

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**CALCULOS FUNDAMENTALES PARA AUTOMATIZAR EL DISEÑO  
DE REDES DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL**

INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**PETER LUIS ALVINO DE LA SOTA**

PROMOCION 1998 – II

Lima – Perú

2002

*A mis Padres y hermanas,  
que con amor siempre me  
alentaron a continuar. A  
todos mis amigos con los  
que compartí grandes  
momentos. Al Dios de la  
Vida que me acompaña  
siempre...*

# **TITULO: CALCULOS FUNDAMENTALES PARA AUTOMATIZAR EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL**

PROLOGO

## **CAPITULO I**

1.0 INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

1.2 Objetivo

1.3 Alcances

## **CAPITULO II**

2.0 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

2.1 Definición

2.2 Clasificación del gas natural

2.3 Propiedades y comportamiento

## **CAPITULO III**

3.0 ECUACIONES MATEMATICAS PARA EL CALCULO DE FLUJO DE  
GAS EN TUBERIAS

3.1 Obtención de la ecuación general

3.2 Analisis dimensional de la ecuación básica

3.3 Evaluación numérica de la ecuación básica

3.4 El factor de transmisión

3.5 Distribución del caudal en tuberías enlazadas.

3.6 Corrección por compresibilidad

3.7 La ecuación de Panhandle

## **CAPITULO IV**

### **4.0 ESTUDIO DE LAS PERDIDAS SECUNDARIAS**

- 4.1 Coeficientes de pérdidas para los montajes
- 4.2 Conversión del Coeficiente de pérdidas en Longitud Equivalente
- 4.3 Coeficiente de pérdida de Crane
- 4.4 Ejemplos de cálculo

## **CAPITULO V**

### **5.0 METODOS DE CALCULO DE REDES DE GAS NATURAL**

- 5.1 Método Hardy Cross
- 5.2 Método simplificado de Hardy Cross
- 5.3 Método de Renouard
- 5.4 Método de demallaje simplificado
- 5.5 Método de demallaje simplificado a varias fuentes y multiples salidas
- 5.6 Procedimiento
- 5.7 Algunas consideraciones para el cálculo de redes de gas.
- 5.8 Aplicación del procedimiento de cálculo

## **CAPITULO VI**

### **6.0 ENTORNO DEL SOFTWARE DE CALCULO DE REDES DE GAS**

- 6.1 Enlace de datos
- 6.2 Base de Datos
- 6.3 Diagrama de flujo
- 6.4 Módulos de programación a considerar

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

PLANOS

ANEXOS

## PROLOGO

El presente informe nos sumerge en un primer momento en el estudio del gas natural desde el aspecto de su definición como tal, pasando luego a explorar propiedades y características involucradas en los cálculos de solución de redes.

El capítulo 3 nos plantea los modelos matemáticos involucrados en el cálculo de tuberías, revisando el principio sobre el cual se obtuvo la ecuación general hasta llegar a soluciones particulares como las de Weymouth y Panhandle. El término factor de transmisión será materia de estudio, lo mismo que el factor de compresibilidad. Vistas las relaciones matemáticas en una tubería, estudiaremos los coeficientes de Crane para la evaluación de las pérdidas secundarias. Luego pasaremos a analizar una red de gas cuyo balance será resuelto por algunos de los métodos indicados en el capítulo 5.

Se propone la elaboración de una solución informática para el cálculo y balance de red, recomendando una plataforma CAD así como los mecanismos de enlace entre los elementos gráficos y la base de datos.

Finalmente en los anexos se incluye recomendaciones para elegir la mejor ecuación para solucionar una red, una tabla comparativa del factor de transmisión, así como un resumen de las principales ecuaciones. Encontraremos también tablas para el factor de compresión cuando la gravedad específica del gas es de 0.67 y el diagrama de Moody.

# **CAPITULO**

## **I**

## **1.0 INTRODUCCION**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En el cálculo de redes de distribución de gas natural, al cual hace referencia este informe, existían métodos como el de ensayo y error que permitían de una manera bastante empírica realizar un balance de presiones en la red. Este método significaba mucha labor por parte de los ingenieros calculistas, razón por la cual los investigadores buscaron métodos más breves en la solución de redes. Entre estos métodos tenemos el método modificado de Hardy Cross (originalmente para fluidos líquidos) que permite a partir de un factor de corrección obtenido por procesos iterativos balancear la red. El método de Renouard reduce el cálculo de la red a solucionar un sistema de ecuaciones de primer grado según el número de mallas que tenga la red. El método de demallaje simplificado para una o más fuentes permite reducir el número de mallas de la red reduciendo el número de ecuaciones para su solución. Los métodos así comentados son fáciles de aplicar para una red de 2, 4, 8 mallas, pero si la red a analizar tuviese 1000 o más mallas estos cálculos manuales resultarían muy complicados. La incorporación de la computadora en los centros de investigación ha permitido adaptar estos métodos a los lenguajes de programación reduciendo drásticamente el tiempo de obtención de resultados consecuentemente reduciendo los gastos económicos de horas-hombre.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo del informe es cimentar las bases sobre los modelos matemáticos utilizados en cálculo de tuberías transportadoras de gas natural. Revisar el fundamento para la obtención de la ecuación general de flujos de gas (Weymouth, Panhandle, IGT, etc.), asimilar los métodos de solucionar redes de distribución para su automatización. Así mismo conocer las características y propiedades del gas natural.

Conocidas las propiedades del gas y los principios en los cálculos de redes de distribución, se plantea la propuesta de elaborar un software de cálculo nacional que integre una plataforma gráfica (CAD) de datos, con los valores alfanuméricos de presión, temperatura y caudal. A su vez enlazar estos valores a una base de datos dinámica relacional, incorporando también características particulares de un nodo (cliente o fuente) o tramo de tubería.

Solo un conocimiento previo de los principios, parámetros y algoritmos de trabajo manual permiten elaborar un software adecuado.

Por último sirva este informe para difundir entre los estudiantes y egresados las concepciones matemáticas involucradas en la tecnología del gas así como proponernos el reto de elaborar un software nacional de cálculo de redes de distribución de gas natural.

### **1.3 ALCANCES**

El informe trata desde las ecuaciones básicas de flujo, hasta las ecuaciones derivadas ajustadas en forma experimental para tramos de tubería. Se estudia la caída de presión en tramos así como en mallas cerradas para lo cual se considera la red en flujo permanente. Se incluye además el cálculo de las pérdidas secundarias (válvulas, reducciones, codos). Así mismo se plantean las bases para elaborar el programa tales como plataforma de trabajo, diagrama de flujo así como ejemplos de su entorno gráfico y estructura de la base de datos. No llega a la codificación del programa propuesto.

# **CAPITULO**

**II**

## 2.0 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

### 2.1 DEFINICION DEL GAS NATURAL

Se denomina gas natural al formado por los miembros más volátiles de la serie parafínica de hidrocarburos, principalmente metano y en menor proporción etano, butano así como cantidades variables de otros gases no hidrocarburos, como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno (ácido sulfídrico), nitrógeno, helio, vapor de agua, etc.

El gas natural puede obtenerse como tal en yacimientos de gas libre o asociado en yacimientos de petróleo y de condensado (proporciones volátiles de petróleo).

### 2.2 CLASIFICACION

En general, el gas natural puede clasificarse como:

#### a) **Gas Dulce:**

Es aquel que contiene cantidades de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), menores a 4 ppm, en Venezuela por ejemplo se considera un gas apto para ser transportado por tuberías cuando contiene menos de 4 ppm de  $H_2S$ ; menos del 3.0% de  $CO_2$  y 6 a 7 libras de agua por millón de pies cúbicos en condiciones normales (pcn).

**b) Gas agrio o ácido:**

Es aquel que contiene cantidades apreciables de sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros componentes ácidos ( $\text{COS}$ ,  $\text{CS}_2$ , mercaptanos, etc.) razón por la cual se vuelve corrosivo en presencia de agua libre.

**c) Gas rico (húmedo):**

Es aquel del cual se puede obtener cantidades apreciables de hidrocarburos líquidos,  $\text{C}_3\text{H}_8$  de, aproximadamente, 3.0 GPM (galones por 1000 pies cúbicos en condiciones normales). No tiene ninguna relación con el contenido de vapor de agua que pueda contener el gas.

**d) Gas pobre (seco):**

Es un gas que prácticamente está formado por metano ( $\text{CH}_4$ ) y etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ). Sin embargo, en sistemas de compresión de gas, se habla de gas húmedo, en inglés "wet gas", al que contiene vapor de agua y "gas seco" (inglés "dry gas"), al que no contiene vapor de agua.

**2.3 PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO**

En la forma más simple, un gas puede considerarse que está formado por partículas sin volumen y entre las cuales no existen fuerzas de atracción o repulsión. Es un fluido homogéneo, generalmente de baja densidad y viscosidad, sin volumen definido y ocupa cualquier espacio

en el cual se le coloca. Los gases que se ajustan a esta definición, se denominan gases perfectos o ideales.

El concepto anterior de gas, generalmente se cumple en condiciones de baja presión y temperatura, pero gradualmente el gas se aparta de esta definición y el comportamiento teórico se aleja del observado. A medida que aumenta la presión y/o la temperatura, debe incluirse el volumen de las moléculas y las fuerzas de atracción o repulsión entre ellas. A los que cumplen esta definición se les denominan gases reales.

Los cálculos de las propiedades del gas natural, o están bajo la forma de normativa –de hecho o de derecho-, o existen diversos procedimientos a los que los técnicos recurren para conocerlas. Fundamentalmente, la diferencia de ambas reside en la rigurosidad y fiabilidad de sus resultados, fruto de la investigación experimental que se ha realizado. Además, cuando no existe normativa, suele haber diversos procedimientos en función del rango de aplicación, número de componentes, etc.

A continuación se presentan unas propiedades muy comunes del gas natural que tienen unas implicaciones directas en aspectos económicos, de seguridad industrial y de impacto ambiental, y se expone su aplicación, normativa, incertidumbre, etc.

**a) Propiedad Calorífica: Poder calorífico (PCS o Hs)**

Muchas negociaciones de venta de gas natural se hacen con base al poder calorífico del mismo, ya que el precio total de la

negociación dependerá de la cantidad de energía total que se venda, en BTU. También se le conoce como valor calorífico.

El poder calorífico de un gas se define como el calor liberado al quemar un volumen unitario de gas bajo determinadas condiciones. La prueba ASTM D-900, describe detalladamente el equipo y el procedimiento seguido en el laboratorio para su determinación.

Es una propiedad fundamental de cualquier combustible y, por lo tanto del gas natural. Se aplica fundamentalmente en las transacciones económicas entre las compañías distribuidoras y los clientes. Se observa, por lo tanto, que su aplicación tiene repercusiones económicas importantes e inmediatas.

La norma a aplicar es una norma ISO, concretamente la ISO 6976. En resumen especifica que, a partir del conocimiento de la composición del gas natural se puede conocer el poder calorífico del mismo con una determinada incertidumbre. Para ello, la norma proporciona unos determinados datos de poderes caloríficos de los componentes puros y coeficientes usados posteriormente en los cálculos.

La normativa define también los conceptos de temperatura de humos y temperatura del gas natural, poder calorífico superior e inferior, índice de Wobbe, etc. Proporcionando, en función de los umbrales que se consideren, el resultado. Además se efectúa las correcciones volumétricas por el cambio de condiciones de emplazamiento con condiciones normales (0°C y presión atmosférica) o condiciones estándar (15°C y presión atmosférica).

**b) Propiedad termodinámica: Factor compresibilidad (Z)**

Es una propiedad también usada en las transacciones económicas. Físicamente proporciona la diferencia entre el gas real, como es el gas natural, y el gas ideal. Es también uno de los factores que afectan a las transacciones económicas entre distribuidoras y clientes, siendo una magnitud sin unidades.

La normativa a aplicar es la ISO 12213. Esta propiedad es un ejemplo claro de lo expuesto anteriormente: es demasiado compleja para poder calcularla con calculadoras manuales y es también una propiedad cuya correlación se ha obtenido mediante investigaciones experimentales y que, después de un proceso de aceptación, ha llegado a ser norma internacional. La incertidumbre que establece es del 0.1% para los rangos especificados. Ha dejado obsoletos otros procedimientos de cálculo del factor de compresibilidad: GERG 88, AGA8, AGA NX-19 modificada, etc.

**c) Propiedad de transporte: punto de rocío**

El conocimiento de cuándo existe condensación en el gas natural sea de agua o de hidrocarburos es fundamental para prevenir obturaciones en tuberías, mal funcionamiento de equipos, etc. Modernamente se está trabajando más que en el punto de rocío (°C), es decir, la temperatura a la cual se forma la primera gota de líquido, en otro concepto denominado potencial de condensación de hidrocarburos líquidos (PHLC de sus palabras inglesas). Representa

la cantidad de hidrocarburo licuado ( $\text{mg}/\text{m}^3$  (n)) a una determinada presión (P) y temperatura (T). En 1997 se desarrolló una correlación experimental -GergWater- que mejora las existentes: Bukacek y ASTM para la determinación del punto de rocío de agua en función de la composición del gas natural y de las condiciones de operación. Además, se están llevando cabo trabajos en la determinación del PHLC en función del análisis extendido del gas natural (hasta el C16+) y de las condiciones de operación.

El procedimiento GergWater determina el punto de rocío de agua con una incertidumbre de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Desde el punto de vista de diseño de líneas y cálculo de estaciones reguladoras de gas, es uno de los factores a controlar.

# **CAPITULO**

## **III**

### **3.0 ECUACIONES MATEMATICAS PARA EL CALCULO DE FLUJO EN TUBERIAS**

#### **3.1 OBTENCIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL**

El valor del conocimiento de las condiciones para las cuales son aplicables las fórmulas usadas en el cálculo del flujo de gas a través de tuberías, tanto como las asunciones hechas en la derivación de esas fórmulas, justifican un análisis detallado de las ecuaciones básicas.

A partir de tal análisis, se entenderán más fácilmente las diferencias entre las fórmulas para el flujo del gas.

La derivación matemática incluye la fórmula fundamental para el flujo de los fluidos compresibles y la fórmula general para el flujo de gas natural a través de tuberías.

La teoría del flujo de fluidos compresibles y la derivación de las fórmulas básicas están en la mayoría de los textos relacionados con la termodinámica.

La fórmula general para el flujo de gas natural a través de tuberías se puede obtener por varios caminos; el método siguiente parece ser más directo: se considera un tramo de tubería entre dos secciones cualesquiera, que son normales a las paredes del tubo. El flujo entre esas dos secciones requiere cumplir dos condiciones específicas:

- No se hace trabajo sobre el fluido por medios externos.
- El flujo es permanente; o sea que el mismo peso de gas pasa por cada sección de la tubería durante un intervalo de tiempo.

Los gases se miden usualmente en términos volumétricos, más que por peso; sin embargo, las relaciones de energía usadas en la obtención de la fórmula fundamental para el flujo de fluidos compresibles se presentan más fácilmente cuando se considera un peso dado de fluido. Posteriormente se introducen los factores de conversión de peso a volumen.

En la siguiente derivación de la ecuación fundamental para el flujo de un fluido compresible a través de tubería el primer paso es aplicar la ley de conservación de la energía, balanceando solamente la energía mecánica.

A lo largo de la longitud arbitraria de tubería seleccionada, el balance de energía mecánica por unidad de peso del fluido que escurre es:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2g} + H_e = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

Donde los subíndices 1 y 2 designan las condiciones en las secciones de entrada y de salida, respectivamente.

La notación para la ecuación (1) puede ser en cualquier sistema de unidades.

$Z$  : energía potencial por unidad de peso de fluido, debida a su posición, medida por su altura por encima de un nivel de referencia asumido.

$p$  : energía mecánica exigida para pasar la unidad de peso de fluido a  $\gamma$  través de la sección.

$p$  : presión absoluta del fluido que escurre.

$\gamma$  : peso específico del fluido a presión  $p$ , es igual al inverso del volumen específico  $v$ , que representa el volumen de la unidad de peso del fluido a la presión  $p$ .

$\frac{V^2}{2g}$  : energía cinética por unidad de peso del fluido.

$V$  : velocidad del fluido en la sección.

$g$  : aceleración debida a la acción gravitatoria.

He: Trabajo (energía) mecánico hecho y recibido por la unidad de peso de fluido debido a su expansión mientras pasa de la sección de entrada a la sección de salida.

En el flujo de un fluido compresible a través de una tubería, cada unidad de peso del fluido en expansión de una presión  $p_1$  y un volumen específico  $v_1$  a una presión  $p_2$  y un volumen específico  $v_2$  hace el trabajo  $\int_{v_1}^{v_2} p \, dv$  sobre el fluido que lo rodea, y, en un tubo donde el flujo es permanente, cada unidad de

peso de fluido recibe esta misma cantidad de trabajo del resto de fluido en el tubo, por consiguiente, cada unidad de peso de fluido se puede considerar como haciendo este trabajo sobre sí mismo, así que

$$H_e = \int_{v_1}^{v_2} p \, dv$$

$h_f$  : trabajo (energía) mecánico desarrollado por la unidad de peso de fluido en vencer la resistencia cortante de la fricción entre las secciones de entrada y salida del tramo considerado.

A partir del balance de energía de la ecuación (1) se pueden derivar fórmulas para numerosas condiciones de flujo.

En el desarrollo de una fórmula general para el flujo de gas natural a través de tuberías se considerarán solamente las condiciones que conciernen al transporte comercial.

En la aplicación de la ecuación (1) al flujo de gas natural a través de tuberías algunos de los factores son de una pequeña magnitud relativa y pueden ignorarse; además, se hacen muchas asunciones que permiten simplificaciones sin afectar sustancialmente el valor de las ecuaciones resultantes.

Tres de esas asunciones o condiciones son las siguientes:

- a) **El flujo ocurre bajo condiciones isotermas**, o sea que la temperatura del gas permanece inalterada.

La temperatura del gas coincide con la de la tubería y como las tuberías de gas natural usualmente se instalan enterradas, la temperatura del gas que fluye no se afecta apreciablemente

por cambios rápidos de la temperatura atmosférica. Los cambios de temperatura del gas usualmente son estacionales y las observaciones simultáneas de temperatura en las secciones de entrada y salida del tramo de tubería son generalmente las mismas.

**b) El gas se comporta de acuerdo a la ley de Boyle**, que establece que a temperatura constante el volumen ocupado por un gas es inversamente proporcional a la presión absoluta ( $pV=K$ ). Por consiguiente, para la asunción de flujo isotérmico, los productos de presión y volumen que aparecen en ambos miembros de la ecuación (1) se cancelan  $p = pV / v_1 = p_2 v_2$  y la ecuación se convierte en

$$Z_1 + \frac{(V_1)^2}{2g} + H_e = Z_2 + \frac{(V_2)^2}{2g} + hf \quad (2)$$

Sin embargo, es bien conocido que los gases reales no cumplen estrictamente la ley de Boyle. La desviación del gas natural de la ley de Boyle es significativa a altas presiones y depende tanto de la composición química del gas natural como de las condiciones de presión y temperatura bajo las cuales se encuentra. Las desviaciones de la ley de Boyle para un grupo representativo de gases naturales, fueron determinadas inicialmente por Johnson y Berwald, quienes reportan algunos datos detallados concernientes a su magnitud y efecto en el cálculo de flujo.

