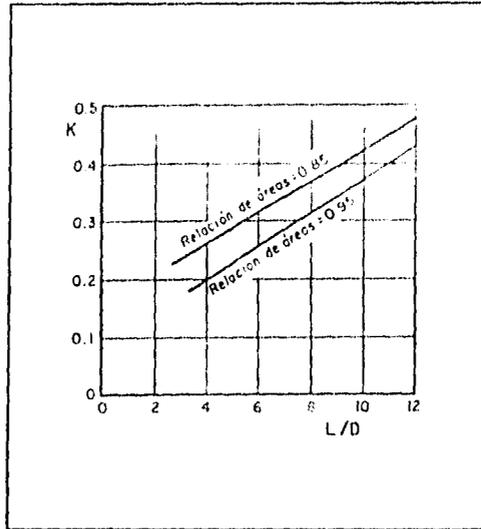


Fig. 3.13

- Formadas por mallas de alambre, para $Ra > 500$.-

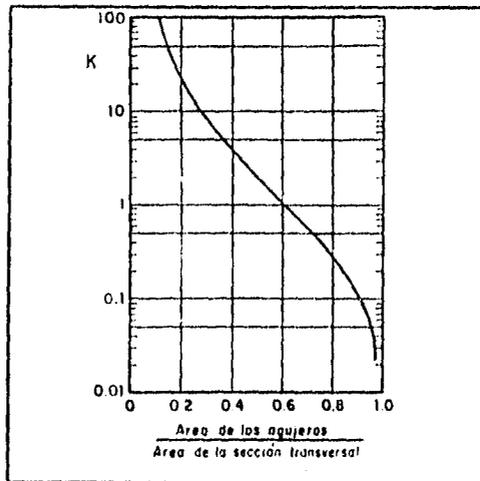


Fig. 3.14

III.2.3.- PÉRDIDA POR AMPLIACIÓN.

La ampliación brusca de la sección en un tubo trae consigo una pérdida de energía por efecto de la separación del líquido de las paredes y la formación de grandes turbulencias, que es de índole diferente a la de fricción.

La figura siguiente muestra esquemáticamente una ampliación o un ensanchamiento brusco de sección, en donde se considera un volumen de control limitado aguas arriba por la sección 1 dentro ya de la zona de ampliación; aguas abajo por la sección 2 suficientemente alejada de la ampliación donde ya el líquido ha recuperado una distribución uniforme de las velocidades y lateralmente por la pared del tubo.

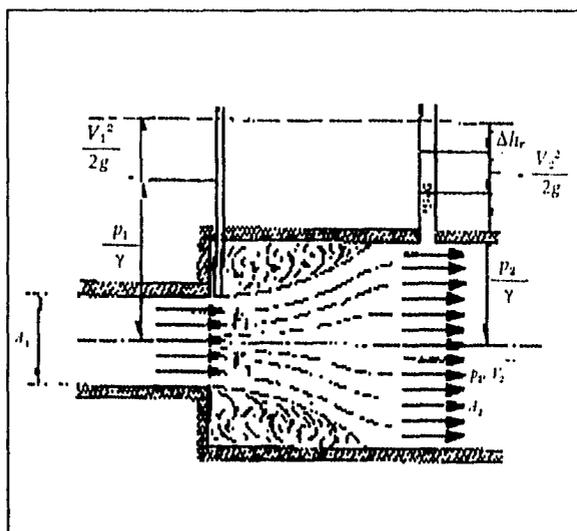


Fig. 3.15 Ampliación brusca de una sección.

Considerando que en la parte inicial de la sección ensanchada todavía actúa la presión P_1 , admitiéndose que la presión P_2 sea medida aguas abajo de la zona de turbulencia; aplicando el teorema de Bernoulli entre las dos secciones se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (3.12)$$

de donde la pérdida de carga local h_L es:

$$h_L = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - \left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) \quad (3.12a)$$

Considerada la unidad de tiempo, la cantidad de fluido que circula es Q.
La resultante que actúa de derecha a izquierda será:

$$(P_2 - P_1)A_2 \quad (3.13)$$

y la variación en la cantidad de movimiento:

$$Q \frac{\gamma}{g} (V_1 - V_2) \quad (3.14)$$

Por otro lado si sabemos que la variación en la cantidad de movimiento debe igualar al impulso de las fuerzas (ecuación de impulso y cantidad de movimiento); se tiene:

$$(P_2 - P_1)A_2 - Q \frac{\gamma}{g} (V_1 - V_2) \quad (3.15)$$

$$(P_2 - P_1) - Q \frac{\gamma}{A_2 g} (V_1 - V_2) \quad (3.15a)$$

$$\left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) - \frac{V_2}{g} (V_1 - V_2) \quad (3.15b)$$

multiplicando y dividiendo entre dos al segundo miembro, se tiene:

$$\left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) - 2 \frac{V_2}{2g} (V_1 - V_2) \quad (3.15c)$$

sustituyendo la ec. 3.15c en la ec. 3.12a ,se tiene:

$$h_L = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - 2 \frac{V_2}{2g} (V_1 - V_2) \quad (3.16)$$

$$h_L = \frac{1}{2g} (V_1^2 - V_2^2 - 2V_1V_2 + V_2^2) \quad (3.16a)$$

$$h_L = \frac{1}{2g} (V_1^2 - 2V_1V_2 + V_2^2) \quad (3.16b)$$

$$h_L = \frac{1}{2g} (V_1 - V_2)^2 \quad (3.16c)$$

La expresión anterior, se conoce como el **Teorema de Borda Camot** (Deducida en 1766); el cual se enuncia así: "En cualquier ensanchamiento brusco de sección hay una pérdida de carga local medida por la altura cinética, correspondiente a la pérdida de velocidad"

Tomándose el valor de V_2 en función de V_1 , se tiene:

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

y luego sustituyendo V_2 , en la ec. 3.16c, se obtiene:

$$h_L = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.16d)$$

$$h_L = K \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.16e)$$

De un modo general todas las pérdidas locales pueden expresarse como:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (3.17)$$

expresión que se conoce como la **Ecuación general de pérdidas locales**, en la cual el coeficiente K puede ser obtenido experimentalmente para cada caso.

Continuando con las pérdidas de carga por ampliación, de la fórmula de Borda, se tiene que:

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (3.18)$$

expresión que lleva a resultados ligeramente inferiores a los experimentales, razón por la cual Saint-Venant propuso un término correctivo complementario, con base en los datos experimentales de Borda, teniendo ahora que:

$$K = C_d \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (3.18a)$$

donde:

C_d : Depende del ángulo θ del difusor, como se muestra en la figura siguiente, la cual incluye los resultados de Gibson.

Para ampliaciones bruscas, se usa la misma fórmula con $C_d = 1.0$

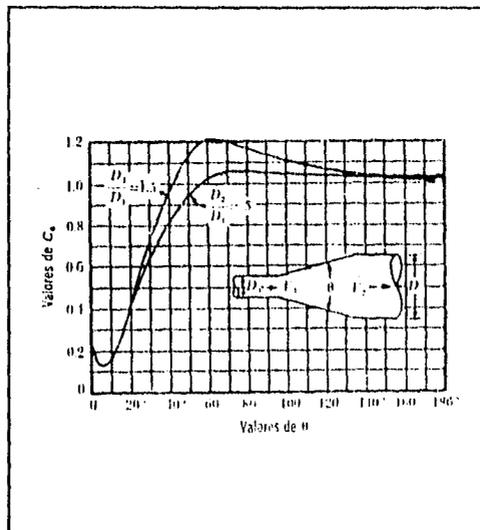


Fig 3.16 Término correctivo C_d , del coeficiente de pérdida para ampliaciones graduales.

Observaciones:

- 1.- La pérdida mínima de energía se obtiene para ángulos de difusión $\theta = 8^\circ$.
- 2.- Para $\theta \geq 50^\circ$ una ampliación brusca es tan confiable como la gradual (es decir, la ampliación ya se considera brusca).
- 3.- A fin de evitar separaciones y cavitaciones el ángulo θ del difusor según el USBR., debe ser:

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sqrt{gD}}{2V} \quad (3.19)$$

para $\theta < 20^\circ$

donde : $D = (D_1 + D_2) / 2$ y $V = (V_1 + V_2) / 2$

- 4.- Según Hutarew, el ángulo θ óptimo depende del número de Reynolds;

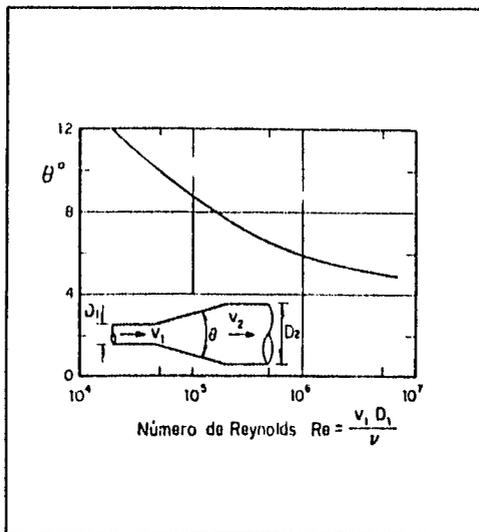


Fig. 3.17 Ángulo óptimo del difusor en función del número de Reynolds.

- 5.- Para calcular θ en transiciones con sección distinta de la circular, se usa el criterio del cono equivalente, es decir un cono truncado o limitado por áreas circulares, de la misma magnitud que las reales, en los extremos de la transición.

A continuación se presentan otras gráficas para poder determinar el valor del coeficiente de pérdida K , debido a ampliaciones en la sección.

- Coeficiente de pérdida para una ampliación brusca asociada a A_1 .
(Es decir, para valores del ángulo del difusor, $\theta \geq 50^\circ$)

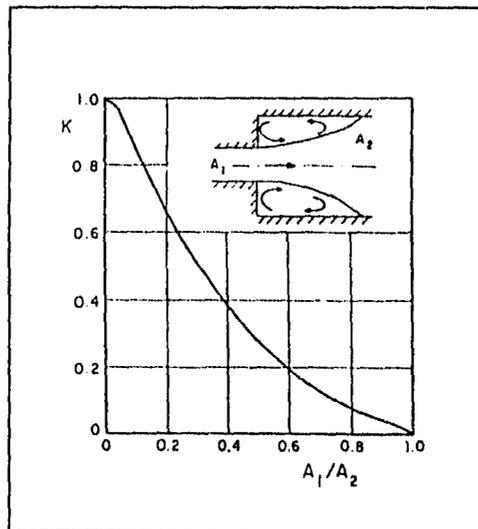


Fig. 3. 18

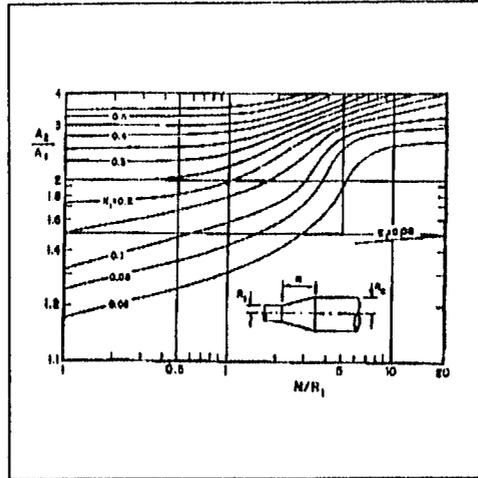


Fig. 3.19 Coeficiente de pérdida para una ampliación gradual.

La nomenclatura para difusores rectangulares es la mostrada en la figura siguiente:

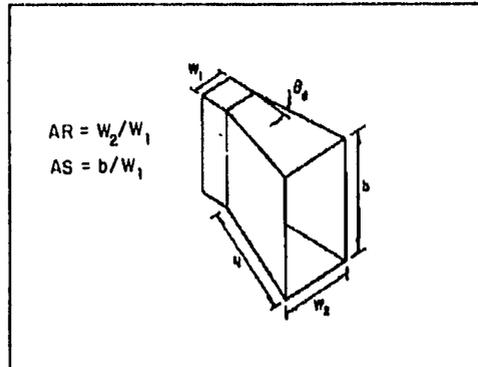


Fig. 3.20 Nomenclatura para difusores rectangulares.

Nota: Para poder obtener el coeficiente de pérdida K para una ampliación gradual y rectangular, basta con sustituir el valor de L/R_1 por N/W_1 .

III.2.4.- PÉRDIDA POR REDUCCIÓN.

La reducción brusca de una sección en un tubo, produce un fenómeno de contracción semejante al de entrada a una tubería, el cual también conviene que sea gradual.

La pérdida de carga por reducción es inferior a la de ampliación.

Cuando una reducción es gradual el coeficiente de pérdida está en función del ángulo de la reducción; según la tabla de la siguiente figura:

Coefficiente de pérdida por reducción gradual de ángulo θ , según Kisieliev.

θ	4° a 5°	7°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	80°
K	.005 a .060	0.16	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.26	0.30	0.32	0.34	0.35

Para evitar pérdidas grandes, según el US Bureau of Reclamation, el ángulo de reducción no debe exceder de:

$$\tan \theta = \frac{\sqrt{\theta D}}{2V} \quad (3.20)$$

$$\text{donde: } D = (D_1 + D_2) / 2 \quad \text{y} \quad V = (V_1 + V_2) / 2$$

para el cual $K = 0.1$

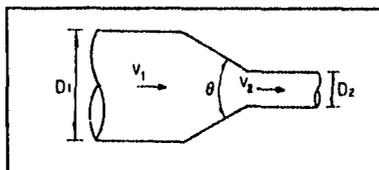


Fig. 3. 21 Coeficiente de pérdida por reducción gradual de ángulo θ , según Kisieliev.

- Coeficiente de pérdida para una reducción brusca.

Para una reducción brusca, el coeficiente respectivo se obtiene de la siguiente figura en función de la relación A_2/A_1 , siendo la velocidad mayor la que se utilice en la fórmula general de pérdidas locales.

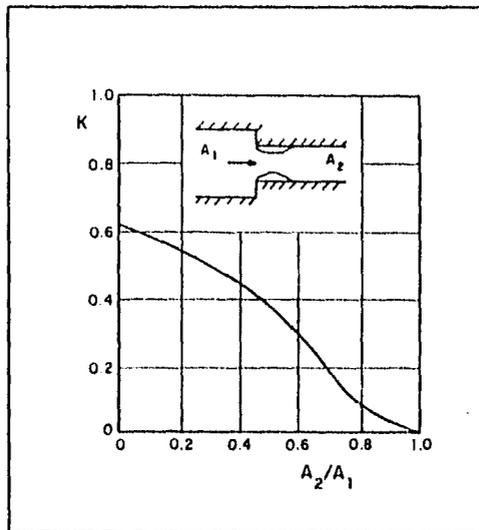


Fig. 3.22 Coeficiente de pérdida para una reducción brusca.

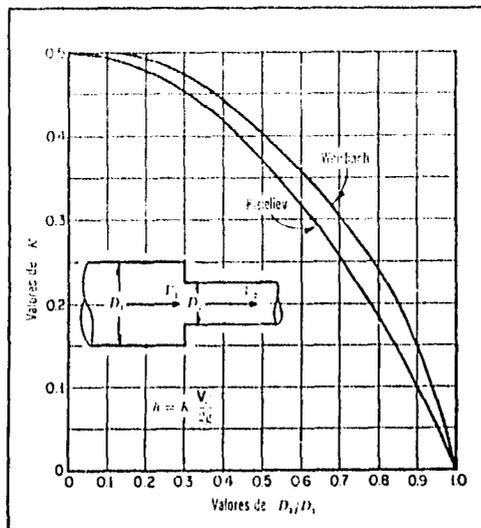


Fig. 3.23 Coeficiente de Weisbach, para reducciones bruscas.

En el caso de tubos de diámetro pequeño, un cople reductor tiene un coeficiente de pérdida que varía de 0.05 a 2; para un cople que una dos tubos del mismo diámetro, el coeficiente de pérdida varía de 0.35 a 0.9 para diámetros de 0.1 m a 0.025 m, respectivamente.

III.2.5.- PÉRDIDA POR DIAFRAGMA.

Cuando la contracción brusca contenga un diafragma como el que aparece en la figura siguiente;

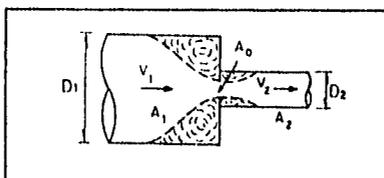


Fig. 3.24

el coeficiente de pérdida vale:

$$K = \left(\frac{A_2}{\mu A_0} - 1 \right)^2 + 0.04 \left(\frac{A_2}{A_0} \right)^2 \quad (3.21)$$

Siendo la pérdida:

$$h = K \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.22)$$

-Si $A_0 < 1/10 A_1$ y el diafragma tiene cantos afilados, los valores de μ y K de la fórmula 3.21 antes indicada serán los que se muestran en la siguiente figura:

A_0/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.818	0.614	0.412	0.210	0.007	0.005	0.603	0.801	0.998	0.998
K	298.07	52.03	20.22	9.85	6.43	3.19	1.86	1.23	0.79	0.50

* Este es el caso de una entrada normal donde $A_0 = A_2$ (no hay diafragma) y $A_1 > 10 A_0$.

Fig. 3.25

-Si $A_0 \geq 1/10 A_1$ y el diafragma tiene cantos afilados, los valores de μ para ser utilizados en la fórmula 3.21, son los siguientes:

A_0/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.63	0.64	0.65	0.67	0.68	0.72	0.77	0.85	0.92	1.0

Fig. 3.26

-Si $A_1 = A_2$ (osea un tubo de diámetro constante) y el diafragma tiene cantos afilados, y además $A_0 > 1/10 A_1$ y/o $A_0 > 1/10 A_2$; los valores de μ y K se presentan en la tabla siguiente:

A_0/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.0
K	229.77	49.77	17.95	8.05	3.81	1.91	0.89	0.35	0.11	0.0*

* Osea no existe pérdida local, ya que no hay diafragma puesto que $A_0 = A_1$.

Fig. 3.27 Coeficiente de pérdida, para diafragmas en tubos de diámetro constante.

-Si A_1 es muy grande, entonces $\mu \approx 0.60$ según Weisbach; los valores de K se presentan en la tabla siguiente:

A_1/A_0	1.00	1.25	1.50	2.00	3.00	5.00	10.00
K	0.44	1.17	2.25	4.44	16.00	53.78	248.44

donde: K se obtiene de la ecuación siguiente, con $\mu = 0.6$;

Fig. 3.28

$$K = \left(\frac{A_1}{\mu A_0} - 1 \right)^2 \quad (3.23)$$

Para un orificio circular de cantos afilados, el coeficiente de pérdidas se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$K = \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 C_c\right)^2 \frac{1}{\left(\frac{d}{D}\right)^4 C_c^2} \quad (3.24)$$

Obteniéndose el coeficiente de contracción "C_c", de la figura siguiente en función de la relación del diámetro del orificio "d", al diámetro del tubo "D".

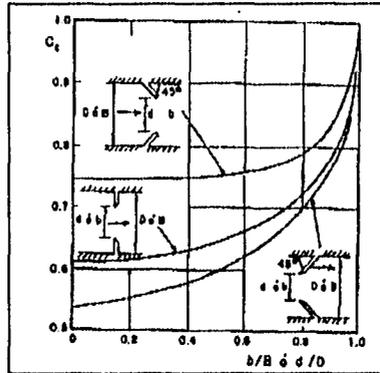


Fig. 3.29 Coeficiente de contracción para diafragmas de cantos afilados y con distintos ángulos.

-Si el orificio es rectangular, el coeficiente de contracción "C_c", se obtiene de la misma figura (Fig. 3.29) utilizando la relación b/B, siendo b la altura del orificio y B la altura del conducto; el coeficiente de pérdida para este caso se calcula con la siguiente expresión:

$$K = \left(1 - \frac{b}{B} C_c\right)^2 \frac{1}{\left(\frac{b}{B}\right)^2 C_c^2} \quad (3.25)$$

Cabe resaltar que tanto la expresión 3.24 como la expresión 3.25, al ser utilizadas en la fórmula general para pérdidas locales, consideran en la misma, la velocidad V₂, o la velocidad aguas abajo del orificio.

-Para orificios circulares con cantos afilados y pared delgada, es decir, que el espesor "t" del orificio es menor que 0.1d, el coeficiente de pérdida se obtiene de la figura siguiente en función de la relación del área del orificio entre el área total del tubo. Esta gráfica es válida para Re ≥ 1x10³.

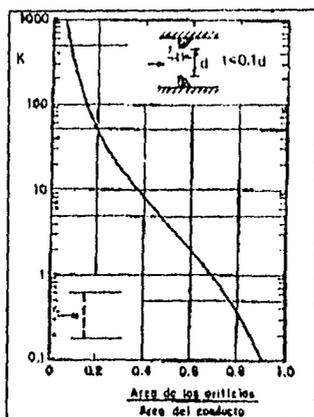


Fig. 3.30 Coeficientes de pérdida para orificios circulares con cantos afilados y pared delgada.

En la fórmula general para pérdidas locales, se considera la velocidad aguas abajo del orificio, para el cual si tiene los cantos redondeados, el coeficiente obtenido de la figura 3.30, debe corregirse con el factor de la figura siguiente, que esta en función de la relación del radio de curvatura del canto del orificio entre el diámetro del mismo.

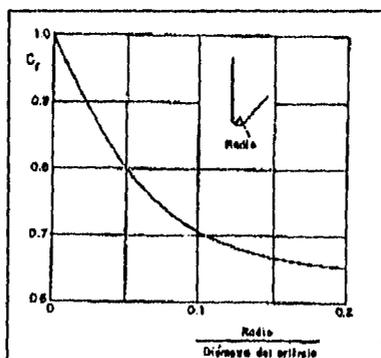


Fig. 3.31 Factores de corrección " C_r ", por curvatura de los cantos de un orificio.

Cuando el espesor del orificio es mayor de $0.1d$, se debe corregir el coeficiente K obtenido de la figura 3.30 con el factor de la figura 3.32, que esta en función de la relación de la longitud del orificio entre el diámetro del mismo, siempre y cuando la relación del área del orificio entre el área del tubo sea menor de 0.4.

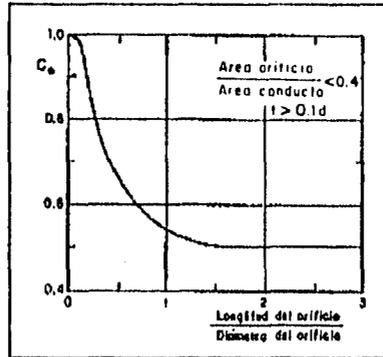


Fig. 3.32 Factor de corrección C_o , para orificios largos.

Si la longitud del orificio es mayor de tres veces su diámetro, necesita considerarse la pérdida por fricción en el orificio, siempre y cuando la relación del área del orificio entre el área del tubo sea menor de 0.4. Si se excede, resulta más apropiado calcular pérdidas como la suma de la pérdida en una reducción brusca, más la pérdida por fricción en el orificio y más la pérdida por ampliación brusca. Ver la figura siguiente;

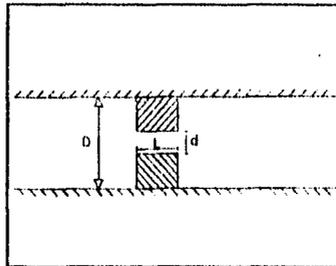


Fig. 3.33 Orificio de longitud $L > 3d$.

III.2.6.- PÉRDIDA POR DISPOSITIVOS PARA MEDICIÓN DE GASTO.

Cuando en una tubería se coloca un orificio, tobera, tubo de venturi o un tubo de Dall para medir el gasto, se produce una pérdida local.

Los coeficientes de pérdida en dichos dispositivos se presentan en la figure siguiente en función de la relación del área de garganta del dispositivo de medición entre el área del tubo. El empleo de la fórmula general para evaluar las pérdidas locales debidas a estos dispositivos, debe hacerse considerando la velocidad aguas abajo de los mismos.

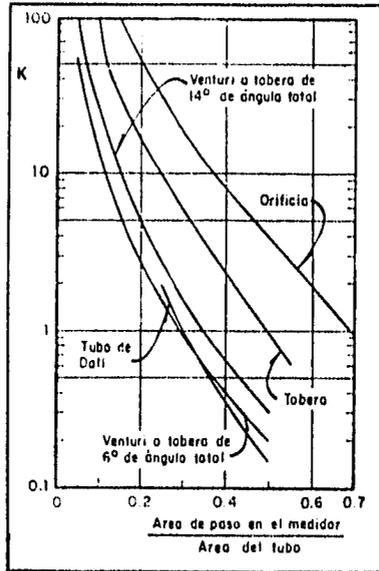


Fig. 3.34 Coeficiente de pérdida en medidores de gasto.

III.2.7.- PÉRDIDA POR CAMBIO DE DIRECCIÓN.

- Curvas graduales de sección transversal circular y área constante.

Los coeficientes de pérdida básicos, K^* , para una curva de sección transversal circular y área constante se presentan en la figura 3.35 en función del ángulo θ_b de la curva y de la relación r/D , siendo r el radio de la curva y D el diámetro del tubo.

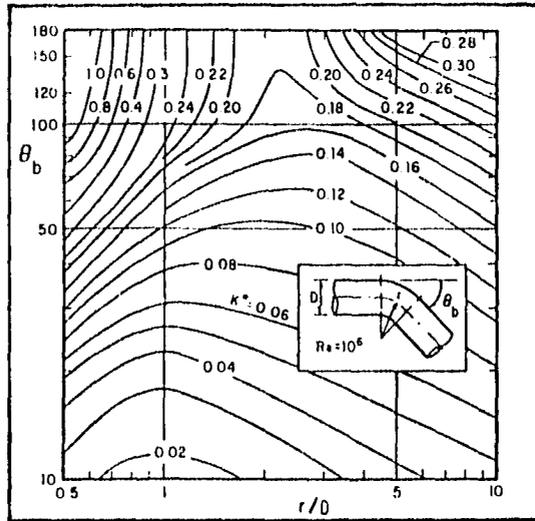


Fig. 3.35 Coeficiente de pérdida básico K^* , para curva circular de área constante.

Notas: La figura anterior es válida;

1.-Para número de Reynolds igual a 1×10^6 .

2.-Para una tubería suficientemente larga a la salida de la curva a fin de que se vuelva a desarrollar totalmente el flujo.

3.-Para tuberías hidráulicamente lisas ($\epsilon/D \approx 0$).

El coeficiente de pérdida por cambio de dirección, K_{cd} , será igual a:

$$K_{cd} = K^* C_n C_l C_f \quad (3.26)$$

donde:

C_n : Es el factor de corrección para números de Reynolds distintos de 1×10^6 .

C_l : Es el factor de corrección por longitud de tubería a la salida de la curva menor de 30 veces el diámetro.

C_f : Es el factor de corrección por rugosidad.

El factor de corrección C_{rc} , se obtiene de la figura 3.36, en función del número de Reynolds y de la relación r/D .

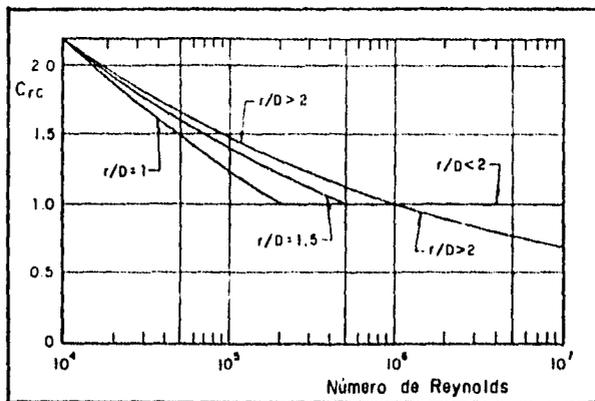


Fig. 3.36 Factor de corrección C_{rc} para curvas circulares con número de Reynolds distinto de 1×10^6 .

Nota: Si la relación r/D , es menor de 1.0, sólo una parte de los coeficientes de pérdida depende del número de Reynolds. Esto es, para $r/D > 1.0$ ó $K^* < 0.4$, úsese la corrección C_{rc} de la figura anterior con $r/D = 1$ de otra manera,

$$C_{rc} = \frac{K^*}{K^* - 0.2(C_{rc}) + 0.2} \quad (3.27)$$

donde :

C_{rc} : Es el valor correspondiente a la relación $r/D = 1.0$

El factor de corrección C_o , se presenta en la figura 3.37, en función del coeficiente básico K^* y de la relación de longitud del tubo a la salida de la curva entre el diámetro del tubo.

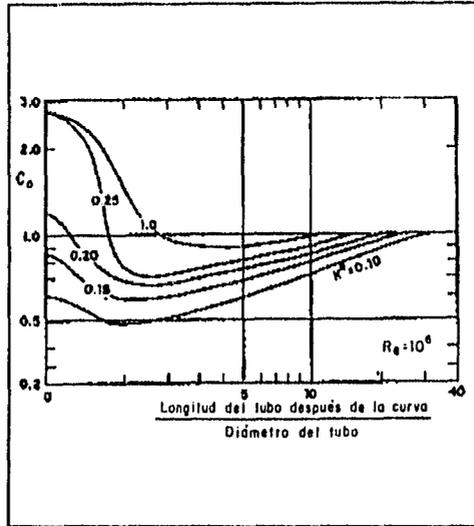


Fig. 3.37 Factor de corrección, C_o , por longitud de tubería después de la curva.

Notas :

- 1.- Si $r/D > 3.0$ y/o $\theta > 100^\circ \Rightarrow C_o \approx 1.0$
- 2.- Si después de la curva el tubo descarga a un depósito, es necesario sumar la pérdida por salida, es decir:

$$h = (K_{sd} + 1) \frac{V^2}{2g} \quad (3.28)$$

El factor de corrección C_f , se calcula así;

$$C_f = \frac{f_{tubo}}{f_{seo}} \quad (3.29)$$

donde:

f_{rugoso} : Es el factor de fricción en la fórmula de Darcy-Weisbach para la rugosidad del tubo en la curva, y se puede calcular con la fórmula de Colebrook-White para tubos rugosos en la zona de transición o turbulenta.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3.30)$$

válida para $Re > 4000$

f_{liso} : Es el factor de fricción en la fórmula de Darcy-Weisbach para un tubo hidráulicamente liso, y que se puede calcular con la fórmula de Nikuradse para tubos lisos en la zona de transición o turbulenta.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{Re \sqrt{f}}{2.51} \right) \quad (3.31)$$

válida para: $23,000 \leq Re \leq 3'400,000$

y para flujo laminar, se puede calcular con la fórmula de Pouseuille tanto para tubos rugosos como lisos, la cual es:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.32)$$

válida para $Re < 2000$

Notas:

- 1.- Dichos factores se determinan considerando el número de Reynolds a la entrada de la curva.
- 2.- Si $Cf > 1.4$, la validez de la corrección es cuestionable.

Nota final:

El coeficiente corregido de pérdida por cambio de dirección, K_{cd} , es aplicable siempre que la curva esté separada cuando menos una longitud de dos diámetros después de un dispositivo que tenga un coeficiente de pérdida local igual o menor de 0.25 con $Re = 1 \times 10^6$; o de cuatro diámetros si el coeficiente es mayor de 0.5 para $Re = 1 \times 10^6$. Al calcularse la pérdida de carga por cambio de dirección, debe considerarse la velocidad del fluido en la curva.

- Curvas graduales de sección transversal rectangular y área constante.

Para una curva de sección transversal rectangular, de ancho b , altura w y radio r , los coeficientes básicos para relaciones de esbeltez, $b/w = 0.5$, $b/w = 1.0$ y $b/w = 2.0$, se presentan respectivamente en las figuras 3.38, 3.39 y 3.40, en función del ángulo de la curva y de la relación r/w ;

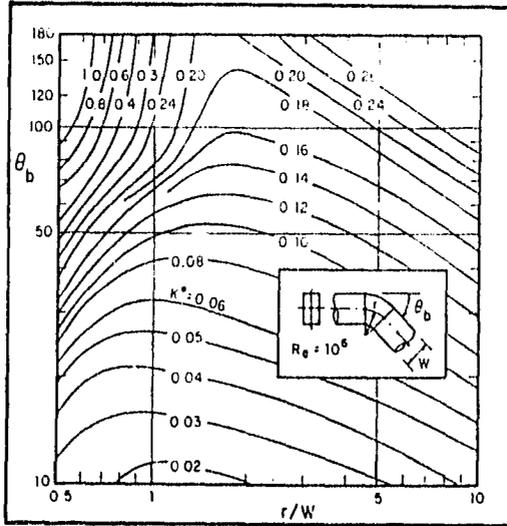


Fig. 3.38 Coeficiente de pérdida básica, K_b , para conductos rectangulares con relación de esbeltez (ancho/altura) igual a 0.5 .

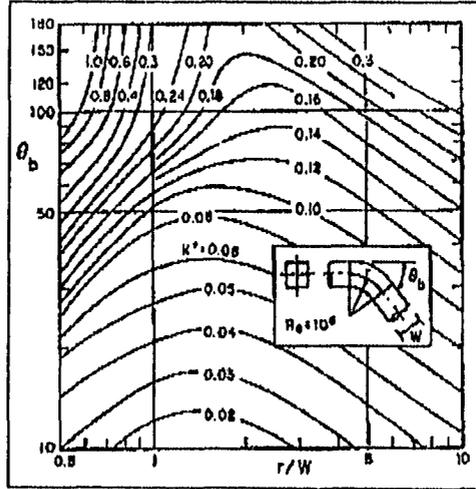


Fig. 3.39 Coeficiente de pérdida básica, K^* , para una curva de sección transversal cuadrada.

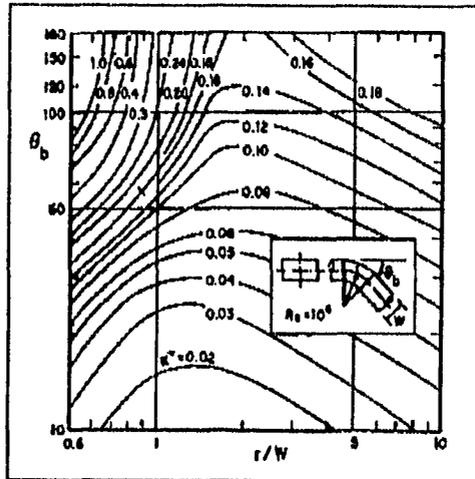


Fig. 3.40 Coeficiente de pérdida básica, K^* , para conductos rectangulares con relación de esbeltez (ancho/altura) igual a 2.0.

- Curvas bruscas de área constante.

Si el cambio de dirección es brusco, el coeficiente básico K^* , se encuentra en la figura 3.41, en función del ángulo θ_b de la curva;

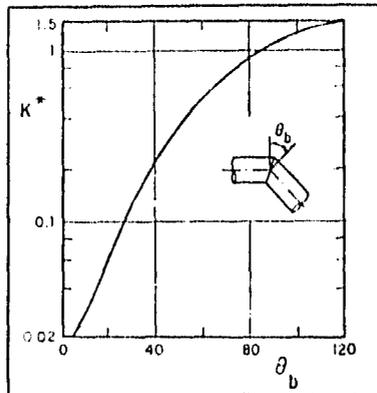


Fig. 3.41 Coeficiente de pérdida básico K^* , para una curva brusca.

Nota: La gráfica es válida;

- 1.- Para tuberías circulares o rectangulares con $Re = 1 \times 10^6$.
- 2.- Para tubería de salida suficientemente larga.
- 3.- Para tubería hidráulicamente lisa.

El factor de corrección C_{rc} se obtiene de la ecuación 3.27, con Re basado en el diámetro del tubo o el diámetro hidráulico.

La corrección C_o se obtiene de la figura 3.37.

La corrección C_f se obtiene de manera análoga a los casos de tuberías circulares y/o rectangulares.

Las restricciones de la longitud del conducto a la entrada son las mismas que para una curva circular de área constante.

Notas: Las figuras 3.38, 3.39 y 3.40 son válidas;

- 1.- Para $Re = 1 \times 10^6$ basado en el diámetro hidráulico ($D = 4Rh$; Rh es el radio hidráulico).
- 2.- Para un conducto suficientemente largo a la salida de la curva (L).
- 3.- Para un conducto hidráulicamente liso. ($\epsilon/D \approx 0$).