**c) La tubería es horizontal.** Los cambios de elevación a lo largo de una tubería rara vez son muy grandes y su efecto en el cálculo del flujo de gas usualmente es despreciable; sin embargo, para el flujo de líquidos, el peso del fluido hace imposible ignorar las diferencias en elevación al escribir un balance de energía.

El peso específico del gas natural bajo las presiones ordinarias en las tuberías es pequeño comparado con el de los líquidos y en la mayoría de condiciones las diferencias de energía potencial del gas debido a diferencias de elevación tienen un pequeño significado relativo.

La tasa de flujo es usualmente suficientemente alta para dar grandes valores a los términos de la ecuación (1) comparados con las diferencias de valores entre los términos  $Z_1$  y  $Z_2$ .

Por consiguiente  $Z_1$  y  $Z_2$  se eliminan en la ecuación (1).

Johnson y Berwald presentaron por primera vez los datos obtenidos en ensayos de flujos donde se relacionan las diferencias de elevación observadas y sus efectos en el cálculo de la tasa de flujo.

De acuerdo con estas tres asunciones; flujo isotérmico, cumplimiento de la ley de Boyle y tubo horizontal, la ecuación

(1) se convierte en

$$\frac{(V_1)^2}{2g} + H_e = \frac{(V_2)^2}{2g} + hf$$

o sea:

$$h_f = H_e - \left[ \frac{(V_2)^2 - (V_1)^2}{2g} \right] \quad (3)$$

En el flujo de gas natural a través de tubería ocurren usualmente considerables caídas de presión entre las secciones de entrada y salida, por lo tanto se tendrán en cuenta las condiciones de flujo relativas a "*grandes porcentajes de caída de presión*" mencionadas originalmente por Walker y otros.

Como la presión a lo largo de la tubería disminuye y la temperatura permanece constante, el volumen del gas aumenta.

Y como el mismo peso de gas cruza cada sección del tubo durante el mismo intervalo de tiempo, y el tubo es de área constante en la sección, la velocidad del flujo aumenta.

Por lo tanto se considerarán las relaciones de energía para una longitud diferencial ( $\delta l$ ). Para esa longitud diferencial  $\delta l$  la ecuación (3) es:

$$\delta h_f = \delta H_e - \frac{\delta v^2}{2g} \quad (4)$$

Antes de evaluar el término  $\delta h_f$  es necesario definir brevemente la naturaleza del flujo de gas natural en el transporte comercial:

En el flujo de fluidos el movimiento de las partículas fluidas a través del tubo es ó laminar ó turbulento.

Como su nombre lo indica, en el flujo laminar el movimiento de las partículas es paralelo a las paredes de tubo y no hay corrientes

transversales, mientras que en el flujo turbulento existen corrientes transversales o vórtices.

Se considera que el flujo laminar ocurre usualmente a bajas velocidades. El trabajo de Reynolds establece las relaciones entre el tipo de flujo y el diámetro del tubo, la velocidad del flujo y la densidad y la viscosidad del fluido.

En el transporte comercial de gas natural por tubería el flujo es decididamente turbulento y es para este tipo de flujo que se expresa aquí la ecuación del balance de energía.

El trabajo hecho para vencer la resistencia de la fricción en la distancia  $\delta l$  es igual al producto entre la resistencia de fricción y la distancia a lo largo de la cual se vence esa resistencia.

Para flujo turbulento, según Prandtl, la resistencia a la fricción es proporcional a la superficie de contacto con el fluido, aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad y proporcional al peso específico del fluido. Ahora, si la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad ( $V^2$ ) es también proporcional a la cabeza de velocidad ( $V^2/2g$ ).

Expresada en símbolos, la resistencia a la fricción ( $\delta R_f$ ) es proporcional a:

$$\delta l \cdot P \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma$$

donde:

$\delta l$  : longitud del tubo

P : perímetro del tubo

$V$  : velocidad del flujo

$g$  : aceleración de la gravedad

$\gamma$  : peso específico del fluido

o sea que

$$\delta R_f = f \cdot \delta l \cdot P \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma$$

El término  $f$  es el factor de proporcionalidad requerido para satisfacer la igualdad y es comúnmente llamado factor de fricción.

Ahora, el trabajo requerido para vencer la resistencia de la fricción en un tramo  $\delta l$  de tubería será:

$$\delta R_f \cdot \delta l = f \cdot \delta l \cdot P \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \cdot \delta l$$

El peso de fluido en ese tramo de tubo es igual al área de la sección  $A$ , multiplicada por la longitud del tramo,  $\delta l$ , y por el peso específico del fluido,  $\gamma$ , o sea:

$$A \cdot \delta l \cdot \gamma$$

Y el trabajo requerido para vencer la resistencia de la fricción en la longitud  $\delta l$ , por unidad de peso es:

$$\delta h_f = \frac{f \cdot \delta l \cdot P \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \cdot \delta l}{A \cdot \delta l \cdot \gamma}$$

Sustituyendo los valores para  $P = \pi D$  y  $A = \pi D^2/4$  se obtiene

$$\delta h_f = 4f \cdot \frac{\delta l}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (5)$$

que no es más que otra versión de la ecuación de Darcy-Weisbach

En la ecuación (4) el término  $\delta H_e$  puede evaluarse como

$$\delta H_e = p \delta V \quad (6)$$

Sustituyendo en la ecuación (4) los valores para  $\delta h_f$  y  $\delta H_e$  como se expresan en las ecuaciones (5) y (6), tenemos:

$$4 \cdot f \cdot \frac{\delta l}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = p \cdot \delta V - \frac{v \cdot \delta v}{g} \quad (7)$$

Para simplificar la solución de la ecuación (7),  $V$ ,  $\delta V$  y  $p$  se expresan en términos del caudal volumétrico ( $Q$ ), el caudal en peso ( $Q_p$ ), la constante del gas ( $R$ ) y la temperatura del gas ( $T$ ), así:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q \cdot \gamma}{A \cdot \gamma} = \frac{Q_p}{A \cdot \gamma} = \frac{Q_p \cdot v}{A}$$

$$\delta V = \frac{Q_p \cdot \delta v}{A}$$

$$p = \frac{R \cdot T}{v} \quad (\text{para un gas ideal})$$

Sustituyendo en la ecuación (7):

$$4f \cdot \frac{\delta l}{D} \cdot \frac{(Q_p)^2}{2g} \cdot \frac{v^2}{A^2} = \frac{R \cdot T}{v} \delta v - \frac{Q_p \cdot v}{A \cdot g} \cdot \frac{Q_p}{A} \cdot \delta$$

Dividiendo ambos miembros entre  $v^2$ :

$$4 \cdot f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{(Q_p)^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \cdot \delta l = R \cdot T \cdot \frac{\delta v}{v^3} - \frac{(Q_p)^2}{A^2 \cdot g} \cdot \frac{\delta v}{v}$$

Integrando entre los límites 0 (cero) y L para la longitud y  $v_1$  y  $v_2$  para el volumen:

$$4 \cdot f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{(Q_p)^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \cdot L = RT \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{1}{(v_1)^2} - \frac{1}{(v_2)^2} \right] - \frac{(Q_p)^2}{A^2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$$

Pero, como  $p_1 v_1 = p_2 v_2 = RT$ , la ecuación se puede escribir así:

$$4 \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{(Q_p)^2}{2 \cdot g \cdot A^2} = RT \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{1}{\left[\frac{R^2 \cdot T^2}{(P_1)^2}\right]} - \frac{1}{\left[\frac{R^2 \cdot T^2}{(P_2)^2}\right]} \right] - \frac{(Q_p)^2}{A^2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{\frac{RT}{P_1}}{\frac{RT}{P_2}}\right)$$

o sea:

$$4 \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{(Q_p)^2}{2 \cdot g \cdot A^2} = \frac{(p_1)^2 - (p_2)^2}{2 \cdot R \cdot T} - \frac{(Q_p)^2}{A^2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Multiplicando ambos miembros de la ecuación por  $(RT/p_1)^2$ :

$$4 \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{(Q_p)^2}{2 \cdot g \cdot A^2} \cdot \left(\frac{RT}{p_1}\right)^2 = \frac{(p_1)^2 - (p_2)^2}{2 \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{RT}{p_1}\right)^2 - \left(\frac{RT}{p_1}\right)^2 \frac{(Q_p)^2}{A^2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Agrupando para  $(Q_p RT/p_1)^2$  queda:

$$4 \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2 \cdot g \cdot A^2} \cdot \left(\frac{Q_p \cdot RT}{p_1}\right)^2 = \frac{(p_1)^2 - (p_2)^2}{2} \cdot \frac{RT}{(p_1)^2} \left(\frac{Q_p \cdot RT}{p_1}\right)^2 - \frac{1}{A^2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

Resolviendo para  $(Q_p RT/p_1)^2$ :

$$\left(\frac{Q_p \cdot RT}{p_1}\right)^2 = \frac{\frac{RT[(p_1)^2 - (p_2)^2]}{2(p_1)^2}}{\left(4 \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2 \cdot g \cdot A^2}\right) + \frac{1}{A^2 \cdot g} \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}$$

Reordenando:

$$\left(\frac{Q_p \cdot RT}{p_1}\right) = A \cdot \left[ \frac{\frac{gRT[(p_1)^2 - (p_2)^2]}{2(p_1)^2}}{4 \cdot f \cdot \frac{L}{2 \cdot D} + \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Ahora, como

$$V_1 = RT/p_1 \text{ -----> } Qpv_1 = QpRT/p_1 \text{ y como}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q \cdot \gamma}{A \cdot \gamma} = \frac{Q_p}{A \cdot \gamma} = \frac{Q_p \cdot v}{A} \text{ -----> } Qpv_1 = AV_1 \text{ se puede escribir:}$$

$$QpRT/p_1 = AV_1$$

Además, como para tuberías comerciales la relación longitud a diámetro (L/D) es grande comparada con la relación de presiones a la entrada y a la salida del tramo, el valor del término  $\ln(p_2/p_1)$  es despreciable en comparación con el valor del término  $4fL/2D$  y para cálculos ordinarios podrá ignorarse; así la ecuación (8) podrá escribirse:

$$A \cdot V_1 = A \cdot \left[ \frac{g \cdot RT \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2]}{2 \cdot (p_1)^2 \cdot \frac{4 \cdot f \cdot L}{2 \cdot D}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ahora, como el caudal en volumen es  $Q=Av$  y  $R = K_G/M$ , donde  $M$  es el peso molecular del gas (N/mol) y  $K_G$  es la constante universal de los gases.

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q = A \cdot \left[ \frac{g \cdot K_G \cdot T \cdot D \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2]}{M \cdot p_1 \cdot 4 \cdot f \cdot L} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Sin embargo, la ecuación (9) debe y puede simplificarse de manera que pueda expresarse en términos de variables que se midan más fácilmente.

La principal función de cualquiera fórmula de flujo en tuberías está en su aplicación al diseño de sistemas de tuberías. Por esta razón es deseable expresar las relaciones de los diversos factores que influyen en el flujo en su forma más simple para facilitar el cálculo de cualquiera de las variables cuando se conocen las demás.

La ley de los gases ( $p_v = RT$ ) nos permite relacionar las condiciones absolutas ( $p, T$ ) con las condiciones ambientales, o de base ( $p_b, T_b$ ), para lo cual multiplicamos la ecuación (9) por  $p_1 T_b / p_b T$ , así:

$$Q = A \cdot \left[ \frac{g \cdot K_G \cdot T \cdot D \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2]}{M \cdot (p_1)^2 \cdot 4 \cdot f \cdot L} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{p_1 \cdot T_b}{P_b \cdot T} \quad \text{que es lo mismo que}$$

$$Q = A \cdot \left[ \frac{g \cdot K_G \cdot D \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2]}{M \cdot 4 \cdot f \cdot L \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{p_b}$$

El área en términos del diámetro es  $A = \pi D^2/4$ :

$$Q = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{g \cdot K_G \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot D^5}{M \cdot 4 \cdot f \cdot L \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{p_b}$$

La gravedad específica de los gases ( $\gamma$ ) se determina respecto al aire, así:

$\gamma = M/M_{\text{aire}}$  o sea  $M = M_{\text{aire}} \cdot \gamma$  y se tiene:

$$Q = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{g \cdot K_G \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot D^5}{M_{\text{aire}} \cdot \gamma \cdot 4 \cdot f \cdot L \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{p_b} \quad (10)$$

Esta es la ecuación fundamental para el flujo de fluidos compresibles a lo largo de tuberías.

### 3.2 ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA ECUACIÓN BÁSICA

$$Q = \left[ \frac{\left(\frac{L}{T^2}\right) \cdot \left(\frac{L \cdot F}{\text{mpl} \cdot t}\right) \cdot \left(\frac{F}{L^2}\right)^2 \cdot (L)^5}{\left(\frac{F}{\text{mpl}}\right) \cdot (L) \cdot (t)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{(t)}{\left(\frac{F}{L^2}\right)}$$

$$Q = \left[ \left(\frac{L}{T^2}\right) \cdot (L)^5 \right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{L^3}{T}\right)$$

### 3.3 EVALUACIÓN NUMÉRICA DE LA ECUACIÓN BÁSICA

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$K_G = 0.082 \cdot \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1 \cdot \text{m}^3}{1000 \cdot \text{l}} \cdot \frac{0.76 \cdot \text{m} \cdot 13.56 \cdot 9.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{1 \text{ atm}} = 8.282 \cdot \frac{\text{mN}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Maire} = 29.0 \frac{\text{gf}}{\text{mol}} \cdot \frac{1 \text{ kgf}}{1000 \cdot \text{gf}} \cdot 9.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{kgf}} = 0.2842 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mol}}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ \frac{9.8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 8.282 \cdot \frac{\text{mN}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot D^5}{0.2842 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mol}} \cdot \gamma \cdot 4 \cdot f \cdot L \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{P_b}$$

$$Q = 6.64 \cdot \frac{\text{m}}{\text{sK}^{\frac{1}{2}}} \cdot \left[ \frac{[(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot D^5}{\gamma \cdot f \cdot L \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{P_b}$$

Esta es la ecuación general para el flujo de fluidos compresibles a lo largo de tuberías, en unidades SI.

NOTA: si se desea expresar el diámetro D en milímetros y no en metros, se requiere dividir el coeficiente entre  $(1000)^{5/2}$ ; se obtiene  $7.57 \cdot 10^{-4}$  y las demás variables permanecen en unidades SI básicas.

### Evaluación numérica de la ecuación básica en unidades imperiales

$$g = 32.17 \text{ pie/s}^2$$

$$K_G = 1544 \text{ pie} \cdot \text{lb}_f / \text{lbm} \cdot \text{°R} \quad \text{Maire} = 29.0$$

L: en milla (1 milla = 5280 pie)    D: en pulgada

Q: en pie cúbico / hora

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ \frac{32.17 \cdot \frac{1544}{29} \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot \left(\frac{D}{12}\right)^5}{\gamma \cdot 4 \cdot f \cdot (5280L) \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{\rho_b} \cdot (3600)$$

$$Q = 1.6156 \cdot \left[ \frac{[(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot D^5}{\gamma \cdot f \cdot L \cdot T} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{T_b}{\rho_b}$$

Esta es la ecuación general para el flujo de fluidos compresibles a lo largo de tuberías, en unidades imperiales.

### 3.4 EL FACTOR DE TRANSMISIÓN

Como se puede observar en la ecuación general de flujo de gas en tuberías, el factor "f" es el parámetro determinante en el valor del caudal. Del modo como se evalúe dependerá la respuesta.

Existen diferentes definiciones para su evaluación, entre ellos la I.G.T., han llamado este valor: factor de transmisión y lo aplican como el inverso de la raíz cuadrada  $(1/f)^{1/2}$ .

La mejor manera de medir las diferencias que se logran al calcular el caudal, con cada uno de los modelos, es aplicarlos para un mismo caso y comparar resultados (ver Anexo A).

Estos modelos se pueden clasificar en cuatro:

a) Coeficiente de fricción es una constante numérica:

Rix:	$(1/f)^{1/2} =$	14.72
Pole:	Diámetro	$(1/f)^{1/2}$
	3/4" – 1"	9.56
	1 1/4" – 1 1/2"	10.50
	2"	11.47
	3"	12.43
	>= 4"	12.90

b) Coeficiente de fricción en función del diámetro de la tubería, d:

Spitglass:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = \sqrt{\frac{354}{1 + \frac{3.6}{d} + (0.03)d}}$$

Weymouth:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (11.19) \cdot d^{\frac{1}{6}}$$

Oliphant:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 13.0 + (0.433) \cdot \sqrt{d}$$

c) Coeficiente de fricción como función del número de Reynolds

(Re):

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu}$$

Panhandle "A":

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (6.872) \cdot \text{Re}^{0.0730}$$

Nueva Panhandle:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (16.49) \cdot \text{Re}^{0.01961}$$

Blasius:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (3.56) \cdot \text{Re}^{0.125}$$

Müller:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (3.35) \cdot \text{Re}^{0.130}$$

d) Coeficiente de fricción en función del número de Reynolds y el diámetro de la tubería en la cual se encuentra la ecuación de

Fritzsche:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = (5.145) \cdot (\text{Re} \cdot d)^{0.071}$$

Reemplazando estas expresiones para el factor de transmisión en la ecuación general construimos la Tabla mostrada en el anexo A. Es necesario conocer estas relaciones puesto que un software de cálculo de redes de gas debe tener posibilidades de evaluar la red por diversos métodos y según las condiciones del gas.

La ecuación de Weymouth pertenece a la segunda clasificación, ya que el coeficiente de fricción es una función del diámetro interno de la

tubería. Si reemplazamos esta función en la ecuación general y además expresamos el caudal en pies cúbicos por día tendríamos:

$$Q = 433.488 \cdot \frac{T_b}{p_b} \cdot \sqrt{\frac{[(p_1)^2 - (p_2)^2] \cdot d^{\frac{16}{3}}}{\gamma \cdot T \cdot L}}$$

Constante de Weymouth:

$$C = \frac{433.488 \cdot T_b}{p_b \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{T}}$$

Coefficiente de Weymouth:

$$K = C \cdot d^{\frac{8}{3}}$$

Entonces la ecuación de Weymouth se reduce:

$$Q = \frac{K}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{(p_1)^2 - (p_2)^2}$$

### 3.5 DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL EN TUBERÍAS ENLAZADAS:

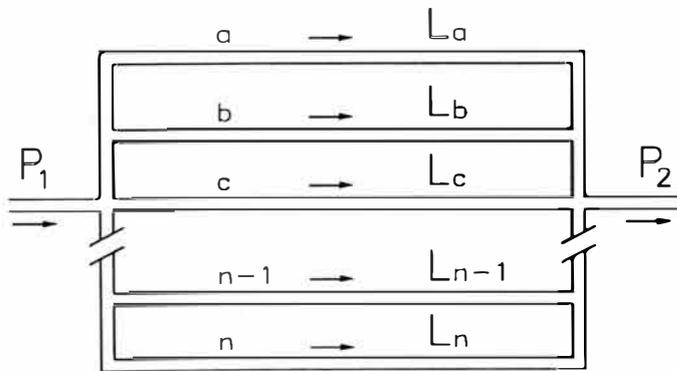
a) **De igual longitud.** Los sistemas enlazados de igual longitud están formados por dos o más tuberías paralelas, las cuales manejan un mismo gas en idénticas condiciones de temperatura de flujo, presión de entrada y de salida y, por supuesto, caída de presión. La capacidad de cada línea que contribuye con el sistema puede ser calculada a partir de la ecuación reducida de Weymouth y la suma de las capacidades parciales será la capacidad total del sistema considerado.

El porcentaje de este caudal que es manejado por una sola de las tuberías del sistema se calcula dividiendo el volumen de esta tubería

en particular, entre la capacidad total del sistema, multiplicada por 100. De esta forma el porcentaje del volumen por una tubería "A" del lazo es:

$$\%Q_A = 100 \cdot \left[ \frac{(d_A)^{\frac{8}{3}}}{(d_A)^{\frac{8}{3}} + (d_B)^{\frac{8}{3}} + \dots + (d_N)^{\frac{8}{3}}} \right]$$

**b) Lazos de diferentes longitudes.** En los sistemas enlazados o interconectados, formados por tramos de diferentes longitudes, también se cumplirá que el caudal total deba ser igual a la sumatoria de los caudales individuales. En ese sentido el flujo individual de cada tramo se determinará dividiendo la razón de cada diámetro y longitud individual entre la sumatoria de estas razones.

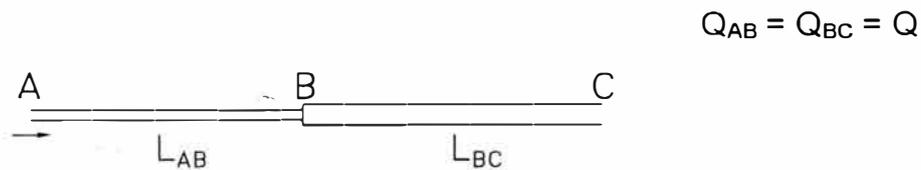


$$d_T^{8/3} = d_a^{8/3} + d_b^{8/3} + d_c^{8/3} + d_n^{8/3}$$

$$\%Q_i = \frac{Q_i}{Q_T} = \left[ \frac{\frac{(d_i)^{\frac{8}{3}}}{(L_i)^{\frac{1}{2}}}}{\sum_{i=1}^n \frac{(d_i)^{\frac{8}{3}}}{(L_i)^{\frac{1}{2}}}} \right] \cdot 100$$

### c) Capacidad De Un Sistema De Dos Tuberías En Serie

En la figura mostrada se presentan dos tuberías de diferentes diámetros conectadas en serie. Dado que el caudal que atraviesa por el sistema es el mismo podemos igualar la ecuación de Weymouth entre el primer y segundo tramo de la tubería.



Obteniéndose la siguiente expresión para el caudal del sistema:

$$Q = \sqrt{\frac{(p_A)^2 - (p_C)^2}{\frac{L_{AB}}{(K_{AB})^2} + \frac{L_{BC}}{(K_{BC})^2}}}$$

### d) Longitud Equivalente En Tuberías

Para efectos de evaluación de posibles reemplazos de una tubería por una equivalente de diferente longitud y diámetro manteniendo el caudal constante se puede emplear la siguiente ecuación deducida a partir de la ecuación de Weymouth:

$$L_B = \left[ \frac{(d_B)^{\frac{8}{3}}}{(d_A)^{\frac{8}{3}}} \right]^2 \cdot L_A = \left( \frac{K_B}{K_A} \right)^2 \cdot L_A$$

### 3.6 CORRECCIÓN POR COMPRESIBILIDAD (Z)

El efecto de la compresibilidad deberá compensarse adecuadamente en tuberías de gas de alta presión, a fin de hacer las predicciones con exactitud. Originalmente los datos de compresibilidad (Z) fueron tomados de las correlaciones de Brown y otros de los boletines Nros. TS-461 y TS-402, de la Asociación de gasolina natural de California. La norma ISO 12213 establece el procedimiento de cálculo mas adecuado para determinar este factor, desplazando el método GERG88 y SGERG88.

El valor de la presión “p” que aparece en la ecuación de Weymouth es en verdad la presión “p” dividida por el factor de compresibilidad “Z”, esto significa que la verdadera expresión de la diferencia cuadrática de presiones es:

$$\sqrt{\left(\frac{p_1}{Z_1}\right)^2 - \left(\frac{p_2}{Z_2}\right)^2}$$

### 3.7 LA ECUACIÓN DE PANHANDLE

La ecuación Panhandle es considerada una de las formulas de mayor uso en la industria del gas natural, para el diseño de tuberías. A diferencia de la ecuación de Weymouth, la ecuación Panhandle se emplea para diseños de tuberías de alta presión y gran diámetro, donde la tasa de flujo puede variar notablemente.

El factor de fricción ( $f$ ), para la ecuación de Panhandle, puede expresarse en función del número de Reynolds ( $Re$ ), según la relación empírica:

$$\sqrt{\frac{i}{f}} = (16.49) \cdot Re^{0.01961}$$

La cual se considera valida para un intervalo:  $4 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^7$ .

Existen diferentes ecuaciones Panhandle modificadas, que se consiguen en textos, existen diferencias entre los exponentes de acuerdo con el grado de aproximación que se le quiera dar. En todo caso, debe tenerse presente el intervalo de viscosidad, número de Reynolds, etc., donde se considera válida esa ecuación.

La más general de estas expresiones se presenta a continuación:

$$Q = C_p \cdot \frac{d^{2.6182}}{L^{0.5394}} \cdot [(p_1)^2 - (p_2)^2]^{0.5394}$$

Donde:

$$C_p = \frac{435.87}{\gamma^{0.4606} \cdot T^{0.5394}} \cdot \left( \frac{T_b}{\rho_b} \right)^{1.07881}$$

Donde:

Q = caudal, m<sup>3</sup>/día

d = diámetro, cm.

p<sub>1</sub> = Presión, Kg/cm<sup>2</sup> abs.

p<sub>2</sub> = Presión, Kg/cm<sup>2</sup> abs.

γ = Gravedad específica de gas (aire=1)

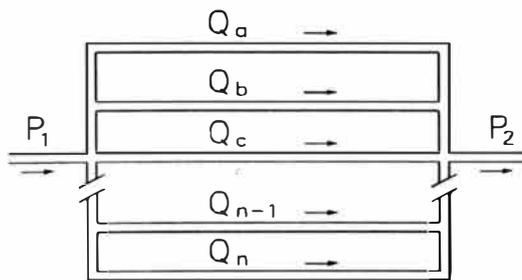
T = Temperatura, °C.

L = Longitud, Km.

E = Eficiencia de la tubería.

**a) Distribución de flujo en tuberías enlazadas de igual longitud.**

En este caso un flujo Q<sub>T</sub> se distribuye por varias tuberías paralelas de igual longitud según se muestra en la figura, entonces la fracción del flujo total que circula por una de las tuberías enlazadas será:



Que equivale a:

$$\frac{Q_A}{Q_T} = \frac{(d_A)^{2.53}}{(d_A)^{2.53} + (d_B)^{2.53} + \dots + (d_N)^{2.53}}$$

$$\%Q_i = \left[ \frac{(d_i)^{2.53}}{\sum_{i=1}^n (d_i)^{2.53}} \right] \cdot 100$$

**b) Longitud equivalente.**

Si se trata de un cierto sistema, como el que aparece en la figura mostrada, limitado por las presiones de entrada y salida de la tubería y con un diámetro  $d_A$ , y se desea conocer que longitud de tubería será capaz de conducir la misma tasa de flujo en idénticas condiciones de presión y temperatura, pero con un diámetro  $d_B$  diferente:

$$\frac{L_A \cdot Q}{P_1 \cdot d_A \cdot P_2} = \frac{L_B \cdot Q}{P_1 \cdot d_B \cdot P_2}$$

$$L_B = \left( \frac{d_B}{d_A} \right)^{4.96} \cdot L_A$$

# **CAPITULO**

## **IV**

## 4.0 ESTUDIO DE LAS PERDIDAS MENORES

### 4.1 COEFICIENTES DE PÉRDIDA PARA LOS MONTAJES: INTRODUCCIÓN

#### **El uso de coeficientes de pérdida en flujo compresible**

Las pérdidas por los montajes (curvaturas, válvulas, reducciones, etc.) generan incremento en la entropía provocado por fricción y turbulencia. En el caso de montajes donde el diámetro no cambia, este aumento entropía se manifiesta en una caída de presión. Éste no es necesariamente el caso para ensanchamientos que disminuyen la velocidad el fluido, convirtiendo la energía cinética en entalpía.

El estudio de pérdidas a través de los montajes para flujo compresible es un campo pobremente investigado. Benedict ha realizado trabajos en el estudio especial de reducciones abruptas y agrandamientos.

Para fluidos incompresibles, el aumento en entropía causado por montajes ha sido presentado por muchos investigadores (ej. Schutt) siendo mejor descrito en términos de pérdida de cabeza de velocidad.

El coeficiente de pérdida  $K_L$  es el factor de cabeza de velocidad perdido por el montaje. La pérdida de cabeza  $h_f$  y la pérdida de presión  $P_f$  se calculan de las ecuaciones:

$$h_f = K_L \cdot V^2 / (2 \cdot g)$$

$$P_f = h_f \cdot D \cdot g = K_L \cdot V^2 \cdot D / 2$$

En ausencia de un mejor medio de cálculo de pérdidas en flujos compresibles, muchos optan por usar simplemente los coeficientes para flujos incompresibles. Miller informa que estos coeficientes de flujos incompresibles pueden usarse para flujo compresible, excepto cuando estamos cerca a la velocidad sónica donde el flujo está acelerando rápidamente.

Es importante ser consciente de la naturaleza aproximada y limitaciones de los coeficientes de pérdida, incluso para flujo incompresible:

- Exactitud: Apthorp & Medes están de acuerdo cuando las correlaciones están dentro del 12% de los valores medibles.
- Posición de pérdida de presión: la turbulencia es producida por un efecto de ajuste en las tomas sobre una longitud de tubería aguas abajo.

Para flujo incompresible, la velocidad y densidad son constantes a lo largo de una tubería y  $K_L$  puede ser usado directamente para calcular la caída de presión. Éste no es el caso para flujo compresible y  $K_L$  debe convertirse en una longitud equivalente de tubería antes de que pueda usarse. (Esto también indica las limitaciones usando coeficientes de pérdida en cálculos de fluidos incompresibles).

## 4.2 CONVERSIÓN DEL COEFICIENTE DE PERDIDAS EN LONGITUD EQUIVALENTE

Una comparación de las siguientes ecuaciones nos muestra la conversión del coeficiente de pérdida y la longitud equivalente:

$$h_f = K_L \cdot V^2 / (2 \cdot g)$$

$$h_f = 4 \cdot f \cdot L \cdot V^2 / (2 \cdot d \cdot g) \quad (\text{Ver ecuación 5})$$

El coeficiente de pérdida es:  $K_L = 4 \cdot f \cdot L / d$

Reestructurando para longitud equivalente, nosotros obtenemos la siguiente ecuación que convierte el coeficiente de pérdidas a longitud equivalente:

$$L = K_L \cdot d / (4 \cdot f)$$

El diámetro participa del cálculo del coeficiente de pérdida. No use los valores estándar de Crane's Fanning para el factor de fricción  $f_T$  para convertir  $K_L$  en longitud equivalente. Porque estos se aplican en flujo totalmente turbulento, estos frecuentemente estarán realmente cerca de los factores de fricción en tuberías de gas, pero no será el mismo si su flujo no es totalmente turbulento, o la rugosidad relativa es diferente del usado por Crane.

## 4.3 COEFICIENTES DE PÉRDIDA DE CRANE

Crane divide los ajustes en dos categorías:

- Aquéllos para los que  $K_L$  es independiente de tamaño de la línea, cuando las pérdidas son principalmente causadas por cambio en área de flujo.

- Aquéllos para los que  $K_L$  es una función de tamaño de la línea, cuando las pérdidas son principalmente causadas por fricción.

#### a) COEFICIENTES DE PÉRDIDA EN CAMBIO DE ÁREA DE FLUJO

Los coeficientes de pérdida para montajes donde actúan principalmente cambios en el área de flujo (ej. tuberías entradas y salidas) son independientes de tamaño de la línea y se listan debajo.

Note que los valores son todos en términos del tamaño de línea más pequeño, para una reducción de 2" x 4",  $K_L$  tiene un valor de 0.16 que corresponde a una tubería de 2". Pueden expresarse los coeficientes de pérdida para estar en términos de la tubería más grande multiplicando por  $(d_{\text{mayor}}/d_{\text{menor}})^4$ .

TABLA N°1

Coeficiente de Perdidas (cambio en el área de flujo)		
Tipo de Montaje	Detalles	$K_L$
Entrada al nivel de Tubería	$r/d = 0.00$ (borde agudo)	0.50
	$r/d = 0.02$	0.28
	$r/d = 0.04$	0.24
	$r/d = 0.06$	0.15
	$r/d = 0.10$	0.09
	$r/d > 0.15$ (redondeado)	0.04
Entrada proyectada al centro de la tubería	Todos	0.78
Salida de Tubería	Todos	1.0
Reducciones Concéntricas	Ampliación $d1/d2 = 0.90$	0.026
	Ampliación $d1/d2 = 0.80$	0.13
	Ampliación $d1/d2 = 0.75$	0.16
	Ampliación $d1/d2 = 0.67$	0.28
	Ampliación $d1/d2 = 0.50$	0.50
	Reducción $d1/d2 = 0.90$	0.008
	Reducción $d1/d2 = 0.80$	0.041

Reducciones Concéntricas	Reducción d1/d2 = 0.75	0.049
	Reducción d1/d2 = 0.67	0.085
	Reducción d1/d2 = 0.50	0.16

**Notas :**

- i)  $K_L$  para las reducciones está en términos de la tubería más pequeña (entrada para agrandamientos, salida para la reducciones). Multiplique por  $(d_{\text{mayor}}/d_{\text{menor}})^4$  para expresarlo en función de la tubería de mayor diámetro.
- ii)  $K_L$  para las reducciones fueron calculados por la fórmula de Crane para ángulos totales pequeños ( $\theta < 45$  grados):
  - Ampliación  $K_L = 2.6(1-\beta^2)\text{sen}(\theta/2)$
  - Reducción  $K_L = 0.8(1-\beta^2)\text{sen}(\theta/2)$  (ver anexo D)
- iii) El ángulo total de una reducción estándar es dependiente de tamaño de la tubería. Los siguientes valores son usados por "rango-medio":
  - $d1/d2 = 0.9, \theta = 6^\circ$
  - $d1/d2 = 0.8, \theta = 16^\circ$
  - $d1/d2 = 0.75, \theta = 16^\circ$
  - $d1/d2 = 0.67, \theta = 22^\circ$
  - $d1/d2 = 0.50, \theta = 30^\circ$

Use la formulación más conveniente.

## **b) COEFICIENTES DE PÉRDIDA PARA MONTAJES DONDE ACTUA LA FRICCIÓN**

Los Valores de  $K_L / (4.f_T)$  se lista debajo para montajes que causan pérdidas principalmente por fricción (ej. codos y válvulas).

El coeficiente de pérdida se obtiene de estos valores multiplicando por  $4.f_T$ . El factor de fricción  $f_T$  para flujo totalmente turbulento es dependiente del tamaño de la línea. Estos valores también se listan debajo.

La reducción por válvulas también está incluidas en la tabla de  $K_L/(4.f_T)$  porque sus pérdidas son dominadas por la fricción y turbulencia que ocurre en la entrada de la válvula, no por la reducción y expansión. Las pérdidas en la entrada se han convertido para estar sobre la base del tamaño de toda la línea multiplicando por la relación de diámetros a la cuarta potencia.

TABLA N°2

Coeficientes de Perdida (Por fricción)		
Tipo de Montaje	Detalles	$K_L / (4.f_T)$
Válvulas con aislamiento (Totalmente ported, Totalmente abiertas)	compuerta	8
	globo	340
	ángulo (45 °)	55
	ángulo (90 °)	150
	Mariposa (2" a 8")	45
	Mariposa (10" a 14")	35
	Mariposa (16" a 48")	25
Válvula de Bola (totalmente abierta)	Todo diámetro	3
	Reducción $d1/d2 = 0.8$	7
	Reducción $d1/d2 = 0.7$	12
	Reducción $d1/d2 = 0.6$	23
Válvula Check (Totalmente izquierda, Totalmente abierta)	Vertical	600
	Control (bridado)	50
	Basculante 2" a 8"	40
	Basculante 10" a 14"	30
	Basculante 16" a 48"	20
Tee	Derivación de flujo	60
	Flujo pasante	20
Codo 90 ° (Bridado o Soldado)	$r/d = 1$	20
	$r/d = 1.5$	14
	$r/d = 2$	12
	$r/d = 3$	12
	$r/d = 4$	14
	$r/d = 6$	17
	$r/d = 8$	24

	$r/d = 10$	30
	$r/d = 12$	34
	$r/d = 14$	38
	$r/d = 20$	50
Codos chaflán a 45°	30 °	8
	45 °	15
	60 °	25
	90 °	60
Codo de retorno 180°	Un cuerpo	50

**Notas:**

- i)  $K_L$  es obtenido multiplicando por  $4.f_T$   
Los valores del disco inclinando son para ángulo de 5 grados. Multiplique por 3 si el ángulo del disco es 15 grados
- ii)

TABLA N°3

factor de fricción $f_T$ estándar de Fanning (usada en la obtención de los coeficientes de pérdida generados por fricción)		
NB pulg.	$f_T$	$4.f_T$
0.5	0.00675	0.027
0.75	0.00625	0.025
1	0.00575	0.023
1.25	0.055	0.022
1.5	0.00525	0.021
2	0.00475	0.019
2.5	0.0045	0.018
3	0.0045	0.018
4	0.00425	0.017
5	0.0040	0.016
6	0.00375	0.015
8	0.0035	0.014
10	0.0035	0.014
12	0.00325	0.013
14	0.00325	0.013
16	0.00325	0.013
18	0.0030	0.012
20	0.0030	0.012
24	0.0030	0.012

Nota:

Los valores de  $f_T$  fueron obtenidos dividiendo los valores de Crane por 4. Esto es que porque Crane usa el factor de fricción de Moody que es cuatro veces el factor de fricción de Fanning usado aquí.