El coeficiente de pérdida por cambio de dirección con curvas graduales de sección transversal rectangular y área constante se obtiene con las correcciones Crc , Co y Cf de la manera siguiente:

- 1.- El factor de corrección Crc se obtiene de la figura 3.36, reemplazando r/D por r/w .
- 2.- El factor de corrección Co se obtiene de la figura 3.37, con las siguientes modificaciones;

$$\text{Si } b/w < 0.7 \text{ y } L/D > 1.0 \Rightarrow Co_{\text{rectangular}} = 1 - (1 - Co_{\text{circular}})$$

$$\text{Si } b/w < 0.7 \text{ y } L/D < 1.0 \Rightarrow Co_{\text{rectangular}} = Co_{\text{circular}}$$

$$\text{Si } b/w > 1.0 \text{ y } L/D > 1.0 \Rightarrow Co_{\text{rectangular}} = Co_{\text{circular}}$$

$$\text{Si } b/w > 1.0 \text{ y } L/D < 1.0 \Rightarrow Co_{\text{rectangular}} = Co_{\text{circular}} \text{ excepto para } 1.5 \leq r/w \leq 3$$

donde el coeficiente básico K^* , obtenido de las figuras 3.38, 3.39 y 3.40, debe ser multiplicado por dos.

- 3.- El factor de corrección Cf se obtiene análogamente al de las tuberías circulares pero considerando:

$$R_s = V \cdot \frac{4Rh}{v} \quad (3.33)$$

y

$$\frac{\epsilon}{4Rh} \quad (3.34)$$

Nota final:

Al calcular la pérdida de carga, debe considerarse la velocidad del fluido en la curva. La aplicabilidad de éstos coeficientes es cuando la longitud del conducto antes de la curva es mayor o igual a cuatro veces el diámetro hidráulico, es decir $L \geq (Dh = 4Rh)$.

- Curvas bruscas formadas con tramos rectos uniformes.

Cuando se tienen curvas de 90° en tuberías circulares o rectangulares formadas de pequeños tramos rectos, los coeficientes básicos pueden obtenerse de la figura 3.42, en función del arco circular equivalente adimensional, r/D o r/w .

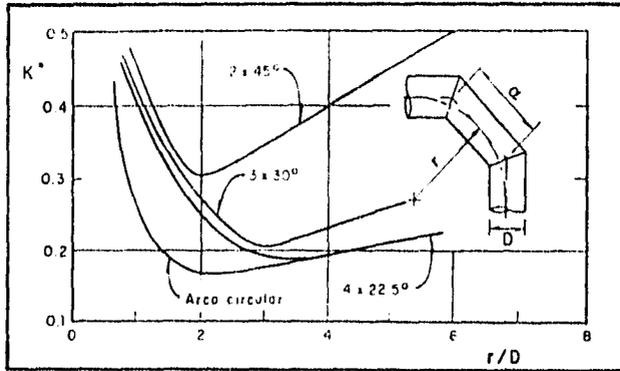


Fig. 3.42 Coeficiente de pérdida básico K^* , para curvas compuestas.

donde:

- D: Es el diámetro de un conducto circular.
 w: Es la altura de un conducto rectangular.
 r: Está definido como;

$$r = \frac{a}{2} \cot \frac{90^\circ}{2n} \quad (3.35)$$

Siendo:

- n: El número de tramos que componen la curva.
 a: La longitud uniforme de cada tramo.

Notas:

- 1.- La gráfica es válida para $Re = 1 \times 10^6$ y para tubería después de la curva suficientemente larga e hidráulicamente lisa.
- 2.- Las correcciones C_{rc} , C_o y C_f , así como las restricciones de la longitud de la tubería antes de la curva, se obtienen de igual forma que para las curvas en tuberías circulares de área constante, utilizando las relaciones r/D o r/w y para el número de Reynolds, el diámetro del tubo o el diámetro hidráulico.

- **Curvas de área variable.**

Cuando una curva es de área variable y une dos conductos de áreas iguales, los coeficientes básicos se obtienen de la figura 3.43;

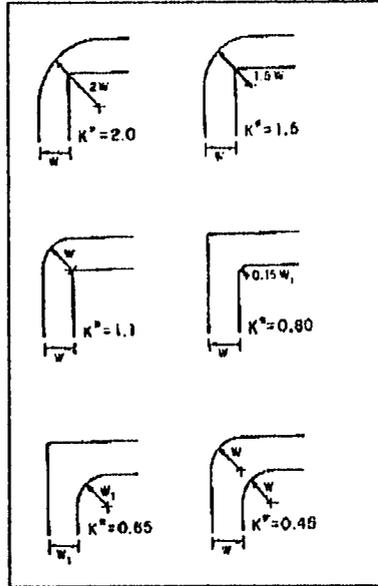


Fig. 3.43 Coeficientes de pérdida básicos K^* para curvas de área variable.

la cual es válida para $Re = 1 \times 10^8$ y para tubería a la salida de la curva suficientemente larga e hidráulicamente lisa. Estos valores se aplican tanto a tuberías circulares como a rectangulares.

El factor de corrección Crc se determina de la misma forma que para una curva de un tubo circular y área constante, considerando $r/D < 1$ y valuando el número de Reynolds con el diámetro del tubo o el diámetro hidráulico y la velocidad de llegada a la curva. Las correcciones C_o y C_f se obtienen de la figura 3.37 y de la fórmula 3.29 respectivamente, calculando el número de Reynolds (como para Crc) y considerando para el cálculo de la pérdida de carga la velocidad al iniciar la curva.

- **Interacción entre curvas cercanas.**

Cuando dos curvas circulares de áreas iguales están unidas por un cople de longitud, L_s , menor de 30 diámetros, existe una interacción entre ambas, y en general, la pérdida resultará menor que la suma de las pérdidas individuales de las dos curvas.

Si la longitud L_s del cople es mayor de 30 diámetros, la interacción es despreciable. Para encontrar el coeficiente de pérdida combinado se utiliza un factor de corrección por interacción, C_{b-b} , de la siguiente manera;

$$K_{cd} = (K_{cd1} + K_{cd2}) C_{b-b} \quad (3.36)$$

Siendo K_{cd1} y K_{cd2} , los coeficientes de pérdida para cada curva individualmente. Las pérdidas por fricción en el cople deben ser añadidas para calcular la pérdida total de energía.

Nota: Para calcular las pérdidas de carga, debido a interacción entre curvas cercanas debe usarse la velocidad a la entrada de la primera curva.

A continuación se presenta la nomenclatura para ángulos combinados.

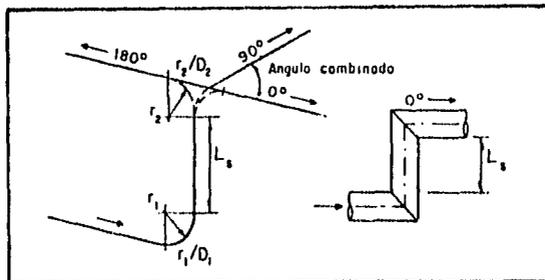


Fig. 3.44 Nomenclatura para ángulos combinados.

donde:

θ_o : Es el ángulo combinado.

L_s : Longitud del cople.

Nota: Las dos curvas que interactúan son de 90°

En la siguiente tabla, se presenta los valores de C_{b-b} para coples de longitud igual a 0,1,4 y 8 diámetros; relaciones r/D igual a 1, 2 y 3, y ángulos combinados θ_o , de 0, 30,60,90,120,150 y 180° .

θ_c	0	1	4	8	0	1	4	8	0	1	4	8
e_c	$r_1/D=1,$	$r_2/D=1$	$r_1/D=1,$	$r_2/D=2$	$r_1/D=1,$	$r_2/D=3$						
0	1.00	.80	.71	.81	1.06	.91	.74	.83	1.02	.93	.78	.87
30	1.16	1.04	.94	.83	1.15	1.05	.85	.84	1.06	1.05	.83	.83
60	1.04	.92	.76	.82	1.01	.96	.82	.84	.97	.92	.83	.83
90	.81	.79	.74	.82	.81	.86	.80	.82	.86	.90	.82	.83
120	.69	.69	.72	.81	.71	.78	.79	.81	.78	.82	.82	.83
150	.60	.63	.73	.81	.64	.71	.78	.81	.72	.78	.81	.84
180	.53	.58	.71	.80	.60	.64	.77	.81	.67	.72	.81	.85
e_c	$r_1/D=2,$	$r_2/D=1$	$r_1/D=2,$	$r_2/D=2$	$r_1/D=2,$	$r_2/D=3$						
0	.76	.74	.69	.74	.86	.83	.72	.77	.88	.85	.74	.83
30	.73	.72	.73	.79	.79	.79	.71	.81	.84	.83	.77	.82
60	.71	.70	.74	.80	.77	.74	.70	.81	.81	.81	.79	.83
90	.67	.68	.74	.80	.73	.71	.70	.80	.78	.79	.81	.84
120	.64	.66	.75	.81	.68	.68	.69	.80	.76	.77	.82	.85
150	.60	.64	.75	.81	.63	.65	.69	.80	.72	.75	.82	.86
180	.57	.62	.75	.81	.58	.62	.72	.80	.69	.73	.83	.87
e_c	$r_1/D=3,$	$r_2/D=1$	$r_1/D=3,$	$r_2/D=2$	$r_1/D=3,$	$r_2/D=3$						
0	.79	.76	.70	.76	.85	.83	.72	.77	.86	.87	.82	.85
30	.76	.75	.73	.81	.83	.81	.74	.81	.83	.85	.81	.85
60	.73	.73	.75	.81	.80	.79	.75	.80	.81	.83	.81	.85
90	.70	.72	.77	.81	.76	.76	.76	.80	.78	.79	.80	.85
120	.68	.70	.78	.82	.73	.74	.77	.80	.76	.77	.80	.85
150	.65	.69	.78	.82	.69	.71	.77	.80	.74	.75	.79	.85
180	.64	.68	.79	.82	.65	.68	.77	.80	.71	.73	.79	.85

Tabla 3.4 Factores C_{bb} de corrección por interacción de dos curvas de 90°, unidas por un cople.

* Es la longitud del cople en diámetros.

θ_c : Es el ángulo combinado.

De manera similar a la tabla 3.4 anterior, en las figuras 3.45, 3.46 y 3.47 siguientes se presentan los valores de C_{bb} para ángulos combinados de 0,90 y 180°, tanto para curvas graduales ($r/D = 1, 2$ y 3) como para brascas ($r/D = 0.5$), en función de la relación entre la longitud del cople y el diámetro del mismo (Ls/D).

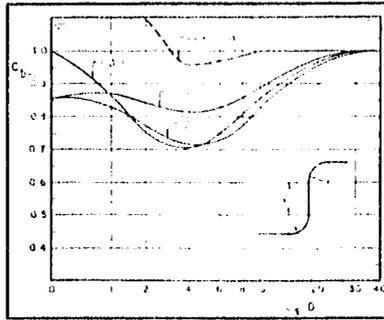


Fig. 3.45 Factor de corrección C_{b,b_1} para ángulos combinados de 0° .

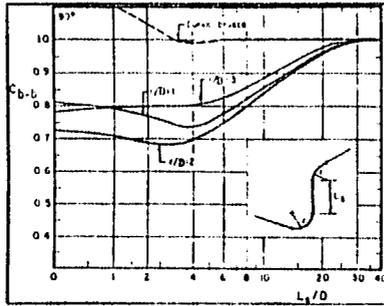


Fig. 3.46 Factor de corrección C_{b,b_1} para ángulos combinados de 90° .

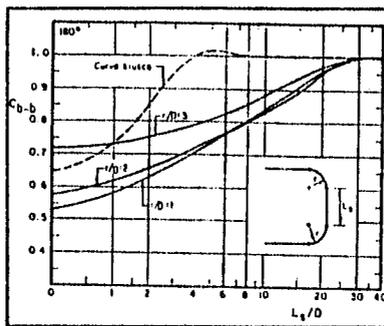


Fig. 3.47 Factor de corrección C_{b,b_1} para ángulos combinados de 180° .

Notas:

- 1.- El factor de corrección por interacción en curvas bruscas para un ángulo combinado de 0°, sobrepasa el valor de tres, con una relación $Ls/D = 0$.
- 2.- Para combinaciones de curvas graduales con ángulos individuales mayores de 70°, se tienen valores de $C_{b,b}$ similares a las combinaciones de curvas de 90°.
- 3.- Para combinaciones de curvas graduales con ángulos individuales menores de 70°, puede usarse la figura 3.45 para cualquier ángulo combinado.
- 4.- Para curvas bruscas con ángulos individuales menores de 45° y longitud del cople mayor de un diámetro, úsese la figura 3.47 con la relación $r/D = 1$ para cualquier ángulo combinado.
- 5.- Para curvas rectangulares:
 - a) Si la relación de esbeltez $b/w < 0.7$, siendo b el ancho y w la altura del conducto, el factor $C_{b,b}$ puede obtenerse de la figura 3.47 para cualquier ángulo combinado, modificándolo de la siguiente manera;

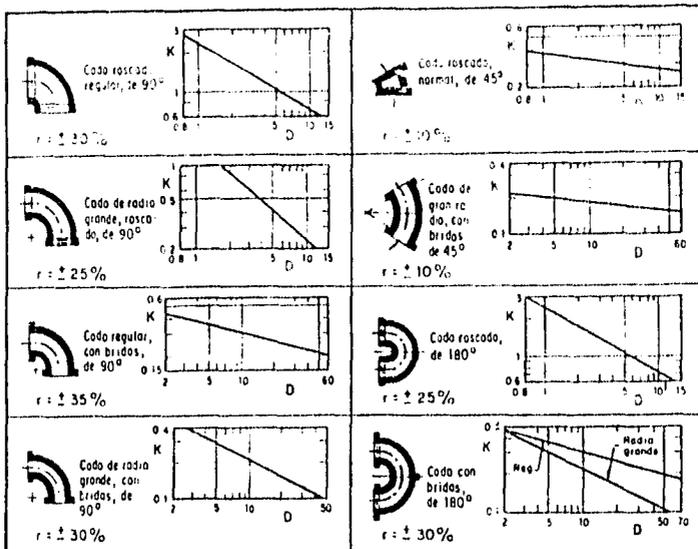
$$C_{b,b_{rectangular}} = 1 - \frac{1 - C_{b,b_{circular}}}{2} \quad (3.37)$$

- b) Si la relación de esbeltez $b/w > 1.5$, úsese la figura 3.45 para cualquier ángulo combinado.
- c) Si la relación de esbeltez esta comprendida entre 0.7 y 1.5, utilícase el factor de corrección por interacción $C_{b,b}$, para tuberías circulares.
- d) Cuando se conectan dos curvas con diferente relación de esbeltez, puede usarse la figura 3.45 para obtener $C_{b,b}$.

También en éstos casos, para calcular la pérdida de carga por interacción entre curvas, debe utilizarse la velocidad a la entrada de la primera curva.

- Codos.

Cuando la curvatura de los tubos es pequeña, el coeficiente de pérdida se obtiene de la figura siguiente, en función del diámetro nominal del codo (Ver figura 3.48). La pérdida de carga por codo, se calcula considerando la velocidad aguas abajo del mismo.



donde:

D = Diámetro nominal en cm.

r = Intervalo aproximado de variación para K.

Fig. 3. 48 Coeficiente de pérdida para codos.

III.2.8.- PÉRDIDA EN UNIONES Y BIFURCACIONES.

La notación mostrada en la siguiente figura, es la considerada para uniones y bifurcaciones en T y en Y.

Tanto para uniones como para bifurcaciones, el ramal 3 es el que conduce el gasto total. Los coeficientes de pérdida, K_j , se definen como la pérdida de carga entre las secciones i y j .

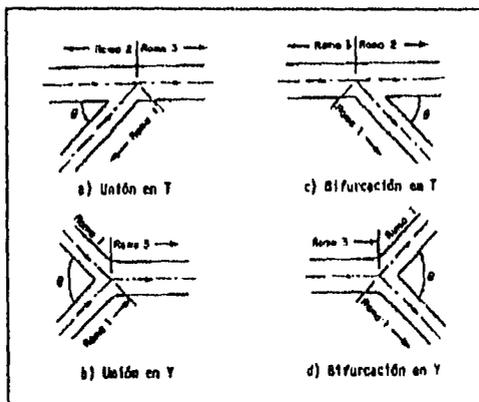


Fig. 3.49 Notación para uniones y bifurcaciones.

- Uniones.-

Los coeficientes de pérdida para uniones en T de tuberías circulares con cantos afilados, se presentan en gráfica para $Re > 1 \times 10^5$ y $A_2 = A_3$, dependiendo del ángulo θ que tenga la tubería secundaria con respecto a la principal y de las relaciones A_1/A_3 y Q_1/Q_3 .

Nota importante: Para calcular la pérdida de carga por unión, debe considerarse la velocidad aguas abajo de la misma, es decir:

$$h_{p_j} = K_j \frac{V_3^2}{2g} \quad (3.38)$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Las figuras están ordenadas de la siguiente manera:

Ángulo θ	K_{12}	K_{23}
15°	Fig. 3.50	Fig. 3.51
30°	Fig. 3.52	Fig. 3.53
45°	Fig. 3.54	Fig. 3.55
60°	Fig. 3.56	Fig. 3.57
80°	Fig. 3.58	Fig. 3.59
120°	Fig. 3.60	Fig. 3.61

Dentro de ciertos límites, la geometría de la sección transversal no es muy importante y los coeficientes para tuberías circulares pueden usarse para tuberías rectangulares, inclusive, cuando el remete 1 tiene distinta sección transversal que la que existe en los remetes 2 y 3.

Nota importante:

Los coeficientes obtenidos de las figuras 3.50 a 3.61 son válidos si la tubería en la rama 3 tiene una longitud mínima de tres diámetros de esa rama, y si la longitud de la tubería en las ramas 1 y 2 es de mínimo tres diámetros de sus respectivas secciones transversales, o una vez el diámetro cuando se tiene una curva con $r/D > 1.5$ o algún dispositivo con un coeficiente de pérdida local menor de 0.2 para $Re = 1 \times 10^4$.

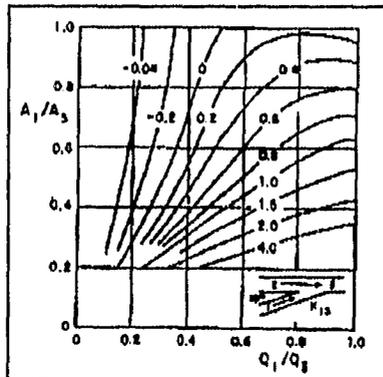


Fig. 3.50 Coeficiente de pérdida K_{13} para uniones de cantos afilados.

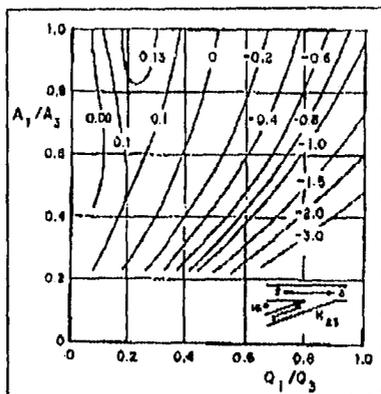


Fig. 3.51 Coeficiente de pérdida K_{23} para uniones de cantos afilados.

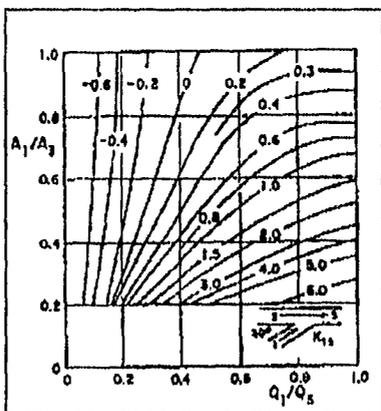


Fig. 3.52 Coeficiente de pérdida K_{13} para uniones de cantos afilados.

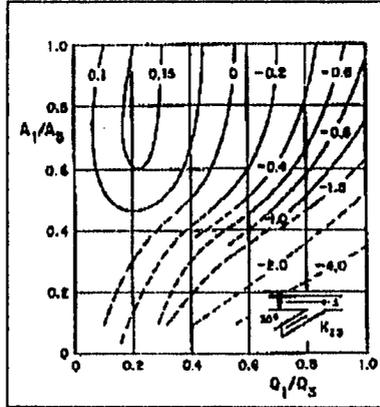


Fig. 3.53 Coeficiente de pérdida K_{23} para uniones de cantos afilados.

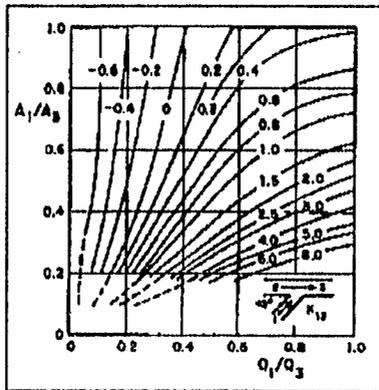


Fig. 3.54 Coeficiente de pérdida K_{13} para uniones de cantos afilados.

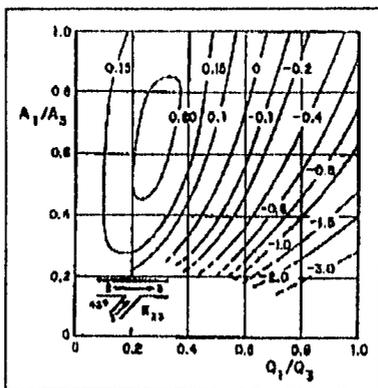


Fig. 3.55 Coeficiente de pérdida K_{23} para uniones de cantos afilados.

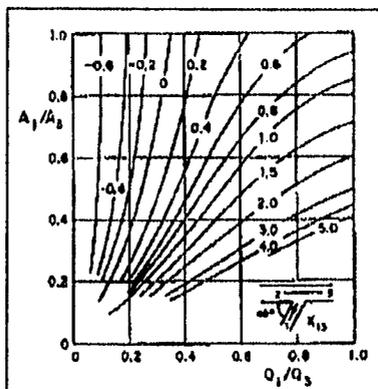


Fig. 3.56 Coeficiente de pérdida K_{13} para uniones de cantos afilados.

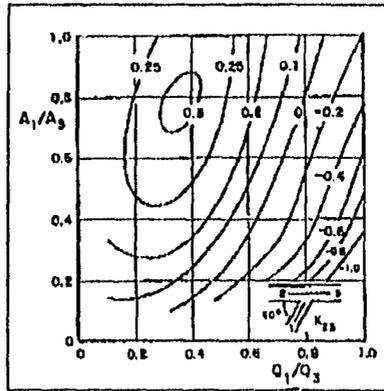


Fig. 3.67 Coeficiente de pérdida K_{23} para uniones de cantos afilados.

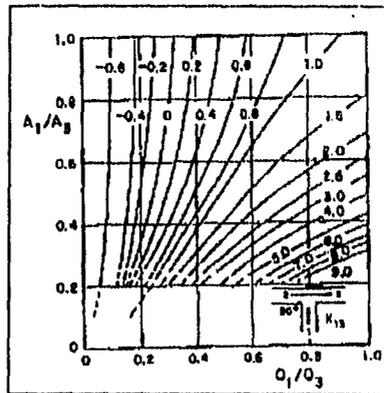


Fig. 3.58 Coeficiente de pérdida K_{13} para uniones de cantos afilados.

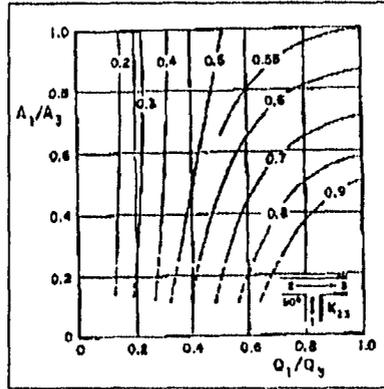


Fig. 3.59 Coeficiente de pérdida K_{23} para uniones de cantos esfilados.

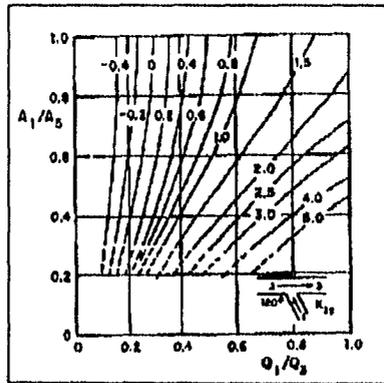


Fig. 3.60 Coeficiente de pérdida K_{13} para uniones de cantos afilados.

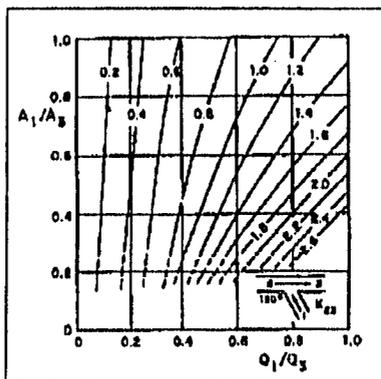


Fig. 3.61 Coeficiente de pérdida K_{23} para uniones de cantos afilados.

Para uniones de 90° , se puede reducir la pérdida de carga redondeando el canto entre ramales con un radio $r = 0.1 D_1$. De esta forma, los coeficientes K_{13} y K_{23} pueden ser afectados por una corrección C_{13} y C_{23} respectivamente, las cuales se obtienen de las figuras 3.62 y 3.63 siguientes:

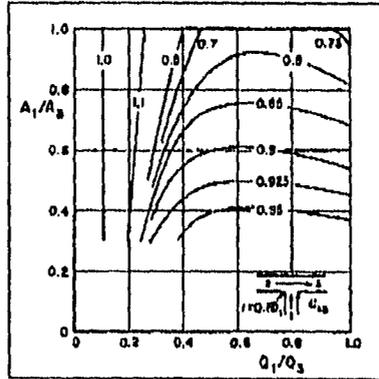


Fig. 3.62 Factor de corrección C_{13} , por curvatura entre ramales de una unión.

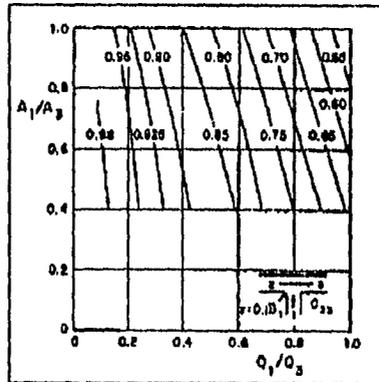


Fig. 3.63 Factor de corrección C_{23} , por curvatura entre ramales de una unión.

Para valores de $r/D = 0, 0.09, 0.19$ y 0.50 el coeficiente $K_{13} = K_{23}$ de una unión de 90° y $A_1 = A_2 = A_3$ se obtiene de la figura 3.64 en función de $Q_1/Q_3 = Q_2/Q_3$.

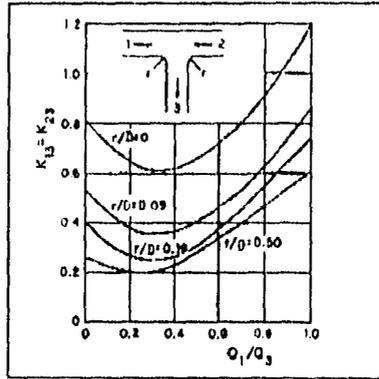


Fig. 3.64 Coeficiente de pérdida $K_{13} = K_{23}$ en uniones en T de 90° , donde $A_1 = A_2 = A_3$.

Para las uniones en Y simétricas; si se cumple que $A_1 = A_2$ y $A_1 + A_2 = A_3$, el coeficiente de pérdida se obtiene de la figura 3.65, la cual está en función del ángulo θ de la unión y de $Q_1/Q_3 = Q_2/Q_3$.

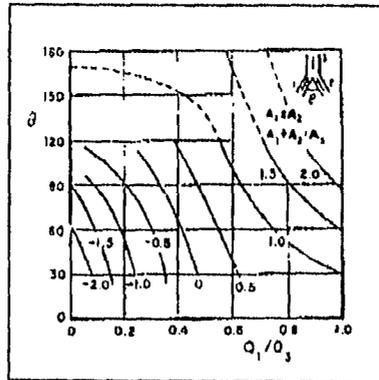


Fig. 3.65 Coeficiente de pérdida $K_{13} = K_{23}$ en uniones en Y simétricas.

Cuando en las uniones en Y simétricas se cumple que $A_1=A_2=A_3$, el coeficiente de pérdida se obtiene de la figura 3.66 la cual esta en función del ángulo θ de la unión y de $Q_1/Q_3 = Q_2/Q_3$

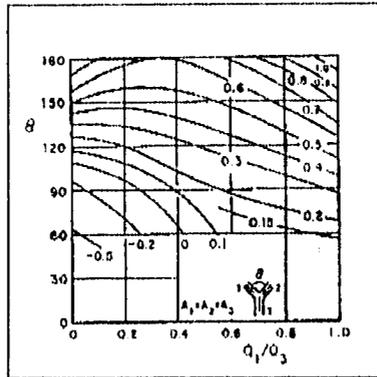


Fig. 3.66 Coeficiente de pérdida $K_{13} = K_{23}$ en uniones en Y simétricas

- Bifurcaciones.-

Nota importante: Para calcular la pérdida de carga por bifurcación, debe considerarse la velocidad en la rama 3, es decir la velocidad aguas arriba antes de la bifurcación, esto es;

$$h_{p_f} = K_f \frac{V_3^2}{2g} \quad (3.39)$$

El coeficiente de pérdida K_3 , para **bifurcaciones en T**, es decir, la pérdida entre la tubería principal y el ramal, se obtiene de las figuras 3.67 a 3.70 para ángulos $\theta = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ y 120° en función de las relaciones A_1/A_3 y Q_1/Q_3 , siempre y cuando $A_2 = A_3$

Los coeficientes para bifurcaciones son válidos si la longitud de la tubería en las ramas 1 y 2 a la salida de la bifurcación es mayor de tres diámetros de sus respectivas secciones, y la longitud de la rama 3, antes de la bifurcación, rebasa tres o cuatro diámetros de esa sección, o bien dos o tres diámetros si aguas arriba existe una curva con relación $r/D > 1.0$.

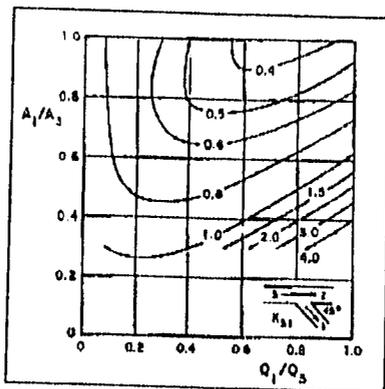


Fig. 3.67 Coeficiente de pérdida K_{31} , en bifurcaciones en T de 45°

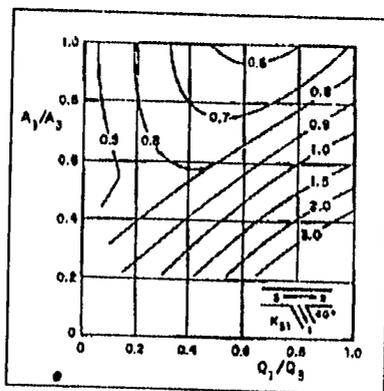


Fig. 3.68 Coeficiente de pérdida K_{31} , en bifurcaciones en T de 60°

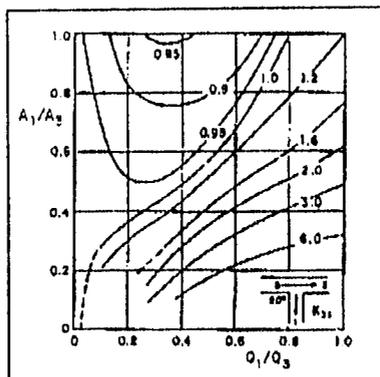


Fig. 3.69 Coeficiente de pérdida K_{31} , en bifurcaciones en T de 90°

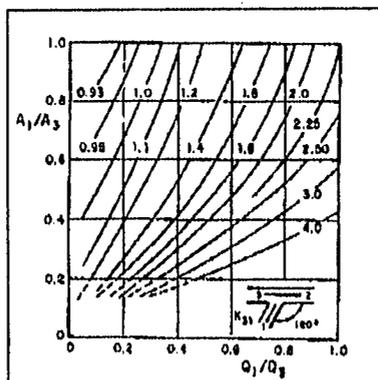


Fig. 3.70 Coeficiente de pérdida K_{31} , en bifurcaciones en T de 120°

-El coeficiente K_{32} es independiente del ángulo entre el ramal y la tubería principal; de la relación de áreas y de la curvatura entre las ramas 3 y 1.

En la figura 3.71 se presenta el coeficiente de pérdida K_{32} para ángulos de la bifurcación comprendidos entre 45° y 90° , en función de Q_1/Q_3 .

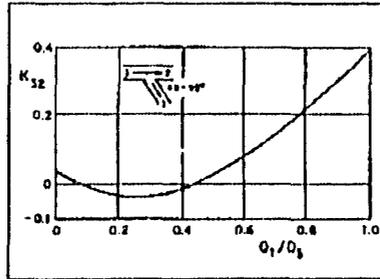


Fig. 3.71 Coeficiente de pérdida K_{32} , para bifurcaciones en T con ángulos de 45 a 90°.

Los coeficientes anteriores, K_{32} , son válidos para las mismas restricciones de longitud anteriormente indicadas para el coeficiente K_{31} ; y si además la longitud de la rama 3 es menor de 10 diámetros de su sección transversal y $Q_1/Q_3 < 0.4$, no debe usarse la figura 3.71. El coeficiente de pérdida K_{32} , puede estimarse como:

$$K_{32} = 0.1 \frac{V_1^2 - V_3^2}{2g} \tag{3.40}$$

-El coeficiente K_{31} para bifurcaciones en T de 90° puede ser corregido por curvatura entre las ramas 3 y 1 para un radio $r = 0.1 D_1$ con la figura 3.72 siguiente, obteniéndose el factor C_{31} , en función de A_1/A_3 y Q_1/Q_3 . El coeficiente K_{32} es independiente de la curvatura.

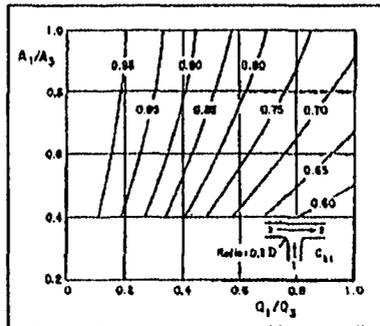


Fig. 3.72 Factor de corrección, C_{31} , por curvatura en ramales de una bifurcación en T de 90°.

-Si las velocidades en la rama 3 son grandes, un mejor diseño de la bifurcación puede reducir considerablemente las pérdidas hacia la tubería secundaria (rama 1). Este diseño consiste en colocar una reducción gradual antes de la rama 1. Para esa condición, un ángulo de 45° y $A_1 + A_2 = A_3$, el coeficiente de pérdida K_{31} , se presenta en la figura 3.73 siguiente en función de A_1/A_3 y de Q_1/Q_3 .

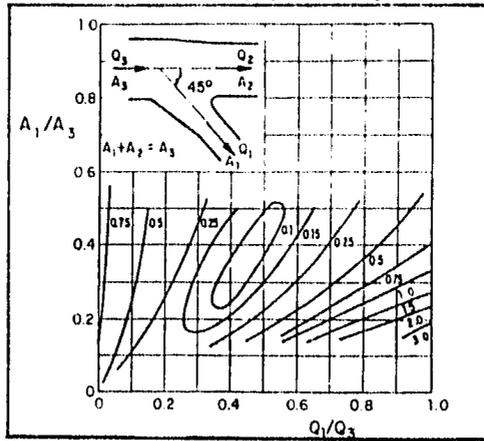


Fig. 3.73 Coeficiente de pérdida K_{31} , en una bifurcación con reducción en la rama secundaria.

-Para una bifurcación simétrica en T de 90° y $A_1 = A_2 = A_3$, el coeficiente de pérdida $K_{31} = K_{32}$ se presenta en la figura 3.74 en función de la relación Q_1/Q_3 y para radios de curvatura $r/D = 0, 0.09, 0.19$ y 0.5 .