#### 4.4 EJEMPLOS DE CALCULO

##### a) 4" X 3" REDUCCIÓN CONCÉNTRICA

- Tubería de schedule 40 (diámetros interiores: 3" es 77.9 mm, 4" es 102.3 mm)
- Rugosidad absoluta = 0.05 mm (acero comercial, Anexo D)
- Flujo totalmente turbulento.

De la tabla N°1 de coeficientes de pérdida (para montajes con cambio de área de flujo), un reductor con  $d_1/d_2 = 0.75$  tienen  $K_L = 0.049$ . Note que este coeficiente de pérdida está en términos de la tubería de menor diámetro. Puede convertirse para estar en términos de la tubería mayor multiplicando por  $(d_{mayor}/d_{menor})^4$ :

$K_L$  en términos de la tubería de 4" schedule 40 será =  $0.049 \times (102.3/77.9)^4 = 0.15$

También puede convertirse en una longitud equivalente de tubería de 3" schedule 40 multiplicando por  $d/(4.f)$ :

De la carta de Fanning para el factor de fricción para flujo totalmente turbulento, y para  $e/d = 0.00064$ ,  $f = 0.00445$  (Obs.  $f_{Fanning} = f_{Moody} / 4$ ).

Longitud equivalente de tubería de 3" sch 40 =  $K_L \cdot d / (4 \cdot f) = 0.049 \times 0.0779 / (4 \times 0.00445) = 0.21 \text{ m}$

**b) CODO 20", R/D = 1.5**

- Tubería de schedule 40 (diámetro interior 477.8 mm)
- Rugosidad absoluta = 0.05 mm (ver Anexo D)
- Flujo totalmente turbulento

De la tabla de coeficientes de pérdida (para montajes donde actúan la fricción), una curvatura con  $r/d = 1.5$  tienen  $K_L / (4 \cdot f_r) = 14$

De la tabla N°3 de factores de fricción, tubería de 20" tiene un factor de fricción estándar de 0.0030.

Entonces  $K_L = 4 \times 0.0030 \times 14 = 0.168$

También puede convertirse en una longitud equivalente de tubería de 20" sch 40 multiplicando por  $d / (4 \cdot f)$ :

De la carta de Fanning el factor de fricción para flujo totalmente turbulento, y para el  $e/d = 0.0001$ ,  $f = 0.003$  (Anexo D).

Longitud equivalente de tubería de 20" sch 40 es =  $0.168 \times 0.4778 / (4 \times 0.003) = 6.7 \text{ m}$

**c) TUBERÍA DE 12" A LA SALIDA**

- Tubería de schedule 10S (diámetro interior 314.8 mm)
- Rugosidad absoluta = 0.015 mm
- Flujo totalmente turbulento

De la tabla N°1 de coeficientes de pérdida (para los montajes con cambio de área de flujo), y salida de tubería se tiene  $K_L = 1.0$ .

También puede convertirse en una longitud equivalente de tubería de 12" sch 10S multiplicando a través de  $d/(4.f)$ :

De la carta de Fanning el factor de fricción para flujo totalmente turbulento, y para el  $e/d = 0.000048$ ,  $f = 0.0026$  (Anexo D)

Longitud equivalente de tubería de 12" sch 10S es  $= 1.0 \times 0.3148 / (4 \times 0.0026) = 30 \text{ m}$

#### **d) VÁLVULA DE GLOBO DE 4"**

- Tubería de schedule 80 (diámetro interior = 97.2 mm)
- Rugosidad absoluta = 0.20 mm (tubería corroída)
- Numero de Reynolds es 20000

De la tabla N°2 de coeficientes de pérdida (para montajes donde actúan la fricción), una válvula de globo tiene  $K_L/(4.f_T) = 340$

De la tabla N°3 de factor de fricción estándar, tubería de 4" tiene un factor de fricción estándar de 0.00425.  $K_L = 4 \times 0.00425 \times 340 = 5.78$

También puede convertirse en una longitud equivalente de tubería de 4" sch 80 multiplicando por  $d/(4.f)$ :

De la carta de Fanning para el factor de fricción tenemos, para numero de Reynolds de 20000, y para  $e/d = 0.002$ ,  $f = 0.0075$  (Anexo D)

La longitud equivalente de tubería de 4" sch 80 es  $= 5.78 \times 0.0972 / (4 \times 0.0075) = 19 \text{ m}$ .

# **CAPITULO**

**V**

## 5.0 CALCULO DE REDES DE GAS NATURAL

El cálculo de la caída de presión para una sola tubería requiere solamente de la aplicación de la ecuación de flujo. Sin embargo, en un sistema de distribución la mayor parte de las tuberías están interconectadas, formando una red. A consecuencia de la interconexión entre los diferentes tramos, el gas puede fluir desde la fuente hasta los nodos de consumo, y en diferentes vías y a distintas tasas de flujo. Por eso, cuando se habla de resolver una red, se requiere especificar el cálculo del caudal en cada tramo y la presión en cada nodo.

Existen diversos tipos de problemas, que pueden exigir el análisis riguroso de una red:

- a) Desarrollo de los planes para reforzar una red existente de distribución de gas.
- b) Determinación del efecto de nuevas tasas de flujo agregadas a un sistema de distribución en operación.
- c) Estudio del efecto de válvulas y reguladores de presión en tuberías existentes.
- d) Tendido y cálculo de diámetros de ductos para una nueva distribución.

La compleja red que forma un sistema de distribución origina por si sola un maravilloso problema de análisis de flujo. El gas puede introducirse al conjunto desde varios puntos: estaciones de compresión, a la entrada de una ciudad; planta de almacenamiento para satisfacer la demanda pico o desde las facilidades de la instalación.

Por complemento, en algunos casos se consiguen varias redes superpuestas, que trabajan en diferentes niveles de presión. Redes de 200 a 300 mallas y de 500 a 600 secciones de tubería. Algunas mallas contienen alrededor de 1000 tramos y ciudades muy grandes tienen interconectadas 10000 o más sectores de tubería. Antiguamente el método de solucionar estas redes era por ensayo y error, actualmente se solucionan por métodos iterativos procesados por las computadoras. La complejidad de los cálculos implícitos en una red de gas dificultan su diseño y las posibilidades de predecir su comportamiento futuro. Por estas razones se ha tratado de simplificar este tipo de trabajo.

Los primeros análisis del problema llevaron a tabular parámetros que intervienen en la ecuación general de flujo de gas en tuberías horizontales, aplicadas en las formas generalizadas: Weymouth y Panhandle. Al facilitar el uso de estas ecuaciones, se comenzó la solución sencilla de redes de gas, introduciendo la ecuación de Weymouth en el concepto de red de gas.

Esta ecuación se aplica favorablemente para las condiciones que generalmente se encuentran en redes malladas.

El método de Hardy Cross que revisaremos mas adelante difiere notablemente del método original aplicado a redes de agua. Se logran algunas variaciones no sólo al cambiar las ecuaciones inicialmente usadas, sino también al reducir las mallas a sistemas equivalentes, con lo cual se introduce una simplificación adicional. En la discusión teórica del llamado método de Renouard, se aplicarán consideraciones semejantes. La uniformidad de las fórmulas utilizadas permite verificar la correlación

existente entre ambos métodos. Por esta razón, algunos autores hablan simplemente de solución de redes de gas y emplean sistemas de ecuaciones simultáneas de primer grado.

Con el nombre de método de demallaje simplificado, se ha incluido el procedimiento presentado en forma preliminar como un método sencillo para calcular redes de gas.

Un diagrama de red es la forma más conveniente de describir el flujo en el sistema. Indica cómo la tubería se conecta a ella y contiene la mayor parte de la información necesaria para resolver el problema. Es el procedimiento más ampliamente usado en la solución de redes de gas. Por lo general, se comienza asignando arbitrariamente el caudal inicial en cada tramo. Sin embargo, hay casos que no requieren la suposición inicial de los flujos, como el método de balance de presión.

El diagrama en red consiste en un mapa a escala del sistema de tuberías; no obstante, para un problema más largo y complicado, es preferible preparar un diagrama especial con las principales partes del sistema, incluyendo las salidas laterales y desviaciones. Las longitudes de los tramos deben ser distorsionadas en la escala para clarificar la estructura de la red y evitar el congestionamiento de datos.

### 5.1 MÉTODO DE HARDY CROSS.

El fundamento matemático de la mayoría de los métodos de cálculo utilizados en redes de gas tienen su base en la teoría general de Hardy Cross que a su vez, proviene de una aplicación directa de las leyes de Kirchoff, las cuales establecen lo siguiente:

- a) En todo nodo, la sumatoria algebraica de los flujos que entran y salen es igual a cero.
- b) En un circuito cerrado o red, la suma algebraica de las pérdidas de carga es igual a cero.

La pérdida de carga total ( $h$ ) para una cierta longitud de tubería ( $L$ ) y una pérdida de carga unitaria ( $\alpha$ ) es igual a:

$$h = \alpha \cdot L \cdot Q^n ,$$

donde la resistencia de la tubería ( $r$ ) es:

$$r = \alpha \cdot L$$

y, por lo tanto:

$$h = r \cdot Q^n$$

Dependiendo de la ecuación que se seleccione el exponente  $n$  varía entre 1.75 y 2.0. En el caso específico de Weymouth,  $n = 2.0$ .

El procedimiento para cerrar redes de gas se basa en el cálculo de un ajuste ( $\Delta Q_o$ ) para un caudal de flujo ( $Q_o$ ) previamente asignado, de tal manera que la nueva tasa de flujo, en el tramo referido, será:

$$Q_n = Q_o + \Delta Q_o$$

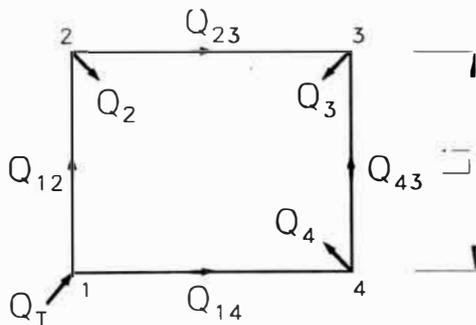
Donde:

$Q_n$  es el caudal corregido

$\Delta Q_o$  es la corrección y

$Q_o$  es el caudal original asignado al tramo.

Supongamos que en la figura mostrada se introduce una tasa de flujo ( $Q_T$ ), destinada a irrigar el sistema y descargar por los nodos 2,3 y 4; de modo que:  $Q_T = Q_2 + Q_3 + Q_4$



Se escoge una distribución inicial del gas en el sistema  $Q_{12}$ ,  $Q_{23}$ ,  $Q_{43}$  y  $Q_{14}$  y, con base en esto, se calcula el factor de corrección del caudal ( $\Delta Q_o$ ).

En cada nodo se debe cumplir la ley de Kirchoff.

$$Q_T = Q_{12} + Q_{14}; \quad Q_{14} = Q_4 + Q_{43}; \quad Q_{12} = Q_2 + Q_{23}; \quad Q_3 = Q_{23} + Q_{43}$$

La nueva tasa de flujo en cada tramo será el caudal anterior, más el valor algebraico que resulte de la corrección ( $Q_i + \Delta Q_o$ ), como aparece a continuación:

$$Q_n = Q_o + \Delta Q_o; \quad Q'_{12} = Q_{12} + \Delta Q_o; \quad Q'_{23} = Q_{23} + \Delta Q_o$$

Las leyes de Kirchoff seguirán siendo válidas en cada uno de los nodos de la red. La pérdida de carga total con el caudal corregido será igual a:

$$h = r \cdot Q^n$$

$$h = r \cdot (Q_o + \Delta Q_o)^n$$

Al desarrollar el polinomio de grado "n" observamos que el tercer y demás términos pueden despreciarse puesto que  $\Delta Q_0$  es un valor muy pequeño, entonces el valor de h se expresará en la forma:

$$h = r \cdot (Q_0^n + n \cdot \Delta Q_0 \cdot Q_0^{n-1})$$

Para que se cumpla la segunda ley de Kirchoff, la suma algebraica de las pérdidas de carga debe ser igual a cero ( $\Sigma h=0$ ), de tal manera que:

$$0 = \sum_{i=1}^n r \cdot (Q_0)^n + n \cdot r \cdot \sum_{i=1}^n (Q_0)^{n-1} \cdot \Delta Q_0$$

Por otro lado relacionando la ecuación de Weymouth con la relación de pérdida de carga total se concluye que la expresión que se ha denominado pérdida de carga es, en realidad, la diferencia de los cuadrados de las presiones que, a su vez, incluyen el valor del factor de compresibilidad (Z).

$$h = \left( \frac{p_1}{Z_1} \right)^2 - \left( \frac{p_2}{Z_2} \right)^2 = \Delta P^2 \quad (A)$$

El término  $\Delta Q_0$ , expresado en el sistema original, quedaría así:

$$\Delta Q_0 = \frac{- \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i)^2 \cdot L_i}{(K_i)^2}}{(2) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot L_i}{(K_i)^2}}$$

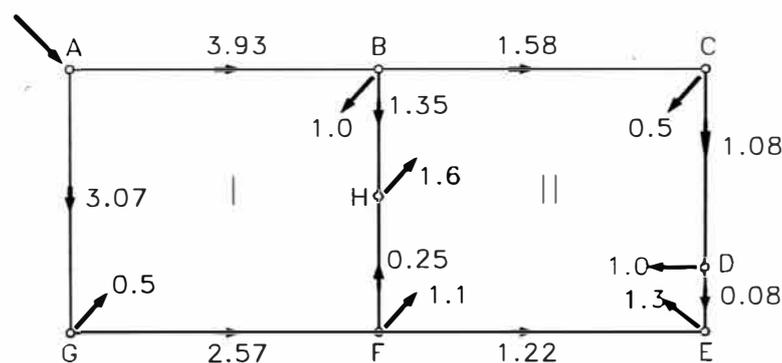
## 5.2 MÉTODO MODIFICADO DE HARDY CROSS.

Este método se aplica en la solución de redes con varias fuentes o insumos y múltiples descargas. Su objeto es balancear el caudal que entra por las diferentes estaciones.

Como en el caso de Hardy Cross. La distribución del flujo se logra con el ajuste sucesivo de la tasa de flujo.

Y de la misma manera que se explicará en el método de demallaje simplificado, el procedimiento de cálculo puede implicar la reducción de la malla original a una equivalente de diámetro común, con lo cual la determinación del factor de corrección ( $\Delta Q_0$ ) es más sencillo.

Se toma como ejemplo la figura mostrada donde se consideran dos mallas, I y II, y una unión entre fuentes (A – B – F – E), de modo que ese empalme represente tramos comunes a ambas mallas. (En este caso se supone otro insumo en el nodo E).



Cuando se trate de un mayor número de nodos de suministro, se deberá incluir, como mínimo, cada nodo en una de las conexiones.

El enlace entre fuentes se tomará como una malla adicional. Se calcula el factor de corrección ( $\Delta Q_o$ ) para cada malla o conexión, hasta que el valor absoluto de  $\Delta Q_o$  sea despreciable.

El signo del flujo del empalme entre fuentes se considera positivo, cuando se aleje del nodo de partida (A) y viceversa.

### 5.3 MÉTODO DE RENOUARD.

El método de Renouard supone que si:

$$h = r \cdot Q^n$$

$$h' = n \cdot r \cdot Q^{n-1}$$

Renouard considera que  $\Delta Q_o = X_i$  y lo aplica a mallas colindantes, por lo cual:

$$X_i \cdot \left( \sum_{i=1}^n Q_i \cdot L_i \right) - X_j \cdot \left( \sum_{j=1}^n Q_j \cdot L_j \right) = - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i)^2 \cdot L_i}{2}$$

Donde  $X_i$  es la corrección del flujo ( $\Delta Q_o$ ) para una malla "i" y  $X_j$ , el ajuste del caudal en la malla colindante "j". Este procedimiento lleva al establecimiento de un sistema de tantas ecuaciones como mallas existan en la red, cuya solución entrega, de una sola vez, los ajustes del caudal para cada uno de los tramos. En los tramos comunes el ajuste del caudal se hace corrigiendo con las diferencias de los  $\Delta Q_o$  entre el valor de la malla respectiva y la adyacente.

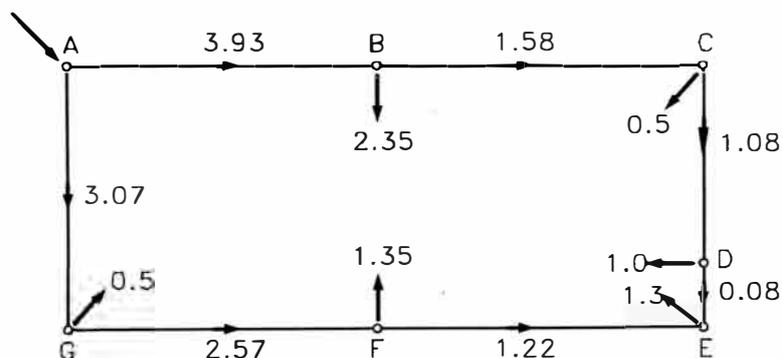
#### 5.4 MÉTODO DE DEMALLAJE SIMPLIFICADO.

El método de demallaje simplificado reduce el número de mallas de la red. Consiste en eliminar los tramos intermedios y distribuir el flujo de cada tramo cortado, hacia los respectivos nodos de alimentación; de tal manera que la solución se simplifique.

Luego se trabaja el sistema hasta obtener un valor despreciable de  $\Delta Q_0$  (menor que la tercera cifra decimal o 0.009). Para ello se emplea la misma ecuación del método de Hardy Cross:

$$\Delta Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i)^2 \cdot L_i}{2 \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot L_i}$$

La figura mostrada muestra la solución del mismo problema, con el método de demallaje simplificado. Los tramos críticos B-F han sido cortados y la red ha sido reducida a una sola malla. El flujo se distribuye en un mismo sentido, desde la fuente hasta el nodo en equilibrio "E".

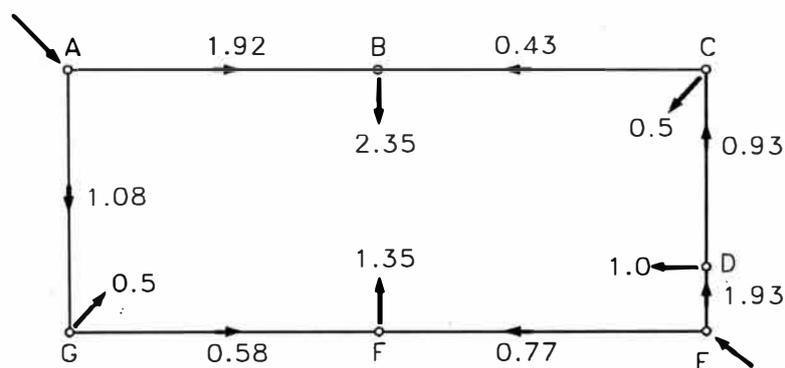


## 5.5 MÉTODO DE DEMALLAJE SIMPLIFICADO APLICADO A VARIAS FUENTES Y MÚLTIPLES SALIDAS.

Consiste en distribuir el flujo que llega por dos o más fuentes en una malla cuyos tramos críticos han sido cortados. La dirección del flujo seguirá considerándose positiva en el sentido de las agujas del reloj y viceversa.

Después de la primera asignación de los caudales, el procedimiento de cálculo es el mismo utilizado en el método de Hardy Cross para una sola malla.

La figura presenta la respuesta del mismo problema utilizando dos fuentes. Aparecerán, entonces, dos nodos de equilibrio (B y F) y el flujo se desplazará desde las fuentes hacia los nodos en equilibrio. Con excepción del cambio de signo en algunos tramos, el procedimiento de cálculo es similar.



Siendo A y E las fuentes de la red, formadas por las mallas I y II; y B, C, D, F y G, los nodos de consumo, debemos seguir los pasos que se especifican a continuación:

## 5.6 PROCEDIMIENTO

- a) Reduzca la red a un sistema equivalente. En este caso, se ha asignado desde el comienzo un diámetro común a todo el sistema.
- b) Cortar el tramo crítico B-F y redistribuir el consumo del nodo intermedio hacia los extremos.
- c) Asignar la primera distribución del flujo en los tramos, de tal forma que se cumpla la ley de Kirchoff.
- d) Tabular y calcular los siguientes valores para cada tramo:  $Q_i$ ,  $L_i$ ,  $Q_i \cdot L_i$ ,  $Q_i^2$ ,  $Q_i^2 L_i$ .
- e) Determinar el valor de  $\Delta Q_o$ . Los valores de  $Q_i^2 L_i$  para cada tramo estarán afectados por el signo correspondiente a su dirección de flujo. Las cifras de  $Q_i L_i$  se toman como valores absolutos.
- f) Sumar algebraicamente los valores de  $\Delta Q_o$ , calculados en el paso anterior a la tasa de flujo asignada a cada tramo.
- g) Obtener los valores de presión aplicando directamente la ecuación de flujo, a partir de la presión en la fuente o del nodo de mínima presión.

## 5.7 ALGUNAS SIMPLIFICACIONES PARA EL CÁLCULO DE REDES DE GAS.

El cálculo de una red de gas implica la determinación de la dirección y la tasa de flujo en cada uno de los tramos y el conocimiento de la presión en los nodos del sistema, suponiendo que se tiene el diámetro

de las secciones de la tubería, las cuales se deben seleccionar antes de empezar a resolver el problema.

La mayoría de los métodos utilizados necesitan el conocimiento previo del diámetro o bien repetir los tediosos cálculos implícitos, en caso de que el diámetro escogido no sea satisfactorio.

La reducción de la red a un sistema equivalente elimina estas desventajas, por cuanto la distribución del flujo es inicialmente independiente del diámetro de la tubería, como se muestra a continuación:

$$\Delta P^2 = \int Q_i dL_i$$

Una vez completado el análisis del flujo, el diámetro por utilizar será una función directa de la caída de presión disponible como se demuestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta P_K^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i)^2 \cdot L_i}{(K_i)^2}$$

$$K_i = C \cdot d_i^{8/3}$$

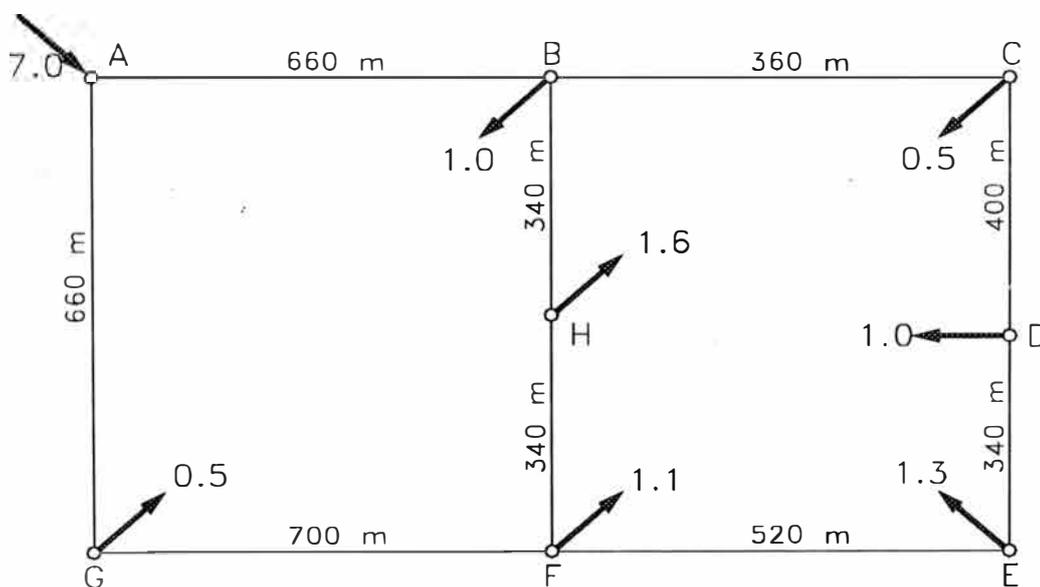
Con la cual se puede calcular la presión en cada nodo de la red, hasta encontrar el punto de equilibrio.

Si el diámetro así seleccionado no cumple con los requerimientos de caudal y diferencial de presión, bastaría optar por un nuevo diámetro, recalculando el valor de K y las nuevas presiones.

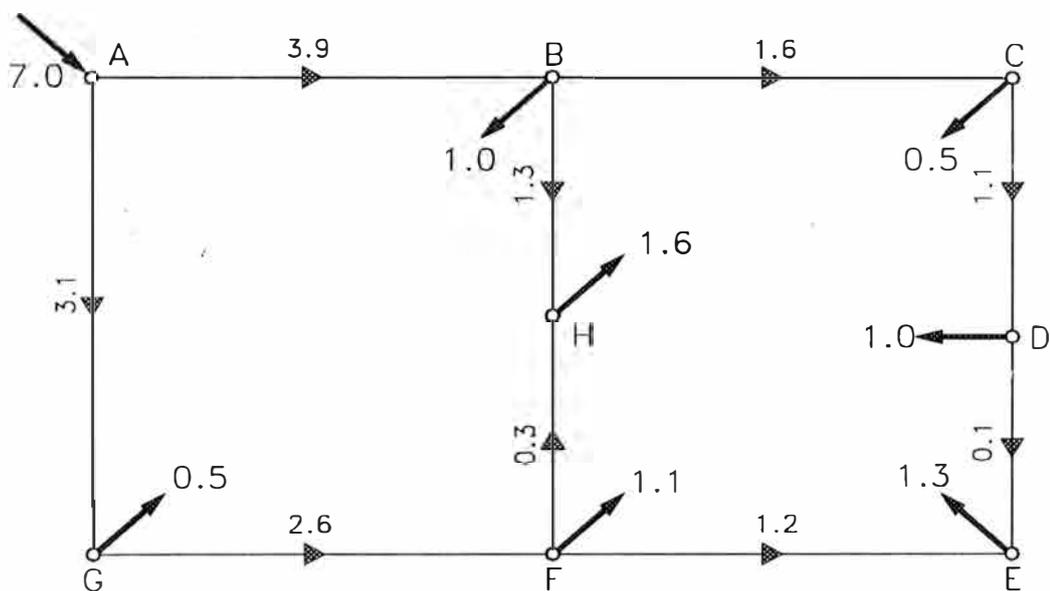
## 5.8 APLICACION DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Sea la red en estudio la mostrada en el plano PL-01. Obsérvese que la distribución es en anillo y cada nodo concentra la demanda de caudal necesario para abastecer los centros de consumo. La presión de base es  $P_b = 14.7$  PSI,  $T_b = 60^\circ\text{F}$ , Temperatura del flujo  $T = 75^\circ\text{F}$  y gravedad específica del gas  $\gamma = 0.67$ . Las demandas de gas son:  $Q_B=1.0$ ,  $Q_C=0.5$ ,  $Q_D=1.0$ ,  $Q_E=1.3$ ,  $Q_F=1.1$ ,  $Q_H=1.6$ ,  $Q_G=0.5$  así mismo A es el nodo de suministro al sistema  $Q_A = Q_B + Q_C + Q_D + Q_E + Q_F + Q_H + Q_G = 1.0 + 0.5 + 1.0 + 1.3 + 1.1 + 1.6 + 0.5 = 7.0$  MM pcdn.

En primer lugar simplificaremos la malla para mejorar su comprensión, obteniéndose la siguiente red depurada:



El segundo paso es asumir un valor para los flujos en red de tal forma que se cumpla la primera ley de kirchoff: Valores iniciales para  $Q_{AB}=3.9$  y  $Q_{FE}=1.2$  (nodo E más lejano). Calculamos el resto de flujos obteniendo  $Q_{BH}=1.3$ ,  $Q_{FH}=0.3$ ,  $Q_{GF}=2.6$ ,  $Q_{AG}=3.1$ ,  $Q_{BC}=1.6$ ,  $Q_{CD}=1.1$ ,  $Q_{DE}=0.1$ ,  $Q_{FE}=1.2$ . El sentido de los flujos asumidos se muestra en la siguiente gráfica:



### Solución por el Método Hardy Cross

Construimos una tabla de sumatorias para evaluar  $\Delta Q_0$  y realizar la corrección en los valores del flujo, en el caso concreto de un programa de cálculo, se tendrán que realizar arreglos (matrices) para efectuar estas sumas temporales realizando iteraciones hasta llegar a un valor  $\Delta Q_0$  despreciable.

Tabulación de datos: Malla I:

Tramo	Qi	Li	Qi . Li	Q <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup> . L	Qc
AB	3.9	0.66	2.574	15.21	+10.039	3.93
BH	1.3	0.34	0.442	1.69	+0.575	1.33
FH	0.3	0.34	0.102	0.09	-0.03	0.27
GF	2.6	0.7	1.82	6.76	-4.732	2.57
AG	3.1	0.66	2.046	9.61	-6.343	3.07
Σ			<b>6.984</b>		<b>-0.491</b>	

$$\Delta Q_0 = - (-0.491)/(2 \times 6.984) = 0.035$$

Malla II:

Tramo	Qi	Li	Qi . Li	Q <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup> . L	Qc
BC	1.6	0.36	0.576	2.56	+0.922	1.59
CD	1.1	0.40	0.44	1.21	+0.484	1.09
DE	0.1	0.34	0.034	0.01	+0.003	0.09
FE	1.20	0.52	0.624	1.44	-0.749	1.21
FH	0.27	0.34	0.092	0.07	+0.024	0.26
BH	1.33	0.34	0.452	1.77	-0.600	1.34
Σ			<b>2.218</b>		<b>0.084</b>	

$$\Delta Q_0 = - (0.084)/(2 \times 2.218) = - 0.01$$

Se observa que en la segunda malla el valor de  $\Delta Q_0$  resulta despreciable y que no es necesario continuar haciendo correcciones.

Ahora si establecemos una presión mínima de 5 lpcm en el nodo de equilibrio "E" podríamos calcular la presión en "A" solamente empleando la Ecuación de Weymouth. De la misma forma, conociendo la presión en la fuente, podría determinarse la presión en cada uno de los nodos del sistema.

Recordemos que  $K = C \cdot d^{8/3}$ , además

$$C = \frac{433.488 \cdot T_b}{P_b \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{T}}$$

Evaluando  $C = 809.9324$ , pero recordemos que esta fórmula es válida cuando la longitud está en millas en nuestro caso debemos multiplicar por  $(1.609)^{1/2}$  pues 1 milla = 1.609 Km de donde:

$$C = 1027.36.$$

Luego  $d^{8/3} = 45.57$  (para 4" x 0.156"), (Anexo C)

entonces  $K = 1027.36 \times 45.57 = 46816.7952$ ,

por lo tanto  $K^2 = 2.19 \times 10^9$ .

Tabla Para Calcular La Presión En Los Nodos

TRAMO	Qi	Li	Q <sup>2</sup> . L, MM	Q <sup>2</sup> . L / K <sup>2</sup>	PN
AB	3.93	0.66	10.19	4653	59
BC	1.59	0.36	0.91	416	17
CD	1.09	0.40	0.475	217	9
DE	0.09	0.34	0.002	0	5
AG	3.07	0.66	6.22	284	59

GF	2.57	0.70	4.62	211	38
FE	1.21	0.52	0.761	347	13

Los valores de presión en los nodos se obtienen de la definición:

$$h = \left( \frac{p_1}{Z_1} \right)^2 - \left( \frac{p_2}{Z_2} \right)^2 = \Delta P^2$$

Se aprecia según la tabla que la presión en "D" es casi la presión en "E" pues la pérdida de carga es 0. Luego si analizamos entre los nodos "C" y "D" tendremos:

$217 = (P_c / Z_c)^2 - (P_d / Z_d)^2$ , pero  $P_d = 5 + 14.73 \text{ Lpc}$ , y  $Z_d$  lo obtenemos de la tabla del Anexo B (para  $T = 535 \text{ }^\circ\text{R}$ ,  $\gamma=0.67$ ), obteniéndose  $(P_d / Z_d)^2 = 391.87$ , entonces  $(P_c / Z_c)^2 = 608.87$ , con este valor volvemos al Anexo B y encontramos que  $P_c = 9 \text{ lpcm}$ . Este mismo proceso se repite entre nodos resultando los valores de PN de la tabla.

### **Solución por el Método de Renouard**

La solución de redes por este método se reduce a un sistema de ecuaciones simultáneas de primer grado. Al fijar la tasa de flujo en los tramos y nodos, la obtención de la distribución del gas dentro de la red consiste en resolver tantas ecuaciones de primer grado como mallas existan. Dado que el ejemplo de cálculo es solo una red de dos mallas, el problema se reduce a solucionar un sistema con dos ecuaciones y dos incógnitas, que resultan de la obtención de valores de corrección al flujo ( $X_1$  y  $X_2$ ) para cada una de las mallas.

Tabla Malla I

Tramo	Qi	Li	Qi . Li	Q <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup> . Li	Qc
AB	4.00	0.66	2.64	16.0	+ 10.56	3.9336
BH	1.35	0.34	<b>0.459</b>	1.82	+ 0.62	1.3491
FH	0.25	0.34	<b>0.085</b>	0.063	- 0.021	0.251
GF	2.5	0.7	1.75	6.25	- 4.375	2.5663
AG	3.0	0.66	1.98	9.0	- 5.94	3.0663
Σ			<b>6.914</b>		<b>+ 0.844</b>	

$$6.914 X_1 - (0.459 + 0.085) X_2 = - 0.844 / 2$$

$$6.914X_1 - 0.544X_2 = - 0.422 \quad \text{1ra. Ecuación}$$

Tabla Malla II

Tramo	Qi	Li	Qi . Li	Q <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup> . Li	Qc
BC	1.65	0.36	0.594	2.723	+ 0.980	1.5828
CD	1.15	0.40	0.460	1.323	+ 0.529	1.0828
DE	0.15	0.34	0.051	0.023	+ 0.008	0.0828
FE	1.15	0.52	0.598	1.323	- 0.688	1.2172
FH	0.25	0.34	<b>0.085</b>	0.063	+ 0.021	0.251
BH	1.35	0.34	<b>0.459</b>	1.823	- 0.620	1.3491
Σ			2.247		+ 0.23	

$$2.247X_2 - 0.544X_1 = -0.115 \quad \text{2da. Ecuación}$$

$$\text{De donde: } X_1 = - \mathbf{0.0663} \quad X_2 = - \mathbf{0.0672}$$

Con estos valores corregimos los flujos en la malla I y II respectivamente completando la tabla, en el caso de la rama en derivación BHF el factor de corrección será  $(X_1 - X_2)$ .

### **Solución por el Método de demallaje simplificado**

Este método es más simple, consiste en cortar el tramo B-F y distribuir el flujo del nodo "H" hacia los nodos "B" y "F", la red se reduce a una sola malla y los cálculos se simplifican al mínimo. Dado que el nodo "B" está más cerca de la fuente "A", la carga de "H" asignada a "B" deberá ser mayor que la porción del caudal ( $Q_h$ ), producida por "F". Sin embargo no es necesario que exista correlación directa en la distribución del flujo según este procedimiento y los métodos comparativos (Hardy Cross y Renouard). Esto dependerá de la repartición que se haga al cortar los tramos críticos.

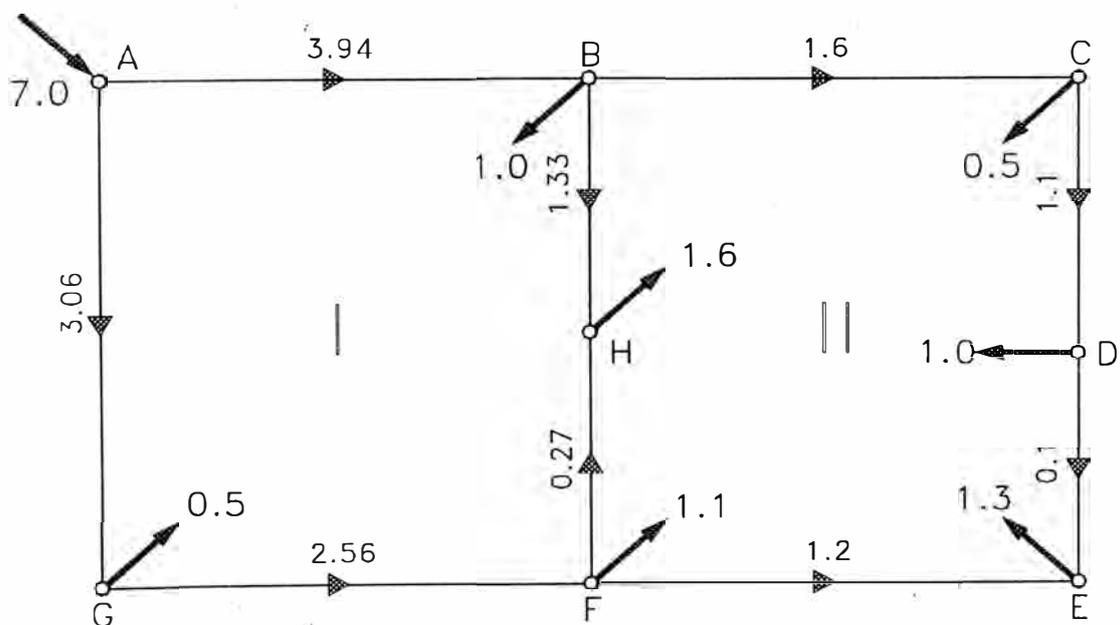
Una forma de distribución podría ser inversamente proporcional a la distancia desde el nodo hasta la fuente. De esta forma, el trayecto recorrido por el flujo es lógicamente menor y será, también, menor la pérdida de carga.