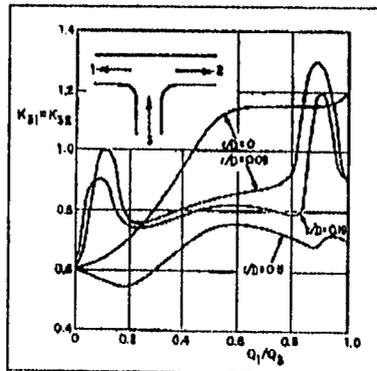


Fig. 3.74 Coeficiente de pérdida $K_{31} = K_{32}$, en una bifurcación en T de 90° .

Cuando se tienen bifurcaciones en Y con $A_1=A_2$ y $A_1+A_2=A_3$, el coeficiente de pérdida $K_{31}=K_{32}$ se obtiene de la figura 3.75 en función del ángulo de la bifurcación y de Q_1/Q_3 . Si $A_1=A_2=A_3$, utilícese la figura 3.76

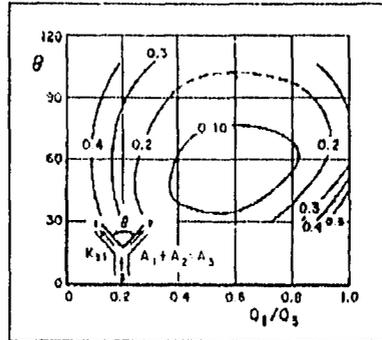


Fig. 3.75 Coeficiente de pérdida, $K_{31}=K_{32}$ en bifurcaciones en Y simétricas.

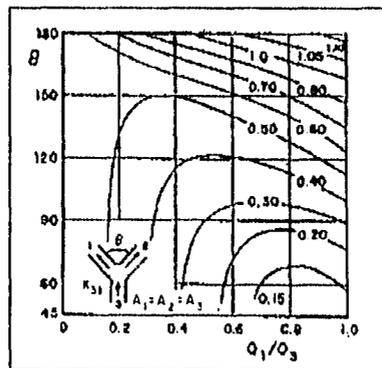


Fig. 3.76 Coeficiente de pérdida, $K_{31}=K_{32}$ en bifurcaciones en Y simétricas.

Cuando el flujo se divide en tres ramas, el coeficiente de pérdida K_{31} , se obtiene de la figura 3.77 para divisiones mutuamente perpendiculares, cantos afilados e igual área de todas las ramas. Para la misma condición, K_{32} se presenta en la figura 3.78. Para calcular las pérdidas debe considerarse la velocidad en la rama 3, es decir;

$$h_L = h_f + \frac{V_3^2}{2g} \tag{3.41}$$

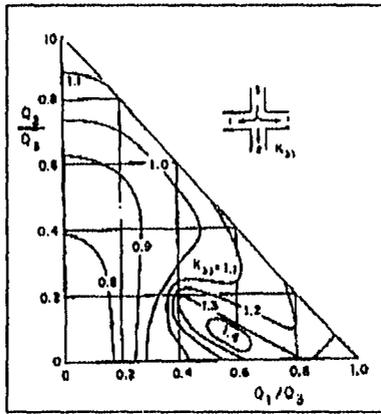


Fig. 3.77 Coeficiente de pérdida, K_{31} , en divisiones de tres ramales con ángulos de 90° .

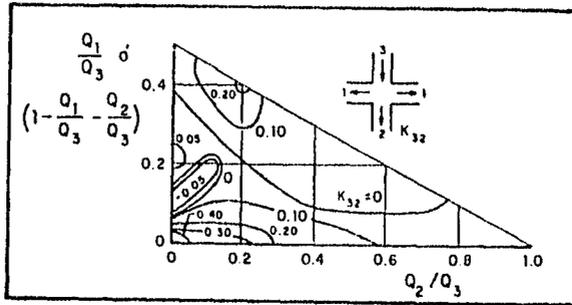


Fig. 3.78 Coeficiente de pérdida, K_{32} , en divisiones de tres ramales con ángulos de 90° .

-Tuberías cuadradas, uniones y bifurcaciones en T de 90°.

En general las pérdidas en uniones y bifurcaciones de tubería rectangular son mayores que las que se tienen en tuberías circulares.

Para una tubería rectangular de altura w y ancho b , los coeficientes de pérdida K_{13} y K_{23} en uniones se presenta en las siguientes figuras:

- a) Para secciones transversales cuadradas de las mismas dimensiones en las tres ramas, K_{13} se presenta en la figura 3.79 y para K_{23} an la figura 3.80.

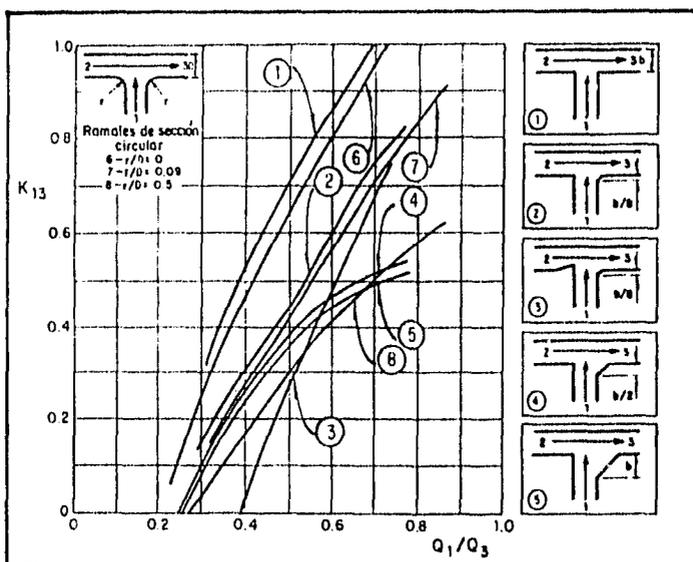


Fig. 3.79 Coeficiente de pérdida, K_{13} , en conductos cuadrados, curvas 1 a 5; en conductos circulares, curvas 6 a 8.

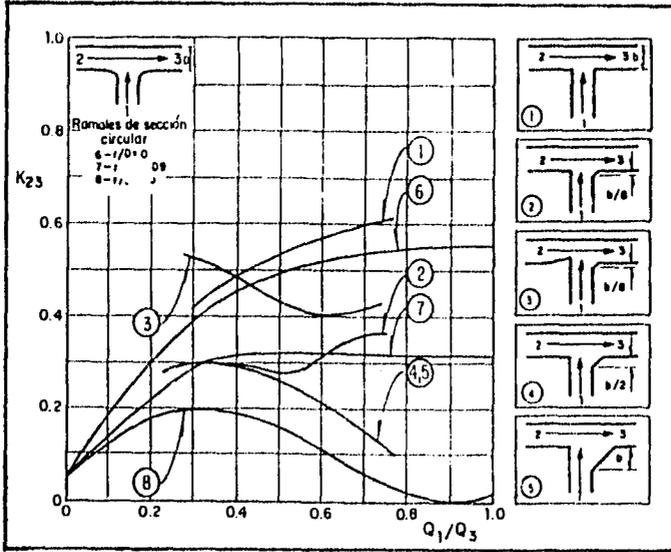


Fig. 3.80 Coeficiente de pérdida, K_{23} , en conductos cuadrados, curvas 1 a 5; en conductos circulares, curvas 6 a 8.

- b) Para sección cuadrada en las ramas 2 y 3, sección circular en la rama 1, con diámetro igual al ancho en la rama 2 y $A_1/A_3=0.78$, el coeficiente K_{13} se obtiene de la figura 3.81 y el coeficiente K_{23} de la figura 3.82.

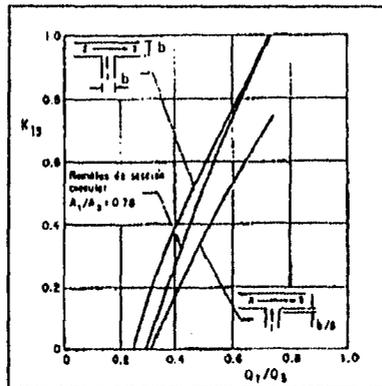


Fig. 3.81 Coeficiente de pérdida K_{13} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

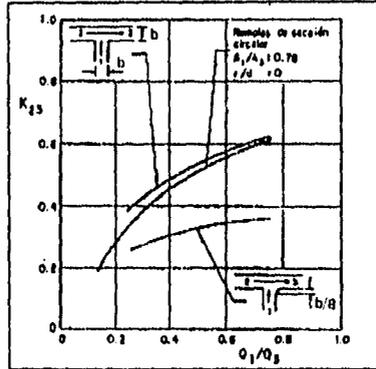


Fig. 3.82 Coeficiente de pérdida K_{23} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

- c) Para sección cuadrada en las ramas 2 y 3, tubería circular en la rama 1 con diámetro igual a $0.67b_2$ y $A_1/A_2=0.35$, los coeficientes K_{13} y K_{23} se presentan en las figuras 3.83 y 3.84 respectivamente.

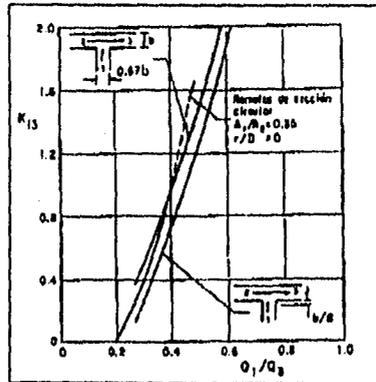


Fig. 3.83 Coeficiente de pérdida K_{13} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

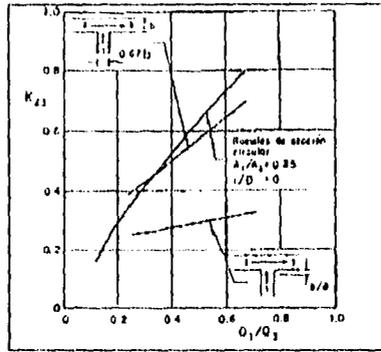


Fig. 3.84 Coeficiente de pérdida K_{23} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

Notas:

- 1.- En las figuras 3.76 a 3.81 se incluye información adicional para uniones en tuberías circulares en sus tres ramas.
 - 2.- La pérdida de carga se calcula considerando la velocidad en la rama tres.
- d) Cuando se tienen bifurcaciones, el coeficiente K_{31} se obtiene para distintas condiciones de tuberías cuadradas y circulares en sus tres ramas de acuerdo con la figura 3.85 abajo mostrada.

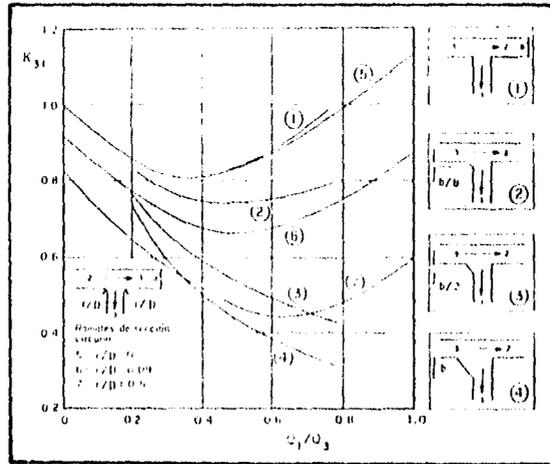


Fig. 3.85 Coeficiente de pérdida K_{31} en conductos cuadrados, curvas 1 a 4, las curvas 5 a 7 son para tuberías circulares.

- e) Para bifurcaciones de sección cuadrada en las ramas 2 y 3 y circular en la rama 1 con $D_1=b_3$, el coeficiente K_{31} se obtiene de la figura 3.86.

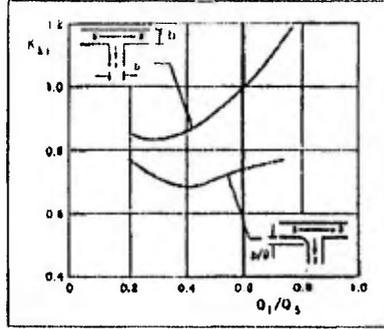


Fig. 3.86 Coeficiente de pérdida K_{31} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

- f) Para bifurcaciones de sección cuadrada en las ramas 2 y 3 y circular en la rama 1 con $D_1=0.67b_3$, el coeficiente K_{31} se obtiene de la figura 3.87.

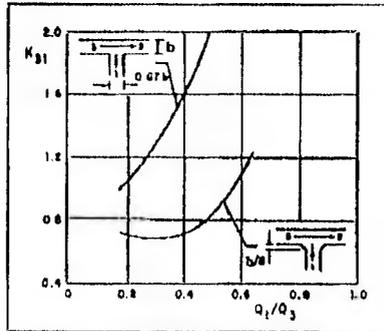


Fig. 3.87 Coeficiente de pérdida K_{31} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

- g) El coeficiente K_{32} se presenta en la figura 3.88 para las condiciones de los incisos d), e) y f) antes indicados.

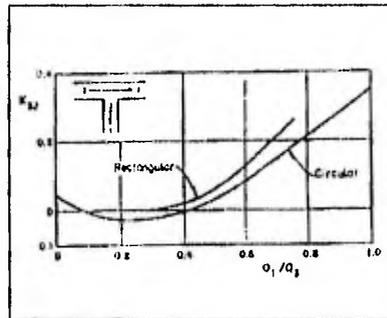
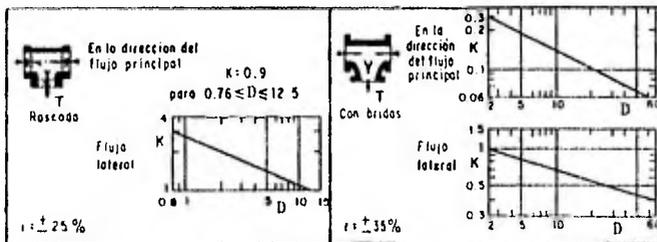


Fig. 3.88 Coeficiente de pérdida K_{32} . Las ramas 2 y 3 son cuadradas y la rama 1 circular.

Notas:

- 1.- En las figuras 3.85 a 3.88 se incluye información adicional para tuberías circulares en sus tres ramas.
- 2.- Para calcular pérdidas en uniones y bifurcaciones contiguas, consúltese el libro de Miller, DS, *Internal Flow Systems*, BHRA Fluid Engineering, 1978.
- 3.- Para calcular las pérdidas de carga, debe considerarse la velocidad en la rama 3.

Para bifurcaciones de radio pequeño "Tea", los coeficientes de pérdida pueden obtenerse de la figura 3.89 y emplearlas en la fórmula general de pérdidas locales con la velocidad aguas abajo de la alteración del flujo (velocidad en la rama 1 ó 2).



donde:

- D: Es el diámetro nominal en cm.
 r: Es el intervalo aproximado de variación para K.

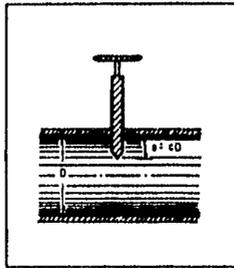
Fig. 3.89 Coeficiente de pérdida en bifurcaciones de diámetro pequeño o "Teas".

III.2.9.- PÉRDIDA POR VÁLVULAS.

El coeficiente K de una válvula depende del tipo de la misma, (compuerta, mariposa, etc), del diseño particular dentro de cada tipo y del grado de abertura de cada válvula. Si no se dispone de datos más precisos del fabricante o de datos experimentales pueden consultarse las figuras que se indican a continuación, considerando éstas sólo como una orientación.

- Válvulas de compuerta.

Para válvulas de compuerta tanto los coeficientes de pérdida así como la relación del área abierta al área total del conducto varía de acuerdo a la tabla "A" de la figura 3.90, válida para cuando $D=50$ mm. La tabla "B" de la misma figura sirve para seleccionar el coeficiente para otros valores de D.



Válvula de compuerta.

c	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	31/32
K	0.07	0.26	0.81	2.06	5.52	17.00	97.80	169.00
A/A_o	0.949	0.958	0.740	0.609	0.466	0.315	0.189	---

Tabla "A" Coeficiente de pérdida para válvulas de compuerta de diámetro igual a 50mm.

donde:

$c = e/D$ adimensional.

D : Es el diámetro de la válvula.

A : Es el área total de paso.

A_o : Es el área de la abertura.

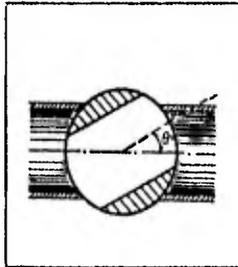
D (mm.)	25	100	150	300	900
Valores de c	—	—	850	680	—
0.95	—	—	215	165	—
0.80	—	—	47	35	28
0.75	32	18	—	—	—
0.70	—	—	16	12	9
0.60	—	—	7	5.5	4
0.50	4.1	2.6	3.3	2.7	1.8
0.40	—	—	1.7	1.3	—
0.30	—	—	1.05	0.85	—
0.25	0.23	0.14	—	—	—
0.20	—	—	0.68	0.29	—
0.00	0.23	0.14	—	—	—

Tabla "B" Coeficiente de pérdida para válvulas de compuerta de diámetro menor o mayor de 50 mm.

Fig. 3.90 Coeficiente de pérdida para válvulas de compuerta.

- Válvula esférica.

Para este tipo de válvulas se requiere estimar el ángulo de abertura θ , que se indica en la tabla de la figura 3.91 abajo mostrada.



Válvula esférica.

θ	0	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	96	92
K	0.05	0.20	0.76	1.50	3.10	6.17	9.96	17.30	31.2	52.0	106	200	486
A/A_0	0.926	0.696	0.772	0.802	0.815	0.831	0.848	0.866	0.886	0.250	0.180	0.137	0.061

Fig. 3.91 Coeficiente de pérdida para válvulas esféricas.

- Válvulas de mariposa o de lenteja.

El coeficiente K se obtiene de la tabla de la figura 3.92. Para ello es necesario conocer el ángulo θ . Si está completamente abierta el coeficiente se deduce de:

$$K = \frac{t}{d} \quad (3.42)$$

donde:

t : Es el espesor de la hoja.

d: Es el diámetro del tubo.



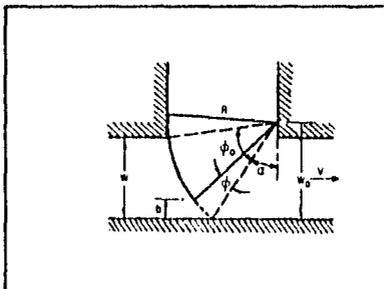
Válvula de Mariposa o lenteja

θ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	90
K	0.34	0.52	0.60	1.04	2.01	2.01	0.22	10.0	10.7	32.0	90.0	110	250	751	∞
A/A ₀	0.815	0.820	0.741	0.650	0.577	0.500	0.420	0.347	0.263	0.215	0.181	0.134	0.064	0.00	0.00

Fig. 3.92 Coeficiente de pérdida para válvulas de lenteja.

- Compuerta radial.

Para compuerta radial en una tubería, que controle la descarga a presión, el coeficiente K , es función de la relación ϕ/ϕ_0 o de b/w , mostrados en la tabla de la figura 3.93 siguiente:



Compuerta radial.

ϕ/ϕ_0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.96	1.0
b/w	0.07	0.16	0.24	0.34	0.43	0.54	0.66	0.77	0.86	0.94	1.00
K	120	30.2	12.2	6.03	3.23	1.79	0.99	0.56	0.36	0.31	0.30

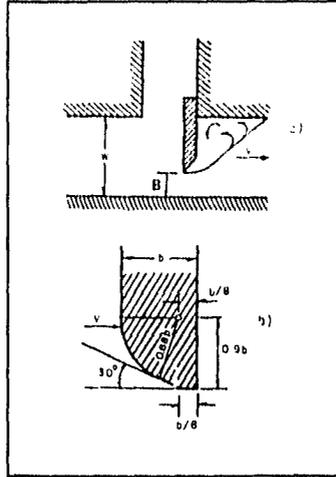
donde:

- ϕ_0 : Es el ángulo cuando la compuerta está cerrada totalmente.
- ϕ : Es el ángulo cuando la compuerta está abierta, con respecto a ϕ_0 .
- w : Es la altura del conducto.
- b : Es la abertura de la compuerta.
- w_0 : Es la distancia desde el perno de la compuerta hasta la plantilla de la tubería.

Fig. 3.93 Coeficiente de pérdida para compuerta radial en una tubería.

- Compuertas deslizantes.

El coeficiente de pérdida es función de la relación B/w y de la forma del labio inferior de la compuerta, como se indica en la tabla de la figura 3.94 .



Compuerta deslizante.

B/w	K Canto afilado	K Canto redondo
0.1	186.5	—
0.2	44.1	23.2
0.3	17.8	10.8
0.4	9.88	4.98
0.5	4.87	2.7
0.6	2.43	1.40
0.7	1.31	0.86
0.8	0.88	0.58
0.9	0.38	0.36
1.0	0.30	0.24

donde:

B: Es la abertura de la compuerta.

w: Es la altura del conducto.

Fig. 3.94 Coeficiente de pérdida para compuertas deslizantes en una tubería.

- Válvula de pie.

Para éstas válvulas con pichanca completamente abierta, el coeficiente se evalúa en función del diámetro (Ver tabla de la figura 3.95). El valor del coeficiente correspondiente a la pichanca se estima con:

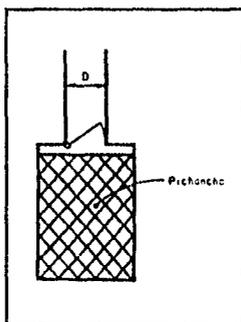
$$K = C \frac{A}{A_c} \quad (3.43)$$

En donde:

$$0.675 \leq C \leq 1.575$$

A : Es el área del tubo.

A_c : Es el área efectiva, (únicamente las perforaciones de la pichanca).



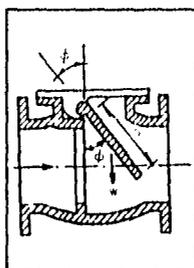
Válvula de pie con pichanca.

D en (m)	0.04	0.060	0.080	0.100	0.120	0.150	0.20	0.30	0.50	0.70	1.00	1.40	2.00
K	12.0	10.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.4	3.7	3.4	3.1	2.9	2.8	2.8

Fig. 3.95 Coeficiente de pérdida para válvulas de pie con pichanca abierta.

- Válvula de retención.

También llamadas válvulas Check, cuando están completa o parcialmente abiertas, el coeficiente K es función del diámetro o de la abertura como se indica en las tablas "A" y "B" de la figura 3.96.



Válvula de retención.

D en (m.)	0.05	0.075	0.10	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
K	18	11	8	6.5	5.5	4.5	3.5	3	2.5	0.5

Tabla "A" Para válvulas de retención completamente abiertas.

δ°	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
K	90	82	42	30	20	14	9.5	6.6	4.6	3.2	2.3	1.7

Tabla "B" Para válvulas de retención parcialmente abiertas.

Fig. 3.96 Coeficiente de pérdida para válvulas de retención.

-Válvulas de alivio.

Existen de dos tipos (Ver figuras 3.97 y 3.98):

1.-Tipo cónica.- para estas válvulas se emplea la ecuación siguiente;

$$K=2.8-0.8\frac{D}{z}+0.14\left(\frac{D}{z}\right)^2 \quad (3.44)$$

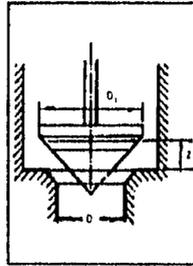


Fig. 3.97 Válvula de alivio tipo cónica.

2.- Tipo plana.- para estas válvulas se utiliza la ecuación siguiente;

$$K=0.8+0.15\left(\frac{D}{z}\right)^2 \quad (3.45)$$

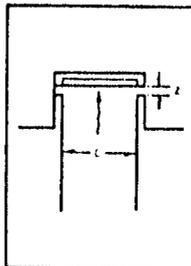


Fig. 3.98 Válvulas de alivio tipo plana.

- Válvulas de diámetro pequeño.

Para válvulas completamente abiertas los coeficientes de pérdida son los que se presentan en la figura 3.99 siguiente;

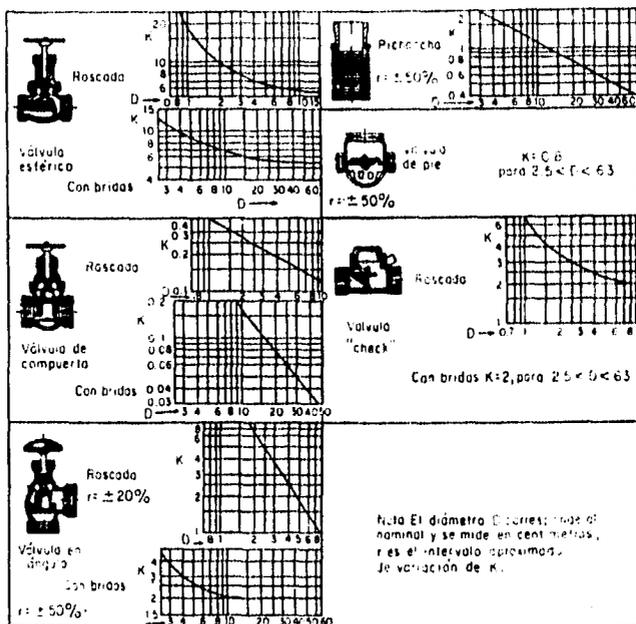
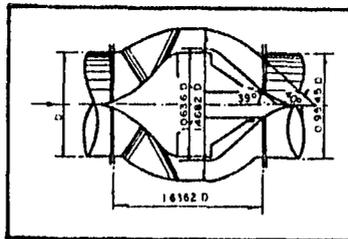


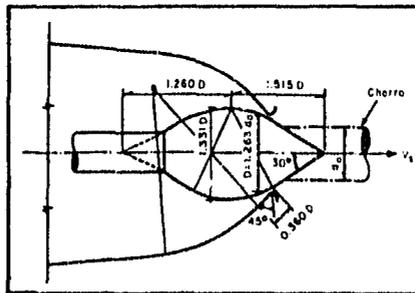
Fig. 3.99 Coeficiente de pérdida para válvulas completamente abiertas.

- Válvulas de aguja.

Utilizadas en tuberías de gran diámetro, y que se colocan en puntos intermedios o en el extremo final de conducciones. Ver figura 3.100 .



Válvula interior de aguja (U.S.B.R.).



Válvula de aguja según Escher.

Fig. 3.100 Válvulas de aguja.

Cuando la válvula de aguja está completamente abierta se utiliza la ecuación:

$$Q_{max} = C_v \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH} \quad (3.46)$$

Donde:

C_d : Es el coeficiente de gasto, igual a 0.58; sin dimensiones.

D : Es el diámetro a la entrada de la válvula; en m.

H : Es la energía total antes de la válvula; en m.

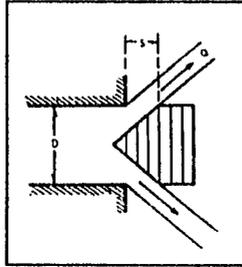
Si el diámetro de la válvula de aguja (del lado de la descarga) es $8.833D$ el valor de $C_d=0.503$.

- Válvulas de chorro hueco.

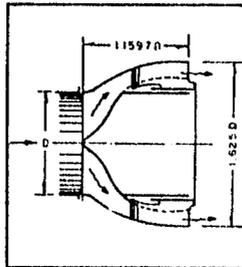
Para válvulas como las de figura 3.101 ; $C_d=0.808$ para válvulas totalmente

abiertas (Voith). $C_d=0.85$ (Morgan Smith). $C_d=0.70$ (USBR).

La carga "H", deberá medirse un diámetro aguas arriba de la sección de entrada a la válvula.



Válvula de chorro hueco Alemana.



**Válvula de chorro hueco
(U.S.B.R.).**

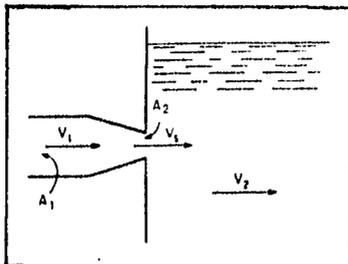
Fig. 3.101 Válvulas de chorro hueco.

III.2.10.- PÉRDIDA POR SALIDA.

Se calcula con la expresión:

$$h_e = k_e \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (3.47)$$

donde los subíndices de velocidad se muestran en la figura 3.102, así como el coeficiente de pérdida por salida en función de la relación A_1/A_2 , que se muestra en la tabla de la misma figura;



A_1/A_2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K_e	0.93	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.965	1.00

Fig. 3.102 Coeficiente de pérdida por salida.

Nota: Si la descarga es ahogada (libre) entonces, V_3 tiende a cero ya que el área A_3 se amplía enormemente, por lo tanto la pérdida de carga por salida para este caso sería:

$$h_e = k_e \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.48)$$

y si además $A_1 = A_2$, entonces;

$$h_e = \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.48a)$$

ya que $k_e = 1.0$

Acerca de las pérdidas locales.

Si la expresión general de pérdidas locales es :

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ver Ec. 3.17})$$

y en la cual, el coeficiente K puede ser obtenido experimentalmente para cada caso, (como ya se ha visto anteriormente).

Este trabajo experimental viene siendo realizado desde hace varios años, por ingenieros interesados en la cuestión, por fabricantes de conexiones y válvulas y por los laboratorios de Hidráulica, mereciendo especial mención las investigaciones de Giesecke, de la Crane Company y del Laboratorio de Hidráulica de Munich, así como las observaciones más recientes de la Marina de los E.E.U.U.

En base a experimentaciones, se ha verificado que el valor de K es prácticamente constante para valores del número de Reynolds superiores a 50,000. Se concluye entonces que para fines de aplicación práctica, se puede considerar constante el valor de K para determinada pieza, desde que el flujo es turbulento, independientemente del diámetro de la tubería y de la velocidad y naturaleza del fluido.

La tabla siguiente, presenta los valores aproximados de K para las piezas y pérdidas más comunes en la práctica, ésta es una tabla elaborada con base en los datos disponibles más seguros y fidatarios.

Pieza y pérdida	K
Ampliación gradual	0,30*
Boquillas	2,75
Compuerta, abierta	1,00
Controlador de caudal	2,50
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Rejilla	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22°30'	0,10
Entrada normal en tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Existencia de pequeña derivación	0,03
Confluencia	0,40
Medidor Venturi	2,50**
Reducción gradual	0,15*
Válvula de ángulo, abierto	5,00
Válvula compuerta, abierto	0,20
Válvula tipo globo, abierto	10,00
Salida de tubo	1,00
T, pasaje directo	0,60
T, salida de lado	1,30
T, salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Velocidad	1,00

Tabla 3.5 Valores aproximados del coeficiente de pérdidas locales K.

* Con base en la velocidad mayor (sección menor).

** Relativa a la velocidad en la tubería.

III.2.11.- MÉTODO DE LAS LONGITUDES EQUIVALENTES.

Este método consiste en considerar las pérdidas locales como longitudes equivalentes "Le", es decir, longitudes en metros de un tramo de tubería del mismo diámetro que produciría las mismas pérdidas de carga que los accesorios, (codos, válvulas, medidores de gasto, etc) en cuestión.

La ecuación fundamental de la pérdidas por fricción en función de las pérdidas locales utilizando el criterio de longitud equivalente quedaría expresada de la siguiente manera:

$$h_p = f \frac{L + \Sigma L_e}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.49)$$

donde;

- h_p : Es la suma de las pérdidas por fricción y locales; en m.
- f : Es el coeficiente de pérdidas; adimensional.
- L : Es la longitud total de los tramos rectos de tubería; en m.
- ΣL_e : Es la suma de todas las longitudes equivalentes de los diversos accesorios; en m.
- D : Es el diámetro interior de la tubería; en m.
- g : Es la aceleración de la gravedad; en m/s^2 .
- V : Es la velocidad media en la tubería; en m/s .

En caso de que la tubería cambiara de sección, se aplicaría la ecuación de continuidad.

- Obtención de la Longitud Equivalente, "Le".

Las pérdidas de carga primarias a lo largo de tuberías se determinan con la fórmula de Darcy-Weisbach, como:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ver Ec. 3.2})$$

y si además para una determinada tubería, L y D son constantes y como el coeficiente de fricción f no tiene dimensiones, la pérdida de carga será igual al producto de un número adimensional por la carga de velocidad, es decir:

$$h_f = m \frac{V^2}{2g} \quad (3.50)$$

en donde:

$$m = f \frac{L}{D} \quad (3.50a)$$

Por otro lado, las pérdidas locales tienen la siguiente expresión general:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ver Ec. 3.8})$$

Entonces se observa, que la pérdida de carga al pasar por conexiones, válvulas, etc., varía con la misma función de la velocidad que se tiene para el caso de resistencia al flujo en tramos rectilíneos de tubería. Debido a esto, se puede expresar a las pérdidas locales en función de tramos rectilíneos de tubos.

Por lo tanto, se puede obtener la extensión equivalente de tubo, L_e , que corresponde a una pérdida de carga equivalente a la pérdida local, efectuándose:

$$h_f = h_L \quad (3.51)$$

$$f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g} \quad (3.51a)$$

$$L = L_e = \frac{KD}{f} \quad (3.51b)$$

La tabla 3.6, muestra los valores para las longitudes ficticias equivalentes "Le", correspondientes a las piezas y pérdidas más frecuentes en tuberías.

La gran mayoría de los datos presentados, fueron calculados utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach, adoptando valores de K, y la otra parte de ellos se basan en resultados de las investigaciones.

Estas longitudes equivalentes, han sido calculadas para tuberías de hierro y acero, pudiéndose utilizar con aproximación razonable al caso de tubos de cobre y latón.

En la tabla anterior los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

Nota: Las impresiones y diferencias resultantes del empleo generalizado de éste método, probablemente son menos considerables que las indeterminaciones relativas a la rugosidad interna de los tubos y resistencia al flujo, así como a su variación en la práctica.

En la figura 3.103 se presenta el nomograma de la firma Gould Pumps, U.S.A. convertido al sistema métrico. Este nomograma consta de tres escalas: Uniendo con una recta el punto de la escala izquierda correspondiente al accesorio de que se trata con el punto de la escala derecha correspondiente al diámetro interior de la tubería, el punto de intersección de ésta recta con la escala central nos da la longitud equivalente, L_e , del accesorio.

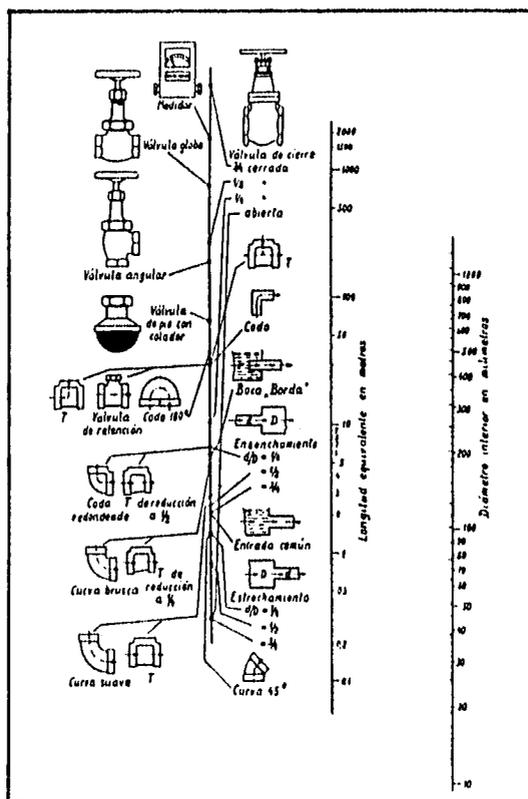


Fig. 3.103 Nomograma de pérdidas de carga locales de la firma Gould Pumps, U.S.A. en accesorios de tubería para agua.

Considerando las longitudes equivalentes L_e (presentadas en la tabla 3.7) para determinado accesorio, y dividiéndose éstas longitudes entre los diámetros de los tubos correspondientes, se constata que los resultados presentan una variación relativamente pequeña.

Por ejemplo, los datos relativos a las pérdidas en codos de 90° de radio medio, llevan a valores de L_e/D variando desde 26 hasta 31 para diámetros de 12" y de 3/4" respectivamente.