Tramo	$Q_i$	$L_i$	$Q_i \cdot L_i$	$Q^2$	$Q^2 \cdot L_i$	$Q_c$
AB	4.0	0.66	2.640	16.00	10.56	3.93
BC	1.65	0.36	0.594	2.72	0.98	1.58
CD	1.15	0.40	0.460	1.32	0.529	1.08

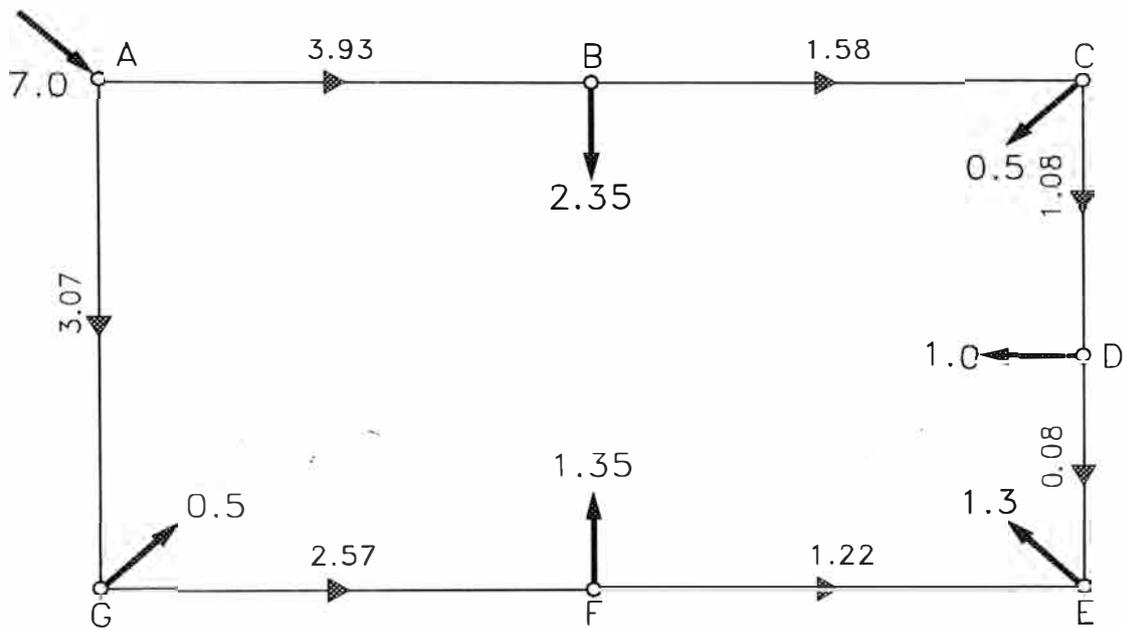
DE	0.15	0.34	0.051	0.02	0.008	0.08
$\Sigma$					<b>+ 12.077</b>	

Tramo	Qi	Li	Qi . Li	Q <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup> . Li	Qc
FE	1.15	0.52	0.598	1.323	0.688	1.22
GF	2.50	0.70	1.75	6.25	4.375	2.57
AG	3.00	0.66	1.98	9.00	5.94	3.07
$\Sigma$			<b>8.073</b>		<b>-11.003</b>	

$\Delta Q_0 = - (12.067 - 11.003) / (2 \times 8.073) = -1.064 / 16.146 = \mathbf{0.0659}$ , con este valor corregimos los flujos en la tabla anterior.



Red Obtenida por el método de Renouard



Red obtenida por el Método de demallaje simplificado

# **CAPITULO**

## **VI**

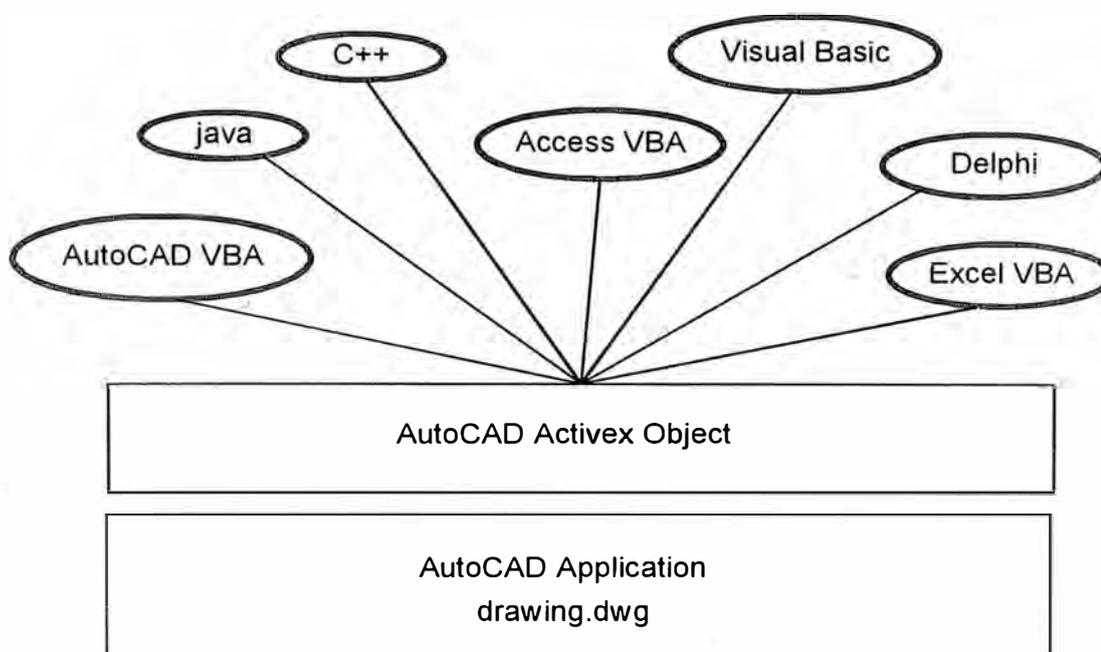
## **6.0 ENTORNO DEL SOFTWARE DE CÁLCULO DE REDES DE GAS.**

El entorno del programa para automatizar los calculos deberá contar con una interfase gráfica de datos (GDI), es decir el ingreso de los rasgos (nodo, tubería, malla) deberá ser visualizado en pantalla con un símbolo respectivo (círculo para nodos, línea para tubería y polígono para mallas), así mismo cada rasgo estará vinculado a una tabla de datos desplegada en pantalla donde se definirán las propiedades y condiciones de cada uno, en caso de nodos por ejemplo serán P, T, Q y para tuberías será diámetro, longitud, espesor, rugosidad y eficiencia. El programa deberá mostrar estos valores (atributos) a decisión del usuario, para lo cual se deberá considerar una opción de visualización de datos en pantalla o en reporte. Las longitudes de tubería deberán ser proyectadas en verdadera magnitud y según las unidades que el usuario defina (métrico, ingles) así mismo es importante que los elementos insertados estén adecuadamente referenciados según sus coordenadas geográficas y sobre planos de manzaneo y lotización. De esta forma realizaremos el cálculo para el balance del sistema y además podríamos medir perfectamente toda la red, al igual que localizar exactamente los puntos de entrega de flujo de gas así como las fuentes respectivas.

Como se menciona anteriormente los rasgos deberán estar vinculados a una base de datos dinámica que quiere decir actualización de datos en tiempo real, en resumen estas características las encontramos definidas en un sistema GIS

(sistema de información geográfico), en este sentido el entorno de trabajo podría estar basado en ArcInfo, pero siendo AutoCAD el programa más difundido en el medio, conviene utilizar esta plataforma como base para la elaboración del programa.

### 6.1 ENLACE DE DATOS



La tecnología ActiveX Automation de AutoCAD ofrece un mecanismo para manipular AutoCAD a través de la programación desde o desde fuera de AutoCAD. Para ello, AutoCAD expone varios objetos al "mundo exterior". Una vez expuestos los objetos (punto, línea, polígono), se puede acceder a ellos mediante distintos tipos de lenguajes y entornos de programación, o incluso a partir de otras aplicaciones como Word, Excel y Access de Microsoft.

## 6.2 BASE DE DATOS

La base de datos con la cual serán vinculados los datos gráficos de AutoCAD deberá ser elaborada de preferencia en Microsoft Access, de esta forma podremos confeccionar una serie de tablas de datos por ejemplo:

- a) **Tabla de tuberías.**- que corresponde a toda la gama de tuberías existentes en el mercado, cuyos campos obligatorios serian: Tipo, diámetro, rugosidad, espesor, presión máxima y costo por metro.
- b) **Tabla de Unidades.**- Dada las diferentes expresiones matemáticas en diferentes sistemas de unidades, es importante insertar una tabla donde se definan los valores de conversión de unidades.
- c) **Tabla de Válvulas, Codos, Reducciones,** etc. Los valores del coeficiente K de Crane pueden ser insertados en una tabla, ampliando las posibilidades del programa.

Los enlaces de los datos con los objetos de AutoCAD serán a través de códigos internos registrados en los objetos (punto-nodo, línea-tubería, polígono-malla), estos códigos internos pueden establecerse como datos extendidos (DDE). Las sentencias a utilizar en VBA son SetXData para asignar los valores extendidos y GetXData para leer esos valores extendidos. No obstante el programador puede elaborar otro método de relacionarlos, como por ejemplo coordenadas, color o capa.

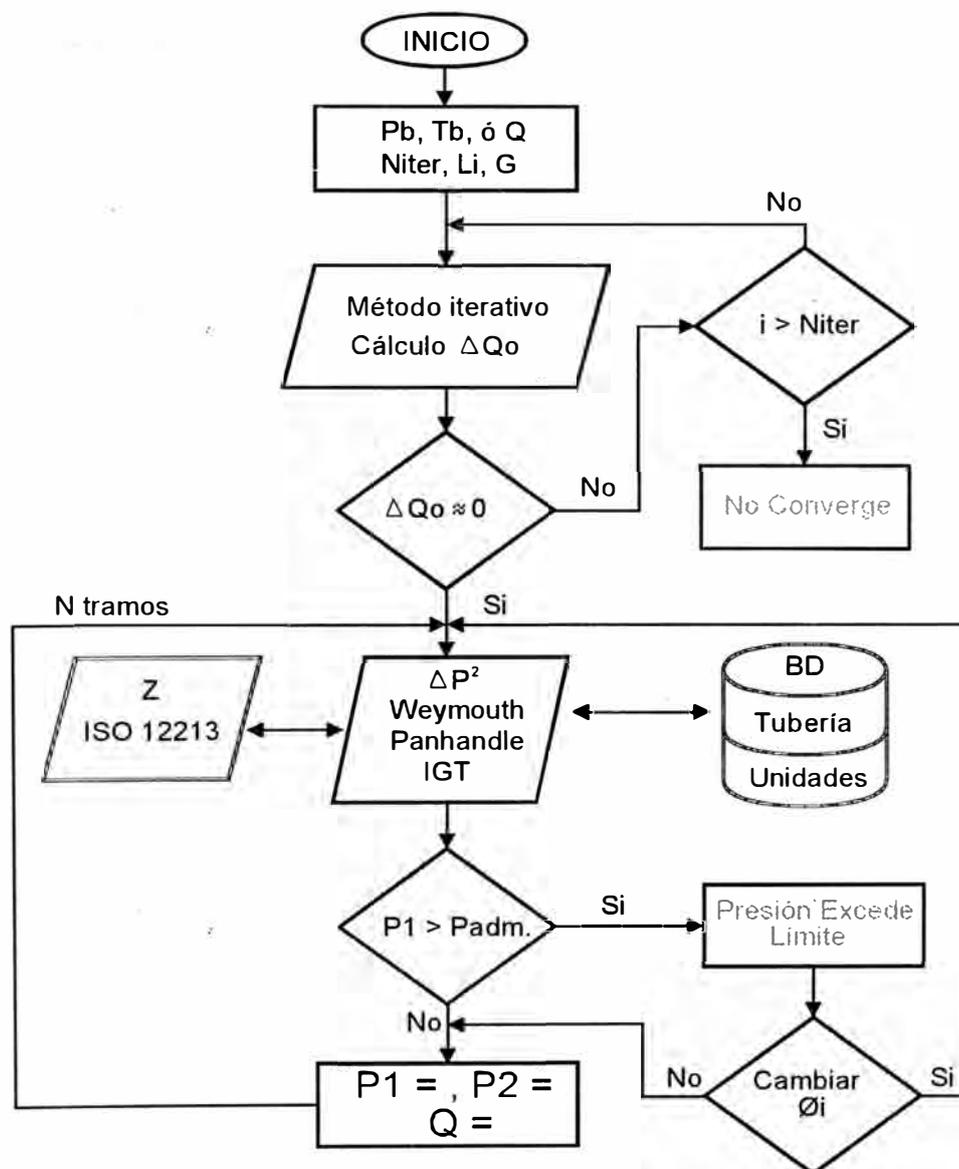
A continuación se muestra un ejemplo de la estructura de la tabla de datos correspondiente a tuberías del software de cálculo GasWorks:

Rec	Size/Type	Outside D	Wall T	Inside D	Roughness	T.D.R Units	SMYS	Stress Units	Cost Per Length
1	1/2P-CTS	0.621	0.096	0.429	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
2	1/2P	0.836	0.110	0.616	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
3	3/4P	1.046	0.116	0.814	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
4	3/4P-CTS	0.848	0.000	0.848	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
5	1P	1.310	0.145	1.020	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
6	1.25P	1.655	0.192	1.271	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
7	1.5P	1.900	0.194	1.512	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
8	2P	2.369	0.242	1.885	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
9	3P	3.492	0.342	2.808	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
10	4P	4.491	0.435	3.621	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
11	6P	6.614	0.650	5.314	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
12	8P	8.612	0.879	6.854	0.00006	Inches	0	Psi	0.00
13	1/2S-XS	0.840	0.147	0.546	0.00070	Inches	0	Psi	0.00
14	1/2S	0.840	0.109	0.622	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
15	3/4S-XS	1.050	0.154	0.742	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
16	3/4S	1.050	0.113	0.824	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
17	1S-XS	1.315	0.179	0.957	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
18	1S	1.315	0.133	1.049	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
19	1.25S-XS	1.660	0.191	1.278	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
20	1.25S	1.660	0.140	1.380	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
21	1.5S-XS	1.900	0.200	1.500	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
22	1.5S	1.900	0.145	1.610	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
23	2S-XS	2.375	0.218	1.939	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
24	2S	2.375	0.154	2.067	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00
25	2.5S-XS	2.875	0.276	2.323	0.00070	Inches	35000	Psi	0.00

De este forma todos los elementos están completamente definidos por su característica intrínseca, además como es una tabla abierta tendremos posibilidades de actualizar el listado de datos. En caso de GasWorks se incluyen tablas de datos para la evaluación de las pérdidas secundarias, es decir tablas para válvulas, codos, reducciones.

### 6.3 DIAGRAMA DE FLUJO

Los algoritmos y diagramas de flujo son muy particulares según el estilo del programador, en este caso planteo un diagrama de flujo desde mi concepción que no es la única alternativa:

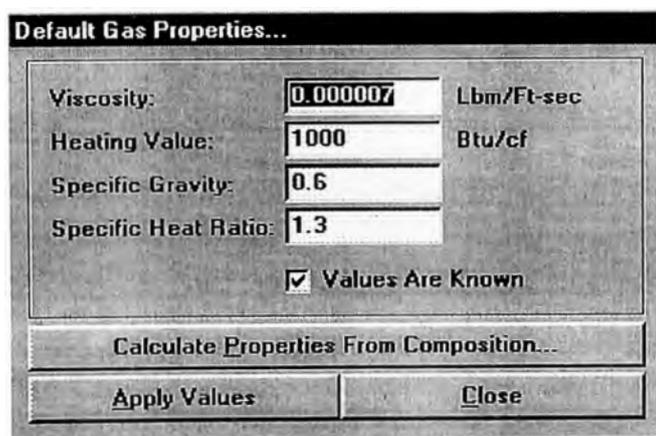


Obsérvese la relación en dos direcciones que existe entre la base de datos y el cálculo de  $\Delta P^2$ , así también el cálculo del factor de compresibilidad estará íntimamente vinculado con las presiones  $P_1$  y  $P_2$ . Como se comento en el capítulo de características y propiedades del gas natural el cálculo de Z esta dado por la norma ISO 12213.

#### 6.4 Módulos de programación a considerar

El informe recomienda la elaboración de módulos de cálculo, orientados a la definición de la red (nodo, tuberías) así como para la visualización de datos en pantalla, seteo de parámetros iniciales como composición del gas, sistema de unidades y definitivamente un módulo de reporte de datos textual. A modo de ejemplo presento las pantallas del software de cálculo GasWorks que corresponden a los módulos descritos:

- a) Módulo de propiedades y composición del gas: orientado a evaluar la gravedad específica del gas, poder calorífico y la viscosidad.



Si utilizamos los métodos de cálculo que establece la norma ISO para el cálculo del poder calórico y la gravedad específica se generaría un modulo donde se ingrese la composición del gas, tal como se aprecia en la figura:

**Gas Properties...**

Enter Gas Composition (%):

Methane (CH <sub>4</sub> ):	96.5222	Air (N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> ):	0
Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ):	0	Water (H <sub>2</sub> O):	0
Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ):	1.8186	Argon (Ar):	0
Propane (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ):	0.4596	Carbon Monoxide (CO):	0
I-Butane (iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ):	0.0977	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ):	0.5956
N-Butane (nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ):	0.1007	Hydro Sulfide (H <sub>2</sub> S):	0
I-Pentane (iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ):	0.0473	Helium (He):	0
N-Pentane (nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ):	0.0324	Hydrogen (H <sub>2</sub> ):	0
Hexane (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> ):	0.0664	Nitrogen (N <sub>2</sub> ):	0.2595
Heptane (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> ):	0	Oxygen (O <sub>2</sub> ):	0
Octane (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> ):	0	Other:	0
Nonane (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> ):	0	Heating Value Method:	GPA 2172
Decane (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> ):	0		

Calculate      Apply

Heating: 1033.8      Btu/cf      Specific Gravity: 0.58

Viscosity: 0.0000072      Lbm/Ft-sec      Specific Heat Ratio: 1.31

Clear      Get      Save      Print      Close

- b) Módulo de configuración de Unidades: Su objetivo es de establecer las unidades en que se expresan los valores de presión, temperatura, longitud, diámetros, pérdidas, viscosidad, etc. Es muy seguro que los valores que ingresemos en el programa sean de diferentes sistemas por lo que es necesario usar tablas de equivalencia de unidades almacenado en la Base de Datos.

**Default Dimensional Units...**

Default Settings...

Diameter:	Inches	Node Pressure:	Psi
Efficiency:	Decimal	Pipe Flow Rate:	Mcfh
Elevation:	Feet	Pressure Drop:	Psi
Heating Value:	Btu/cf	Temperature:	Fahrenheit
Length:	Feet	Viscosity:	Lbm/Ft-sec
Load:	Mcfh		

Apply Values      Close

- c) Seteo de Valores por defecto: En el caso de ingreso masivo de datos es conveniente tener un módulo que establezca parámetros generales para la inserción de nodos y tubería.

**Default Data Values...**

Gas Properties		Dimensional Units	
Pipe Data...			
Size/Type:	2P	Inches	
Equation:	IGT		Optimize Setting... <input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No
Efficiency:	0.95	Decimal	
Node Data...			
Pressure:	0	Psi	<input checked="" type="radio"/> Known <input checked="" type="radio"/> Unknown
Base Load:	0	Mcfh	<input checked="" type="radio"/> Known <input type="radio"/> Unknown <input type="radio"/> Fixed
Elevation:	0	Feet	
Temperature:	60	Fahrenheit	<input checked="" type="radio"/> Known <input type="radio"/> Unknown

Apply Values      Close

Nótese el casillero Equation que plantea la ecuación a utilizar en los cálculos de la caída de presión o del Caudal por la tubería.

- d) Módulo creador de nodos: Deberá contemplar aspectos gráficos en pantalla y almacenamiento de los datos extendidos al objeto (nodo), según un código de identificación. Así mismo deberá solicitar las condiciones de presión, temperatura o Caudal.

**From Node Data...**

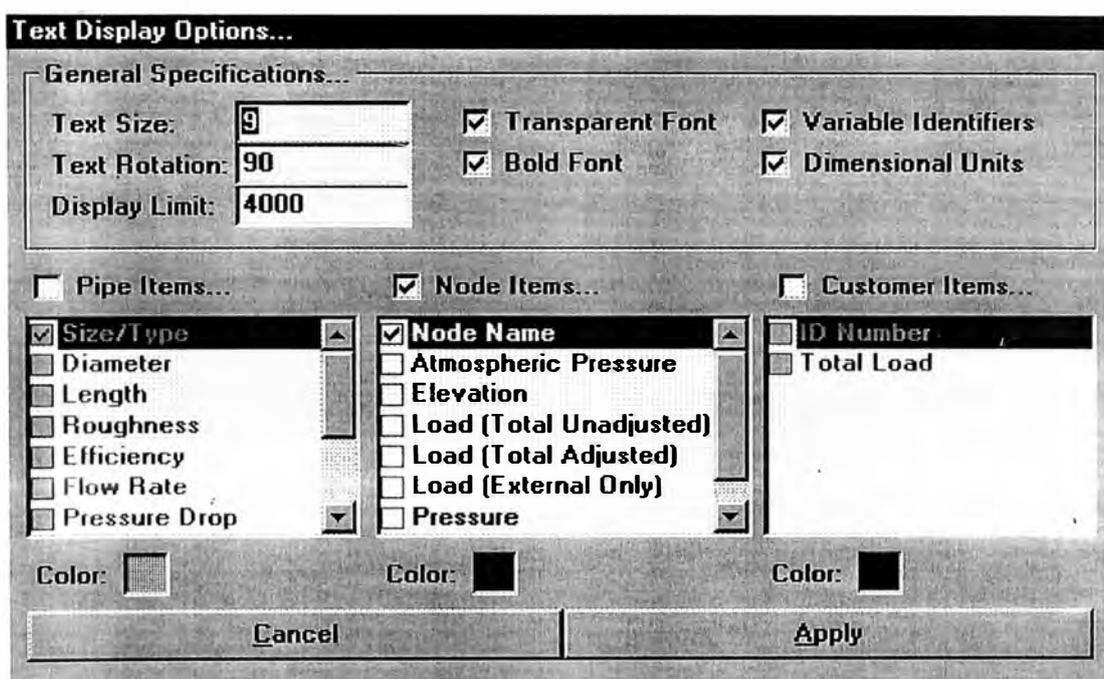
Data Values...		Calculated Values - "Changed"...	
Node Name:	5	Record Number	1
Pressure:	0 Psi <input checked="" type="checkbox"/> ?	Base Load	0.000 Mcfh
Load:	0 Mcfh <input type="checkbox"/> ?	External Load	0.000 Mcfh
Elevation:	0 Feet	Atmospheric P	0.00 Psi
Temperature:	60 Fahrenheit <input type="checkbox"/> ?		
Adjust By Design Factor:	<input checked="" type="checkbox"/>		
Status:	<input checked="" type="radio"/> On <input type="radio"/> Off		
Relate Data		Gas Properties	
Graphic Data		Print	
		Cancel	
		Close	

- e) Módulo creador de la tubería de enlace entre nodos: Entre los datos requeridos estará el tipo y diámetro de la tubería, el valor de longitud será evaluado directamente del CAD.

**Pipe Data...**

Data Values...		Calculated Values - "Changed"...	
Type:	Pipe	Record Number	1
Size/Type:	2P Inches	ID Number	1
Length:	500 Feet	From Node	SUPPLY
Efficiency:	0.95 Decimal	To Node	10
Equation:	IGT	Flow Rate	0.000 Mcfh
Flow Units:	Mcfh	From Pressure	20.00 Psi
Drop Units:	Psi	To Pressure	0.00 Psi
Status:	<input checked="" type="radio"/> On <input type="radio"/> Off	Pressure Drop	0.00 Psi
Optimize:	<input checked="" type="checkbox"/>	Drop Per 100.00	0.00 Psi
		Average Pressure	13.33 Psi
Graphic Data		Attribute Data	
Print		Cancel	
		Close	

- f) Módulo de presentación de datos: Los valores ingresados así como los calculados, deberán tener la posibilidad de mostrarse en pantalla a solicitud del usuario. En el aspecto CAD esto se consigue proyectando los valores como etiquetas de textos según el código almacenado en el dato extendido del objeto (punto, línea, malla).



- g) Módulo de Reporte: Su objetivo es proyectar todos los valores calculados en una tabla resumen de resultados, tanto para los nodos como para las tuberías.

Node Report...

Rec #	Node Name	Pressure	P Units	P Known	Base Load	External Load	Total Load	Q Known	Q Units	Status
1	SUPPLY	20.00	Psi	Yes	30.033	0.000	30.033	No	Mcfh	On
2	10	19.61	Psi	No	-10.000	0.000	-10.000	Yes	Mcfh	On
3	15	17.05	Psi	No	-10.000	0.000	-10.000	Yes	Mcfh	On
4	20	17.06	Psi	No	-10.000	0.000	-10.000	Yes	Mcfh	On

Close This Report      Close All Reports

Modelo de Reporte de Nodos

Pipe Report...

Rec	From Node	To Node	ID Number	Type	Status	Equation	Size/Type	Inside D	Roughness	D Unit	Optimize	Length	L Unit
1	SUPPLY	10	1	Pipe	On	IGT	4P	3.621	0.00006	Inches	Yes	500	Feet
2	10	15	2	Pipe	On	IGT	2P	1.885	0.00006	Inches	Yes	500	Feet
3	15	20	3	Pipe	On	IGT	2P	1.885	0.00006	Inches	Yes	500	Feet
4	20	SUPPLY	4	Pipe	On	IGT	2P	1.885	0.00006	Inches	Yes	500	Feet

Close This Report      Close All Reports

Modelo de Reporte de Tuberías (I)

Pipe Report...

Rec	From Node	To Node	Efficiency	E Unit	Flow Rate	Q Unit	Velocity	Volume	Inlet P	Outlet P	Press Drop	Drop Per	Average
1	SUPPLY	10	0.95	Decimal	19.645	Mcfh	32.545	0.084	20.00	19.61	0.39	0.08	1%
2	10	15	0.95	Decimal	9.587	Mcfh	61.190	0.022	19.61	17.05	2.56	0.51	1%
3	15	20	0.95	Decimal	-0.397	Mcfh	2.634	0.021	17.05	17.06	-0.01	0.00	1%
4	20	SUPPLY	0.95	Decimal	-10.388	Mcfh	65.900	0.022	17.06	20.00	-2.94	-0.59	1%

Close This Report      Close All Reports

Modelo de Reporte de Tuberías (II)

- h) Módulo de cálculo  $\Delta Q_0$ : Será el que solucione los valores de flujo en toda la red a través de uno o más de los métodos descritos en el informe. Acotará el número de iteraciones hasta llegar a un valor  $\Delta Q_0 \leq 0.009$  o en caso contrario terminará cuando el número de iteraciones supere el valor definido por el usuario. Para elaborar el código de programación aplicando Hardy Cross, podemos basarnos en los códigos de programación para fluidos líquidos, del libro de Victor Streeter titulado Mecánica de Fluidos.
- i) Módulo para obtención de  $\Delta P^2$ : Aquí participan las ecuaciones para flujo de gas en tuberías, en este caso la selección de la ecuación a emplear dependerá del usuario o en su defecto seleccionarla según los rangos de presión, diámetros o tipo de flujo según se indica en el Anexo A. Aquí participa activamente el valor de Z para cada rango de presión y también la conectividad a la base de datos de Unidades y tuberías.

# **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

- El cálculo del factor de compresibilidad ( $Z$ ) tiene un papel protagónico para la determinación de la presión de entrada o de salida en un tramo de tubería. Al automatizar su cálculo seguiremos el algoritmo planteado en la norma ISO 12213-3 ó generar una correlación de  $Z$  para diversas condiciones de presión, temperatura y gravedad específica del gas.
- El comportamiento del gas en las tuberías varía según el rango de presión, temperatura o estado de flujo, por lo tanto los valores que obtengamos al aplicar las ecuaciones son ciertamente aproximaciones a lo real. Solo una medición experimental podrá garantizarnos que los cálculos fueron los adecuados. No obstante las ecuaciones de Weymouth, Panhandle y de la IGT son difundidas y recomendadas por calculistas experimentados en cálculo de redes de gas natural.
- La pérdida de carga ( $h$ ) de un tramo de tubería es en realidad, la diferencia de los cuadrados de las presiones absolutas respecto al factor de compresibilidad a la entrada y salida.
- Existe en AutoCAD un entorno apropiado para la elaboración del programa que automatice el cálculo de redes de gas, además tenemos la posibilidad de referenciar geográficamente los componentes de la red y enlazar datos a través de la tecnología ActiveX.

- Automatizar el proceso de cálculo en un programa, permite economizar los tiempos en la elaboración de proyectos de tendido de gas. Por lo tanto tenemos un beneficio económico al reducir el tiempo de trabajo del ingeniero calculista.
- Si bien existen programas de cálculo de redes tales como GasWorks, GasCalc, ProGAS, etc., ellos son totalmente cerrados, es decir no se puede incrementar sus posibilidades de cálculo. Al desarrollar un producto nacional estaremos compartiendo información tecnológica que sirva de base para que un futuro no muy lejano los ingenieros y técnicos peruanos puedan dirigir los proyectos relacionados con el gas, reduciendo la dependencia con el exterior.

# **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

- Jhonson, T.W.; Berwald, W.B.; Flow of Natural Gas Through High-Pressure Transmission Lines, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Monograph 6, Reporte sobre su trabajo y manuscrito terminado en 1935.
- ISO 12213, conserniente al algoritmo de cálculo para la evaluación del factor de compresibilidad para el gas natural.
- Martinez, Marcías; Cálculo de tuberías y Redes de gas. Publicación de EDILUZ y la Universidad de Zulia. Maracaibo – Venezuela.
- Hernáez, A.B.; Gutierrez Pérez, L.C.; Enagás S.A.; Lumbarres & Busquets; Sistemas de Información y Gestión Energética S.A. (SIGE), boletin sobre de la Influencia de las propiedades del gas natural en cogeneración.
- Schroeder, Donald W.; A Tutorial on Pipe Flow Equations, Stoner Associates, August 16, 2001, trata de los fundamentos para la Ecuación general.
- Optimizacion de Sistemas GAS/dP, Fundamentos del software GAS/dP. Estudio de las perdidas menores basados en las relaciones de Crane Co. en fluidos compresibles, versión del 2001.
- Streeter, Victor L.; Mecánica de los Fluidos, 8va edición, programas de cálculo basados en Hardy Cross.1987
- Autodesk, Inc; Activex and VBA developer's guide. Guia del desarrollador de aplicaciones en AutoCAD publicado en Marzo 1999.

**ANEXO A**

**RECOMENDACIONES**

**& ECUACIONES**

### Análisis comparativo de los valores del factor de transmisión.

Ecuación	Valor de $1/\sqrt{f}$	$(1/\sqrt{f})_{2''}$	$(1/\sqrt{f})_{20''}$	$R_{UW}$	$R_{WU}$
Weymouth	$(11,19)d^{1/6}$	12,6295	18,3190	1,0000	1,0000
Pole	cte.	11,4700	-	0,9082	-
Spitzglass	$\sqrt{\frac{354}{1 + \frac{3,6}{d} + (0,03)d}}$	11,2367	14,1641	0,8897	0,7732
Unwin	$\sqrt{\frac{227}{1 + \frac{12}{(7)d}}}$	11,1394	14,4373	0,8820	0,7881
Olphant	$13,0 + (0,433) d^{1/2}$	13,6225	14,8998	1,0786	0,8133
Panhandle A.	$(6,872)Re^{0,073}$	17,6043	23,2560	1,3939	1,2695
N. Panhandle	$(16,49)Re^{0,01961}$	21,2308	22,8795	1,6810	1,2489
Blasius	$(3,56)Re^{0,125}$	17,8238	28,7109	1,4112	1,5673
Mueller	$(3,35)Re^{0,13}$	17,8886	29,3702	1,4164	1,6033
Lees	$\sqrt{\frac{Re^{0,35}}{(0,0018)Re^{0,35} + 0,153}}$	16,9455	21,1156	1,3417	1,1527
Fritzche	$(5,145)Re \cdot d^{0,071}$	13,5244	20,7744	1,0708	1,1340
Dist. I.G.T.	$(4,169)Re^{0,100}$	15,1248	17,7960	1,1976	0,9694

Para 2"

$$d = 2,067$$

$$Re = 3,95 \times 10^5$$

$$Q = 686.554,07 \text{ pcnd}$$

Para 20"

$$d = 19,25$$

$$Re = 1,789 \times 10^7$$

$$Q = 263.581.013,90 \text{ pcnd}$$

## Algunas ecuaciones de flujo de uso comun.

ECUACION	FORMULA A*	FACTORES DE TRANSMISION																														
FRITZSCHE <sup>b</sup>	$Q_b = (1.720 T_b / P_b) \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{T.L} \right)^{0.538} (1/G)^{0.462}$	$5.145 (R.D)^{0.071}$																														
COMPLETAMENTE TURBULENTO	$Q_b = (0.4692 T_b / P_b) \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{G.T.Z_p L} \right)^{0.500} \log(3.7 D/k)$	$4.10_g (3.7 D/k)$																														
DISTRIBUCION DEL IGT	$Q_b = (0.6643 T_b / P_b) \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2)}{T.L} \right)^{5/7} D^{8/5} / (G^{4/5} \mu^{1/5})$	$4.169 (R)^{0.100}$																														
ECUACION DE MUELLER	$Q_b = (0.4937 T_b / P_b) \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2)}{T.L} \right)^{0.375} \frac{D^{2.725}}{G^{0.425} \mu^{0.180}}$	$3.35 (R)^{0.130}$																														
PANHANDLE A <sup>b</sup>	$Q = (2.450 T_b / P_b) \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2)}{T.L} \right)^{0.539} (D^{2.818}) / (G^{0.461})$	$6.872 (R)^{0.0730}$																														
POLE	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><math>Q_b = C (hw D^3 / GL)^{0.500}</math></th> <th style="text-align: center;">Diam. Tub, pulg</th> <th style="text-align: center;">C*</th> <th style="text-align: center;">Diam. Tub, pulg</th> <th style="text-align: center;"><math>\sqrt{1/f}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">3/4 to 1</td> <td style="text-align: center;">1.732</td> <td style="text-align: center;">3/4 to 1</td> <td style="text-align: center;">9.56</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1 1/4 to 1 1/2</td> <td style="text-align: center;">1.905</td> <td style="text-align: center;">1 1/4 to 1 1/2</td> <td style="text-align: center;">10.51</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2.078</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">11.47</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">2.252</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">12.43</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">2.338</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">12.90</td> </tr> </tbody> </table>	$Q_b = C (hw D^3 / GL)^{0.500}$	Diam. Tub, pulg	C*	Diam. Tub, pulg	$\sqrt{1/f}$		3/4 to 1	1.732	3/4 to 1	9.56		1 1/4 to 1 1/2	1.905	1 1/4 to 1 1/2	10.51		2	2.078	2	11.47		3	2.252	3	12.43		4	2.338	4	12.90	
$Q_b = C (hw D^3 / GL)^{0.500}$	Diam. Tub, pulg	C*	Diam. Tub, pulg	$\sqrt{1/f}$																												
	3/4 to 1	1.732	3/4 to 1	9.56																												
	1 1/4 to 1 1/2	1.905	1 1/4 to 1 1/2	10.51																												
	2	2.078	2	11.47																												
	3	2.252	3	12.43																												
	4	2.338	4	12.90																												
SPITZGLASS (ALTA PRESION) <sup>d</sup>	$Q_b = 3.415 \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{GL(1 + 3.6/D + 0.03D)} \right)^{0.500}$	$\left( \frac{354}{1 + 3.6/D + 0.03D} \right)^{0.500}$																														
SPITZGLASS (BAJA PRESION) <sup>d</sup>	$Q_b = 3.550 \left( \frac{hw D^5}{GL(1 + 3.6/D + 0.03D)} \right)^{0.500}$	$\left( \frac{354}{1 + 3.6/D + 0.03D} \right)^{0.500}$																														
WEYMOUTH	$Q_b = 1.3124 (T_b / R_b) \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^{16/3}}{G T, L} \right)^{0.500}$	$11.19 D^{1/16}$																														

a) Las unidades de todas estas ecuaciones son:

$$\begin{aligned}
 D &= \text{in} & P_1, P_2, P_b &= \text{lpca} \\
 hw &= \text{in.wc} & Q_b &= \text{Mpc/hr} \\
 L &= \text{ft} & \mu &= \text{lbm/p.sec} \\
 T_r, T_b &= \text{°R}
 \end{aligned}$$

b) Las constantes 1.720 y 2.450 incluyen:

$$\mu = 70 \times 10^{-6} \text{ lbm/p.sec}$$

c) Tome:  $P_b = 14.73 \text{ lpca}$

$$\begin{aligned}
 T_b &= 492^\circ \text{R} \\
 T_r &= 500^\circ \text{R}
 \end{aligned}$$

d) Las constantes 3.415 y 3.550 obtenidas con:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 14.7 \text{ lpca} \\
 T_b &= 520^\circ \text{R} \\
 T_r &= 522.6^\circ \text{R}
 \end{aligned}$$

## Guía para seleccionar la mejor ecuación.

### WEYMOUTH

Buena	Para tuberías menores de 12".	EXXON
Buena	Para: $2" < D < 16"$ .	M. Martínez
Buena	Flujo completamente turbulento, altas presiones y $D < 20"$ .	I.G.T.
Conservadora	Flujo parcialmente turbulento, mediana a alta presión y $D < 20"$ .	I.G.T.
<b>No se recomienda para diámetros menores de 2".</b>		

### PANHANDLE

Recomendable	Para $D > 12"$ .	EXXON
Buena	Para: $4 \times 10^5 < Re < 40 \times 10^6, D > 16"$ .	M. Martínez
Buena	Para altas temperaturas, flujo parcialmente turbulento, $Re > 300.000$ .	I.G.T.
Relativamente Buena	Para distribución, para presiones medianas y altas, $D > 16"$ .	I.G.T.