Por lo anterior los datos de la tabla 3.6, pueden ser condensados tomándose las dimensiones equivalentes expresadas en diámetros del tubo. La tabla 3.7 siguiente, muestra algunos datos recomendados:

Pieza y pérdida	Longitudes expresadas en diámetros (números de diámetros)
Ampliación gradual	12
Codo de 90°	45
Codo de 45°	20
Curva de 90°	30
Curva de 45°	15
Entrada normal	17
Entrada de borda	35
Junta	30
Reducción gradual	6
Válvula de compuerta, abierta	8
Válvula tipo globo, abierta	350
Válvula de compuerta con ángulo, abierta	170
Salida de tubería	35
T, paso directo	20
T, salida de lado	50
T, salida bilateral	65
Válvula de pie	250
Válvula de retención	100
Curvas de acero en segmentos	
30° - 2 segmentos	7
45° - 2 segmentos	15
45° - 3 segmentos	10
60° - 2 segmentos	25
60° - 3 segmentos	15
90° - 2 segmentos	65
90° - 3 segmentos	25
90° - 4 segmentos	15

Tabla 3.7 Pérdidas locales expresadas en diámetros de tubería recta (longitudes equivalentes).

III.3.- TUBOS COMERCIALES

Los materiales usuales de los tubos comerciales comprenden acero, acero inoxidable, aluminio, plástico, plomo, asbesto cemento, cobre, concreto, fierro forjado, fierro fundido, latón, cobre, fierro negro, barro vitrificado, hule, etc.

Las aplicaciones más comunes y los diámetros son presentadas en la tabla 3.8 .

MATERIAL	DIAMETRO	USOS PREPONDERANTES
Acero galvanizado	1/2 a 8" 1.25 a 20 cm	Instalaciones de agua fría en edificios. Instalaciones industriales.
Acero soldado	14 a 72" 35.0 a 183 cm	Líneas de conducción, descarga, tuberías forzadas de las centrales. Instalaciones industriales. oleoductos.
Placa ondulada	12 a 60" 30 a 150 cm	Alcantarillas.
Plomo	1/2 a 4" 1.25 a 10 cm	Instalaciones de agua y desagüe en edificios. Instalaciones industriales. Estaciones de tratamiento de agua.
Asbesto-cemento	3 a 36" 7.5 a 90 cm	Líneas de conducción, redes de distribución, colectores tubos ventiladores.
Cobre y latón	1/2 a 2" 1.25 a 5 cm	Instalaciones en edificios. Cañerías de agua caliente.
Concreto armado	24 a 100" 60 a 250 cm	Líneas de conducción, alcantarillas tubos de desagüe pluvial.
Concreto simple	6 a 18" 15 a 45 cm	Alcantarillas, cloacas, drenajes.
Fierro fundido	3 a 36" 7.5 a 90 cm	Líneas de conducción, descarga, redes de distribución. Conductos forzados de centrales, tubos de calda y otras tuberías en edificios.
Tubos plásticos	1/2 a 60" 1.2 a 1.5 cm	Instalaciones en edificios, industrias y otros casos especiales.
Tubos de barro vitrificado	4 a 36" 10 a 90 cm	Alcantarillas sanitarias, desagüe pluvial.

TABLA 3.8 Materiales más comunes en tubos comerciales.

III.4.- DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN TUBERÍAS.

- Válvulas de aire.

Se utilizan en la cúspide de las tuberías y en aquellos sitios donde comúnmente se acumule y se desee liberar. También son diseñadas para admitir aire en la tuberías en donde se considere que se puede producir el colapso por presión, si el conducto es cerrado violentamente.

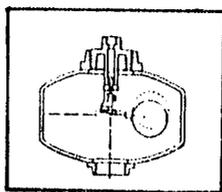


Fig 3.104 Válvula de aire.

Una válvula de aire como la mostrada en la figura 3.104 opera de la siguiente forma: cuando la cámara de la válvula está ocupada por agua, el flotador se levanta y obtura la parte superior de la válvula. Si el aire se acumula, el flotador baja y el aire escapa acto seguido.

- Válvulas de control de flujo.

Las válvulas de control de flujo, figura 3.105, son utilizadas para regular el flujo de agua. Su ventaja estriba en que al abrirse u obturarse, la presión del agua sobre uno de los discos será balanceada por la presión del disco opuesto.

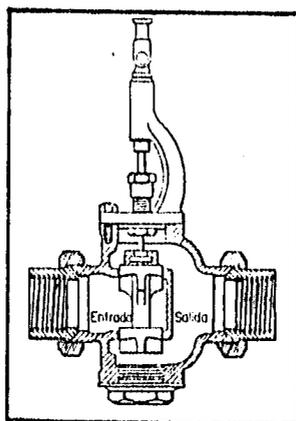


Fig 3.105 Válvula de control de flujo

- Válvulas reguladoras de presión.

Son utilizadas para liberar el agua de la presión del sistema, tipos de éstas válvulas se muestran en la figura 3.106.

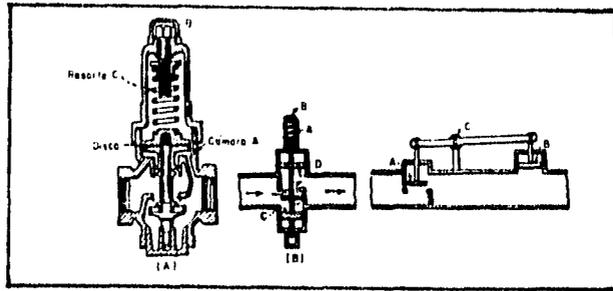


Fig 3.106 Válvula reguladora de presión.

Las válvulas como la mostrada en la figura 3.106 a, mediante la tuerca B se regula la presión requerida al abrir u obturar la válvula de control sostenida por el disco y el resorte C. Si la presión de la tubería baja, la válvula tiende a decrecer hasta un cierto valor, mientras que la presión en la cámara A aumenta, obligando al disco a subir y obturar la válvula parcialmente. Si la presión de la tubería llega a ser demasiado baja, la presión sobre el disco se produce y el resorte C abre la válvula de control.

CAPÍTULO IV

SISTEMAS DE TUBOS

IV.- SISTEMAS DE TUBOS

Los sistemas de distribución se diseñan con la idea de satisfacer las demandas de agua en una población para usos domésticos, comerciales, industriales y públicos. Dichos sistemas deben satisfacer las demandas en cualquier momento con las presiones necesarias.

Un sistema de distribución consta de tres elementos como lo muestra la figura 4.1.

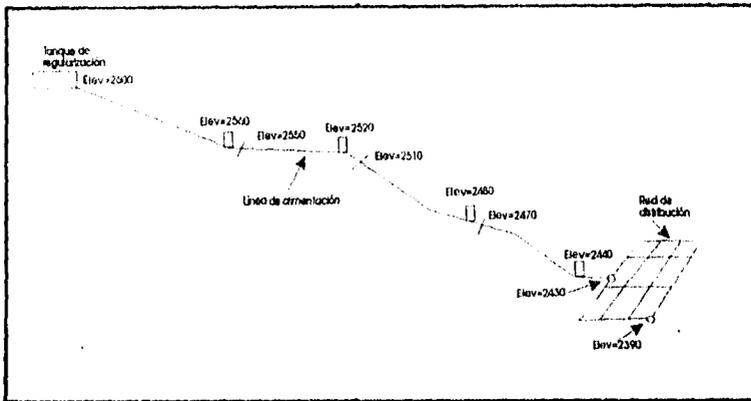


Fig. 4.1 Sistema de distribución.

- 1.- Tanque de regularización. Regula el consumo de agua para poder abastecer a las horas pico y se calcula con el gasto máximo diario.
- 2.- Línea de alimentación. Tubería que se instala a partir del tanque de regularización y se calcula con el gasto máximo horario. Se proyectan ya sea como sistemas de tubos en serie o como sistemas en paralelo.
- 3.- Red de distribución. Consiste en un sistema de tuberías de diferentes diámetros, que se instalan en la vía pública, y al cual se conectan tubos de menor diámetro para abastecer de agua a las casas habitación, edificios, etc. Estas redes de distribución se proyectan según su forma como redes abiertas o redes cerradas. Para el diseño de las redes de distribución se utiliza el gasto máximo horario; estas a su vez exigen:

- a) Una carga mínima :Se especifica que debe estar comprendida entre 10 y 15 m.c.a.
- b) Una carga máxima: Se especifica que debe ser de 50 m.c.a. debido a la capacidad de trabajo de la tubería.

Las redes de distribución deben satisfacer una cierta dotación; siendo ésta la cantidad de agua que requiere cada habitante de una población para cubrir sus necesidades directas e indirectas y se expresa como:

$$\text{Dot} = \text{Litros/habitante/día}$$

La dotación fijada para una población representa el promedio anual del consumo y que éste mismo no se realiza de una forma uniforme durante el día, en forma similar durante los días del año sino tomando una variación horaria estacional, es decir hay días de mayor consumo y días de menor demanda.

El abastecimiento de agua potable debe satisfacer todas las demandas de la población, correspondiendo la dotación al consumo medio anual por persona y por día, es decir, éste valor es el promedio del consumo diario de la población, a lo largo de uno o varios períodos del año.

Para calcular los gastos máximo diarios y horarios es necesario afectar el gasto máximo medio anual por dos coeficientes, a saber:

1.- Coeficiente de variación diaria (C.V.D.) : Nos permite conocer el consumo medio del día de mayor consumo (máximo diario) a partir del consumo medio anual; y su valor oscila entre 1.2 y 1.5.

2.- Coeficiente de variación horaria (C.V.H.) : Con este coeficiente se calcula el consumo medio de la hora de mayor consumo (máximo horario) a partir del consumo medio del día de mayor consumo y su valor oscila entre 1.5 y 2.0.

El gasto medio anual (Q_{ma}) es el que resulta de multiplicar la dotación por el número de habitantes de proyecto y dividirlo entre el número de segundos al día.

$$Q_{ma} = \frac{\text{Dotación (L/H/D)} \times N^{\text{habitantes}}}{8460 \text{ seg/día}} = l.p.s.$$

El gasto máximo diario (Q_{md}) es el que resulta de multiplicar el gasto medio anual por el coeficiente de variación diaria:

$$Q_{md} = Q_{ma} \times C.V.D.$$

Con el cual se diseña la línea de conducción y el tanque de regularización.

El gasto máximo horario Q_{mh} es el resultado de multiplicar el gasto máximo diario por el coeficiente de variación horaria:

$$Q_{mh} = Q_{md} \times C.V.H.$$

Que se utiliza para el diseño de la red de distribución.

La aplicación de las ecuaciones estudiadas en el capítulo III al cálculo de las tuberías es muy frecuente en ingeniería, no sólo en el cálculo de las redes de suministro urbano de agua y/o gas, sino también en conductos de refrigeración y aire acondicionado, en los proyectos de plantas industriales, refinerías, proyectos de diferentes sistemas de fluido que llevan los aviones: aire, agua, gasolina, aceite, etc.

Cuando se resuelven problemas de flujo en tuberías, se emplean tablas, gráficas, nomogramas y similares. Aunque todos estos métodos son diferentes, tienen sus bases en la ecuación de la energía.

En general, los problemas de ingeniería sobre flujo en tubos, consisten de (1) el cálculo de la pérdida de carga, y de las variaciones de presión, a partir del gasto y de las características de la tubería; (2) el cálculo del diámetro del tubo requerido para dejar pasar gasto entre dos regiones de diferencia de presiones conocida, y (3) el cálculo del gasto a partir de las características de la tubería y de la carga que produce el flujo.

El primero de éstos problemas se puede resolver directamente, pero para los otros dos se requiere una solución basada en suposiciones y comprobaciones (métodos iterativos). Los métodos iterativos se hacen necesarios por el hecho de que el factor de fricción " f " (de la ecuación de Darcy-Weisbach) y los coeficientes de pérdida " k " (de la fórmula general para el cálculo de las pérdidas locales) dependen del número de Reynolds, que a su vez dependen del gasto " Q " y del diámetro del tubo, que son las incógnitas de los problemas 2 y 3.

En éste capítulo se hace una presentación de los métodos de análisis de conductos a presión, que van desde los conductos simples hasta el de redes de tuberías. Y que están relacionados con problemas 2 y 3.

IV.1.- SISTEMAS EN SERIE (O CONDUCTO SIMPLE)

Consisten de un conducto único (de uno o varios diámetros) alimentado aguas arriba por un depósito o una bomba, y con descarga libre o a otro depósito, en el extremo aguas abajo.

En el caso de tuberías en serie se aplican las siguientes consideraciones:

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i \tag{4.1}$$

$$h_p = h_{p_1} + h_{p_2} + \dots + h_{p_i} \tag{4.2}$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = \dots = V_i A_i \tag{4.3}$$

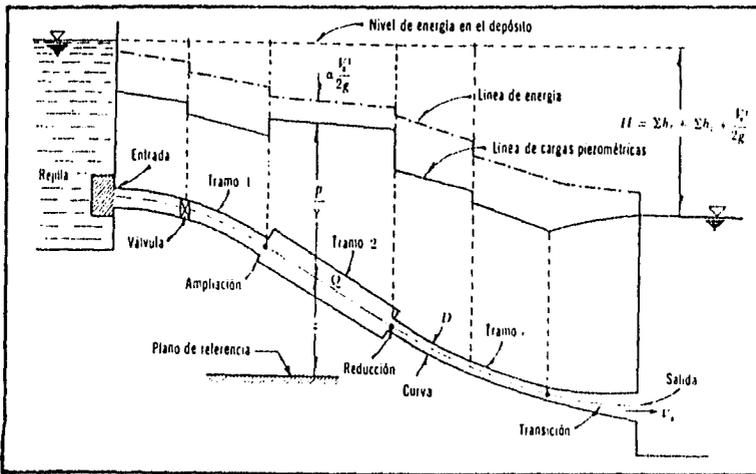


Fig. 4.2 Sistema de conducción en serie

En efecto:

- El caudal que circula por los tramos 1,2,...,i, de diámetros D_1, D_2, \dots, D_i es el mismo. Ecuación 4.1.
- La pérdida total de carga es igual a la suma de las pérdidas parciales. Ecuación 4.2.
- Se cumple la ecuación de continuidad. Ecuación 4.3.

En este tipo de sistemas se pueden presentar dos tipos de 'problemas': de revisión o de diseño. Cualquiera que sea se puede resolver con las ecuaciones de continuidad y de la energía.

Para la figura 4.2 las ecuaciones quedarían:

$$Q = A_B V_B \tag{4.4}$$

planteando la ecuación de la energía entre la entrada y la salida:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_L \quad (4.5)$$

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - z_2 - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_L \quad (4.6)$$

o bien:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_L \quad (4.7)$$

donde:

H : Desnivel entre las superficies libres del agua en los dos recipientes, en m. Si la descarga aguas abajo es libre, es decir a la atmósfera, el desnivel se mide desde la superficie libre del agua en el recipiente aguas arriba, hasta el centro de gravedad de la sección final de la tubería.

Σh_f : Suma de las pérdidas por fricción en todo el conducto, en m.

Σh_L : Suma de pérdidas locales en todo el conducto, en m.

V_2 : Velocidad en el tramo final de la tubería, en m/s.

A_2 : Área del tramo final de la tubería, en m².

Las pérdidas de energía se pueden expresar en términos de la carga de velocidad dentro del tramo de sección constante si la pérdida es por fricción, o (generalmente) aguas abajo del punto donde se produce, si la pérdida es local.

De esa manera, la ecuación de la energía contendrá los valores de la velocidad en varios tramos del conducto, mismos que pueden sustituirse por la velocidad en un solo tramo, con la ecuación de continuidad.

IV.1.1.- PROBLEMAS DE REVISIÓN.

Conocidos H y la rugosidad relativa $(\epsilon/D)_i$ y la geometría del conducto, D_i y L_i , se pide calcular el gasto Q que circula por la tubería. Para ello se utiliza la siguiente ecuación, derivada de la ecuación 4.7:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum_{i=1}^n \left(f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{A_s^2}{A_i^2} + k_i \frac{A_s^2}{A_i^2} \right)}} \quad (4.8)$$

en donde:

f_i : Coeficiente de fricción, adimensional, y para estas condiciones es función del diámetro y de la velocidad.

L_i : Longitud del conducto "i", en m.

- D_i : Diámetro del conducto "i", en m.
 k_i : Coeficiente de pérdida local, adimensional
 A_i : Área del tramo "i", en m^2

Siendo el procedimiento:

- a) En la tabla 3.2 se presenta el valor de la rugosidad absoluta, ϵ , en mm, para los distintos materiales de tubos.
- b) Con la relación (ϵ/D) , se estiman los f_i , comenzando con el valor correspondiente a flujo totalmente turbulento con el diagrama de Moody
- c) Donde existan pérdidas locales se calculan los k_i .
- d) Con la ecuación 4.8 se calcula la velocidad en el tramo final de la tubería.
- e) Con la ecuación de continuidad se calcula el gasto en el tramo final de la tubería, y con él todas las V_i .
- f) Con las velocidades se calcula el Número de Reynolds y se calculan los nuevos valores de f_i con el diagrama de Moody o con las ecuaciones de la tabla 3.1.
- g) El proceso termina cuando los valores de los f_i no cambian en dos iteraciones consecutivas.

IV.1.2.- PROBLEMAS DE DISEÑO.

En éste tipo de problemas se conoce H, Q y ϵ , se pide calcular el diámetro " D_i ".
Figura 4.2.

El procedimiento es el siguiente:

- a) En la tabla 3.2 se presenta el valor de la rugosidad absoluta, ϵ , en mm, para los distintos materiales que constituyen la tubería.
- b) Suponer un diámetro " D_i ".
- c) Se estima para el valor de (ϵ/D) , el correspondiente f_i , utilizando el Diagrama de Moody o las ecuaciones de la tabla 3.1.
- d) Donde exista pérdida local se calculan los k_i .
- e) Con la ecuación 4.8 se calcula V_s y con la ecuación de continuidad el gasto.
- f) El cálculo termina cuando se obtiene el gasto deseado. Si esto no acontece se continua con el inciso b

En el caso de una tubería de diámetro constante y pérdidas locales despreciables, el diámetro puede obtenerse como:

$$D = 5 \sqrt{\frac{8 f L Q^2}{g \pi^2 H}} \quad (A)$$

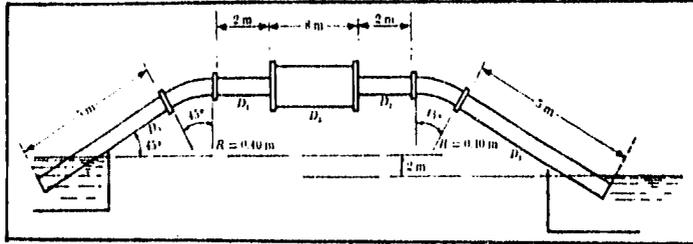
Es decir, conocidos H , Q y ϵ , se pide calcular el diámetro.

Siendo el procedimiento:

- a) Se estima f .
- b) Se calcula D con la ecuación (A).
- c) Se calcula el número de Reynolds y con él una nueva f .
- d) El cálculo termina cuando f no cambia en dos iteraciones consecutivas.

Problema 4.1

Determinar el gasto del sifón mostrado en la figura, el cual es de acero soldado nuevo y tiene los diámetros $D_1=100$ mm, $D_2=500$ mm. Utilizar la fórmula de Darcy para evaluar la pérdida de fricción.



Solución:

$$D_1 = 0.10 \text{ m}$$

$$A_1 = 0.00785 \text{ m}^2$$

$$D_2 = 0.50 \text{ m}$$

$$A_2 = 0.19635 \text{ m}^2$$

De la tabla 3.2 $\epsilon = 0.0015$ mm

$$\frac{\epsilon}{D_1} = \frac{0.0015}{100} = 0.000015$$

$$\frac{\epsilon}{D_2} = \frac{0.0015}{500} = 0.000003$$

Cálculo de pérdidas locales.

- cambio de dirección (fig 3.35)

$$R/D = 0.4/0.1 = 4$$

$$k^* = 0.1$$

$$\frac{A_1^2}{A_1^2} - \frac{(0.00785)^2}{(0.00785)^2} = 1$$

por lo tanto $k = 0.1 \times 1 = 0.1$

-ampliación brusca (fig 3.18)

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{(0.00785)}{(0.19635)^2} = 0.04$$

$$k = 0.97$$

$$\frac{A_1^2}{A_1^2} = \frac{(0.00785)^2}{(0.00785)^2} = 1$$

por lo tanto $k=0.97 \times 1 = \underline{0.97}$

- reducción brusca (fig 3.22)

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{(0.00785)}{(0.19635)^2} = 0.04$$

$$k=0.60$$

$$\frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{(0.00785)^2}{(0.19635)^2} = 0.0016$$

$$k = 0.6 \times 0.0016 = \underline{0.00096}$$

- cambio de dirección

$$R/D = 0.4/0.1 = 4$$

$$k^* = 0.1$$

$$\frac{A_1^2}{A_1^2} = \frac{(0.00785)^2}{(0.00785)^2} = 1$$

por lo tanto $k=0.1 \times 1 = \underline{0.1}$

- salida (fig. 3.102)

$$k = 1.0$$

$$\Sigma = 0.1 + 0.97 + 0.00096 + 0.1 + 1.0 = 2.17096$$

Cálculo de Pérdidas por fricción.

proponiendo $f_1 = 0.018$ y $f_2 = 0.018$

$$f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{A_1^2}{A_1^2} = 0.018 \frac{14}{0.10} \frac{(0.00785)^2}{(0.00785)^2} = 2.52$$

$$f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{A_2^2}{A_2^2} = 0.018 \frac{8}{0.50} \frac{(0.00785)^2}{(0.19635)^2} = 0.00046$$

$$\Sigma = 2.52 + 0.00046 = 2.52046$$

$$\sum_1^n = \left(f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{A_i^2}{A_i^2} + K_i \frac{A_i^2}{A_i^2} \right) = 4.69$$

sustituyendo valores en la ecuación 4.8.

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \left(f \frac{L_i}{D_i} \frac{A_0^2}{A_i^2} + k \frac{A_0^2}{A_i^2} \right)} \quad (4.8)$$

de la figura $H = 2$ m

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 2}{1 + 4.69142}} = 2.63 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.00785 \times 2.63 = 0.02061 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 = \frac{0.02061}{0.19635} = 0.105 \text{ m/s}$$

calculando Reynolds y factores de fricción para los dos tubos:

$$Re_1 = \frac{2.6258 \times 0.10}{1.0 \times 10^{-6}} = 262580$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \text{Log} \left(\frac{262580 \sqrt{f}}{2.51} \right) \Rightarrow f = 0.01483$$

$$Re_2 = \frac{0.105 \times 0.50}{1.0 \times 10^{-6}} = 52500$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \text{Log} \left(\frac{52500 \sqrt{f}}{2.51} \right) \Rightarrow f = 0.02067$$

Realizando una nueva iteración:

Pérdidas locales

- cambio de dirección	$k^* = 0.10$	$k = 0.09$
- ampliación brusca	$k = 0.97$	$k = 0.97$
- reducción brusca	$k = 0.60$	$k = 0.00096$
- cambio de dirección	$k^* = 0.10$	$k = 0.09$
- salida	$k = 1.00$	$k = 1.00$
		$\Sigma = 2.151$

$$0.01483 \frac{14}{0.10} \frac{(0.00785)^2}{(0.00785)^2} = 2.0768$$

$$0.02067 \frac{8}{0.50} \frac{(0.00785)^2}{(0.19635)^2} = 0.00053$$

$$\Sigma = 2.07733$$

la suma total da:

$$\Sigma = 2.151 + 2.07733 = 4.2283$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 2}{1 + 4.2283}} = 2.74 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.00785 \times 2.74 = 0.02151 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 = 0.1095 \text{ m/s}$$

$$Re_1 = 273873$$

$$Re_2 = 54775$$

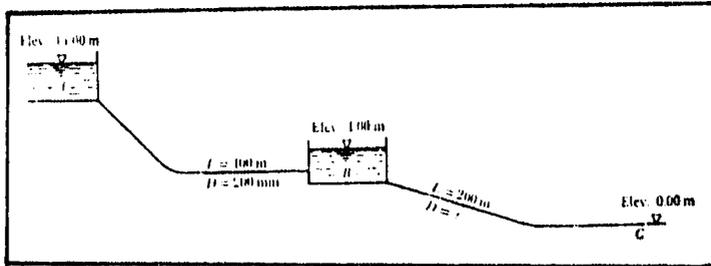
$$f_1 = 0.01472$$

$$f_2 = 0.02047$$

Por lo tanto el gasto es de 21.51 l/s.

Problema 4.2

Un depósito B -de nivel variable- es alimentado mediante un conducto de 400 m de longitud y 200 mm de diámetro, por otro recipiente A de nivel constante. Por otra parte, el depósito B alimenta otro conducto de 200 m de longitud, y diámetro desconocido, que descarga al ambiente a la elevación 0.0 m. Los conductos son de fierro fundido. Determinar el diámetro desconocido para que el nivel en B permanezca constante a la elevación de 4.0 m.



Solución:

Como primer paso se necesita conocer el gasto, para ello se calcula con el procedimiento para problemas de revisión:

- De la tabla 3.2 $\epsilon = 0.25$ mm
- Considerando Re altos y $\epsilon/D = 0.25/200 = 0.00125$, del diagrama de Moody $f = 0.021$.
- Se desprecian pérdidas locales.
- Calculando la velocidad de salida con la ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum_1^n \left(f_i \frac{L_i}{D_i} \frac{A_2^2}{A_i^3} \right)}}$$

en donde:

$$A_s = A_1 = 0.03142 \text{ m}^2$$

$$H = 14 - 4 = 10 \text{ m.}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 10}{1 + 0.21 \frac{400}{0.2}}} = 2.136 \text{ m/s}$$

Por continuidad:

$$Q = (0.03142) (2.136) = 0.06712 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculando Reynolds:

$$Re = \frac{2.136(0.2)}{1 \times 10^{-6}} = 427214$$

obteniendo el nuevo valor de f con el diagrama de Moody; $f=0.021$.
Como prácticamente no cambia éste valor, el gasto es por tanto:

$$Q = 67.12 \text{ l/s.}$$

Ahora para el segundo tramo, se utiliza el procedimiento de diseño para una tubería de diámetro constante y pérdidas locales despreciables, con la ecuación:

$$D = \sqrt[5]{\frac{8fLQ^2}{g\pi^2H}}$$

- Estimando $f = 0.02$
- Calculando el diámetro:

$$D = \sqrt[5]{\frac{8(0.02)(200)(0.06712)^2}{(9.81)(\pi)^2(4)}} = 0.20614 \text{ m}$$

- Calculando el número de Reynolds :
- $$V = 2.011 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{2.011(0.20614)}{1 \times 10^{-6}} = 414569$$

y con la relación $\epsilon/D = 0.25 / 206.14 = 0.00121$

se obtiene:

$$f = 0.021$$

Como el valor propuesto de f es diferente del valor calculado, se repite el procedimiento.

$$D = \sqrt[5]{\frac{8(0.021)(200)(0.06712)^2}{(9.81)(\pi)^2(4)}} = 0.20815 \text{ m}$$

$$A = 0.03403 \text{ m}^2$$

$$V = 1.9722 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{1.9722(0.20815)}{1 \times 10^{-6}} = 410494$$

$$\epsilon/D = 0.25 / 208.15 = 0.0012$$

$$f = 0.021$$

como f no cambia entonces el diámetro solicitado es:

$$D = 208.15 \text{ mm.}$$

IV.2.- SISTEMAS EN PARALELO.

En ocasiones resulta necesario derivar varios ramales de un mismo tubo, figura 4.3 para lo cual se pueden presentar dos casos:

- 1.- Se conoce la pérdida de carga ΔH entre A y B así como la geometría del sistema y se desea determinar el gasto en cada ramal y el gasto total.
- 2.- Se conoce el gasto total y la geometría del sistema y se desea determinar la pérdida de carga entre A y B, así como la distribución de gastos en cada ramal.

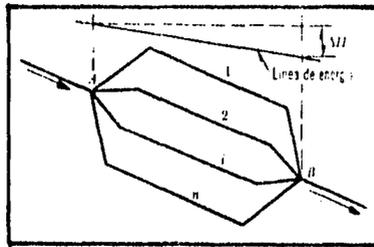


Fig. 4.3 Sistema de conducción en paralelo.

En el caso de tuberías en paralelo se aplican las fórmulas siguientes:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (4.9)$$

$$\Delta H = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \dots = \Delta H_n \quad (4.10)$$

En efecto:

- El caudal total se reparte entre todas las tuberías. Ecuación 4.9.
- La presión al comienzo P_A y al final P_B de cada rama es la misma para todas las ramas, luego la pérdida de carga ΔH será también igual en todas las ramas. Ecuación 4.10.

IV.2.1.- DETERMINACIÓN DEL GASTO EN CADA RAMAL Y EL GASTO TOTAL.

En éste tipo de problemas se conoce la pérdida de carga (ΔH) así como la geometría del sistema:

La ecuación de continuidad en estos sistemas resulta:

$$Q = \sum_1^n Q_i \quad (4.11)$$

$$Q = \sum A_i V_i \quad (4.12)$$

mientras que la pérdida de carga en el sistema en paralelo es:

$$\Delta H = \left(f_i \frac{L_i}{D_i} + (\sum k)_{i,i} \right) \frac{V_i^2}{2g} \quad (4.13)$$

llamando

$$K_i = \left(f_i \frac{L_i}{D_i} + (\sum k)_{i,i} \right) \quad (4.14)$$

Sustituyendo K_i en la ecuación 4.13 y simplificando:

$$V_i = \sqrt{\frac{2g\Delta H}{K_i}} \quad (4.15)$$

donde:

ΔH : Pérdida de carga entre A y B, en m.

V_i : Velocidad en la rama " i ", en m/s.

K_i : Coeficiente de pérdida de energía en la rama " i ", adimensional.

Procedimiento:

- a) Calcular las áreas A_i , los coeficientes de pérdidas locales k_i y $(\sum k)_{i,i}$.
- b) Suponiendo números de Reynolds altos calcular f_i con los valores de las rugosidades relativas $(\epsilon/D)_i$.
- c) Calcular los coeficientes de pérdida de energía K_i , ecuación 4.14
- d) Calcular la velocidad V_i en cada ramal con la ecuación 4.15.
- e) Calcular los números de Reynolds.
- f) Recalcular los f_i .
- g) Seguir el procedimiento a partir del paso c hasta que los valores de f_i no cambien.
- h) Calcular los Q_i con la ecuación de continuidad.
- i) Calcular el gasto total con la ecuación 4.11.

IV.2.2.- DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA (ΔH), Y DISTRIBUCIÓN DE GASTOS EN CADA RAMAL.

Para este caso se conoce el gasto total y la geometría del sistema.

Ahora sustituyendo la ecuación 4.15 en la ecuación 4.12:

$$Q = \sum_1^n A_i \sqrt{\frac{2g\Delta H}{K_i}} \quad (4.16)$$

$$Q = \sqrt{2g\Delta H} \sum_1^n \frac{A_i}{\sqrt{K_i}} \quad (4.17)$$

Despejando:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g \left(\sum_1^n \frac{A_i}{\sqrt{K_i}} \right)^2} \quad (4.18)$$

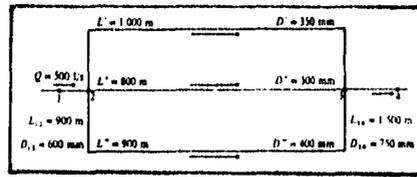
Procedimiento:

- a) Calcular todas las áreas A_i y los coeficientes K_i suponiendo números de Reynolds altos.
- b) Calcular ΔH con la ecuación 4.18.
- c) Calcular todas la V_i con la ecuación 4.15.
- d) Recalcular los K_i con los valores de Reynolds para las velocidades calculadas.
- e) Repetir el procedimiento a partir del paso b hasta que los valores de los coeficientes f_i no cambien.
- f) Calcular los gastos Q_i con la ecuación de continuidad.
- g) Como verificación de los cálculos, obtener el gasto total con la ecuación 4.12.

Problema 4.3

Todas las tuberías de la figura son de hierro fundido. El gasto total de agua es de 500 l/s. Despreciar las pérdidas locales y considerar $\nu = 1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Calcular:

- La pérdida de carga entre los puntos 1 y 4 y el caudal en cada tubería.
- manteniendo la misma pérdida de carga entre 2 y 3, el porcentaje de aumento en la capacidad del sistema que se obtendría añadiendo en paralelo otra tubería de 300 mm y 800 m de longitud entre los puntos 2 y 3.
- el diámetro de una sola tubería entre los puntos 2 y 3 que, reemplazando a las tres tuberías de la figura, mantenga el mismo gasto y la misma pérdida de carga entre los puntos 2 y 3, siendo la longitud de la tubería única de 800 m y el material de hierro fundido.



Solución:

De la tabla 3.2; $\epsilon = 1.1 \text{ mm}$

$\nu = 1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$

$L_{1,2} = 900 \text{ m}$ $D_{1,2} = 0.60 \text{ m}$ $A_{1,2} = 0.28274 \text{ m}^2$ $V_{1,2} = 1.7684 \text{ m/s}$

$L_{3,4} = 1500 \text{ m}$ $D_{3,4} = 0.75 \text{ m}$ $A_{3,4} = 0.44179 \text{ m}^2$ $V_{3,4} = 1.1318 \text{ m/s}$

$L' = 1000 \text{ m}$ $D' = 0.35 \text{ m}$ $A' = 0.09621 \text{ m}^2$

$L'' = 800 \text{ m}$ $D'' = 0.30 \text{ m}$ $A'' = 0.07069 \text{ m}^2$

$L''' = 900 \text{ m}$ $D''' = 0.40 \text{ m}$ $A''' = 0.12566 \text{ m}^2$

Los valores de f fueron obtenidos con el diagrama de Moody de la siguiente forma:

$Re_{1,2} = 811193$ $\epsilon/D_{1,2} = 0.00183$ $f_{1,2} = 0.023$

$Re_{3,4} = 648968$ $\epsilon/D_{3,4} = 0.00147$ $f_{3,4} = 0.0215$

Para los tubos en paralelo se consideraron números de Reynolds altos ($Re = 1000000$)

$\epsilon/D' = 0.00314$ $f = 0.027$

$\epsilon/D'' = 0.00367$ $f = 0.0275$

$\epsilon/D''' = 0.00275$ $f = 0.0255$

$$a) \Delta H_{1,4} = \Delta H_{1,2} + \Delta H_{2,3} + \Delta H_{3,4}$$

$$\Delta H_{1,2} = f \frac{L}{D} \frac{V_{1,2}^2}{2g} = 0.023 \frac{900}{0.6} \frac{1.7684^2}{19.62} = 5.499$$

$$\Delta H_{3,4} = f \frac{L}{D} \frac{V_{3,4}^2}{2g} = 0.0215 \frac{1500}{0.75} \frac{1.1318^2}{19.62} = 2.80743$$

Para calcular la pérdida de carga se utilizan las ecuaciones 4.18 y 4.14

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g \left(\sum_1^n \frac{L_i}{\sqrt{K_i}} \right)^2} \quad (4.18)$$

$$K_i = \left(f_i \frac{L_i}{D_i} + (\Sigma k)_i \right) \quad (4.14)$$

en la ecuación 4.14 se desprecian pérdidas locales.

$$K' = 0.027 \frac{1000}{0.35} = 77.14286$$

$$K'' = 0.0275 \frac{800}{0.3} = 73.333$$

$$K''' = 0.0255 \frac{900}{0.4} = 57.375$$

sustituyendo valores en 4.18

$$\Delta H_{2-3} = \frac{0.5^2}{2 \times 9.81 \left(\frac{0.09621}{\sqrt{77.143}} + \frac{0.07069}{\sqrt{73.33}} + \frac{0.12566}{\sqrt{57.375}} \right)^2} = 9.94292m$$

calculando la velocidad con la ecuación 4.15:

$$V_i = \sqrt{\frac{2g\Delta H}{K_i}} \quad (4.15)$$

$$V' = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 9.943}{77.143}} = 1.59m/s$$

$$V'' = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 9.943}{73.33}} = 1.631m/s$$

$$V''' = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 9.943}{57.375}} = 1.844m/s$$

por continuidad.

$$Q' = 0.15297 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'' = 0.1153 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q''' = 0.23172 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_T = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

calculando los números de Reynolds:

$$Re' = 425459, Re'' = 374083, Re''' = 563914$$

asistiendo al diagrama de Moody:

$$f' = 0.026$$

$$f'' = 0.028$$

$$f''' = 0.025$$

realizando una nueva iteración

$$K' = 0.027 \frac{1000}{0.35} = 77.143$$

$$K'' = 0.0275 \frac{800}{0.3} = 73.33$$

$$K''' = 0.0255 \frac{900}{0.4} = 57.375$$

$$\Delta H_{2-3} = \frac{0.5^2}{2 \times 9.81 \left(\frac{0.09621}{\sqrt{77.143}} + \frac{0.07069}{\sqrt{73.33}} + \frac{0.12566}{\sqrt{57.38}} \right)^2} = 9.943 \text{ m}$$

$$V' = 1.59 \text{ m/s} \quad Q' = 0.15297 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V'' = 1.631 \text{ m/s} \quad Q'' = 0.1153 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V''' = 1.844 \text{ m/s} \quad Q''' = 0.23172 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta H_{1-4} = 5.499 + 2.807 + 9.943 = 18.25 \text{ m.}$$

$$\underline{\Delta H_{1-4} = 18.25 \text{ m}}$$

$$\underline{Q' = 152.97 \text{ l/s}}$$

$$\underline{Q'' = 115.3 \text{ l/s}}$$

$$\underline{Q''' = 231.72 \text{ l/s}}$$

b) $D = 0.3 \text{ m}$. $A = 0.07069 \text{ m}^2$, $L = 800 \text{ m}$, $f = 0.02769$
 el gasto se calcula con la ecuación 4.17:

$$Q = \sqrt{2g\Delta H} \frac{A_i}{\sqrt{K_i}} \quad (4.17)$$

$$K = 0.0275 \frac{800}{0.3} = 73.33$$

$$Q = \sqrt{2 \times 9.81 \times 9.943} \left(\frac{0.09621}{\sqrt{77.143}} + \frac{0.07069}{\sqrt{73.33}} + \frac{0.12566}{\sqrt{57.38}} + \frac{0.07069}{\sqrt{73.33}} \right) = 0.6153$$

$Q = 0.6153 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\Delta Q = 0.1153 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{0.1153}{0.5} = 23.06\%$$

El porcentaje de aumento es de 23.06 %.

c) En la ecuación siguiente f está en función de D , por lo que se resolverá por iteraciones, proponiendo dicho diámetro.

$$\Delta H_{2-3} = \frac{Q^2}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot 2g \sqrt{\frac{fL}{D}}} \quad (a)$$

y utilizando la ecuación de Swamee y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\text{Log} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right)^2} \quad (b)$$

se proponen valores de D en la ecuación b, se calcula la velocidad y el número de Reynolds, se calcula el valor de f y se sustituyen estos valores en la ecuación a, el procedimiento se repite hasta que la pérdida de carga sea igual a 9.94 m.

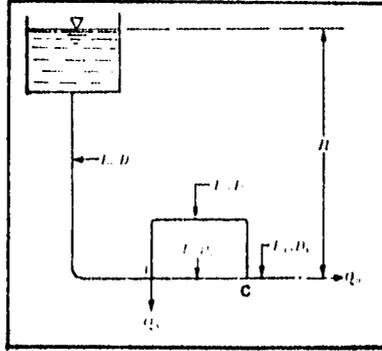
D (m)	V (m/s)	Re	f	ΔH (m)
0.5	2.547	973425	0.02428	12.838
0.51	2.448	954338	0.02416	11.5703
0.52	2.354	935985	0.02404	10.449
0.525	2.310	927071	0.02398	9.947

De la tabla el diámetro resulta ser de 525 mm.

Problema 4.4

En el sistema mostrado en la figura, de A se deriva un gasto $Q_A = 35$ l/s y en B descarga $Q_B = 50$ l/s con los siguientes datos: $L_1 = 300$ m; $D_1 = 225$ mm, $f_1 = 0.03$, $L_2 = 150$ m; $D_2 = 125$ mm, $f_2 = 0.038$, $L_3 = 250$ m; $D_3 = 150$ mm, $f_3 = 0.032$; $L_4 = 100$ m, $D_4 = 175$ mm, $f_4 = 0.042$.

- a) calcular H para satisfacer las condiciones anteriores.
b) calcular la elevación piezométrica en el punto A.



Solución:

$$f_1 = 0.030 \quad A_1 = 0.03976 \text{ m}^2 \quad V_1^2 / 2g = 0.23 \text{ m}$$

$$f_2 = 0.038 \quad A_2 = 0.01227 \text{ m}^2$$

$$f_3 = 0.032 \quad A_3 = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$f_4 = 0.042 \quad A_4 = 0.02405 \text{ m}^2$$

- a) Para calcular la carga H se plantea la ecuación de la energía entre el tanque y la salida, resultando:

$$H = \frac{V_B^2}{2g} + \Delta H_{1-A} + \Delta H_{A-C} + \Delta H_{C-B}$$

por continuidad:

$$V_B = \frac{0.05}{0.02405} = 2.079 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_B^2}{2g} = \frac{2.079^2}{19.62} = 0.2203 \text{ m}$$

las pérdidas son:

$$\Delta H_{1-A} = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} = 0.03 \frac{300}{0.225} \frac{2.139^2}{19.62} = 9.328 \text{ m}$$

$$\Delta H_{C-B} = f_4 \frac{L_4}{D_4} \frac{V_B^2}{2g} = 0.042 \frac{100}{0.175} \frac{2.079^2}{19.62} = 5.287 \text{ m}$$

la pérdida se calcula con la ecuación:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g \left(\sum_1^n \frac{A_i}{\sqrt{K_i}} \right)^2}$$

se desprecian pérdidas locales por lo que:

$$K_1 = f_1 \frac{L_1}{D_1}$$

$$K_2 = f_2 \frac{L_2}{D_2} = 0.038 \frac{150}{0.125} = 45.6$$

$$K_3 = f_3 \frac{L_3}{D_3} = 0.032 \frac{250}{0.150} = 53.3$$

sustituyendo valores en la ecuación:

$$\Delta H_{A-C} = \frac{0.05^2}{2 \times 9.81 \left(\frac{0.01767}{\sqrt{53.3}} + \frac{0.01227}{\sqrt{45.60}} \right)^2} = 7.097 \text{ m}$$

finalmente la carga H vale:

$$H = 0.2203 + 9.328 + 5.287 + 7.097 = 21.9323$$

$$\underline{H = 21.93 \text{ m}}$$

b) aplicando la ecuación de la energía entre 1 y A:

$$z_1 = \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + \Delta H_{1-A}$$

despejando P_A/γ :

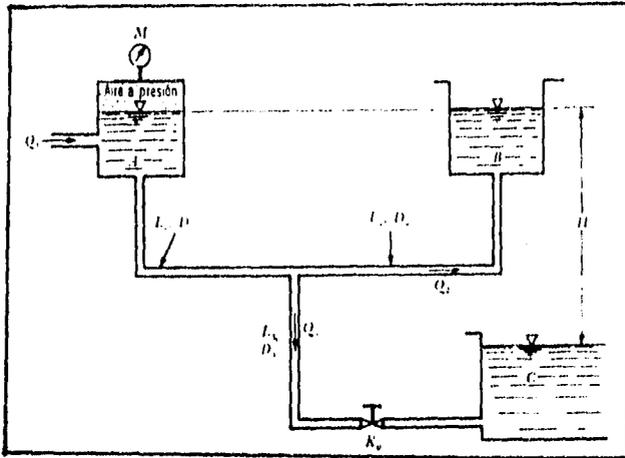
$$\frac{P_A}{\gamma} = H - \frac{V_A^2}{2g} - \Delta H_{1-A} = 21.93 - 0.232 - 9.328 = 12.37 \text{ m}$$

por lo tanto:

$$\underline{P_A/\gamma = 12.37 \text{ m}}$$

Problema 4.5

Calcular la presión que debe leerse en el manómetro m , de modo que el nivel de la superficie libre del recipiente A sea el mismo que el del recipiente B; asimismo, $Q_2 = 5$ l/s. Utilizar los siguientes datos: $L_1 = 75$ m; $D_1 = 75$ mm; $L_2 = L_3 = 100$ m; $D_2 = D_3 = 50$ mm; $H = 10$ m, $f_1 = f_2 = f_3 = 0.03$, $K_v = 0.15$.



Solución:

considerando pérdidas locales:

-entrada $K_e = 0.5$

-válvula $K_v = 0.15$

-salida $K_s = 1.0$

$V_2 = 2.5465$ m/s

planteando la ecuación de la energía entre B y C:

$$z_B = hp_3 - hp_2$$

$$10 = \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K\right) \frac{V_3^2}{2g} - \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K\right) \frac{V_2^2}{2g}$$

sustituyendo valores:

$$10 = \left(0.03 \frac{100}{0.05} + 1.15\right) \frac{V_3^2}{19.62} - \left(0.03 \frac{100}{0.05} + 1.15\right) \frac{2.5465^2}{19.62}$$

haciendo operaciones para despejar V_3 :

$$V_3 = 3.094 \text{ m/s}$$

por continuidad:

$$A_3 = 0.00196 \text{ m}^2$$

$$Q_3 = V_3 A_3 = 0.00607 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 6.07 \text{ l/s.}$$

$$Q_1 = 11.07 \text{ l/s.}$$

ahora planteando la ecuación de la energía entre A y C:

$$z_A + \frac{P_A}{\gamma} = \frac{V_3^2}{2g} + h p_1 + h p_3$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \frac{V_1^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \frac{V_2^2}{2g} - z_A$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = \left(0.03 \frac{100}{0.05} + 1.15 \right) \frac{3.094^2}{19.62} + \left(0.03 \frac{75}{0.075} + 0.5 \right) \frac{2.507^2}{19.62} - 10$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = 29.606 \text{ m}$$

finalmente la presión necesaria es de:

$$\underline{P_A = 2.961 \text{ kg/cm}^2}$$

IV.3.- REDES ABIERTAS.

Una red es abierta cuando los tubos que la componen se ramifican sucesivamente, sin intersectarse después. Los extremos finales de las ramificaciones pueden terminar en un recipiente o descargar libremente a la atmósfera.

Un sistema sencillo de una red abierta se esquematiza en la figura 4.4. En este tipo de sistemas también existen dos tipos de problemas, a saber: los de revisión y los de diseño.

En problemas de diseño se conoce la geometría y los gastos en cada tubo, y se pide calcular los diámetros de cada tubo.

En un problema de revisión se conoce la geometría del sistema y se pide determinar todos los gastos de cada tubo y la carga en cada nudo o extremo.

Las redes abiertas presentan la característica de que no existe un procedimiento como el de sistemas sencillos o en paralelo o de las redes cerradas, por lo que en términos generales se pueden resolver aplicando dos tipos de ecuaciones:

1.- Ecuaciones de Nudo. Debe cumplirse el principio de continuidad en cada nudo, esto es, para cada nudo "j":

$$\sum_1^n Q_i + q_j = 0 \quad (4.19)$$

donde:

n : Número de tubos que están conectados al nudo "j".

Q_i : Gasto que circula por el tubo "i".

q_j : Gasto de ingreso o demanda al nudo "j".

Los gastos que entran a un nudo se consideran positivos, y negativos los que salen. Se tendrán tantas ecuaciones de continuidad como nudos tenga la red.

2.- Ecuación de la Energía. Para cada punto terminal de la red se tendrá una ecuación de la energía entre el nivel superior y su extremo, resultando:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_k + \frac{P_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + \sum_1^k (h_f + h_L) \quad (4.20)$$

donde:

z_i : es el nivel de la superficie libre del agua si el tubo descarga a un recipiente, o el nivel del centro de gravedad de la sección final, referido a un plano horizontal de referencia.

Cuando el sentido del gasto sea contrario al sentido de aplicación de la ecuación de la energía, los términos de pérdida de carga tanto de fricción como locales deberán aparecer con signo negativo.

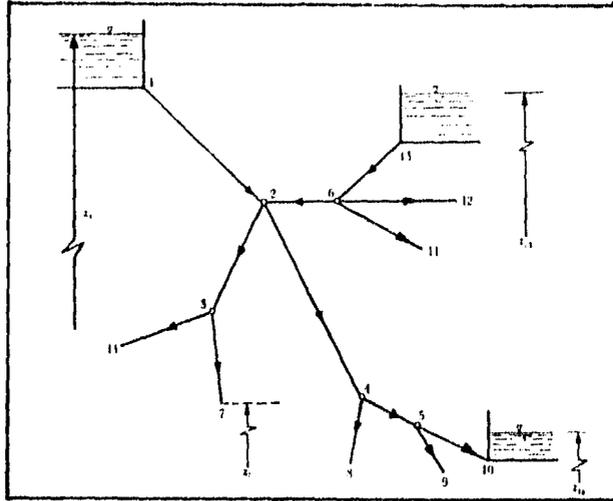


Fig. 4.4 Esquema de una Red Abierta.

Un problema que se presenta con frecuencia en redes abiertas es el de tres recipientes conectados a un nudo común (ver figura 4.5) donde se ha supuesto una carga piezométrica h que podría ser la que permita la solución del problema, es decir, conocer los gastos Q_1 , Q_2 , Q_3 en los tramos de las tuberías.

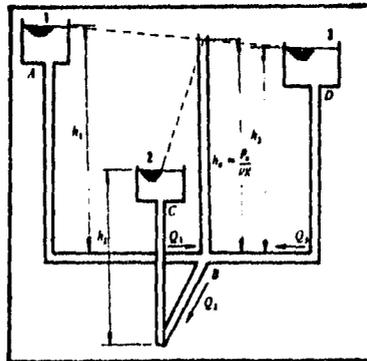


Fig. 4.5 Representación del problema de los tres tanques interconectados a un nudo común.

El problema admite múltiples aplicaciones; por ejemplo:

1.- El recipiente puede sustituirse por una bomba que dé la misma altura piezométrica h_1 , y B sería por ejemplo, la entrada a un edificio, y 2 y 3 pueden ser dos lavabos situados en diferentes pisos del edificio.

2.- El punto 1 se considera la tubería principal de abastecimiento de agua; y entonces 2 y 3 serían dos puntos en dos poblaciones donde debería asegurarse un cierto caudal con una cierta presión.

3.- Otra aplicación totalmente distinta, pero que conduciría al mismo esquema y a las mismas soluciones, sería el sistema de alimentación de combustible a los motores de un avión (punto B en la figura 4.5) desde tres depósitos situados uno en el fuselaje y dos en las alas.

Extensión del Problema de los Tres Recipientes a "N" Recipientes Interconectados a un Nudo Común.

De la figura 4.5, y considerando la extensión del problema a "n" recipientes, se puede imaginar la figura 4.6 siguiente, en donde se ha supuesto una carga piezométrica h_j que pudiera ser la que permita la solución del problema, es decir, conocer los gastos $Q_{j,i}$ en los tramos de las tuberías.

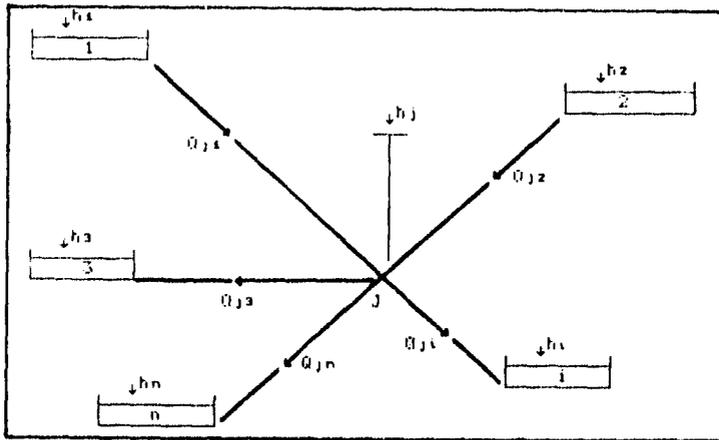


Fig. 4.6 Representación del problema de los "n" recipientes conectados a un nudo común.

- Obtención de la Ecuación de Pérdida.

De la ecuación de continuidad:

$$Q = VA \quad (4.21)$$

y considerando una tubería de sección transversal circular, se tiene:

$$Q = V \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.22)$$

de donde despejando la velocidad V , se tiene:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (4.23)$$

y para un tramo ji cualquiera; por continuidad, la velocidad sería:

$$V_{ji} = \frac{4Q_{ji}}{\pi D_{ji}^2} \quad (4.24)$$

la cual sustituida en la fórmula de fricción correspondiente (Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, etc.) nos da la pérdida por fricción en cada tramo " ji " respectivamente. Por ejemplo, si la fórmula de fricción es la de Darcy-Weisbach, se tiene:

$$H_{ji} = f_{ji} \frac{L_{ji}}{D_{ji}} \frac{V_{ji}^2}{2g} \quad (4.25)$$

y luego sustituyendo la ecuación 4.24 en la ecuación 4.25:

$$H_{ji} = f_{ji} \frac{L_{ji}}{D_{ji}} \frac{16Q_{ji}^2}{\pi^2 D_{ji}^5 2g} \quad (4.26)$$

simplificando:

$$H_{ji} = \frac{f_{ji} L_{ji}}{12.1 D_{ji}^5} Q_{ji}^2 \quad (4.27)$$

considerando ahora la constante:

$$K_{ji} = \frac{f_{ji} L_{ji}}{12.1 D_{ji}^5} \quad (4.28)$$

entonces la ecuación de pérdida queda finalmente como:

$$H_{ji} = K_{ji} Q_{ji}^2 \quad (4.29)$$

de donde se tiene que:

$$H_{ji} = h_j - h_i \quad (4.30)$$

donde:

H_p : Es la pérdida de carga entre los puntos j e i .

Por lo tanto cualquier gasto Q_p se puede calcular, de la ecuación 4.29 como:

$$Q_{ji} = \pm \sqrt{\frac{h_j - h_i}{K_{ji}}} \quad (4.31)$$

donde.

- f_{ji} : Coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach en cualquier tramo ji.
- L_{ji} : Longitud del tramo ji.
- D_{ji} : Diámetro de la tubería del tramo ji.
- h_i : Carga piezométrica en el tanque i opuesto al nudo j.
- h_j : Carga piezométrica en el nudo j que permite la solución del problema.

Para comprobar si los gastos son los correctos, debe cumplirse la ecuación de continuidad (ecuación 4.19) en el nudo j.

El método numérico, consiste en hacer lineal la ecuación de pérdida de carga:

$$h_j - h_i = K_{ji} Q_{ji}^2 \quad (4.32)$$

que también puede escribirse como:

$$h_j - h_i = K_{ji} Q_{ji} |Q_{ji}| \quad (4.33)$$

de donde Q_{ji} puede expresarse en forma implícita como:

$$Q_{ji} = \frac{h_j - h_i}{K_{ji} |Q_{ji}|} \quad (4.34)$$

Siendo positivo el denominador de la ecuación 4.34, el signo del gasto queda determinado por el numerador. Según los sentidos de los gastos (figura 4.5), la ecuación 4.19 queda:

$$-\frac{h_1 - h_j}{K_{j1} |Q_{j1}|} - \frac{h_2 - h_j}{K_{j2} |Q_{j2}|} + \frac{h_j - h_3}{K_{j3} |Q_{j3}|} + \frac{h_j - h_4}{K_{j4} |Q_{j4}|} + \dots + \frac{h_j - h_n}{K_{jn} |Q_{jn}|} = 0 \quad (4.35)$$

esta ecuación se convierte en:

$$\sum_1^n \frac{h_j}{K_{ji} |Q_{ji}|} - \sum_1^n \frac{h_i}{K_{ji} |Q_{ji}|} = 0 \quad (4.36)$$

conocidas las cargas piezométricas en los tanques opuestos al nudo j, se tiene:

$$h_j = \frac{\sum_1^n \frac{h_i}{K_{ji} |Q_{ji}|}}{\sum_1^n \frac{1}{K_{ji} |Q_{ji}|}} \quad (4.37)$$

La ecuación 4.37 permite conocer, mediante un proceso iterativo, la carga piezométrica h_j , que hace cumplir la ecuación de continuidad en el nudo j.

La secuencia del método es la siguiente:

- 1.- Suponer una carga piezométrica inicial h_i , por ejemplo, el promedio de las cargas piezométricas en los tanques.
- 2.- Calcular los gastos con la ecuación 4.21.
- 3.- Calcular la carga con la ecuación 4.37.
- 4.- Si el valor calculado en el paso anterior es aproximado al del paso 1 dentro de una tolerancia, por ejemplo 0.01 m, entonces se ha llegado a la solución; si no, volver al paso 2, con el último valor de h_i , hasta cumplir la tolerancia. (Se incluye un listado de programación en lenguaje Basic para la solución de este tipo de problemas).

Conviene que los sentidos de los gastos se calculen como:

$$Q_{ji} = \frac{h_j - h_i}{|h_j - h_i|} \sqrt{\frac{|h_j - h_i|}{K_{ji}}} \quad (4.38)$$

Si $h_j > h_i$, el gasto sale del nudo j.

Si $h_j < h_i$, el gasto entra al nudo j.

Si $h_j = h_i$, el gasto $Q_{ji} = 0$ y no debe incluirse en el tramo ji correspondiente al cálculo.

IV.3.1.- DISEÑO DE UNA RED ABIERTA.

En el diseño de redes abiertas utilizadas para el abastecimiento de agua potable, nos encontramos a veces con el problema de sólo contar con la distribución de la red sobre una zona a la cual se desea abastecer de éste vital líquido.

Éste problema es muy común encontrarlo cuando se pide diseñar una red de distribución abierta en una localidad que puede ser localizada en una carta topográfica.

El problema se presenta de la siguiente manera:

- 1.- Se conoce o se propone la ubicación del tanque de regularización en la carta topográfica, que debe ser algún punto más alto que la localidad.
 - 2.- Se conoce o se sugiere una red de distribución en base a la ubicación de los sitios que se desea abastecer.
 - 3.- Solo el tanque de regularización será la única fuente de abastecimiento de la red.
- Por lo tanto, en razón de lo dicho anteriormente, se tendrá un esquema como el mostrado en la figura 4.7, en el que sólo se conocen como datos el gasto de entrada o gasto máximo horario (Q_{mh}), la longitud y posición de los tramos que la componen, así como las cotas del terreno en los nudos.

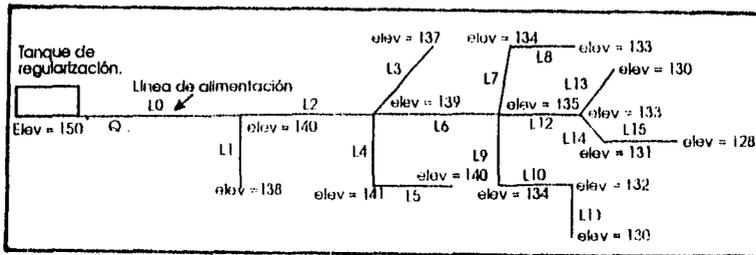


Fig. 4.7 Esquema de la red abierta.

Lo que se desea obtener es un diseño preliminar de la red, es decir, sus diámetros, distribución de gastos y una estimación de la carga disponible en cada nudo.

Cuando se tiene un problema como el anterior se sugiere seguir el método que a continuación se menciona; en caso contrario se puede utilizar las ecuaciones básicas que se ejemplificaron con anterioridad.

MÉTODO DE HARDY CROSS PARA PROBLEMAS DE DISEÑO.

Éste método permite calcular los diámetros en una red de distribución abierta utilizando un proceso de distribución de gastos.

La teoría del método es la siguiente:

- 1.- Numerar los nudos que unen a los distintos tramos de la red.
- 2.- Como el tanque de regularización es la única fuente de alimentación, entonces el sentido de escurrimiento siempre será hacia los extremos finales de la red.
- 3.- Valorar el gasto que se requiere en cada tramo, para esto es necesario calcular el

gasto específico que resulta de dividir el gasto máximo horario (Q_{mh}) entre la longitud total virtual de todos los tramos de la red, mediante la siguiente expresión

$$q_e = \frac{Q_{mh}}{\sum LVT}$$

en donde:

q_e : Es el gasto específico, en l.p.s. por metro de tubería.

Q_{mh} : Es el gasto máximo horario, en l.p.s.

$\sum LVT$: Es la suma de la longitud virtual total de los circuitos principales, en m.

En redes abiertas la longitud virtual es igual a la longitud real cuando el tramo no es considerado como tramo principal (es decir, un tramo que alimenta a otros tramos que se bifurcan), en caso contrario, la longitud virtual es igual a dos veces el valor de la longitud real del tramo correspondiente.

Una vez obtenido el gasto específico q_e , éste se multiplica por la longitud virtual de cada tramo, resultando el gasto correspondiente.

4.- Acumular gastos en sentido contrario al escurrimiento desde los puntos extremos de la red, hasta la alimentación.

5.- Calcular el diámetro de cada tramo con la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{1935.48Q}$$

donde:

D : Es el diámetro interior del tubo en el tramo, en mm.

Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en l.p.s.

Los resultados se ajustarán a diámetros comerciales.

6.- Ejecutar el cálculo hidráulico de la red. Conviene hacer uso de una tabla en la que se consideren por columnas los siguientes datos:

- a) Tramo.
- b) Longitud real del tramo en metros (longitud).
- c) Gasto acumulado en el tramo en lps ($Q_{acumulado}$).
- d) Diámetro del tubo en el tramo en mm (Diámetro).
- e) Pérdida de carga en el tramo en metros (H_p).
- f) Cota piezométrica en el final del tramo, que se obtiene restando de la carga total, la pérdida de carga final del tramo.
- g) Cota o elevación del terreno en el final del tramo; la que proporciona la topografía del terreno en cada punto de interés del tramo.
- h) Carga disponible en el final del tramo, que se obtiene restando de la cota del terreno en el final del tramo la cota piezométrica en el mismo punto.

La pérdida de carga en cada tramo se puede calcular con las fórmulas siguientes

a) Hazen-Williams. (De la tabla 3.1)

$$H_p = \left(\frac{QL^{0.54}}{0.2785 C_H^{1.4863}} \right)^{1.4863}$$

donde:

- H_p : Es la pérdida de carga en el tramo, en m.
- Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en m^3/s
- L : Es la longitud de la tubería en el tramo, en m
- D : Es el diámetro de la tubería en el tramo, en m.
- C_H : Coeficiente de Hazen-Williams que depende del tipo de material de la tubería.

b) Darcy-Weisbach. (De la tabla 3.1)

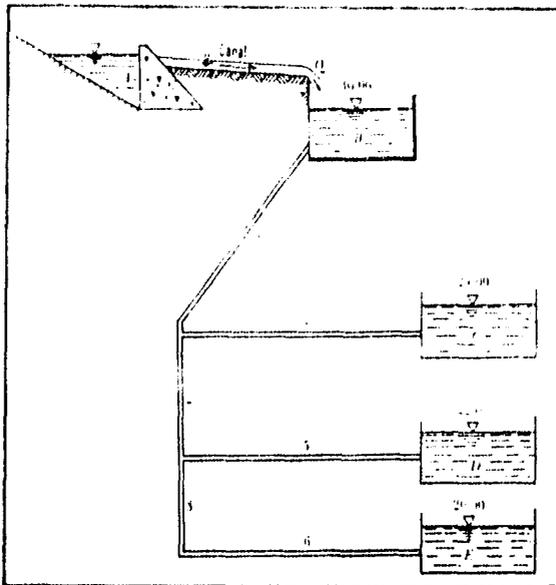
$$H_p = \frac{fLQ^2}{12.1D^5}$$

donde:

- H_p : Es la pérdida de carga en el tramo, en m.
- Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en m^3/s
- L : Es la longitud de la tubería en el tramo, en m.
- D : Es el diámetro de la tubería en el tramo, en m.
- f : Coeficiente de pérdida por fricción, adimensional que depende del número de Reynolds y/o del valor de la rugosidad relativa.

Problema 4 6

En el sistema mostrado en la figura, calcular el gasto total Q y el gasto en cada tubo para los siguientes datos: $L_1 = 150\text{ m}$, $D_1 = 100\text{ mm}$, $f_1 = 0.02$; $L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = L_6 = 60\text{ m}$, $D_2 = D_3 = D_4 = D_5 = D_6 = 60\text{ mm}$, $f_2 = f_3 = f_4 = f_5 = f_6 = 0.03$



Solución:

la carga de velocidad se calcula como:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{0.08263 Q^2}{D^5}$$

planteando la ecuación de la energía entre el tanque B y el tanque C:

$$z_B = z_C + \frac{V_2^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} + f_4 \frac{L_4}{D_4} \frac{V_4^2}{2g}$$

sustituyendo valores:

$$30 = 24 + \frac{0.08263 Q_2^2}{0.06^5} + 0.02 \frac{150}{0.1} \frac{0.08263 Q_2^2}{0.1^5} + 0.03 \frac{60}{0.06} \frac{0.08263 Q_4^2}{0.06^5}$$

haciendo operaciones:

$$30 = 24 + 197648.9146 Q_2^2 + 24789 Q_4^2 \quad (a)$$

por continuidad en el nudo F

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

y sustituyendo en la ecuación (a) resulta

$$30 = 20 + 197643.01 \cdot 0.0092^2 + 14789Q_3^2$$

resolviendo por tanteos la ecuación anterior proponiendo Q_4 y Q_3 , resulta

Q_4	Q_3	$z_B=30$
0.0044	0.0092	29.92
0.00445	0.00925	30.04
0.00443	0.00947	30.00

por lo tanto los gastos que satisfacen la ecuación son:

$$Q_4 = 4.43 \text{ l/s}$$

$$Q_2 = 5.04 \text{ l/s}$$

$$Q_1 = 9.47 \text{ l/s}$$

planteando ahora la ecuación de la energía entre B y E:

$$z_B + z_E + \frac{V_1^2}{2g} + f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} + f_3 \frac{L_3}{D_3} \frac{V_3^2}{2g} + f_6 \frac{L_6}{D_6} \frac{V_6^2}{2g}$$

en la ecuación anterior los tramos 3 y 6 tienen las mismas características geométricas, además $Q_3=Q_6$

sustituyendo valores y simplificando la ecuación anterior resulta:

$$30 = 20 + 388922.0679Q_3^2 + 24789Q_3^2 + 191273.148Q_3^2$$

finalmente se sustituyen los gastos Q_1 y Q_2 para calcular Q_3

$$30 = 20 + 388922.0679Q_3^2 + 24789(0.01007)^2 + 191273.148(0.00587)^2$$

$$Q_3 = 0.00274 \text{ m}^3/\text{s}$$

por continuidad en el nudo G:

$$Q_5 = Q_2 - Q_3 = 5.04 - 2.74 = 2.5 \text{ l/s}$$

Finalmente los gastos son:

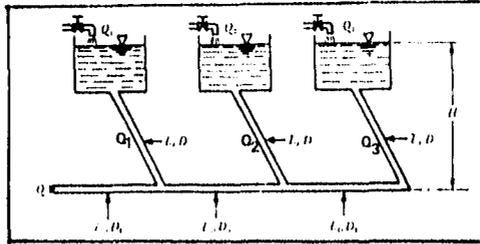
$$Q_1 = 9.47 \text{ l/s} \quad Q_3 = 2.74 \text{ l/s}$$

$$Q_4 = 4.43 \text{ l/s} \quad Q_5 = 2.5 \text{ l/s}$$

$$Q_2 = 5.04 \text{ l/s}$$

Problema 4.7

En el sistema indicado, $H = 10 \text{ m}$, $L = 50 \text{ m}$, $D = 100 \text{ mm}$, $f = 0.025$, $L_1 = 80 \text{ m}$, $D_1 = 200 \text{ mm}$, $f_1 = 0.021$. Calcular el gasto total Q descargado al ambiente, así como los gastos Q_1 , Q_2 y Q_3 que es necesario suministrar a los recipientes para mantener constante en todos ellos, el nivel H .



Solución:

-Únicamente se consideran pérdidas por fricción.

-la carga de velocidad se calcula como:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{0.08263 Q^2}{D^5}$$

planteando la ecuación de la energía de 2 a 4.

$$E_2 = E_4 + h_{f_{2-4}}$$

$$E_2 = E_4 + 0.025 \frac{50}{0.1} 826.3 Q_2^2$$

simplificando:

$$E_2 = E_4 + 10328.75 Q_2^2 \quad (a)$$

planteando ahora la ecuación de 3 a 4:

$$E_3 = E_4 + h_{f_{3-4}}$$

$$E_3 = E_4 + 10328.75 Q_3^2 + 433.808 Q_3^2 + 51.64375 Q_3^2$$

simplificando:

$$E_3 = E_4 + 10814.2012 Q_3^2 \quad (b)$$

como $E_2 = E_3$, igualando las ecuaciones a y b, resulta

$$E_4 + 10328.75Q_2^2 = E_4 + 10814.2012Q_3^2$$

haciendo operaciones:

$$Q_2 = 1.023 Q_3$$

por la ley de los nudos

$$Q_4 = Q_2 + Q_3$$

sustituyendo Q_2 en la ecuación anterior:

$$Q_4 = 2.023 Q_3$$

Planteando la ecuación de la energía de 1 a 5:

$$E_1 = E_5 + h_{f_{1,5}}$$

$$E_1 = E_5 + 0.025 \frac{50}{0.1} 826.3 Q_1^2$$

$$E_1 = E_5 + 10328.75 Q_1^2 \quad (c)$$

la ecuación de la energía de 5 a 6 es:

$$E_5 = h_{f_{5,6}} + \frac{V_5^2}{2g}$$

sustituyendo valores y simplificando da como resultado:

$$E_5 = 485.43475 Q_5^2 \quad (d)$$

la ecuación d en la ecuación c da como resultado:

$$E_1 = 485.43475 Q_5^2 + 10328.75 Q_1^2 \quad (e)$$

la ecuación de la energía de 2 a 5 es:

$$E_2 = E_5 + 10328.75 Q_2^2 + 485.43475 Q_5^2 \quad (f)$$

igualando c y f:

$$E_5 + 10328.75 Q_1^2 = E_5 + 10328.75 Q_2^2 + 485.43475 Q_5^2$$

sustituyendo Q_2 y Q_4 en la ecuación anterior y simplificando:

$$10328.75 Q_1^2 = 12795.992 Q_3^2$$

$$Q_1 = 1.113 Q_3$$

por otro lado:

$$Q_5 = Q_1 + Q_4$$

sustituyendo $Q_4 = 2.023 Q_3$ en la ecuación anterior:

$$Q_5 = Q_1 + 2.023 Q_3$$

ahora sustituyendo Q_1 :

$$Q_5 = 1.113Q_3 + 2.023Q_3$$

$$Q_5 = 3.136Q_3$$

y ahora Q_1 y Q_5 en la ecuación e:

$$10 = 485.43475 (3.136Q_3)^2 + 10328.75 (1.113Q_3)^2$$

$$Q_3 = 0.02386 \text{ m}^3/\text{s}$$

finalmente los gastos pedidos son:

$$\underline{Q_1 = 26.55 \text{ l/s}}$$

$$\underline{Q_2 = 24.41 \text{ l/s}}$$

$$\underline{Q_3 = 23.86 \text{ l/s}}$$

$$\underline{Q_4 = 48.26 \text{ l/s}}$$

$$\underline{Q_5 = 74.82 \text{ l/s}}$$

- Se calcula el diámetro de la tubería en cada tramo con la ecuación (columna 6).

$$D = \sqrt[3]{3Q}$$

donde:

D : es el diámetro de la tubería en el tramo, en pulgadas.

Q : es el gasto acumulado en el tramo, en lps.

Éste diámetro se ajusta a uno comercial.

- La pérdida de carga de la columna 7 se calcula con la expresión:

$$H_p = \left(\frac{0.433QL^{0.54}}{D^{2.63}} \right)^{\left(\frac{1}{0.54} \right)}$$

donde:

H_p : Es la pérdida de carga en el tramo, en m.

Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en m³/s.

L : Es la longitud de la tubería en el tramo, en m.

D : Es el diámetro de la tubería en el tramo, en plgs.

C_H : Coeficiente de Hazen-Williams igual a 130 para tubería de hierro fundido, el cual se encuentra sustituido en la ecuación anterior.

Cabe mencionar que las dos fórmulas anteriores son las mismas que se explican en el método antes descrito, sólo que con distintas unidades.

- Se calcula la cota piezométrica de la columna 8, como describe el método.

- Finalmente se calcula la carga disponible de la columna 10 como la diferencia de la columna 8 y la columna 9.

-Los resultados son los siguientes, deducidos de tabla :

Q_{7-1}	=	18.23 lps.
Q_{1-2}	=	0.77 lps
Q_{1-3}	=	17.46 lps
Q_{3-4}	=	2.29 lps
Q_{4-5}	=	1.53 lps
Q_{3-6}	=	0.84 lps
Q_{3-7}	=	11.28 lps
Q_{7-8}	=	0.42 lps
Q_{7-9}	=	1.90 lps
Q_{9-10}	=	1.14 lps
Q_{10-11}	=	0.57 lps
Q_{7-12}	=	5.53 lps
Q_{12-13}	=	1.53 lps
Q_{12-14}	=	1.33 lps

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TRAMO	LONG REAL	LONG VIRTUAL	Q	Q acumulado	DIAMETRO	Hp	COTA	COTA	CARGA
	(m)	(m)	l/s	l/s	comercial	(m)	PIEZOMETRICA	TERRENO	DISPONIBLE
					mm		(m)	(m)	(m)
T-1	550			18.23	187.84	1.09	118.91	100.00	18.91
1-2	200	200	0.76	0.77	38.60	0.03	118.88	99.00	19.88
1-3	400	800	3.05	17.46	183.83	0.73	118.18	103.00	15.18
3-4	200	200	0.76	2.29	66.58	0.25	117.93	98.00	19.93
4-5	400	400	1.53	1.53	54.42	0.24	117.69	97.50	20.19
3-6	220	220	0.84	0.84	40.32	0.04	118.14	104.00	14.14
3-7	450	900	3.43	11.28	147.76	1.49	116.69	101.00	15.69
7-8	110	110	0.42	0.42	28.51	0.01	116.68	102.00	14.68
7-9	200	200	0.76	1.90	60.64	0.18	116.51	99.00	17.51
9-10	150	150	0.57	1.14	46.97	0.05	116.46	98.00	18.46
10-11	150	150	0.57	0.57	33.21	0.01	116.45	99.00	17.45
7-12	350	700	2.67	5.53	103.46	0.75	115.94	103.00	12.94
12-13	400	400	1.53	1.53	54.42	0.24	115.70	106.00	9.70
12-14	350	350	1.33	1.33	50.74	0.16	115.78	98.00	17.78
		LVT=4780							

TABLA DEL PROBLEMA 4.8

IV.4.- REDES CERRADAS.

Las redes de distribución de agua urbanas forman ramificaciones complicadas, que se cierran formando mallas, de manera que el agua en un punto puede venir por dos direcciones distintas, lo que presenta la ventaja de no interrumpir el suministro, aún en el caso de reparaciones. Los esquemas de la figura 4.7 representan las redes de distribución.

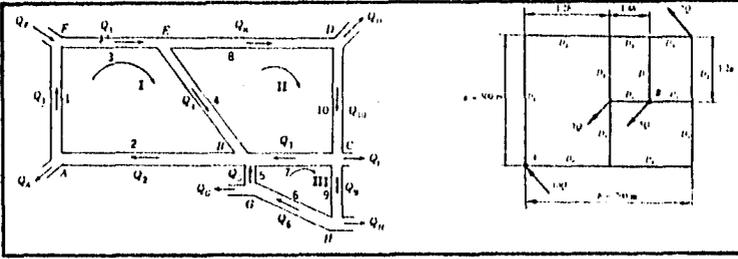


Fig. 4.8 Redes cerradas.

Al igual que en los sistemas de conducción presentados anteriormente la redes cerradas presentan dos tipos de problemas; los de revisión y los de diseño, su cálculo es laborioso y se puede hacer por varios métodos de solución; pero el que se considera aquí por ser uno de los más sencillos y fácil de aplicar, es el método de aproximaciones sucesivas introducido por Hardy Cross, en el cual se han de cumplir las tres leyes siguientes:

1.- Ley de pérdida de carga. En cada tubería se ha de cumplir la ecuación:

$$H_f = K_T \frac{V^2}{2g} \quad (4.39)$$

en donde:

H_f : Es la pérdida total de carga.

K_T : Es el coeficiente total de pérdida de carga.

es decir:

$$K_T = k_{L1} + k_{L2} + \dots + k_n + f_1 \frac{L_1}{D_1} + f_2 \frac{L_2}{D_2} + \dots + f_n \frac{L_n}{D_n} \quad (4.40)$$

en donde:

$k_{L1}, k_{L2}, \dots, k_{Ln}$: Son los coeficientes de pérdidas locales.

f_1, f_2, \dots, f_n : Son los coeficientes de pérdidas por fricción en las tuberías de diámetro D_1, D_2, D_n respectivamente.

Considerando únicamente pérdidas por fricción en la ecuación 4.39:

$$H_f = K_T \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4.41)$$

y para un conducto de sección transversal circular, la carga de velocidad vale:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \quad (4.42)$$

que sustituyendo dicha carga de velocidad en la ecuación 4.41:

$$H_r = K_r \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} = f \frac{L}{D} \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \quad (4.43)$$

y considerando:

$$\beta = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \quad (4.44)$$

entonces la ley de pérdida de carga de la tubería, será:

$$H_r = \beta Q^2 \quad (4.45)$$

En la práctica β se supone constante en todo el cálculo, pero en realidad β depende de K_r que es función del coeficiente f y que a su vez depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa ϵ/D .

En los problemas de redes de tuberías se suelen despreciar las pérdidas locales en los nudos mismos, pero se toman en cuenta las restantes pérdidas secundarias en forma de longitud equivalente.

La ecuación de las pérdidas por fricción puede escribirse de la siguiente forma:

$$\frac{H_r}{L} = \frac{R_r Q^n}{D^m} \quad (4.46)$$

en donde:

$$R_r = \frac{8f}{g\pi^2}$$

siendo:

$n=2$ y $m=5$

R_r : Es un coeficiente de rozamiento que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. En la práctica se utiliza un valor de f medio, con lo cual R_r es constante.

En el cálculo de redes de tuberías de agua a temperaturas normales, se puede emplear la fórmula de Hazen -Williams, es decir la ecuación 4.46, haciendo:

$$R_r = \frac{10.675}{C^n} \quad (4.47)$$

en donde

$n=1.852$ y $m=4.8704$ (Unidades en el sistema internacional).

El coeficiente C se toma de la tabla 4.1.

MATERIAL	C
Acero corrugado.	60
Acero galvanizado.	125
Fierro fundido (nuevo).	130
Plástico.	150
Asbesto cemento (nuevo).	135
Cobre y latón.	130
Conductos con acabado interior de cemento pulido.	100
Concreto, acabado liso.	130
Concreto, acabado común.	120

Tabla 4.1 Coeficiente C de la fórmula de Hazen-Williams de materiales comunes.

2.- Ley de los Nudos. El caudal que entra a un nudo debe igualar a la suma de los caudales que salen por el nudo.

$$\Sigma Q = 0 \quad (4.48)$$

Si esta ley no se cumpliera, habría en el nudo un consumo o un suministro del fluido.

3.- Ley de los Circuitos. La suma algebraica de las pérdidas de carga en un circuito ha de ser igual a cero.

$$\Sigma H_p = 0 \quad (4.49)$$

Si esta ley no se cumple en el nudo de partida utilizado para recorrer el circuito, habría presiones distintas.

IV.4.1.-METODO DE HARDY CROSS PARA PROBLEMAS DE REVISIÓN.

El Problema se presenta como sigue:

Conocidos la longitud, diámetros y rugosidades de los tubos y gastos que entran o salen de la red, se desea conocer : los gastos de todos los tramos y las cargas de presión en los nudos de la red

La secuencia de pasos para resolver este tipo de problemas es la siguiente:

- 1.- Dividir la red en circuitos elementales.
- 2.- En base a los datos conocidos se calculan las constantes β .
- 3.- Sobre un croquis de la red se hace una posible distribución de los gastos, dibujando con flechas sus respectivos sentidos.
- 4.- Se escribe para la tubería N° 1 la ley de pérdida de carga como:

$$Hr_1 = \beta_1 Q_1^2 \quad (4.50)$$

donde:

Hr_1 : Es la pérdida de carga en la tubería N° 1, primera aproximación.

β_1 : Es la constante para la tubería N° 1.

Q_1 : Es el gasto o caudal en la tubería N°1, primera aproximación.

Y se hacen los mismos cálculos para el resto de los tubos de la red.

- 5.- Se escribe la suma de las pérdidas de carga para cada circuito en la forma:

$$\Sigma H'r = \Sigma \beta Q'^2 \quad (4.51)$$

donde:

$\Sigma H'r$: es una suma algebraica. Se escoge un sentido como positivo, por ejemplo el de las agujas del reloj; las pérdidas correspondientes a los caudales cuyo sentido coincide con el elegido, serán positivos y los correspondientes a los caudales que circulan en sentido contrario serán negativos.

Normalmente en esta primera aproximación, la tercera ley de los circuitos no se cumplirá.

- 6.- Se corrige el gasto de todas las tuberías en un ΔQ igual para todas, para conseguir que se cumpla la tercera ley. Así por ejemplo, para la primera tubería, se tendría que:

$$Q''_1 = Q'_1 + \Delta Q \quad (4.52)$$

donde:

Q''_1 : Es el gasto en la primera tubería, segunda aproximación.

Por lo tanto, para cada tubería en virtud de las ecuaciones 4.50 y 4.52, se tendrá para la segunda aproximación:

$$H''r = \beta Q''^2 = \beta (Q' + \Delta Q)^2$$

despreciando el término ΔQ^2 , se tiene:

$$H''_T = \beta (Q'^2 + 2Q'\Delta Q)$$

y en virtud de la ley de los circuitos:

$$\Sigma H''_T = \Sigma \beta (Q'^2 + 2Q'\Delta Q)$$

$$\Sigma H''_T = \Sigma \beta Q'^2 + 2Q'\Delta \Sigma \beta Q' = 0 \quad (4.53)$$

despejando a ΔQ como factor común por ser igual para todas las tuberías del circuito se tiene finalmente:

$$\Delta Q = -\frac{\Sigma \beta Q'^2}{2 \Sigma |\beta Q'|} \quad (4.54)$$

o bien utilizando la ecuación 4.51:

$$\Delta Q = -\frac{\Sigma H_T}{2 \Sigma \left| \frac{H_T}{Q} \right|} \quad (4.55)$$

En la ecuación 4.54, el numerador es una suma algebraica y el denominador una suma aritmética. De esta manera si ΔQ resulta positivo, tendrá la corrección el mismo sentido de las agujas del reloj. Siempre se sumara ΔQ con su signo (positivo o negativo) a Q' para obtener Q'' en cada tubo.

En tubos que pertenecen a dos circuitos, se debe sumar la corrección que resulte del siguiente circuito, con signo contrario.

7.- Se hace la suma de los gastos estimados más las correcciones y se realiza otra etapa de la misma forma.

8.- El cálculo finaliza cuando las correcciones ΔQ alcanzan el grado de corrección deseado.

IV.4.2.- METODO DE HARDY CROSS PARA PROBLEMAS DE DISEÑO.

Este método permite calcular los diámetros en una red de distribución utilizando un proceso de distribución de gastos en dicha red. Se aplican correcciones sucesivas a gastos o cargas hasta que la red de distribución sea balanceada hidráulicamente. De lo anterior se desprenden dos formas de aplicación:

- 1.- Método de balanceo de cargas por corrección de gastos.
- 2.- Método de balanceo de gastos por corrección de cargas.

Por simplicidad sólo se expondrá el primer método para el presente trabajo

La secuencia de pasos para resolver este tipo de problemas es la siguiente:

1.- Formar y numerar circuitos, para lo anterior los circuitos se pueden considerar tramos con longitudes de 600 y 1000 m. El criterio general para seleccionarlos es que cada ramal tenga más o menos la misma área de influencia ya que son éstos los que van a alimentar a los otros.

2.- Suponer que la tubería va a trabajar sin presión, es decir, como canal, así se determina con facilidad un sentido de escurrimiento en los tramos, tomando en cuenta la topografía.

3.- Fijar los sentidos de escurrimiento, generalmente se toma como positivo cuando es igual al de las manecillas del reloj y negativo en caso contrario.

4.- Calcular el gasto que se requiere en cada tramo, para ello es necesario calcular el gasto específico que resulta de dividir el gasto máximo horario (Q_{mh}) entre la longitud total virtual de los circuitos principales con la siguiente expresión:

$$q_e = \frac{Q_{mh}}{\Sigma LVT}$$

donde:

q_e : Gasto específico, en l.p.s. por metro de tubería.

Q_{mh} : Gasto máximo horario, en l.p.s.

ΣLVT : Suma de la longitud virtual total de los circuitos principales, en m.

En redes cerradas la longitud virtual es igual a la longitud real cuando el tramo no es común a dos circuitos. Si el tramo es común a dos circuitos, la longitud virtual es igual al doble de la longitud real de ese tramo.

Una vez obtenido el gasto específico q_e , éste se multiplica por la longitud virtual de cada tramo, resultando el gasto correspondiente.

5.- Suponer que se interrumpe la circulación del fluido en uno de los tramos para formar una red abierta, con el objetivo de definir cual línea alimenta a otras. De esta manera se definen puntos en los que ya no existe posibilidad de alimentar a otros tramos. Estos puntos reciben el nombre de puntos de equilibrio.

6.- Acumular gastos en sentido contrario al escurrimiento y considerar las interrupciones supuestas partiendo de los puntos de equilibrio hasta la alimentación.

7.- Calcular el diámetro de cada tramo con la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{1935.48Q}$$

donde:

D : Es el diámetro interior del tubo en el tramo, en mm.

Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en l.p.s.

Los resultados se ajustarán a diámetros comerciales

8.- Ejecutar el cálculo hidráulico de la red. Conviene hacer uso de una tabla en la que se consideren por columnas los siguientes datos:

- a) Circuito.
- b) Tramo.
- c) Longitud real del tramo en metros (longitud).
- d) Diámetro del tubo en mm (Diámetro).
- e) Gasto inicial en l.p.s. con su signo (Q_0).
- f) Pérdida de carga en metros con su signo (H_{p0}).
- g) Relación H_0 / Q_0 .
- h) Corrección del gasto con su signo (q_0).
- i) Gasto corregido con su signo en l.p.s. (Q_1).
- j) Nueva pérdida de carga con su signo en metros (H_{p1}).
- k) Relación H_1 / Q_1 .
- l) Segunda corrección del gasto con su signo (q_1).
- m) Gasto corregido con su signo en l.p.s. (Q_2).
- n) Pérdida de carga en función del último valor adoptado por el gasto (H_p).
- o) Cota piezométrica en el final del tramo, que se obtiene restando de la carga total, la pérdida de carga final del tramo.
- p) Cota o elevación del terreno en el final del tramo; es la que nos da la topografía del terreno en cada punto de interés del tramo.
- q) Carga disponible en el final del tramo, que se obtiene restando de la cota del terreno en el final del tramo la cota piezométrica en el mismo punto.

Observaciones:

- 1.- En la solución debe tenerse presente el signo que tiene el gasto en el tramo; la pérdida de carga en este tramo llevará el mismo signo del gasto.
- 2.- Con la corrección " q_n " que se calcula para cada circuito, se corrige a todos los gastos de los tramos pertenecientes a cada circuito considerando los signos correspondientes.
- 3.- Los tramos comunes a dos circuitos, tendrán dos correcciones, una por cada circuito, debiendo considerarse lo siguiente; se respeta el signo de la corrección en el circuito en estudio pero a la corrección del circuito vecino se le cambia el signo porque proviene de gastos y pérdidas de carga con signo contrario.

Para calcular la corrección mencionada, se puede aplicar cualquiera de las dos fórmulas siguientes:

- a) Hazen-Williams.

$$q_n = \frac{\Sigma H_p}{1.852 \Sigma \left(\frac{H_p}{Q} \right)}$$

b) Darcy-Weisbach

$$q_n = \frac{\sum H_p}{2 \sum \left(\frac{H_p}{Q} \right)}$$

en donde:

- q_n : es la corrección del circuito en estudio.
 $\sum H_p$: es la suma de las pérdidas de carga el circuito en estudio, considerando los signos.
 $\sum H_p/Q$: es la suma de las relaciones H_p/Q_n en el circuito estudiado.

Si la suma de pérdidas de carga ($\sum H_p$) $\leq \pm 10$ cm, se puede considerar los circuitos ya equilibrados.

La pérdida de carga en cada tramo se puede calcular con las fórmulas siguientes:

a) Hazen-Williams.

$$H_p = \left(\frac{QL^{0.54}}{0.2785 C_H D^{2.63}} \right)^{\left(\frac{1}{0.54} \right)}$$

donde:

- H_p : Es la pérdida de carga en el tramo, en m.
 Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en m³/s.
 L : Es la longitud de la tubería en el tramo, en m.
 D : Es el diámetro de la tubería en el tramo, en m.
 C_H : Coeficiente de Hazen-Williams que depende del tipo de material de la tubería, de la tabla 3.1a.

b) Darcy-Weisbach.

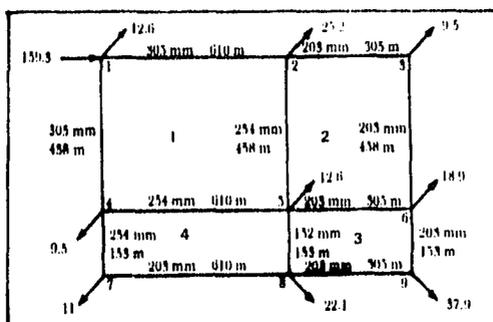
$$H_p = \frac{fLQ^2}{12.1D^5}$$

donde:

- H_p : Es la pérdida de carga en el tramo, en m.
 Q : Es el gasto acumulado en el tramo, en m³/s.
 L : Es la longitud de la tubería en el tramo, en m.
 D : Es el diámetro de la tubería en el tramo, en m.
 f : Coeficiente de pérdidas por fricción, adimensional que depende del número de Reynolds y/o del valor de la rugosidad relativa.

Problema 4.9

Determinar el gasto en cada tubo del sistema mostrado. Las tuberías son de hierro fundido; el gasto en las derivaciones se expresan en l/s.



Solución:

En la tabla de las páginas siguientes se muestra los resultados del cálculo de la red tomando en cuenta lo siguiente:

- El factor de fricción f para cada rama fue calculado con la fórmula de Nikuradse de la tabla 3.1 con respecto a sus diámetros y considerando de la tabla 3.2 $\epsilon = 0.25$ mm. (columna 5)

- El valor de β se calculó a partir de la ecuación de Darcy (columna 6):

$$\beta = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$$

- La columna 7 es la proposición de gastos inicial.

- La columna 8 es el producto de los gastos iniciales, en valor absoluto y el valor de β . (columna 6 por columna 7).

Nota: La sumatoria de ésta columna ya se encuentra multiplicada por 2

- La columna 9 se calcula como βQ por Q con su respectivo signo (columna 8 por columna 7).

- La corrección ΔQ se calcula con la expresión (columna 10):

$$\Delta Q = - \frac{\sum \beta |Q| Q}{2 \sum |\beta Q|}$$

- Esta corrección se aplica a cada uno de los gastos propuestos en la columna 7, (columna 11) sin olvidar las correcciones que existen por tramos comunes a dos circuitos.

- Se repite el procedimiento a partir de la columna 11.

- La columna 39 muestra los resultados finales:

$$Q_{1-2} = 73.38 \text{ l/s}$$

$$Q_{2-3} = 24.15 \text{ l/s}$$

$$Q_{1-4} = 73.32 \text{ l/s}$$

$$Q_{2-5} = 24.02 \text{ l/s}$$

$$Q_{3-6} = 14.65 \text{ l/s}$$

$$Q_{4-5} = 30.67 \text{ l/s}$$

$$Q_{5-6} = 25.19 \text{ l/s}$$

$$Q_{4-7} = 33.27 \text{ l/s}$$

$$Q_{5-8} = 16.73 \text{ l/s}$$

$$Q_{6-9} = 21.00 \text{ l/s}$$

$$Q_{7-8} = 22.27 \text{ l/s}$$

$$Q_{8-9} = 16.90 \text{ l/s}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CIRCUITO	RAMA	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)	f	β seg ² /m ⁵	Q m ³ /seg	βQ seg/m ²	$\beta Q Q $ m	ΔQ m ³ /seg	Q1 m ³ /seg	βQ seg/m ²	$\beta Q Q $ m	ΔQ m ³ /seg
I	1-2	0.305	610	0.0144	275.1258	0.07335	20.18048	1.48024		0.07378	20.29624	1.49756	
	2-5	0.254	450	0.0173	619.2475	0.02408	14.90638	0.35892		0.02547	15.76984	0.40160	
	5-4	0.254	610	0.0163	777.0878	-0.03193	24.80853	-0.79201		-0.02904	22.56833	-0.65543	
	4-1	0.305	458	0.0144	206.5698	-0.07335	15.15189	-1.11139		-0.07292	15.06348	-1.09846	
							150.09857	-0.06425	0.00043		147.39977	0.14527	-0.00099
II	2-3	0.203	305	0.0165	1206.2153	0.02408	29.03963	0.69913		0.02311	27.87792	0.64431	
	3-6	0.203	458	0.0183	2008.8967	0.01458	29.27967	0.42675		0.01361	27.34489	0.37222	
	6-5	0.203	305	0.0167	1220.8361	-0.02170	26.49214	-0.57488		-0.02659	32.46409	-0.86327	
	5-2	0.254	458	0.0173	619.2475	-0.02408	14.90838	-0.35892		-0.02547	15.76984	-0.40160	
							199.43966	0.19208	-0.00096		206.91348	-0.24854	0.00120
III	5-6	0.203	305	0.0167	1220.8361	0.02170	26.49214	0.57488		0.02659	32.46409	0.86327	
	6-9	0.203	153	0.0178	652.7584	0.01738	11.34168	0.19706		0.02130	13.90609	0.29625	
	9-8	0.203	305	0.0171	1250.0780	-0.02053	25.65785	-0.52663		-0.01660	20.74682	-0.34432	
	8-5	0.152	153	0.0159	2477.3760	-0.02170	53.75906	-1.16657		-0.01532	37.94506	-0.58116	
							234.50146	-0.92126	0.00393		210.12412	0.23401	-0.00111
IV	4-5	0.254	610	0.0163	777.0878	0.03193	24.80853	0.79201		0.02904	22.56833	0.65543	
	5-8	0.152	153	0.0159	2477.3760	0.02170	53.75906	1.16657		0.01532	37.94506	0.58119	
	8-7	0.203	610	0.0170	2485.5300	-0.02093	52.00972	-1.08830		-0.02338	58.11116	-1.35863	
	7-4	0.254	153	0.0163	194.9089	-0.03193	6.22247	-0.19865		-0.03438	6.70093	-0.23038	
							273.59954	0.67163	-0.00245		250.65095	-0.35238	0.00141

TABLA DEL PROBLEMA 4 9

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Q2	βQ	βIQ	ΔQ	Q3	βQ	βIQ	ΔQ	Q4	βQ	βIQ	ΔQ	Q5
m3/seg	seg/m2	m	m3/seg	m3/seg	seg/m2	m	m3/seg	m3/seg	seg/m2	m	m3/seg	m3/seg
0 07279	20 02709	1 45782		0 07349	20 21771	1 48570		0 07321	20 14227	1 47464		0 07342
0 02328	14 41630	0 33562		0 02445	15 14113	0 37021		0 02382	14 74741	0 35121		0 02417
-0 03143	24 42665	-0 76782		-0 03019	23 45711	-0 70807		-0 03088	23 99874	-0 74115		-0 03051
-0 07391	15 26706	-1 12835		-0 07321	15 12394	-1 10729		-0 07349	15 18058	-1 11560		-0 07328
	148 27422	-0 10273	0 00069		147 87978	0 04055	-0 00027		148 13801	-0 03051	0 00021	
0 02431	29 32566	0 71297		0 02383	28 74950	0 68523		0 02420	29 18566	0 70618		0 02405
0 01481	29 75603	0 44075		0 01433	28 79646	0 41278		0 01470	29 52288	0 43387		0 01455
-0 02428	29 63918	-0 71957		-0 02565	31 31040	-0 80301		-0 02494	30 44572	-0 75927		-0 02535
-0 02328	14 41630	-0 33562		-0 02445	15 14113	-0 37021		-0 02382	14 74741	-0 35121		-0 02417
	206 27436	0 09853	-0 00048		207 99498	-0 07521	0 00036		207 80335	0 02957	-0 00014	
0 03428	29 63918	0 71957		0 02565	31 31040	0 80301		0 02494	30 44572	0 75927		0 02535
0 02019	13 17913	0 26609		0 02108	13 76090	0 29010		0 02073	13 53451	0 28063		0 02100
-0 01771	22 13901	-0 39208		-0 01682	21 02487	-0 35361		-0 01717	21 45823	-0 36834		-0 01690
-0 01784	44 18689	-0 78812		-0 01639	40 60441	-0 66551		-0 01718	42 51067	-0 72946		-0 01673
	218 28842	-0 19455	0 00089		213 40117	0 07398	-0 00035		215 89847	-0 05790	0 00027	
0 03143	24 42665	0 76782		0 03019	23 45711	0 70807		0 03088	23 99874	0 74115		0 03051
0 01784	44 18689	0 78812		0 01639	40 60441	0 66551		0 01716	42 51067	0 72946		0 01673
-0 02197	54 61687	-1 20015		-0 02253	55 99590	-1 26152		-0 02211	54 94503	-1 21461		-0 02227
-0 03297	6 42691	-0 21192		-0 03353	6 53505	-0 21911		-0 03311	6 45255	-0 21362		-0 03327
	259 31465	0 14387	-0 00055		253 18496	-0 10705	0 00042		255 81417	0 04238	-0 00017	

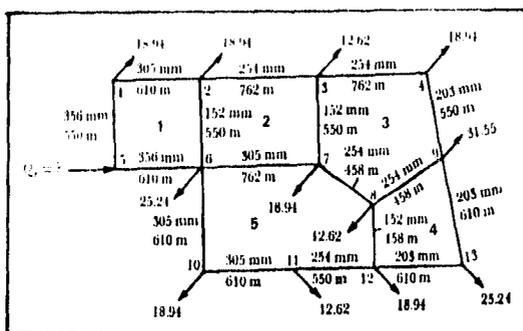
TABLA DEL PROBLEMA 4.9

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
βQ	$\beta IQIQ$	ΔQ	Q6	βQ	$\beta IQIQ$	ΔQ	Q7	βQ	$\beta IQIQ$	ΔQ	Q8
seg/m ²	m	m ³ /seg	m ³ /seg	seg/m ²	m	m ³ /seg	m ³ /seg	seg/m ²	m	m ³ /seg	m ³ /seg
20.19967	1.48305		0.07334	20.17714	1.47975		0.07340	20.19443	1.48229		0.07338
14.96473	0.36164		0.02398	14.84654	0.35595		0.02408	14.91189	0.35909		0.02402
23.70787	-0.72329		-0.03072	23.87037	-0.73324		-0.03061	23.78286	-0.72788		-0.03067
15.13749	-1.10928		-0.07336	15.15440	-1.11176		-0.07330	15.14142	-1.10986		-0.07332
148.01950	0.01212	-0.00008		148.09691	-0.00931	0.00006		148.06119	0.00364	-0.00002	
29.01402	0.69790		0.02416	29.14547	0.70423		0.02412	29.09398	0.70175		0.02415
29.23702	0.42551		0.01466	29.45593	0.43190		0.01462	29.37019	0.42939		0.01465
30.94688	-0.78447		-0.02514	30.68604	-0.77130		-0.02526	30.83671	-0.77889		-0.02519
14.96473	-0.36164		-0.02398	14.84654	-0.35595		-0.02408	14.91189	-0.35909		-0.02402
208.32528	-0.02270	0.00011		208.26796	0.00889	-0.00004		208.42554	-0.00684	0.00003	
30.94688	0.78447		0.02514	30.68604	0.77130		0.02526	30.83671	0.77889		0.02519
13.70968	0.28794		0.02090	13.64135	0.28508		0.02098	13.69405	0.28728		0.02095
21.12296	-0.35692		-0.01700	21.25362	-0.36136		-0.01692	21.15289	-0.35793		-0.01695
41.43579	-0.69304		-0.01696	42.01035	-0.71239		-0.01683	41.68702	-0.70147		-0.01690
214.43062	0.02245	-0.00010		215.18312	-0.01737	0.00008		214.74135	0.00677	-0.00003	
23.70787	0.72329		0.03072	23.87037	0.73324		0.03061	23.78286	0.72788		0.03067
41.43579	0.69304		0.01696	42.01035	0.71239		0.01683	41.68702	0.70147		0.01690
55.35682	-1.23289		-0.02214	55.04056	-1.21884		-0.02219	55.16428	-1.22433		-0.02216
6.48494	-0.21576		-0.03314	6.48014	-0.21412		-0.03319	6.46984	-0.21476		-0.03316
253.97083	-0.03232	0.00013		254.76283	0.01268	-0.00005		254.20600	-0.00974	0.00004	

TABLA DEL PROBLEMA 4.9

Problema 4.10

Determinar el gasto en cada tubo (de la red mostrada) donde las tuberías son nuevas de hierro fundido. El gasto en las derivaciones se expresa en l/s.



Solución:

- Se consideró $\epsilon=0.25$ mm.

- En la tabla de las páginas siguientes se presentan los gastos que se calcularon con el programa incluido en ésta tesis, el número que se encuentra junto al gasto indica el número de iteración.

- Cabe mencionar que durante el cálculo de la solución de éste problema el valor de las correcciones oscilaba, por lo que fue necesario tomar como valores correctos de los gastos, aquellos en donde la pérdida de carga en el circuito se acercaban a cero, como lo muestra la tabla.

- La distribución de gastos finales es la siguiente:

$$Q_{1-2} = 69.47 \text{ l/s}$$

$$Q_{2-3} = 43.89 \text{ l/s}$$

$$Q_{3-4} = 33.25 \text{ l/s}$$

$$Q_{4-9} = 14.31 \text{ l/s}$$

$$Q_{5-1} = 88.41 \text{ l/s}$$

$$Q_{5-6} = 14.12 \text{ l/s}$$

$$Q_{2-6} = 6.64 \text{ l/s}$$

$$Q_{6-7} = 63.17 \text{ l/s}$$

$$Q_{7-3} = 1.98 \text{ l/s}$$

$$Q_{7-8} = 42.25 \text{ l/s}$$

$$Q_{8-9} = 28.34 \text{ l/s}$$

$$Q_{6-10} = 63.35 \text{ l/s}$$

$$Q_{10-11} = 44.41 \text{ l/s}$$

$$Q_{11-12} = 31.79 \text{ l/s}$$

$$Q_{8-12} = 1.29 \text{ l/s}$$

$$Q_{12-13} = 14.14 \text{ l/s}$$

$$Q_{9-13} = 11.10 \text{ l/s}$$

CIRCUITO	RAMA	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)	Q (l/seg)	Q1 (l/seg)	Q5 (l/seg)	Q10 (l/seg)	Q15 (l/seg)	Q20 (l/seg)	Q25 (l/seg)
I	1-2	0.305	610	97.82500	77.72	66.94	64.13	70.21	73.47	72.32
	2-6	0.152	550	39.44250	2.60	7.76	3.00	7.67	9.31	6.16
	6-5	0.356	610	-116.76500	-136.87	-147.65	-150.46	-144.38	-141.12	-142.27
	5-1	0.356	550	116.76500	96.66	85.88	83.07	89.15	92.41	91.25
Hp=					0.163	-1.241	0.278	1.119	0.295	
II	2-3	0.254	762	39.44250	56.18	40.24	42.19	43.60	45.21	47.22
	3-7	0.152	550	1.00000	11.20	-7.34	0.24	1.69	0.33	-0.27
	7-6	0.305	762	-65.48375	-47.93	-66.57	-63.44	-61.66	-60.83	-60.26
	6-2	0.152	550	-39.44250	-2.60	-7.76	-3.00	-7.67	-9.31	-6.16
Hp=					-1.685	0.155	-0.209	-0.381	0.557	
III	3-4	0.254	762	25.82250	32.36	34.96	29.33	29.29	32.26	34.87
	4-9	0.203	550	6.88250	13.42	16.02	10.39	10.35	13.32	15.93
	9-8	0.254	458	-34.92375	-25.87	-27.15	-30.56	-27.97	-25.83	-25.76
	8-7	0.254	458	-47.54375	-40.19	-40.29	-44.74	-44.41	-42.23	-41.05
7-3	0.152	550	-1.00000	-11.20	7.34	-0.24	-1.69	-0.33	0.27	
Hp=					1.244	-0.865	-0.765	-0.035	0.510	
IV	8-9	0.254	458	34.92375	25.87	27.15	30.56	27.97	25.83	25.76
	9-13	0.203	610	10.25625	7.74	11.62	9.40	6.77	7.60	10.15
	13-12	0.203	610	-14.98375	-17.50	-13.62	-15.84	-18.47	-17.64	-15.09
	12-8	0.152	458	0.00000	-1.71	-0.52	-1.57	-3.81	-3.77	-2.66
Hp=					0.411	0.166	-0.533	-0.480	0.027	
V	6-7	0.305	762	65.48375	47.93	66.57	63.44	61.66	60.83	60.26
	7-8	0.254	458	47.54375	40.19	40.29	44.74	44.41	42.23	41.05
	8-12	0.152	458	0.00000	1.71	0.52	1.57	3.81	3.77	2.66
	12-11	0.254	550	-33.92375	-34.74	-32.04	-33.22	-33.59	-32.81	-31.37
	11-10	0.305	610	-46.54375	-47.36	-44.66	-45.84	-46.21	-45.43	-43.99
10-6	0.305	610	-65.48375	-66.30	-63.60	-64.78	-65.15	-64.37	-62.93	
Hp=					0.105	0.041	-0.019	-0.103	-0.081	

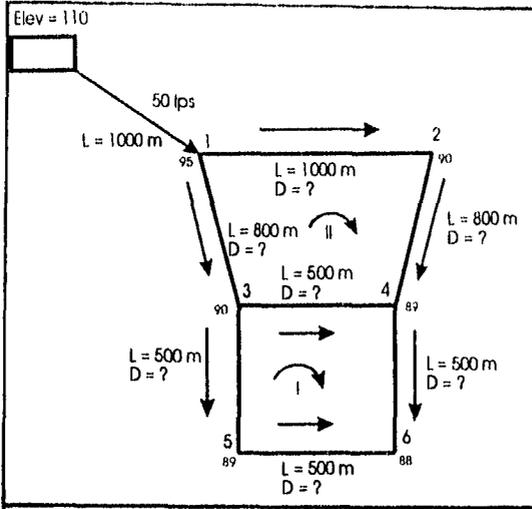
TABLA DEL PROBLEMA 4.10

Q30	Q35	Q40	Q41	Q42	Q45	Q49	Q50	Q100
(l/seg)								
70.40	69.40	69.41	69.47	69.53	69.64	69.44	69.32	71.95
3.64	3.88	6.12	6.64	7.13	8.33	8.89	8.82	7.01
-144.19	-145.19	-145.18	-145.12	-14.06	-144.95	-145.15	-145.27	-142.64
89.34	88.34	88.35	88.41	88.47	88.58	88.38	88.26	90.89
-0.311	-0.428	-0.125	-0.027	0.074	0.339	0.441	0.409	
47.82	46.59	44.35	43.89	43.46	42.37	41.61	41.55	46.00
-0.56	-1.09	-1.84	-1.98	-2.09	-2.26	-2.02	-1.89	-0.77
-60.47	-61.49	-62.91	-63.17	-63.41	-63.93	-64.05	-63.98	-61.48
-3.64	-3.88	-6.12	-6.64	-7.13	-8.33	-8.89	-8.82	-7.01
0.946	0.696	0.005	-0.161	-0.326	-0.743	-0.950	-0.930	
35.75	35.06	33.57	33.25	32.93	32.02	31.02	30.82	34.14
18.81	16.12	14.63	14.31	13.99	13.08	12.08	11.88	15.20
-26.91	-28.03	-28.37	-28.34	-28.28	-27.97	-27.45	-27.33	-27.03
-40.98	-41.46	-42.12	-42.25	-42.38	-42.72	-43.08	-43.16	-41.77
0.56	1.09	1.84	1.98	2.09	2.26	2.02	1.89	0.77
0.639	0.436	0.136	0.079	0.024	-0.128	-0.303	-0.340	
26.91	28.03	28.37	28.34	28.28	27.97	27.45	27.33	27.03
12.17	12.60	11.46	11.10	10.72	9.50	7.98	7.66	10.68
-13.07	-12.64	-13.78	-14.14	-14.52	-15.74	-17.26	-17.58	-14.56
-1.45	-0.81	-1.13	-1.29	-1.48	-2.13	-3.01	-3.21	-2.12
0.474	0.611	0.426	0.360	0.287	0.040	-0.291	-0.364	
60.47	61.49	62.91	63.17	63.41	63.93	64.05	63.98	61.48
40.98	41.46	42.12	42.25	42.38	42.72	43.08	43.16	41.77
1.45	0.81	1.13	1.29	1.48	2.13	3.01	3.21	2.12
-30.56	-30.77	-31.59	-31.79	-31.98	-32.55	-33.19	-33.31	-44.00
-43.18	-43.39	-44.21	-44.41	-44.60	-45.17	-45.81	-45.93	-31.39
-62.12	-62.33	-63.15	-63.35	-63.54	-64.11	-64.75	-64.87	-62.94
-0.010	0.039	0.059	0.060	0.061	0.059	0.045	0.039	

TABLA DEL PROBLEMA 4 10

Problema 4.11

En el problema de la figura mostrada calcular el diámetro de la red con el método de Hardy Cross, así como la distribución de gastos



Solución :

En la tabla se muestra el cálculo de la red tomando en cuenta lo siguiente:

- Se calcula el gasto específico como:

$$q_v = \frac{Q_{nh}}{\sum LVT}$$

$$q_v = \frac{50}{6100} = 0.008196721 \frac{lps}{m}$$

- El gasto en el tramo (columna 5) se calcula como q_v por su respectiva longitud virtual.

- El diámetro de la columna 7 se calcula con la ecuación:

$$D = \sqrt[3]{3Q}$$

éste diámetro como lo indica dicha columna se encuentra en pulgadas por facilidad, ya que se ajusta a diámetros comerciales. 3 es el factor de conversión del sistema métrico al sistema inglés.

- La columna 8 se calcula:

$$H_p = \left(\frac{0.433 \times Q \times L^{3.25}}{D^{5.75}} \right)^{\frac{1}{0.94}}$$

en donde:

H_p : m
 Q : lps
 L : m.
 D : plgs.

- Las correcciones para cada circuito se calculan (columna 10).

$$C = - \frac{\sum H_p}{1.85 \sum \left(\frac{H_p}{Q} \right)}$$

- Estas correcciones se suman a los gastos de la columna 6, con su respectivo signo, sin olvidar la corrección para tramos comunes a dos circuitos(columna 11) .

- El procedimiento se repite a partir de la columna 12 hasta la 17.

- La $\sum H_p$ de la columna 16 está dentro del rango de los 10 cm de tolerancia que indica el método por lo que se considera que los puntos están equilibrados. Por ésta razón termina el cálculo en la columna 17.

- De la columna 20 se puede ver que la carga de 13.31 m.c.a., cumple con la carga mínima que es de 10 m.c.a. Y la carga de 15.78 m.c.a. no sobrepasa la carga máxima de 50 m.c.a.

- Los resultados son los siguientes:

$D_{1,1} = 12''$	$Q_{1,1} = 50$ lps
$D_{1,2} = 8''$	$Q_{1,2} = 25.57$ lps
$D_{2,3} = 8''$	$Q_{2,3} = 17.37$ lps
$D_{4,3} = 6''$	$Q_{4,3} = 13.72$ lps
$D_{1,4} = 8''$	$Q_{1,4} = 24.45$ lps
$D_{3,5} = 4''$	$Q_{3,5} = 4.03$ lps
$D_{6,5} = 4''$	$Q_{6,5} = 4.17$ lps
$D_{4,6} = 5''$	$Q_{4,6} = 8.27$ lps

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Q1	Hp1	H/Q	CORRECCION	Q2	Hp2	H/Q	COTA	COTA	CARGA
l/s	(m)			l/s	(m)		PIEZOMETRICA	TERRENO	DISPONIBLE
							(m)	(m)	(m)
					1.65		108.35	95.00	13.35
25.54	3.42	0.13	0.03	25.57	3.43	0.13	104.92	90.00	14.92
17.34	1.34	0.08	0.03	17.37	1.34	0.08	103.58	89.00	14.58
-13.94	-2.26	0.16	0.22	-13.72	-2.20	0.16	105.78	90.00	15.78
-24.48	-2.53	0.10	0.03	-24.45	-2.53	0.10	108.31	85.00	13.31
	-0.03	0.47			0.04	0.47			
4.22	1.78	0.42	-0.19	4.03	1.64	0.41	101.94	88.00	13.94
-3.98	-1.60	0.40	-0.19	-4.17	-1.75	0.42	103.69	89.00	14.69
-8.08	-2.00	0.25	-0.19	-8.27	-2.09	0.25	105.78	90.00	15.78
13.94	2.26	0.16	-0.22	13.72	2.20	0.16	103.58	89.00	14.58
	0.44	1.23			0.00	1.24			

TABLA DEL PROBLEMA 4.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CIRCUITO	TRAMO	LONG. REAL (m)	LONG. VIRTUAL (m)	Q l/s	Q acumulado l/s	DIAMETRO comercial pigs	Hp (m)	H/Q	CORRECCION
	T-1	1000		50.00	50.00	12.00	1.65	0.03	
I	1-2	1000	1000	8.20	27.06	8.00	3.81	0.14	-1.52
	2-3	800	800	6.56	18.86	8.00	1.56	0.08	-1.52
	3-4	500	1000	8.20	-12.30	6.00	-1.80	0.15	-1.64
	4-1	800	800	6.56	-22.96	8.00	-2.25	0.10	-1.52
							1.32	0.47	
II	3-5	500	500	4.10	4.10	4.00	1.69	0.41	0.12
	5-6	500	500	4.10	-4.10	4.00	-1.69	0.41	0.12
	6-4	500	500	4.10	-8.20	5.00	2.06	0.25	0.12
	4-3	500	1000	8.20	12.30	6.00	1.80	0.15	1.64
			LVT=6100				-0.26	1.22	

TABLA DEL PROBLEMA 4.11

IV.5.- DIÁMETRO ECONÓMICO.

En la planeación de cualquier proyecto, el proyectista debe considerar no sólo aspectos técnicos sino también el económico. La mayoría de los proyectos pueden separarse y estudiarse en forma individual. Un ejemplo de elección para un sistema de distribución es satisfacer la demanda máxima horaria sólo con bombas y la alternativa es hacerlo con bombas y depósitos reguladores.

Aún existiendo expresiones empíricas o basadas en la experiencia, para calcular el diámetro económico en una tubería a presión, es conveniente determinarlo mediante un análisis económico.

El problema, generalmente esta relacionado con un aprovechamiento hidroeléctrico o una estación de bombeo, por lo cual deberá considerarse el costo de la energía no generada o el adicional de la potencia de bombeo, respectivamente, causados por las pérdidas de carga en la conducción.

Para ambos casos es, más económico diseñar la conducción variando los diámetros internos y los espesores por tramo, que considerar una solución de diámetro y espesor constantes.

El procedimiento general es el siguiente:

- 1.- Elegir un horizonte de planeación. Se sugiere un lapso de 30 a 50 años.
- 2.- Dividir la longitud total de la conducción en varios tramos. La longitud de cada uno depende de la longitud total de la tubería y de la presión en cada tramo, por lo que puede variar desde 100 ó 200 hasta varios kilómetros.
- 3.- Escoger un diámetro inicial para cada tramo .
 - Para proyectos hidroeléctricos se debe ir disminuyendo el diámetro.
 - Para plantas de bombeo se deben ir aumentando los diámetros.
- 4.- Determinar la distribución de cargas piezométricas en la conducción.
- 5.- Calcular el espesor de la tubería en cada tramo con la expresión:

$$e = \frac{(P_H + P_G)}{2\sigma} FS$$

en donde.

- e : Espesor de la tubería, en mm.
- P_H : Presión hidrostática máxima en cada tramo, en kg/cm².
- P_G : Sobrepresión máxima en cada tramo, debida al golpe de ariete, en kg/cm².
- D : Diámetro interno del tubo, en mm.
- σ : Esfuerzo de trabajo del material de la tubería, en kg/cm².
- FS : Factor de seguridad que toma en cuenta las solicitaciones de desgaste y el desgaste por corrosión. Se recomienda FS=2.

Es necesario considerar un espesor mínimo para que la tubería vacía pueda sustentarse sin necesidad de refuerzos externos; el espesor mínimo se calcula como.

$$C_1 = \frac{702000}{400} \text{ (USD)}$$

- 6.- Calcular el costo de la tubería instalada (C_1)
 - Calcular el volumen y el peso de la tubería. ($\gamma_{acero} = 7800 \text{ kg/m}^3$).
 - Multiplicar el peso por el costo unitario.

7.- Para una central hidroeléctrica, el costo de la energía no generada se calcula por pérdidas de carga mediante la expresión:

$$C_{EP} = E_p \cdot C_1$$

en donde:

- E_p : $9.81 Q \Delta H \eta h f_p$
 C_{EP} : Costo de la energía no generada, en \$/año.
 E_p : Energía pérdida o no generada, en KWH/año.
 C_1 : Costo de la energía, en \$/KWH.
 Q : Gasto, en m^3/s .
 ΔH : Pérdida total de carga, en m. (Calculadas en el paso 4).
 η : Eficiencia del conjunto turbina-generador-transformador, adimensional.
 h : Número de horas en un año. (8760 h).
 f_p : Factor de planta, adimensional. Relación entre la potencia media anual y la potencia máxima instalada.

8.- Para una estación de bombeo se calcula,

a) La potencia necesaria de bombeo como:

$$P = \frac{9.81 Q \Delta H}{\eta}$$

en donde

- P : Potencia necesaria, en Kw.
 Q : Gasto, en m^3/s .
 ΔH : Pérdida de carga, en m.
 η : eficiencia de la bomba, adimensional.

Con la potencia se calcula:

b) el costo de la bomba instalada como:

$$C_B = P C_2$$

donde:

- C_B : Costo de la bomba instalada, en \$.
 C_2 : Costo unitario de la bomba, en \$/Kw.

c) Costo de demanda de energía.

Este se origina por la capacidad reservada que debe existir en la planta que

suministra la energía (aunque la bomba no este funcionando para surtir una demanda de energía) apenas lo solicite la estación de bombeo.

$$C_D = P C_3$$

en donde:

C_D : Costo de demanda de energía, en \$.

C_3 : Costo unitario por demanda de energía, en \$/Kw.

d) Costo por consumo de energía.

$$C_c = P f_p C_1$$

en donde:

C_c : Costo por consumo de energía, en \$.

P : Potencia necesaria, en Kw.

f_p : Factor de planta de la estación de bombeo, adimensional.

C_1 : Costo de la energía, en \$/Kw.

9.- Actualizar los costos del análisis al año, considerando como la fecha en la que la central hidroeléctrica o la estación de bombeo entra en operación.

a) Para una estación hidroeléctrica, deberá actualizarse el costo de la energía no generada E_p , con una o dos tasas de interés. En caso de que la construcción de la conducción no sea breve, también deberá actualizarse el costo de la tubería.

b) En una estación de bombeo se pondrán al día los costos de demanda de energía C_D y de consumo C_c . Si el período de construcción no es breve, deberán actualizarse los costos de la bomba C_b y el de la tubería C_T , también con una o dos tasas de interés.

En general, la tasa de interés deberá incluir la de interés anual, la de cargos fijos, la de interés en el período de construcción, etc.

10.- Obtener el costo total en valor presente como:

Para proyecto hidroeléctrico; Costo total = Costo de la tubería, actualizado o no, + Costo actualizado de la energía no generada.

$$\text{Costo total} = C_T + C_{EP}$$

Para sistema de bombeo; Costo de la tubería, actualizado o no, + costo por consumo de energía + costo por demanda de energía + costo de la bomba.

$$\text{Costo total} = C_T + C_c + C_D + C_b$$

11.- Seleccionar otra combinación de diámetros y repetir los pasos 6 a 10.

12.- Cuando únicamente se consideren diámetros comerciales, se escogerá el que corresponda a la alternativa de menor valor presente. En el caso de diámetros especiales, debe construirse una gráfica de costos en valor presente contra diámetros y obtener el diámetro más económico con respecto al valor presente menor.

A continuación se mencionan algunas de las expresiones para el cálculo del diámetro económico

-En una estación hidroeléctrica, cuya tubería tiene varios tramos de diámetro y longitud variables, el diámetro económico en cada tramo se puede calcular de un modo aproximado por las fórmulas de Bundschu

$$D = \sqrt[7]{0.052 Q_s^2}$$

Para $H_M \leq 100$ m

donde:

$$H_M = H + 15 \text{ a } 20$$

siendo H_M la carga que depende de la carga bruta o total.

O bien:

$$D = \sqrt[7]{0.052 Q_s^2 \frac{100}{H_M}}$$

donde:

$$H_M = 1.1H + 20$$

Para las expresiones anteriores todas las cargas están en metros y Q_s es el gasto máximo alimentado a las turbinas en m^3/seg .

-En el caso de una instalación de bombeo se puede admitir en forma aproximada que el costo de un conducto es C_1DL , donde C_1 es el costo por unidad de diámetro y longitud.

El costo de la instalación es C_2P , donde C_2 es el costo por unidad de potencia (CV) instalada y dicha potencia P .

El costo total del sistema será:

$$C = C_1DL + C_2P$$

y el diámetro se calcula con la ecuación de Bresse, válida cuando la operación de bombeo es continua:

$$D = K\sqrt[6]{Q}$$

$$K = \sqrt[6]{k_1 \frac{C_2}{C_1} \frac{\gamma}{\eta} f}$$

en donde:

K : Es una constante que vale aproximadamente 1.20

Q : Es el gasto.

- Si la operación es intermitente, se puede emplear la fórmula empírica de Marquardt

$$D = \sqrt[4]{\beta K \sqrt{Q}}$$

en donde:

K : Es el coeficiente de Bresse.

D : Diámetro económico, en m.

Q : Gasto, en m³/seg.

β : N° de horas diarias de servicio real / 24.

Otro de los criterios que se utilizan para calcular el diámetro económico consiste en especificar la velocidad media más económica en el tubo, de acuerdo a la tabla 4.2 se puede conocer dicha velocidad.

Tuberías de succión en bombas centrífugas, de acuerdo con la carga de succión, longitud, temperatura del agua (< 70°C)	0.5 a 1
Tuberías de descarga en bombas	1.5 a 2
Redes de distribución para agua potable e industrial	
Tuberías principales	1 a 2
Tuberías laterales	0.5 a 0.7
Tuberías muy largas	1.5 a 3
Tuberías en instalaciones hidroeléctricas con turbinas	
Con inclinación y diámetro pequeño	2 a 4
Con inclinación y diámetro grande	3,6 a 8
Horizontales y gran longitud	1 a 3

Tabla 4.2 Velocidad media más económica en tuberías en m/seg, según Richter.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

V.- CONCLUSIONES

Aunque muchas de las fórmulas presentadas en ésta tesis se pueden utilizar para calcular el factor de " f " fricción en régimen turbulento o de transición, y tuberías lisas o rugosas, la fórmula de Swnee y Jain es más sencilla y más exacta que se puede utilizar tanto para tubos lisos o rugosos, y para régimen turbulento o de transición. No es aplicable cuando se presenta régimen laminar, aunque no es necesario, ya que es difícil que en la práctica se presente este tipo de condición.

Cabe mencionar que el valor del factor " f " calculado con cualesquiera de éstas fórmulas, es estimativo, puesto que dichas expresiones fueron obtenidas experimentalmente, bajo condiciones que muy difícilmente se pueden presentar en la realidad.

Con respecto al diagrama de Moody, éste es muy fácil de utilizar, porque se puede aplicar para cualquier tipo de tubería ya sean lisas o rugosas con flujo laminar, turbulento o de transición., de sección transversal circular o incluso de sección no circular, aunque presenta el inconveniente de errores de lectura que influyen en el cálculo de la pérdida de carga.

Otro factor importante que se debe de tomar en cuenta para el cálculo de las pérdidas de carga (relacionado directamente con el factor de fricción f) es la rugosidad relativa, e , ya que su valor varía no sólo por el tipo de material de la tubería, sino también a lo largo del tiempo como consecuencia de la corrosión provocada por el agua.

Ahora bien la variable que mayor pérdida de carga produce es el diámetro, por lo que, como se mencionó en párrafos anteriores, se debe seleccionar aquel diámetro que produzca la menor cantidad de pérdidas de energía.

Por lo que respecta a las pérdidas locales, en el presente trabajo se incluye una tabla con los elementos y dispositivos que producen éste tipo de pérdidas con su correspondiente valor de " k "; dicha tabla se puede utilizar para realizar una estimación preliminar, pero cuando sea necesario o se requiera un cálculo más detallado, se puede hacer uso de las gráficas (que también se incluyen en ésta tesis) y que fueron obtenidas experimentalmente.

Por otro lado, la utilización de programas de computadora en sistemas o redes de tuberías para calcular diámetros, gastos, longitudes, etc., son de suma importancia, no sólo porque arrojan resultados más precisos, sino porque reducen considerablemente el tiempo de calculo, con la ventaja de poder trabajar con otras condiciones hidráulicas o geométricas. Se pretende que el lector desarrolle sus propios programas una vez que haya entendido el planteamiento del problema y los métodos de solución.

Los métodos de solución de sistemas de tubos expuestos no son más que herramientas, como se dijo anteriormente, derivadas de la ecuaciones básicas, las cuales aplicadas de manera ordenada (como en los sistemas en serie o en paralelo)

o sistematizada (como en redes de distribución) nos dan una evaluación técnica del comportamiento hidráulico

El método de Hardy Cross utilizado para calcular la distribución de gastos en una red cerrada (problema de revisión) presenta el inconveniente de que cuando se trata con redes grandes los valores de las correcciones tienden a oscilar, es decir, van de un valor alto hacia valores inferiores y de un valor bajo hacia valores mayores, por lo que se sugiere terminar el proceso iterativo hasta que se cumpla el equilibrio de la pérdidas de carga en los circuitos, esto es cuando tiendan a cero.

Desde el punto de vista didáctico durante el desarrollo de la tesis, se utilizaron variables relacionadas o que influyen en el diseño hidráulico de una tubería o de una red de distribución, desde el punto de vista práctico, no sólo influyen éstas variables además se deben de tomar en cuenta otras variables como por ejemplo las estructurales que incluyen presiones internas de trabajo, cargas sobre tuberías, deflexiones, anclajes, etc. Pero tal vez uno de los factores que tienen mayor influencia es el económico, por lo cual es necesario realizar un análisis detallado de todas las alternativas posibles de materiales, diámetros, etc. Utilizar lo aquí tratado para realizar un diseño hidráulico preliminar que permita tener una primera aproximación en la solución de un problema determinado.

ANEXO I
PROGRAMAS PARA COMPUTADORA

En la época actual son muchos los estudiantes que utilizan calculadoras programables e inclusive computadoras personales por lo que hace necesario involucrarlos aún más en las cuestiones de programación para que faciliten el trabajo de realizar un mismo cálculo o conjunto de cálculos varias veces y sin temor a equivocarse.

Los listados de los programas que se presentan a continuación son el resultado del estudio y análisis de varios problemas correspondientes a cada uno de los sistemas de tubos en donde se ha adoptado un modelo, método o proceso de solución a seguir, siempre y cuando el problema se presente de la manera ideal bajo lo cual se han propuesto los mismos; de lo contrario es mucho más confiable las ecuaciones de la hidráulica.

El lenguaje utilizado en estos programas es el Basic, dando con esto la gran ventaja de también programarse en una calculadora.

Las características generales de cada programa se mencionan a continuación:

SERIEI.BAS

Programa para revisión de sistemas de tubos en serie. Solicita la carga H , la geometría y rugosidad del tubo; calcula el gasto y las pérdidas de carga en cada tramo o tubo.

PARALEL1.BAS

Programa que en base a la pérdida de carga H entre los nudos en donde concurren los " n " tubos en paralelo, calcula la distribución de gastos en cada uno de ellos, así como el gasto total.

PARALEL2.BAS

Programa que calcula la pérdida de carga H entre los nudos en donde concurren los " n " tubos en paralelo, así como la distribución de gastos en cada uno de ellos. Solicita el gasto total, los datos geométricos y la rugosidad absoluta en los tubos.

RAMITACF.BAS

Programa que resuelve el problema de los " N " recipientes interconectados a un nudo común. El programa en base a datos geométricos como cargas piezométricas en los " N " recipientes, longitudes, diámetros y rugosidades absolutas, calcula la carga piezométrica h_i que es la que permite conocer la magnitud y dirección de los gastos Q_i en los tramos de las tuberías. Éste programa calcula automáticamente el coeficiente de fricción f .

RAMITASF.BAS

Programa idéntico que el anterior pero con la diferencia de que no calcula automáticamente el factor de fricción f ; por lo que su valor se introduce desde el teclado. (También se puede ver el programa para calcular dicho coeficiente en el capítulo II).

REDPRUE3.BAS

Programa que resuelve redes cerradas de " N " circuitos con " M " tramos por circuito por el método de Hardy Cross (problemas de revisión). Éste programa nos da una distribución aproximada de los gastos en cada circuito con lo que va balanceando las pérdidas en cada uno de ellos.

FACTORF2.BAS

Programa que calcula el factor de fricción " f ", que se utiliza en la ecuación de Darcy-Weisbach para cualquier tipo de tubería y cualquier condición de flujo

SERIEI.BAS

193

```

1 CLS: CLEAR
2 DIM D(N): DIM L(N): DIM EA(N): DIM ER(N): DIM F(N): DIM K(N): DIM V(N): DIM RE(N): DIM
M A(N): DIM B(N): DIM C(N): DIM G(N): DIM M(N): DIM H(N)
3 PRINT " "; "' PROGRAMA QUE RESUELVE SISTEMAS DE TUBERIAS EN SERIE "'
4 PRINT " ( PROBLEMA DE REVISION )"
5 PRINT "SE CONOCE : H,D,L Y RUGOSIDAD ABS. DEL O DE LOS TUBOS CONECTADOS EN SER
IE"
6 PRINT "SE DESEA CONOCER : EL GASTO 'Q' QUE CIRCULA A TRAVES DE DICHO SISTEMA
"
7 PRINT
8 PRINT
9 INPUT "DAME EL NUMERO DE TUBOS EN SERIE"; N
10 INPUT "DAME LA CARGA TOTAL 'H Total' EN METROS"; H
11 INPUT "DAME LA VISCOSIDAD CINEMATICA DEL FLUIDO EN M2/S"; VISC
12 FOR I=1 TO N
13 CLS: BEEP
14 PRINT " - TECLEA LOS DATOS QUE SE TE PIDEN -"
15 PRINT
16 PRINT
19 PRINT "DAME EL DIAMETRO DEL TUBO No"; I; " EN MILIMETROS";
20 INPUT DD(I)
21 PRINT "DAME LA LONGITUD DEL TUBO No"; I; " EN METROS";
22 INPUT LL(I)
23 PRINT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA DEL TUBO No"; I; " EN MILIMETROS";
24 INPUT EEA(I)
25 EER(I)=EEA(I)/DD(I)
26 '- SE CONSIDERA FLUJO COMPLETAMENTE TURBULENTO EN TUBOS RUGOSOS- "
27 FF=.25*(LOG(3.71*DD(I)/EEA(I)))/LOG(10))^2
29 FF(I)=FF
30 CLS: BEEP
31 PRINT "PARA EL TUBO No."; I; " EXISTE ALGUN ACCESORIO U OBSTRUCCION QUE PROVOQ
UE PERDIDAS LOCALES ?; Si o No? (TECLEA S o N)";
32 INPUT AS
33 IF AS="S" OR AS="s" THEN GOTO 36
34 IF AS="N" OR AS="n" THEN GOTO 92
35 IF AS<>"S" OR AS<>"s" AND AS<>"N" OR AS<>"n" THEN GOTO 30
36 CLS: BEEP
37 PRINT "GUIATE CON LA SIGUIENTE TABLA DE VALORES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE D
E PERDIDAS LOCALES 'K '"
38 PRINT "-----"
39 PRINT "PIEZA O PERDIDA K "
40 PRINT "-----"
41 PRINT "ENTRADA NORMAL EN UN TUBO .....0.50 "
42 PRINT "ENTRADA DE BORDA (O REENTRANTE) .....1.00 "
43 PRINT "REJILLA .....0.75 "
44 PRINT "AMPLIACION GRADUAL .....0.30 "
45 PRINT "AMPLIACION BRUSCA .....0.56 "
46 PRINT "REDUCCION GRADUAL .....0.15 "
47 PRINT "REDUCCION BRUSCA .....0.40 "
48 PRINT "CODO DE 45° .....0.40 "
49 PRINT "CODO DE 90° .....0.90 "
50 PRINT "CURVA DE 22°30' .....0.10 "
51 PRINT "CURVA DE 45° .....0.20 "
52 PRINT "CURVA DE 90° .....0.40 "
53 PRINT "MEDIDOR DE VENTURI .....2.50 (RELATIVO A LA VELOCIDA
D)"
54 PRINT "CONTROLADOR DE CAUDAL .....2.50 "
55 PRINT "COMPUERTA DESLIZANTE ABIERTA .....1.00 "
56 PRINT "VALVULA DE ANGULO ABIERTA .....5.00 "
57 PRINT

```

```

58 PRINT " - OPRIME UNA TECLA PARA CONTINUAR -"
59 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 59
60 CLS:BEEP
62 PRINT "GUIATE CON LA SIGUIENTE TABLA DE VALORES APROXIMADOS DEL COEFICIENTE D
E PERDIDAS LOCALES ' ' K ' ' "
63 PRINT "-----"
64 PRINT "PIEZA O PERDIDA K "
65 PRINT "-----"
66 PRINT "VALVULA DE COMPUERTA ABIERTA .....0.20 "
67 PRINT "VALVULA TIPO GLOBO ABIERTA .....10.00 "
68 PRINT "VALVULA DE PIE ABIERTA CON PICHANCHA .....1.75 (DEPENDE DE SU DIAMETRO
) "
69 PRINT "VALVULA DE RETENCION O CHECK .....2.50 (DEPENDE DE SU DIAMETRO
) "
70 PRINT "BOQUILLAS .....2.75 "
71 PRINT "SALIDA DE TUBO (DESCARGA LIBRE) .....1.00 "
72 PRINT "DESAGUE EN UN EMBALSE (DESCARGA AHOGADA) .1.00 "
73 PRINT
74 PRINT "NOTA : SI EL COEFICIENTE(S) ' ' K ' ',NO SE ENCUENTRA(N) O NO SE AJUSTA(
N) A TUS NECESIDADES,ENTONCES INFORMATE DE SU VALOR E INTRODUCELO(S) CUANDO SE
TE SOLICITE(N)."
75 PRINT
76 PRINT " - OPRIME UNA TECLA PARA CONTINUAR -"
77 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 77
78 CLS:BEEP
79 PRINT "INTRODUCE LA ** SUMA ** DE LOS COEFICIENTES DE PERDIDA LOCAL DE LOS AC
CESORIOS O PERDIDAS QUE SE ENCUENTREN DENTRO DEL TRAMO O TUBO No ";I
80 PRINT
81 PRINT "NOTA : ' ' PROCURA QUE LAS PERDIDAS POR TRANSICIONES, SIEMPRE CONSIDEREN
LA VELOCIDAD MAYOR QUE EXISTA EN CUALQUIERA DE LOS DOS TRAMOS O TUBOS QUE UNEN
' ' "
82 PRINT
83 PRINT "DAME LA SUMA DE TODOS LOS COEFICIENTES ' ' K ' ' EN EL TRAMO O TUBO No."
;I;" ";
84 INPUT KK(I)
85 PRINT " ESTAS EN LO CORRECTO ? 'SI o NO? (TECLEA S o N)";
86 INPUT B$
87 IF B$="S" OR B$="s" THEN GOTO 92
88 IF B$="N" OR B$="n" THEN GOTO 36
89 IF B$<>"S" OR B$<>"s" AND B$<>"N" OR B$<>"n" THEN GOTO 85
92 NEXT I
93 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
94 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 94
95 CLS:BEEP
96 SUM=0:AA(N)=0:BB(N)=0:CC(N)=0:GG(N)=0:MM(N)=0
97 FOR I=1 TO N
98 PRINT " - DATOS DEL TUBO No"; I;"-"
99 PRINT " D(";I;")=";DD(I);" MILIMETROS"
100 PRINT " L(";I;")=";LL(I);" METROS"
101 PRINT " e(";I;")=";EEA(I);" MILIMETROS"
102 PRINT "e/D(";I;")=";EER(I);" ADIMENSIONAL"
103 PRINT " f(";I;")=";FF(I);" ADIMENSIONAL"
104 PRINT " KL(";I;")=";KK(I);" ADIMENSIONAL"
105 PRINT
106 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
107 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 107
108 CLS:BEEP
110 AA(I)=(FF(I)*LL(I))/(.001*DD(I))
115 BB(I)=(.001*DD(N))/(.001*DD(I))^4
120 CC(I)=KK(I)

```

```

125 GG(I)=AA(I)*BB(I)
130 MM(I)=CC(I)*BB(I)
135 SUM=SUM+GG(I)+MM(I)
140 NEXT I
145 VS=SQR((19.62*H)/(SUM))
150 QQ=VS*3.141592654#*.25*(.001*DD(N))^2
154 VV(N)=0:RRE(N)=0
155 FOR I=1 TO N
160 VV(I)=4*QQ/(3.141592654#*(.001*DD(I))^2)
161 'VV(I)=((.001*DD(I))/(.001*DD(I))^2)*VS
165 RRE(I)=VV(I)*(.001*DD(I))/VISC
170 IF RRE(I)<2000 THEN GOTO 180
175 IF RRE(I)>2000 THEN GOTO 190
180 FF(I)=64/RRE(I)
185 GOTO 235
190 F=FF(I)
200 FF=.25*((LOG((EEA(I)/(3.71*DD(I)))+(2.51/(RRE(I)*SQR(F)))))/LOG(10))^-2
210 IF ABS(FF-F)<.001 THEN GOTO 230
220 F=FF:GOTO 200
230 FF(I)=FF
235 NEXT I
240 'PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
245 'K$=INKEY$:IF K$="" THEN 245
250 'CLS:BEEP
255 SUM=0:AA(N)=0:BB(N)=0:CC(N)=0:GG(N)=0:MM(N)=0
260 FOR I=1 TO N
265 AA(I)=(FF(I)*LL(I))/(.001*DD(I))
270 BB(I)=((.001*DD(N))/(.001*DD(I)))^4
275 CC(I)=KK(I)
280 GG(I)=AA(I)*BB(I)
285 MM(I)=CC(I)*BB(I)
290 SUM=SUM+GG(I)+MM(I)
295 NEXT I
300 VS=SQR((19.62*H)/(SUM))
305 QQ=VS*3.141592654#*.25*(.001*DD(N))^2
307 SUMA=0:HH(N)=0
310 FOR I=1 TO N
315 'VV(I)=4*QQ/(3.141592654#*(.001*DD(I))^2)
316 VV(I)=((.001*DD(N))/(.001*DD(I)))^2)*VS
320 HH(I)=((FF(I)*LL(I))/(.001*DD(I)))+KK(I))*((DD(N)/DD(I))^4)*(VV(N)^2)/19.62
325 SUMA=SUMA+HH(I)
330 NEXT I
332 SSUMA=SUMA
335 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
340 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 340
345 CLS:BEEP
347 PRINT " - SOLUCION DEL SISTEMA DE ";N;" TUBOS EN SERIE -"
348 PRINT
350 FOR I=1 TO N
355 PRINT "LA PERDIDA DE CARGA EN EL TRAMO O TUBO No. ";I;"=";HH(I);" METROS"
360 NEXT I
365 'PRINT "LA PERDIDA DE CARGA POR SALIDA EN EL TRAMO O TUBO No. ";N;"=";(VV(N)^2)/19.62;" METROS"
370 'IF ABS(HHHH-AAHH)<.1 THEN GOTO 400
375 'AAHH=HHHH
380 'GOTO 195
390 PRINT
395 PRINT
400 PRINT "LA PERDIDA DE CARGA TOTAL EN EL SISTEMA,O DESNIVEL ''HTotal=''";SSUMA;" METROS"

```

```
405 PRINT
407 PRINT
410 PRINT "EL GASTO QUE CIRCULA POR EL SISTEMA ES";QQ;" M3/S"
415 PRINT
420 PRINT
456 PRINT "                - OPRIME UNA TECLA -"
457 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 457
458 CLS:BEEP
460 PRINT
500 INPUT "DESEAS SEGUIR CORRIENDO LA DISTRIBUCION DE LOS GASTOS (TECLEA S o N
);A$
505 IF A$="S" OR A$="s" THEN GOTO 154
510 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 540
515 IF A$<>"S" OR A$<>"s" AND A$<>"N" OR A$<>"n" THEN GOTO 458
540 CLS:BEEP:BEEP
541 PRINT
542 PRINT
543 PRINT
544 PRINT
545 PRINT
546 PRINT
547 PRINT
548 PRINT
549 PRINT
550 PRINT "                - FIN DEL PROGRAMA -"
551 END
```

PARALEL1.BAS

197

```

1 CLS: CLEAR
2 DIM D(N):DIM L(N):DIM EA(N):DIM ER(N):DIM F(N):DIM Q(N):DIM A(N):DIM B(N):DIM
C(N):DIM V(H):DIM RE(N)
3 PRINT " ",'" PROGRAMA QUE RESUELVE SISTEMAS DE TUBERIAS EN PARALELO "'
4 PRINT " ",'" ( PROBLEMA TIPO I )"'
5 PRINT " SE CONOCE: 'H ' Y SE DESEA CONOCER: Q Total , Q1,Q2,Q3,.....,Qi,...Qn
"
6 PRINT
7 PRINT
8 INPUT "DAME EL NUMERO DE TUBOS EN PARALELO";N
9 PRINT "DAME LA PERDIDA DE CARGA 'H'' ENTRE LOS NUDOS EN DONDE CONCURREN LOS";
N;"TUBOS EN PARALELO;EN METROS";
10 INPUT H
11 INPUT "DAME LA VISCOSIDAD CINEMATICA DEL FLUIDO EN M2/S";VISC
12 FOR I=1 TO N
13 CLS:BEEP
14 PRINT " - TECLEA LOS DATOS QUE SE TE PIDEN -"
15 PRINT
16 PRINT
19 PRINT "DAME EL DIAMETRO DEL TUBO No";I;" EN MILIMETROS";
20 INPUT DD(I)
21 PRINT "DAME LA LONGITUD DEL TUBO No";I;" EN METROS";
22 INPUT LL(I)
23 PRINT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA DEL TUBO No";I;" EN MILIMETROS";
24 INPUT EEA(I)
25 EER(I)=EEA(I)/DD(I)
26 '- SE CONSIDERA FLUJO COMPLETAMENTE TURBULENTO EN TUBOS RUGOSOS- "
27 FF=.25*((LOG(3.71*DD(I)/EEA(I)))/LOG(10))^2
29 FF(I)=FF
50 NEXT I
54 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
55 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 55
58 CLS:BEEP
59 KK(I)=0
60 FOR I=1 TO N
65 PRINT " - DATOS DEL TUBO No"; I;"-"
75 PRINT "D(";I;")=";DD(I);" MILIMETROS"
80 PRINT "L(";I;")=";LL(I);" METROS"
85 PRINT "e(";I;")=";EEA(I);" MILIMETROS"
90 PRINT "e/D(";I;")=";EER(I);" ADIMENSIONAL"
95 PRINT "f(";I;")=";FF(I);" ADIMENSIONAL"
104 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
105 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 105
108 CLS:BEEP
150 KK(I)=FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I))
160 VV(I)=SQR(19.62*H/KK(I))
170 RRE(I)=VV(I)*(.001*DD(I))/VISC
180 IF RRE(I)<=2000 THEN GOTO 187
185 IF RRE(I)>2000 THEN GOTO 190
187 FF(I)=64/RRE(I)
188 GOTO 215
190 F=FF(I)
195 FF=.25*((LOG((EEA(I)/(3.71*DD(I)))+(2.51/(RRE(I)*SQR(F)))))/LOG(10))^2
200 IF ABS(FF-F)<.00001 THEN GOTO 210
205 F=FF:GOTO 195
210 FF(I)=FF
215 NEXT I
310 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
315 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 315
320 CLS:BEEP

```

```

321 KK(I)=0:AA(I)=0:BB(I)=0:CC(I)=0
322 FOR I=1 TO N
330 KK(I)=FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I))
335 VV(I)=SQR(19.62*I/KK(I))
340 RRE(I)=VV(I)*(.001*DD(I))/VISC
350 IF RRE(I)<=2000 THEN GOTO 360
351 IF RRE(I)>2000 THEN GOTO 370
360 FF(I)=64/RRE(I)
365 GOTO 410
370 F=FF(I)
375 FF=.25*((LOG((EEA(I)/(3.71*DD(I)))+(2.51/(RRE(I)*SQR(F)))))/LOG(10))^-2
380 IF ABS(FF-F)<.00001 THEN GOTO 405
400 F=FF:GOTO 375
405 FF(I)=FF
410 NEXT I
411 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
412 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 412
413 CLS:BEEP
415 SUMA=0
416 FOR I=1 TO N
420 QQ(I)=(3.141592654#*.25*(.001*DD(I))^2)*VV(I)
425 SUMA=SUMA+QQ(I)
430 NEXT I
437 'K$=INKEY$:IF K$="" THEN 437
438 CLS:BEEP
439 PRINT " - SOLUCION DEL SISTEMA DE ";N;" TUBOS EN PARALELO -"
440 PRINT
441 FOR I =1 TO N
445 PRINT "EL GASTO DEL TUBO No. ";I;"=";QQ(I);" M3/S"
446 NEXT I
447 PRINT
450 PRINT "EL GASTO TOTAL =" ;SUMA;" M3/S"
451 PRINT
455 PRINT " - VERIFICACION DE LA PERDIDA DE CARGA 'H' -"
456 SUM=0
457 FOR I=1 TO N
458 AA(I)=(.001*DD(I))^2
459 BB(I)=SQR(FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I)))
460 CC(I)=AA(I)/BB(I)
461 SUM=SUM+CC(I)
462 NEXT I
463 PRINT
465 HHHH=((SUMA)^2)/((12.1)*(SUM)^2)
466 PRINT "LA PERDIDA DE CARGA 'H' ES";HHHH;" EN METROS"
467 PRINT
470 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
475 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 475
480 CLS:BEEP
500 INPUT "DESEAS SEGUIR CORRIENDO LA DISTRIBUCION DE LOS GASTOS (TECLEA S O N)";A$
505 IF A$="S" OR A$="s" THEN GOTO 320
510 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 540
515 IF A$<>"S" OR A$<>"s" AND A$<>"N" OR A$<>"n" THEN GOTO 480
540 CLS:BEEP:BEEP
541 PRINT
542 PRINT
543 PRINT
544 PRINT
545 PRINT
546 PRINT

```

```
547 PRINT
548 PRINT
549 PRINT
550 PRINT "
551 END
```

```
- FIN DEL PROGRAMA -"
```

PARALEL2.BAS

200

```

2 CLS: CLEAR
3 DIM D(N):DIM L(N):DIM EA(N):DIM ER(N):DIM F(N):DIM Q(N):DIM A(N):DIM B(N):DIM
  C(N):DIM V(N):DIM RE(N)
4 PRINT " ";''' PROGRAMA QUE RESUELVE SISTEMAS DE TUBERIAS EN PARALELO '''
5 PRINT " " ( PROBLEMA TIPO I )"
6 PRINT " SE CONOCE: 'Q Total' Y SE DESEA CONOCER: H , Q1,Q2,Q3,.....,Q1,...Qn"
7 PRINT
8 PRINT
9 INPUT "DAME EL NUMERO DE TUBOS EN PARALELO";N
10 INPUT "DAME EL GASTO TOTAL 'Q Total' EN M3/S";Q
11 INPUT "DAME LA VISCOSIDAD CINEMATICA DEL FLUIDO EN M2/S";VISC
12 FOR I=1 TO N
13 CLS:BEEP
14 PRINT " - TECLEA LOS DATOS QUE SE TE PIDEN -"
15 PRINT
16 PRINT
19 PRINT "DAME EL DIAMETRO DEL TUBO No";I;" EN MILIMETROS";
20 INPUT DD(I)
21 PRINT "DAME LA LONGITUD DEL TUBO No";I;" EN METROS";
22 INPUT LL(I)
23 PRINT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA DEL TUBO No";I;" EN MILIMETROS";
24 INPUT EEA(I)
25 EER(I)=EEA(I)/DD(I)
26 '- SE CONSIDERA FLUJO COMPLETAMENTE TURBULENTO EN TUBOS RUGOSOS- "
27 FF=.25*((LOG(3.71*DD(I)/EEA(I)))/LOG(10))^-2
29 FF(I)=FF
50 NEXT I
54 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
55 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 55
58 CLS:BEEP
59 SUM=0:AA(I)=0:BB(I)=0:CC(I)=0
60 FOR I=1 TO N
65 PRINT " - DATOS DEL TUBO No"; I;"-"
75 PRINT "D(";I;")=";DD(I);" MILIMETROS"
80 PRINT "L(";I;")=";LL(I);" METROS"
85 PRINT "e(";I;")=";EEA(I);" MILIMETROS"
90 PRINT "e/D(";I;")=";EER(I);" ADIMENSIONAL"
95 PRINT "f(";I;")=";FF(I);" ADIMENSIONAL"
104 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
105 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 105
108 CLS:BEEP
110 AA(I)=(.001*DD(I))^2
150 BB(I)=SQR(FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I)))
160 CC(I)=AA(I)/BB(I)
170 SUM=SUM+CC(I)
180 NEXT I
185 HHHH=(Q^2)/((12.1)*(SUM)^2)
195 FOR I=1 TO N
200 VV(I)=SQR(19.62*HHHH/(FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I))))
205 RRE(I)=VV(I)*(.001*DD(I))/VISC
210 IF RRE(I)<=2000 THEN GOTO 250
211 IF RRE(I)>2000 THEN GOTO 260
215 BB(I)=1/(KK(I)*ABS(QQ(I)))
250 FF(I)=64/RRE(I)
255 GOTO 305
260 F=FF(I)
270 FF=.25*((LOG((EEA(I)/(3.71*DD(I)))+(2.51/(RRE(1)*SQR(F)))))/LOG(10))^-2
275 IF ABS(FF-F)<.00001 THEN GOTO 300
280 F=FF:GOTO 270
300 FF(I)=FF

```

```

305 NEXT I
310 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
315 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 315
320 CLS:BEEP
321 SUM=0
322 FOR I=1 TO N
325 AA(I)=(.001*DD(I))^2
330 BB(I)=SQR((FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I))))
335 CC(I)=AA(I)/BB(I)
340 SUM=SUM+CC(I)
350 NEXT I
360 HHHH=(Q^2)/((12.1)*(SUM)^2)
410 PRINT
415 SUMA=0
416 FOR I=1 TO N
420 VV(I)=SQR(19.62*HHHH/(FF(I)*LL(I)/(.001*DD(I))))
425 QQ(I)=(3.141592654#*.25*(.001*DD(I))^2)*VV(I)
430 SUMA=SUMA+QQ(I)
435 NEXT I
437 'K$=INKEY$:IF K$="" THEN 437
438 CLS:BEEP
439 PRINT " - SOLUCION DEL SISTEMA DE ";N;" TUBOS EN PARALELO -"
440 PRINT
441 PRINT "LA PERDIDA DE CARGA ''H''=";HHHH;" METROS"
442 PRINT
443 FOR I =1 TO N
445 PRINT "EL GASTO DEL TUBO No.";I;"=";QQ(I);" M3/S"
446 NEXT I
447 PRINT
448 PRINT " - VERIFICACION DEL VALOR DEL GASTO TOTAL ''Qtotal'' -"
451 PRINT
454 PRINT "EL GASTO TOTAL =" ;SUMA;" M3/S"
455 PRINT
456 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
457 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 457
458 CLS:BEEP
500 INPUT "DESEAS SEGUIR CORRIENDO LA DISTRIBUCION DE LOS GASTOS (TECLEA S O N)";A$
505 IF A$="S" OR A$="s" THEN GOTO 195
510 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 540
515 IF A$<>"S" OR A$<>"s" AND A$<>"N" OR A$<>"n" THEN GOTO 458
540 CLS:BEEP:BEEP
541 PRINT
542 PRINT
543 PRINT
544 PRINT
545 PRINT
546 PRINT
547 PRINT
548 PRINT
549 PRINT
550 PRINT " - FIN DEL PROGRAMA -"
551 END

```

RAMITACF.BAS

202

```

5 CLS: CLEAR
6 DIM H(N): DIM D(N): DIM L(N): DIM EA(N): DIM ER(N): DIM F(H): DIM K(N): DIM Q(N): DIM
  A(N): DIM B(N)
7 PRINT " "; "" PROGRAMA QUE RESUELVE EL PROBLEMA DE LOS " N " TANQUES INTER
  CONECTADOS ""
8 PRINT " ( TUBERIAS RAMIFICADAS )"
9 PRINT
10 INPUT "DAME EL NUMERO DE TANQUES"; N
11 SUM=0
12 FOR I=1 TO N
13 CLS: BEEP
14 PRINT " - TECLEA LOS DATOS QUE SE TE PIDEN -"
15 PRINT
16 PRINT
17 PRINT "DAME LA CARGA DEL TANQUE No"; I; " EN METROS";
18 INPUT HH(I)
19 PRINT "DAME EL DIAMETRO DE LA CONDUCCION DEL TANQUE No"; I; " EN MILIMETROS";
20 INPUT DD(I)
21 PRINT "DAME LA LONGITUD DE LA CONDUCCION DEL TANQUE No"; I; " EN METROS";
22 INPUT LL(I)
23 PRINT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA DE LA CONDUCCION DEL TANQUE No"; I; " EN MILI
  METROS";
24 INPUT EEA(I)
25 EER(I)=EEA(I)/DD(I)
26 RE=100000!: F=.02: " - SE CONSIDERA FLUJO DE TRANSICION A TURBULENTO - "
27 FF=.25*((LOG((EEA(I)/(3.71*DD(I)))+(2.51/(RE*SQR(F)))))/LOG(10))^2
28 IF ABS(FF-F)<.001 THEN GOTO 30
29 F=FF: GOTO 27
30 FF(I)=FF
35 KK(I)=(FF(I)*LL(I))/(12.1*(.001*DD(I))^5)
50 NEXT I
54 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
55 K$=INKEY$: IF K$="" THEN 55
58 CLS: BEEP
60 FOR I=1 TO N
65 PRINT " - DATOS DEL TANQUE No"; I; "- "
70 PRINT "H("; I; ")="; HH(I); " METROS"
75 PRINT "D("; I; ")="; DD(I); " MILIMETROS"
80 PRINT "L("; I; ")="; LL(I); " METROS"
85 PRINT "e("; I; ")="; EEA(I); " MILIMETROS"
90 PRINT "e/D("; I; ")="; EER(I); " ADIMENSIONAL"
95 PRINT "f("; I; ")="; FF(I); " ADIMENSIONAL"
100 PRINT "K("; I; ")="; KK(I) " S2/M5"
104 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
105 K$=INKEY$: IF K$="" THEN 105
108 CLS: BEEP
110 SUM=SUM+HH(I)
150 NEXT I
160 HJJ=SUM/N
170 PRINT "HJJ="; HJJ
180 FOR I=1 TO N
185 QQ(I)=(HJJ-HH(I))/(ABS(HJJ-HH(I)))*SQR(ABS(HJJ-HH(I))/KK(I))
190 PRINT "Q("; I; ")="; QQ(I)
195 NEXT I
200 SS=0: S1=0: S2=0: AA(N)=0: BB(N)=0
205 FOR I=1 TO N
210 AA(I)=HH(I)/(KK(I)*ABS(QQ(I)))
211 S1=S1+AA(I)
215 BB(I)=1/(KK(I)*ABS(QQ(I)))
216 S2=S2+BB(I)

```

```
220 'PRINT "A(";I;")=";AA(I)
225 'PRINT "B(";I;")=";BB(I)
230 NEXT I
235 SS=S1/S2
310 'PRINT "S1=";S1
315 'PRINT "S2=";S2
320 'PRINT "SS=";SS
330 IF ABS(SS-HJJ)<.0001 THEN GOTO 350
340 HJJ=SS;GOTO 180
350 BEEP
351 PRINT "          - SOLUCION DE LA TUBERIA RAMIFICADA -"
360 PRINT
370 PRINT
400 PRINT "LA CARGA HJ=";SS;" METROS"
410 FOR I=1 TO N
420 PRINT "EL GASTO Q(";I;")=";QQ(I);" M3/SEG."
430 NEXT I
434 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
435 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 437
437 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 437
438 CLS:BEEP
440 INPUT "DESEAS RESOLVER OTRA TUBERIA RAMIFICADA Si o No (TECLEA S o N)";A$
445 IF A$="S" OR A$="s" THEN GOTO 5
450 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 500
455 IF A$<>"S" OR A$="s" AND A$<>"N" OR A$<>"n" THEN GOTO 438
500 PRINT " - FIN DEL PROGRAMA -":END
```

```

5 CLS: CLEAR
6 DIM H(N):DIM D(N):DIM L(N):DIM EA(N):DIM ER(N):DIM F(N):DIM K(N):DIM Q(N):DIM
  A(N):DIM B(N)
7 PRINT " ","","" PROGRAMA QUE RESUELVE EL PROBLEMA DE LOS " N " TANQUES INTER
  COECTADOS ""
8 PRINT " ( TUBERIAS RAMIFICADAS )"
9 PRINT
10 INPUT "DAME EL NUMERO DE TANQUES";N
11 SUM=0
12 FOR I=1 TO N
13 CLS:BEEP
14 PRINT " - TECLEA LOS DATOS QUE SE TE PIDEN -"
15 PRINT
16 PRINT
17 PRINT "DAME LA CARGA DEL TANQUE No";I;" EN METROS";
18 INPUT HH(I)
19 PRINT "DAME EL DIAMETRO DE LA CONDUCCION DEL TANQUE No";I;" EN MILIMETROS";
20 INPUT DD(I)
21 PRINT "DAME LA LONGITUD DE LA CONDUCCION DEL TANQUE No";I;" EN METROS";
22 INPUT LL(I)
23 PRINT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA DE LA CONDUCCION DEL TANQUE No";I;" EN MILI
  METROS";
24 INPUT EEA(I)
25 EER(I)=EEA(I)/DD(I)
26 RE=1000001:F=.02
27 *****FALTA FORMULA DE COLEBROOK-WHITE*****
28 PRINT "DAME EL COEFICIENTE DE FRICCION F";I;"";
29 INPUT FF(I)
30 KK(I)=(FF(I)*LL(I))/(12.1*(.001*DD(I))^5)
50 NEXT I
54 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
55 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 55
58 CLS:BEEP
60 FOR I=1 TO N
65 PRINT " - DATOS DEL TANQUE No"; I;"-"
70 PRINT "H(";I;")=";HH(I);" METROS"
75 PRINT "D(";I;")=";DD(I);" MILIMETROS"
80 PRINT "L(";I;")=";LL(I);" METROS"
85 PRINT "e(";I;")=";EEA(I);" MILIMETROS"
90 PRINT "e/D(";I;")=";EER(I);" ADIMENSIONAL"
95 PRINT "f(";I;")=";FF(I);" ADIMENSIONAL"
100 PRINT "K(";I;")=";KK(I)" S2/M5"
104 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
105 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 105
108 CLS:BEEP
110 SUM=SUM+HH(I)
150 NEXT I
160 HJJ=SUM/N
170 'PRINT "HJJ=";HJJ
180 FOR I=1 TO N
185 QQ(I)=(HJJ-HH(I))/(ABS(HJJ-HH(I)))*SQR(ABS(HJJ-HH(I))/KK(I))
190 'PRINT "Q(";I;")=";QQ(I)
195 NEXT I
200 SS=0:S1=0:S2=0:AA(N)=0:BB(N)=0
205 FOR I=1 TO N
210 AA(I)=HH(I)/(KK(I)*ABS(QQ(I)))
211 S1=S1+AA(I)
215 BB(I)=1/(KK(I)*ABS(QQ(I)))
216 S2=S2+BB(I)
220 'PRINT "A(";I;")=";AA(I)

```

```
225 'PRINT "B(";I;")=";BB(I)
230 NEXT I
235 SS=S1/S2
310 'PRINT "S1=";S1
315 'PRINT "S2=";S2
320 'PRINT "SS=";SS
330 IF ABS(SS-HJJ)<.0001 THEN GOTO 350
340 HJJ=SS;GOTO 180
350 BEEP
351 PRINT "          - SOLUCION DE LA TUBERIA RAMIFICADA -"
360 PRINT
370 PRINT
400 PRINT "LA CARGA HJ=";SS;" METROS"
410 FOR I=1 TO N
420 PRINT "EL GASTO Q(";I;")=";QQ(I);" M3/SEG."
430 NEXT I
434 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
435 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 437
437 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 437
438 CLS:BEEP
440 INPUT "DESEAS RESOLVER OTRA TUBERIA RAMIFICADA Si o No (TECLEA S o N)";A$
445 IF A$="S" OR A$="s" THEN GOTO 5
450 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 500
455 IF A$<>"S" OR A$="s" AND A$<>"N" OR A$<>"n" THEN GOTO 438
500 PRINT " - FIN DEL PROGRAMA - ";END
```

```

1 CLS: CLEAR: KEY OFF
2 PRINT " - PROGRAMA QUE RESUELVE REDES CERRADAS POR EL METODO DE HARDY CROSS -"
3 PRINT
4 DIM NNNTA(NTA): DIM D(NTA): DIM L(NTA): DIM EA(NTA): DIM ER(NTA): DIM F(NTA): DIM B(NTA)
5 DIM Q(NTA): DIM DQ(NA): DIM QC(NTA): DIM DEN(NTA, NA): DIM NUM(NTA, NA): DIM DDD(NTA, NA): DIM LLL(NTA, NA): DIM EAA(NTA, NA): DIM EERR(NTA, NA): DIM QQQ(NTA, NA): DIM QQC(NTA, NA)
6 DIM BBB(NTA, NA): DIM SUMANUM(NA): DIM SUMADEN(NA): DIM BXXDQ(NA(NTA, NA)): DIM XDQ(NA(NTA, NA)): DIM AS(NTA, NA): DIM XSUMANUM(NA): DIM XSUMADEN(NA): DIM K(NTA, NA): DIM HP(NTA, NA): DIM SOMA(NA)
6 INPUT "DAME EL NUMERO DE ANILLOS DE LA RED"; NA
7 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
8 K$=INKEY$: IF K$="" THEN 8
9 CLS: BEEP
10 FOR J=1 TO NA
11 PRINT "DAME EL NUMERO DE TRAMOS EN EL ANILLO No"; J;
12 INPUT NNNTA(J)
13 FOR I=1 TO NNNTA(J)
14 PRINT " - TECLEA LOS DATOS QUE SE TE PIDEN -"
15 PRINT " - PARA EL ANILLO No."; J; " -"
16 PRINT
17 PRINT "DAME EL DIAMETRO DEL TRAMO No"; I; " EN MILIMETROS";
18 INPUT DD(I)
19 PRINT "DAME LA LONGITUD DEL TRAMO No"; I; " EN METROS";
20 INPUT LL(I)
21 PRINT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA EN EL TRAMO No"; I; " EN MILIMETROS";
22 INPUT EEA(I)
23 DDDD(I, J)=DD(I)
24 LLLL(I, J)=LL(I)
25 EAAA(I, J)=EEA(I)
26 EER(I)=EEA(I)/DD(I)
27 RE=1000001: F=.02: " - SE CONSIDERA FLUJO DE TRANSICION A TURBULENTO - "
30 FF=.25*((LOG((EEA(I)/(3.71*DD(I)))+(2.51/(RE*SQR(F)))))/LOG(10))^2
31 IF ABS(FF-F)<.001 THEN GOTO 33
32 F=FF: GOTO 30
33 FF(I)=FF
35 BB(I)=(FF(I)*LL(I))/(12.1*(.001*DD(I))^5)
40 EEERR(I, J)=EER(I)
45 FFFF(I, J)=FF(I)
47 BBBB(I, J)=BB(I)
48 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
49 K$=INKEY$: IF K$="" THEN 49
50 CLS: BEEP
52 NEXT I: CLS
53 NEXT J
55 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
57 K$=INKEY$: IF K$="" THEN 57
58 CLS: BEEP
59 FOR J=1 TO NA
60 FOR I=1 TO NNNTA(J)
61 CLS
62 PRINT "ANILLO No."; J
63 PRINT
64 PRINT "DATOS DEL TRAMO No."; I
65 PRINT
66 PRINT "e("; I; ")="; EAAA(I, J); " MILIMETROS"
67 PRINT "e/D("; I; ")="; EEERR(I, J); " ADIMENSIONAL"
68 PRINT "D("; I; ")="; DDDD(I, J); " MILIMETROS"
69 PRINT "L("; I; ")="; LLLL(I, J); " METROS"
70 PRINT "f("; I; ")="; FFFF(I, J); " ADIMENSIONAL"

```

```

08 PRINT "B(";I;")=";BBBB(I,J) S2/M5"
100 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 100:CLS:BEEP
101 NEXT I:PRINT " - OPRIME UNA TECLA UNA VEZ MAS -"
102 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 102:CLS:BEEP
103 NEXT J
104 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
105 PRINT
107 CLS
108 PRINT
109 PRINT
110 SSUMANUM(NA)=0:SSUMADEN(NA)=0
115 FOR J=1 TO NA
120 FOR I=1 TO NNNTA(J)
121 PRINT " - ENTRADA DE LOS GASTOS PROVISIONALES -"
122 PRINT
123 PRINT "PARA EL ANILLO No.";J
124 PRINT
125 PRINT "DAME EL GASTO PROVISIONAL DEL TRAMO No.";I;"EN M3/S '' INCLUYA EL SI
GNO SEGUN SU RECORRIDO ''";
130 INPUT QQ(I)
135 QQQQ(I,J)=QQ(I)
140 DDEN(I,J)=ABS(2*BBBB(I,J)*QQQQ(I,J))
145 NNUM(I,J)=DDEN(I,J)*.5*QQQQ(I,J)
150 SSUMANUM(J)=SSUMANUM(J)+NNUM(I,J)
155 SSUMADEN(J)=SSUMADEN(J)+DDEN(I,J)
158 CLS
159 NEXT I
160 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
161 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 161
162 CLS
163 PRINT " - RESULTADOS PARA EL ANILLO No.";J;" -"
164 PRINT
165 PRINT "EL NUMERADOR DEL ANILLO No.";J;"=";SSUMANUM(J)
167 PRINT "EL DENOMINADOR DEL ANILLO No.";J;"=";SSUMADEN(J)
168 DDQ(J)=- (SSUMANUM(J)) / (SSUMADEN(J))
169 PRINT
170 PRINT "LA CORRECCION PARA EL ANILLO No.";J;"=";DDQ(J)
171 PRINT
172 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
173 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 173
174 CLS:BEEP
175 NEXT J
176 FOR K=1 TO NA
177 FOR J=1 TO NA-(NA-K)
178 XXDQ(K)=DDQ(J)
179 'PRINT "XXDQ(";K;")=";XXDQ(K)
180 NEXT J
181 NEXT K
182 REM "EN TRAMOS QUE PERTENEZCAN A DOS CIRCUITOS, SE DEBE SUMAR LAS CORRECCIONES
QUE RESULTEN DEL SIGUIENTE CIRCUITO CON SIGNO CONTRARIO."
183 'PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
184 'K$=INKEY$:IF K$="" THEN 184
185 'CLS
186 'PRINT " - CORRECCION DE LOS GASTOS PROVISIONALES -"
187 PRINT
188 FOR J=1 TO NA
189 FOR I=1 TO NNNTA(J)
190 KK(I,J)=0:XXDQ(KK(I,J))=0:BBXXDQ(KK(I,J))=0
191 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
195 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 195

```

```

196 CLS
197 PRINT "          - CORRECCION DE LOS GASTOS PROVISIONALES -"
198 PRINT
200 PRINT "PARA EL ANILLO No. "; J
201 PRINT
205 PRINT "EL TRAMO No. "; I; "ES COMUN A OTRO ANILLO; Si o No ? ( TECLEA S o N)";
210 INPUT AA$(I,J)
215 IF AA$(I,J)="S" OR AA$(I,J)="s" THEN GOTO 250
220 IF AA$(I,J)="N" OR AA$(I,J)="n" THEN GOTO 280
225 IF AA$(I,J)<>"S" OR AA$(I,J)<>"s" AND AA$(I,J)<>"N" OR AA$(I,J)<>"n" THEN GO
TO 200
250 PRINT
251 PRINT "  A CUAL ANILLO ? ; ( TECLEA SOLO EL NUMERO DE ANILLO )";
255 INPUT KK(I,J)
256 K=KK(I,J)
257 XXDQ(KK(I,J))=XXDQ(K)
260 BBXXDQ(KK(I,J))=-1*XXDQ(KK(I,J))
265 QQQQ(I,J)=QQQQ(I,J)+BBXXDQ(KK(I,J))+DDQ(J)
273 GOTO 290
280 QQQQ(I,J)=QQQQ(I,J)+DDQ(J)
290 NEXT I
295 NEXT J
296 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
297 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 297
298 CLS:BEEP
300 PRINT
301 FOR J=1 TO NA
302 PRINT
303 PRINT "          - RESULTADO DE LA CORRECCION DE LOS GASTOS -"
304 PRINT
305 PRINT "PARA EL ANILLO No. "; J
306 PRINT
310 FOR I=1 TO NNNTA(J)
315 PRINT "EL GASTO Q( "; I; " )="; QQQQ(I,J)
320 NEXT I
321 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
322 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 322
323 CLS:BEEP
325 NEXT J
330 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
332 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 332
333 CLS:BEEP
345 XXSUMANUM(NA)=0:XXSUMADEN(NA)=0:DDQ(NA)=0:NNUM(NTA,NA)=0:DDEN(NTA,NA)=0
350 FOR J=1 TO NA
355 FOR I=1 TO NNNTA(J)
360 QQQQ(I,J)=QQQQ(I,J)
365 DDEN(I,J)=ABS(2*BBBB(I,J)*QQQQ(I,J))
370 NNUM(I,J)=DDEN(I,J)*.5*QQQQ(I,J)
375 XXSUMANUM(J)=XXSUMANUM(J)+NNUM(I,J)
380 XXSUMADEN(J)=XXSUMADEN(J)+DDEN(I,J)
385 CLS
390 NEXT I
395 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
400 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 400
405 CLS
410 PRINT "  - RESULTADOS PARA EL ANILLO No. "; J; "  -"
411 PRINT
415 PRINT "EL NUMERADOR DEL ANILLO No. "; J; " =" ; XXSUMANUM(J)
420 PRINT "EL DENOMINADOR DEL ANILLO No. "; J; " =" ; XXSUMADEN(J)
425 DDQ(J) = -(XXSUMANUM(J)) / (XXSUMADEN(J))

```

```

430 PRINT
435 PRINT " LA CORRECCION PARA EL ANILLO No.";J;"-";DDQ(J)
440 PRINT
445 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
450 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 450
455 CLS:BEEP
460 NEXT J
461 /-----
465 K=0
470 FOR K=1 TO NA
475 FOR J=1 TO NA-(NA-K)
480 XXDQ(K)=DDQ(J)
481 'PRINT "XXDQ(";K;")=";XXDQ(K)
485 NEXT J
490 NEXT K
495 /-----
500 FOR J=1 TO NA
505 FOR I=1 TO NNNTA(J)
510 'KK(I,J)=0:XXDQ(KK(I,J))=0:BBXXDQ(KK(I,J))=0
515 'PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
520 'K$=INKEY$:IF K$="" THEN 520
521 'CLS
525 'PRINT " - CORRECCION DE LOS GASTOS PROVISIONALES -"
529 'PRINT
530 'PRINT " PARA EL ANILLO No.";J
531 'PRINT
535 'PRINT "EL TRAMO No.";I;"ES COMUN A OTRO ANILLO; SI o No ? (TECLEA S o N)";
540 AA$(I,J)=AA$(I,J)
545 IF AA$(I,J)="S" OR AA$(I,J)="s" THEN GOTO 570
550 IF AA$(I,J)="N" OR AA$(I,J)="n" THEN GOTO 595
555 'IF AA$(I,J)<>"S" OR AA$(I,J)<>"s" AND AA$(I,J)<>"N" OR AA$(I,J)<>"n" THEN
GOTO 540
560 PRINT
565 'PRINT " A CUAL ANILLO ? ; ( TECLEA SOLO EL NUMERO DE ANILLO )";
570 KK(I,J)=KK(I,J)
575 K=KK(I,J)
576 XXDQ(KK(I,J))=XXDQ(K)
580 BBXXDQ(KK(I,J))=-1*XXDQ(KK(I,J))
585 QQQQ(I,J)=QQQQ(I,J)+BBXXDQ(KK(I,J))+DDQ(J)
590 GOTO 600
595 QQQQ(I,J)=QQQQ(I,J)+DDQ(J)
600 NEXT I
605 NEXT J
610 PRINT " - OPRIME UNA TECLA -"
615 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 615
620 CLS:BEEP
630 PRINT
635 FOR J=1 TO NA
636 PRINT
639 PRINT " - RESULTADO DE LA CORRECCION DE LOS GASTOS -"
640 PRINT
645 PRINT " PARA EL ANILLO No.";J
650 PRINT
655 FOR I=1 TO NNNTA(J)
660 PRINT "EL GASTO Q(";I;")=";QQQQ(I,J)
665 NEXT I
667 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 667
668 CLS:BEEP
669 NEXT J
670 PRINT

```



```

1 CLS: CLEAR: KEY OFF: F=.02
2 PRINT "      - PROGRAMA PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN 'f' -"
3 PRINT
4 PRINT " (PARA TODOS LOS REGIMENES DE FLUJO, CUALQUIER TIPO DE MATERIAL
Y SECCION TRANSVERSAL DEL CONDUCTO)"
5 PRINT: BEEP
6 PRINT " OBSERVACION: SI EL CONDUCTO TIENE SECCION TRANSVERSAL DISTINTA DE LA
CIRCULAR, ENTONCES SUSTITUYASE 'D' POR EL DIAMETRO HIDRAULICO (Dh=4Rh); O EN
SU CASO POR EL DIAMETRO DEL CIRCULO INSCRITO EN LA SECCION, (VER LOS CRITERIOS
DE USO). "
7 PRINT
8 PRINT "      - OPRIME UNA TECLA -"
9 K$=INKEY$: IF K$="" THEN 9
10 CLS: BEEP
11 PRINT "ESCOJE LA OPCION QUE DESEES; ( 1,2,3 o 4 );"
12 PRINT
13 PRINT "TUBOS LISOS O RUGOSOS EN LA ZONA LAMINAR.....(1)"
14 PRINT "TUBOS LISOS EN LA ZONA DE TRANSICION A TURBULENTO... (2)"
15 PRINT "TUBOS RUGOSOS EN LA ZONA DE TRANSICION A TURBULENTO. (3)"
16 PRINT "TUBOS RUGOSOS EN LA ZONA DE COMPLETA TURBULENCIA.... (4)"
17 PRINT
18 INPUT "TECLEA POR FAVOR SOLO EL NUMERO DE LA OPCION QUE ESCOGISTE "; A
19 IF A=1 THEN GOTO 25
20 IF A=2 THEN GOTO 33
21 IF A=3 THEN GOTO 41
22 IF A=4 THEN GOTO 51
23 IF A<>1 OR A<>2 AND A<>3 OR A<>4 THEN GOTO 10
24 CLS
25 CLS: BEEP
26 PRINT "      TUBOS LISOS O RUGOSOS EN LA ZONA LAMINAR."
27 PRINT "      Re < 2000"
28 PRINT
29 INPUT "DAME EL NUMERO DE REYNOLDS Re"; RE
30 W=.64/RE
31 PRINT
32 GOTO 60
33 CLS: BEEP
34 PRINT "      TUBOS LISOS EN LA ZONA DE TRANSICION A TURBULENTO."
35 PRINT "      23,000 <= Re <= 3'400,000"
36 PRINT
37 INPUT "DAME EL NUMERO DE REYNOLDS Re"; RE
38 W=.25*((LOG((RE*SQR(F))/2.51))/LOG(10))^2
39 IF ABS(W-F)<=.00001 THEN GOTO 60
40 F=W: GOTO 38
41 CLS: BEEP
42 PRINT "      TUBOS RUGOSOS EN LA ZONA DE TRANSICION A TURBULENTO."
43 PRINT "      Re > 4000"
44 PRINT
45 INPUT "DAME EL NUMERO DE REYNOLDS Re"; RE
46 INPUT "DAME EL DIAMETRO D; EN MM."; D
47 INPUT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA ; EN MM."; E
48 W=.25*((LOG((E/(3.71*D)))+(2.51/(RE*SQR(F))))/LOG(10))^2
49 IF ABS(W-F)<=.00001 THEN GOTO 60
50 F=W: GOTO 48
51 CLS: BEEP
52 PRINT "      TUBOS RUGOSOS EN LA ZONA DE COMPLETA TURBULENTO."
53 PRINT
54 INPUT "DAME EL DIAMETRO D; EN MM."; D
55 INPUT "DAME LA RUGOSIDAD ABSOLUTA E; EN MM."; E
56 W=.25*((LOG((3.71*D)/E))/LOG(10))^2

```

```
57 IF ABS(W-F)<=.00001 THEN GOTO 60
58 F=W:GOTO 56
59 PRINT
60 CLS:BEEP:PRINT "          EL COEFICIENTE DE FRICCION 'F' ES :";W
61 PRINT
62 PRINT "          - OPRIME UNA TECLA -"
63 K$=INKEY$:IF K$="" THEN 63
64 CLS:BEEP
65 INPUT "DESEAS CONTINUAR SI O NO ? (TECLEA S O N)";A$
66 IF A$="S" OR A$="s" THEN GOTO 1
67 IF A$="N" OR A$="n" THEN GOTO 69
68 IF A$<>"S" OR A$<>"s" AND A$<>"N" OR A$<>"n" THEN GOTO 65
69 PRINT:CLS:BEEP:BEEP
70 PRINT
71 PRINT
72 PRINT
73 PRINT
74 PRINT
75 PRINT
76 PRINT
77 PRINT
78 PRINT
79 PRINT "          - FIN DEL PROGRAMA -"
80 END
```

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Sotelo, Gilberto, "Hidráulica General", Editorial Limusa, 1995.
- 2.- Mataix, Claudio, "Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas" 2ª Edición, Editorial Harla, 1982.
- 3.- Streeter, Victor, "Mecánica de los Fluidos", Editorial McGraw-Hill, 1976.
- 4.- Merritt, Frederick, "Manual del Ingeniero Civil" Volumen III, Editorial McGraw-Hill, 1986.
- 5.- "Manual de Especificaciones Generales y Técnicas de Construcción de Sistemas de Alcantarillado y Agua Potable", Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1986.
- 6.- "Manual de Diseño de Obras Civiles" Capítulo C.2.6 Tuberías, Comisión Federal de Electricidad, 1981.
- 7.- "Manual de Diseño de Obras Civiles" Capítulo A.2.3 Conducciones a Presión, Comisión Federal de Electricidad, 1981.
- 8.- Gardea, Humberto, "Aprovechamientos Hidroeléctricos y de Bombeo", Editorial Trillas, 1992.
- 9.- Linsley, Ray, "Ingeniería de los Recursos Hidráulicos", Compañía Editorial Continental, 1987.
- 10.- "Manual de Diseño de Estructuras de Aforo", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1988.
- 11.- Lara, Jorge, "Alcantarillado", División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica, 1991.
- 12.- "Mecánica de los fluidos e hidráulica", Ralnd V. Giles; serie de compendios Shaum. Editorial McGraw-Hill.
- 13.- "Elementos de Mecánica de fluidos"; J.K. Vennard, R.L. Street; Editorial Cecsá.
- 14.- "Manual de hidráulica", J.M de Acevedo, Guillermo Acosta A; Editorial Harla.
- 15.- "Métodos numéricos en hidráulica fundamental (ocho algoritmos básicos)", E. Vazquez; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- 16.- "Manual del microcomputador Casio FX-850P/FX-880P", CASIO Computer Co; Ltd., 1994.
- 17.- Apuntes del curso de Abastecimiento de Agua potable del Ing. Héctor Montoya Maciel; F.I., UNAM, 1993.