### Redes de distribución a bajas presiones

OLIPHANT	Recomendada para $P < 35$ lpcm.	EXXON
SPITGLASS	Recomendada para $D < 12"$ .	I.G.T.
POLE	Recomendada para $D < 4"$ .	I.G.T.
MUELLER	Muy buena para derivaciones de servicio, diámetros pequeños, tuberías de cobre, aluminio o plásticas. Normalmente se usa con $D < 2"$ y presiones de hasta 1" de agua.	A.G.A.

**ANEXO B**

**TABLAS DE PRESION**

**& Z**

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
1.0	0.9960	246.49	247.49	248.50
2.0	0.9958	278.89	280.08	281.27
3.0	0.9956	313.29	314.69	316.09
4.0	0.9954	349.69	351.32	352.96
5.0	0.9952	388.09	389.98	391.87
6.0	0.9950	428.49	430.66	432.84
7.0	0.9948	470.89	473.37	475.86
8.0	0.9946	515.29	518.10	520.93
9.0	0.9944	561.69	564.87	568.06
10.0	0.9942	610.09	613.66	617.26
11.0	0.9940	660.49	664.49	668.51
12.0	0.9938	712.89	717.35	721.83
13.0	0.9936	767.29	772.24	777.22
14.0	0.9934	823.69	829.17	834.68
15.0	0.9932	882.09	888.13	894.22
16.0	0.9930	942.49	949.13	955.82
17.0	0.9928	1004.89	1012.17	1019.51
18.0	0.9926	1069.29	1077.25	1085.27
19.0	0.9924	1135.69	1144.37	1153.12
20.0	0.9922	1204.09	1213.54	1223.05
21.0	0.9920	1274.49	1284.74	1295.07
22.0	0.9918	1346.89	1357.99	1369.18
23.0	0.9916	1421.29	1433.29	1445.39
24.0	0.9914	1497.69	1510.63	1523.68
25.0	0.9912	1576.09	1590.02	1604.08
26.0	0.9910	1656.49	1671.46	1686.57
27.0	0.9908	1738.89	1754.95	1771.17
28.0	0.9907	1823.29	1840.50	1857.86
29.0	0.9905	1909.69	1928.09	1946.67
30.0	0.9903	1998.09	2017.74	2037.59
31.0	0.9901	2088.49	2109.45	2130.61
32.0	0.9899	2180.89	2203.21	2225.75
33.0	0.9897	2275.29	2299.03	2323.01
34.0	0.9895	2371.69	2396.91	2422.39
35.0	0.9893	2470.09	2496.84	2523.89
36.0	0.9891	2570.49	2598.84	2627.51
37.0	0.9889	2672.89	2702.91	2733.26
38.0	0.9887	2777.29	2809.03	2841.14
39.0	0.9885	2883.69	2917.22	2951.15
40.0	0.9883	2992.09	3027.48	3063.29
41.0	0.9881	3102.49	3139.80	3177.57
42.0	0.9879	3214.89	3254.20	3293.98
43.0	0.9877	3329.29	3370.66	3412.54
44.0	0.9875	3445.69	3489.19	3533.25
45.0	0.9873	3564.09	3609.80	3656.09
46.0	0.9871	3684.49	3732.48	3781.09
47.0	0.9869	3806.89	3857.23	3908.24
48.0	0.9868	3931.29	3984.06	4037.54
49.0	0.9866	4057.69	4112.97	4169.00
50.0	0.9864	4186.09	4243.95	4302.61

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
51.0	0.9862	4316.49	4377.02	4438.39
52.0	0.9860	4448.89	4512.16	4576.33
53.0	0.9858	4583.29	4649.39	4716.44
54.0	0.9856	4719.69	4788.70	4858.71
55.0	0.9854	4858.09	4930.09	5003.16
56.0	0.9852	4998.49	5073.57	5149.78
57.0	0.9850	5140.89	5219.13	5298.57
58.0	0.9848	5285.29	5366.79	5449.54
59.0	0.9846	5431.69	5516.53	5602.70
60.0	0.9844	5580.09	5668.36	5758.03
61.0	0.9842	5730.49	5822.29	5915.55
62.0	0.9840	5882.89	5978.30	6075.27
63.0	0.9838	6037.29	6136.41	6237.17
64.0	0.9837	6193.69	6296.62	6401.26
65.0	0.9835	6352.09	6458.92	6567.55
66.0	0.9833	6512.49	6623.32	6736.04
67.0	0.9831	6674.89	6789.82	6906.73
68.0	0.9829	6839.29	6958.42	7079.63
69.0	0.9827	7005.69	7129.12	7254.72
70.0	0.9825	7174.09	7301.92	7432.03
71.0	0.9823	7344.49	7476.83	7611.55
72.0	0.9821	7516.89	7653.84	7793.28
73.0	0.9819	7691.29	7832.95	7977.23
74.0	0.9817	7867.69	8014.18	8163.39
75.0	0.9815	8046.09	8197.51	8351.78
76.0	0.9813	8226.49	8382.95	8542.39
77.0	0.9811	8408.89	8570.51	8735.23
78.0	0.9810	8593.29	8760.17	8930.29
79.0	0.9808	8779.69	8951.95	9127.59
80.0	0.9806	8968.09	9145.84	9327.12
81.0	0.9804	9158.49	9341.85	9528.88
82.0	0.9802	9350.89	9539.98	9732.89
83.0	0.9800	9545.29	9740.22	9939.13
84.0	0.9798	9741.69	9942.58	10147.62
85.0	0.9796	9940.09	10147.07	10358.35
86.0	0.9794	10140.49	10353.67	10571.34
87.0	0.9792	10342.89	10562.40	10786.57
88.0	0.9790	10547.29	10773.25	11004.06
89.0	0.9788	10753.69	10986.23	11223.80
90.0	0.9786	10962.09	11201.34	11445.81
91.0	0.9784	11172.49	11418.57	11670.07
92.0	0.9783	11384.89	11637.93	11896.60
93.0	0.9781	11599.29	11859.43	12125.40
94.0	0.9779	11815.69	12083.05	12356.46
95.0	0.9777	12034.09	12308.81	12589.80
96.0	0.9775	12254.49	12536.70	12825.41
97.0	0.9773	12476.89	12766.73	13063.30
98.0	0.9771	12701.29	12998.89	13303.47
99.0	0.9769	12927.69	13233.19	13545.92
100.0	0.9767	13156.09	13469.63	13790.65

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
101.0	0.9765	13386.49	13708.21	14037.67
102.0	0.9763	13618.89	13948.94	14286.98
103.0	0.9761	13853.29	14191.80	14538.59
104.0	0.9760	14089.69	14436.81	14792.48
105.0	0.9758	14328.09	14683.96	15048.68
106.0	0.9756	14568.49	14933.26	15307.17
107.0	0.9754	14810.89	15184.71	15567.97
108.0	0.9752	15055.29	15438.31	15831.07
109.0	0.9750	15301.69	15694.06	16096.48
110.0	0.9748	15550.09	15951.95	16364.20
111.0	0.9746	15800.49	16212.01	16634.24
112.0	0.9744	16052.89	16474.21	16906.59
113.0	0.9742	16307.29	16738.57	17181.26
114.0	0.9740	16563.69	17005.08	17458.24
115.0	0.9739	16822.09	17273.76	17737.56
116.0	0.9737	17082.49	17544.59	18019.19
117.0	0.9735	17344.89	17817.58	18303.16
118.0	0.9733	17609.29	18092.74	18589.46
119.0	0.9731	17875.69	18370.05	18878.09
120.0	0.9729	18144.09	18649.53	19169.06
121.0	0.9727	18414.49	18931.18	19462.36
122.0	0.9725	18686.89	19214.99	19758.01
123.0	0.9723	18961.29	19500.97	20056.00
124.0	0.9721	19237.69	19789.11	20356.34
125.0	0.9719	19516.09	20079.43	20659.03
126.0	0.9718	19796.49	20371.92	20964.07
127.0	0.9716	20078.89	20666.58	21271.46
128.0	0.9714	20363.29	20963.41	21581.22
129.0	0.9712	20649.69	21262.42	21893.33
130.0	0.9710	20938.09	21563.60	22207.80
131.0	0.9708	21228.49	21866.96	22524.64
132.0	0.9706	21520.89	22172.51	22843.85
133.0	0.9704	21815.29	22480.23	23165.43
134.0	0.9702	22111.69	22790.13	23489.38
135.0	0.9700	22410.09	23102.21	23815.71
136.0	0.9699	22710.49	23416.48	24144.42
137.0	0.9697	23012.89	23732.93	24475.51
138.0	0.9695	23317.29	24051.57	24808.98
139.0	0.9693	23623.69	24372.40	25144.83
140.0	0.9691	23932.09	24695.41	25483.08
141.0	0.9689	24242.49	25020.62	25823.72
142.0	0.9687	24554.89	25348.01	26166.75
143.0	0.9685	24869.29	25677.60	26512.18
144.0	0.9683	25185.69	26009.38	26860.01
145.0	0.9681	25504.09	26343.36	27210.24
146.0	0.9680	25824.49	26679.53	27562.88
147.0	0.9678	26146.89	27017.90	27917.93
148.0	0.9676	26471.29	27358.47	28275.38
149.0	0.9674	26797.69	27701.24	28635.25
150.0	0.9672	27126.09	28046.21	28997.53

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
151.0	0.9670	27456.49	28393.38	29362.24
152.0	0.9668	27788.89	28742.75	29729.36
153.0	0.9666	28123.29	29094.33	30098.91
154.0	0.9664	28459.69	29448.12	30470.88
155.0	0.9662	28798.09	29804.12	30845.29
156.0	0.9661	29138.49	30162.32	31222.12
157.0	0.9659	29480.89	30522.73	31601.39
158.0	0.9657	29825.29	30885.36	31983.10
159.0	0.9655	30171.69	31250.19	32367.25
160.0	0.9653	30520.09	31617.24	32753.84
161.0	0.9651	30870.49	31986.51	33142.88
162.0	0.9649	31222.89	32357.99	33534.36
163.0	0.9647	31577.29	32731.69	33928.29
164.0	0.9645	31933.69	33107.61	34324.69
165.0	0.9644	32292.09	33485.75	34723.53
166.0	0.9642	32652.49	33866.11	35124.83
167.0	0.9640	33014.89	34248.69	35528.60
168.0	0.9638	33379.29	34633.50	35934.83
169.0	0.9636	33745.69	35020.53	36343.52
170.0	0.9634	34114.09	35409.78	36754.69
171.0	0.9632	34484.49	35801.27	37168.33
172.0	0.9630	34856.89	36194.99	37584.45
173.0	0.9628	35231.29	36590.93	38003.04
174.0	0.9627	35607.69	36989.11	38424.12
175.0	0.9625	35986.09	37389.52	38847.68
176.0	0.9623	36366.49	37792.16	39273.72
177.0	0.9621	36748.89	38197.04	39702.26
178.0	0.9619	37133.29	38604.16	40133.28
179.0	0.9617	37519.69	39013.51	40566.81
180.0	0.9615	37908.09	39425.10	41002.82
181.0	0.9613	38298.49	39838.93	41441.34
182.0	0.9611	38690.89	40255.01	41882.36
183.0	0.9610	39085.29	40673.33	42325.89
184.0	0.9608	39481.69	41093.89	42771.92
185.0	0.9606	39880.09	41516.70	43220.47
186.0	0.9604	40280.49	41941.76	43671.54
187.0	0.9602	40682.89	42369.06	44125.11
188.0	0.9600	41087.29	42798.61	44581.21
189.0	0.9598	41493.69	43230.41	45039.83
190.0	0.9596	41902.09	43664.47	45500.97
191.0	0.9594	42312.49	44100.78	45964.65
192.0	0.9593	42724.89	44539.34	46430.85
193.0	0.9591	43139.29	44980.16	46899.59
194.0	0.9589	43555.69	45423.24	47370.86
195.0	0.9587	43974.09	45868.57	47844.67
196.0	0.9585	44394.49	46316.17	48321.03
197.0	0.9583	44816.89	46766.03	48799.93
198.0	0.9581	45241.29	47218.14	49281.38
199.0	0.9579	45667.69	47672.53	49765.38
200.0	0.9578	46096.09	48129.17	50251.93

GRAVEDAD: 0.67		TEMPERATURA: 535.00 °R		
P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
201.0	0.9576	46526.49	48588.09	50741.03
202.0	0.9574	46958.89	49049.27	51232.70
203.0	0.9572	47393.29	49512.72	51726.93
204.0	0.9570	47829.69	49978.44	52223.72
205.0	0.9568	48268.09	50446.43	52723.08
206.0	0.9566	48708.49	50916.69	53225.01
207.0	0.9564	49150.89	51389.23	53729.51
208.0	0.9563	49595.29	51864.05	54236.59
209.0	0.9561	50041.69	52341.14	54746.25
210.0	0.9559	50490.09	52820.50	55258.48
211.0	0.9557	50940.49	53302.15	55773.31
212.0	0.9555	51392.89	53786.08	56290.71
213.0	0.9553	51847.29	54272.29	56810.72
214.0	0.9551	52303.69	54760.79	57333.31
215.0	0.9549	52762.09	55251.56	57858.50
216.0	0.9548	53222.49	55744.63	58386.29
217.0	0.9546	53684.89	56239.98	58916.68
218.0	0.9544	54149.29	56737.62	59449.67
219.0	0.9542	54615.69	57237.55	59985.27
220.0	0.9540	55084.09	57739.77	60523.48
221.0	0.9538	55554.49	58244.28	61064.30
222.0	0.9536	56026.89	58751.08	61607.74
223.0	0.9534	56501.29	59260.19	62153.80
224.0	0.9533	56977.69	59771.58	62702.48
225.0	0.9531	57456.09	60285.28	63253.78
226.0	0.9529	57936.49	60801.27	63807.71
227.0	0.9527	58418.89	61319.57	64364.27
228.0	0.9525	58903.29	61840.16	64923.47
229.0	0.9523	59389.69	62363.06	65485.29
230.0	0.9521	59878.09	62888.26	66049.77
231.0	0.9519	60368.49	63415.77	66616.88
232.0	0.9518	60860.89	63945.59	67186.64
233.0	0.9516	61355.29	64477.71	67759.04
234.0	0.9514	61851.69	65012.14	68334.09
235.0	0.9512	62350.09	65548.89	68911.80
236.0	0.9510	62850.49	66087.94	69492.16
237.0	0.9508	63352.89	66629.32	70075.19
238.0	0.9506	63857.29	67173.00	70660.88
239.0	0.9505	64363.69	67719.00	71249.22
240.0	0.9503	64872.09	68267.32	71840.25
241.0	0.9501	65382.49	68817.96	72433.94
242.0	0.9499	65894.90	69370.92	73030.31
243.0	0.9497	66409.30	69926.20	73629.35
244.0	0.9495	66925.70	70483.80	74231.08
245.0	0.9493	67444.10	71043.73	74835.48
246.0	0.9491	67964.50	71605.98	75442.57
247.0	0.9490	68486.90	72170.55	76052.34
248.0	0.9488	69011.30	72737.46	76664.81
249.0	0.9486	69537.70	73306.70	77279.98
250.0	0.9484	70066.10	73878.26	77897.84

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
251.0	0.9482	70596.50	74452.16	78518.40
252.0	0.9480	71128.90	75028.40	79141.68
253.0	0.9478	71663.30	75606.96	79767.65
254.0	0.9477	72199.70	76187.86	80396.33
255.0	0.9475	72738.10	76771.11	81027.73
256.0	0.9473	73278.50	77356.68	81661.83
257.0	0.9471	73820.90	77944.60	82298.67
258.0	0.9469	74365.30	78534.87	82938.22
259.0	0.9467	74911.70	79127.47	83580.48
260.0	0.9465	75460.10	79722.42	84225.50
261.0	0.9463	76010.50	80319.71	84873.22
262.0	0.9462	76562.90	80919.35	85523.69
263.0	0.9460	77117.30	81521.34	86176.89
264.0	0.9458	77673.70	82125.68	86832.84
265.0	0.9456	78232.10	82732.37	87491.52
266.0	0.9454	78792.50	83341.41	88152.95
267.0	0.9452	79354.90	83952.81	88817.12
268.0	0.9450	79919.30	84566.56	89484.05
269.0	0.9449	80485.70	85182.67	90153.74
270.0	0.9447	81054.10	85801.13	90826.18
271.0	0.9445	81624.50	86421.95	91501.38
272.0	0.9443	82196.90	87045.14	92179.35
273.0	0.9441	82771.30	87670.69	92860.08
274.0	0.9439	83347.70	88298.60	93543.58
275.0	0.9437	83926.10	88928.87	94229.86
276.0	0.9436	84506.50	89561.51	94918.91
277.0	0.9434	85088.90	90196.52	95610.73
278.0	0.9432	85673.30	90833.90	96305.35
279.0	0.9430	86259.70	91473.64	97002.75
280.0	0.9428	86848.10	92115.76	97702.92
281.0	0.9426	87438.50	92760.25	98405.91
282.0	0.9424	88030.90	93407.12	99111.68
283.0	0.9423	88625.30	94056.36	99820.23
284.0	0.9421	89221.70	94707.98	100531.61
285.0	0.9419	89820.10	95361.97	101245.77
286.0	0.9417	90420.50	96018.35	101962.75
287.0	0.9415	91022.90	96677.10	102682.54
288.0	0.9413	91627.30	97338.24	103405.14
289.0	0.9411	92233.70	98001.76	104130.54
290.0	0.9410	92842.10	98667.67	104858.79
291.0	0.9408	93452.50	99335.96	105589.83
292.0	0.9406	94064.90	100006.65	106323.72
293.0	0.9404	94679.30	100679.72	107060.42
294.0	0.9402	95295.70	101355.18	107799.96
295.0	0.9400	95914.10	102033.03	108542.33
296.0	0.9398	96534.50	102713.28	109287.54
297.0	0.9397	97156.90	103395.92	110035.59
298.0	0.9395	97781.30	104080.96	110786.48
299.0	0.9393	98407.70	104768.39	111540.22
300.0	0.9391	99036.10	105458.23	112296.82

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
301.0	0.9389	99666.50	106150.47	113056.27
302.0	0.9387	100298.90	106845.11	113818.57
303.0	0.9385	100933.30	107542.14	114583.71
304.0	0.9384	101569.70	108241.59	115351.74
305.0	0.9382	102208.10	108943.44	116122.63
306.0	0.9380	102848.50	109647.70	116896.39
307.0	0.9378	103490.90	110354.36	117673.01
308.0	0.9376	104135.30	111063.44	118452.51
309.0	0.9374	104781.70	111774.93	119234.89
310.0	0.9372	105430.10	112488.83	120020.16
311.0	0.9371	106080.50	113205.14	120808.30
312.0	0.9369	106732.90	113923.88	121599.34
313.0	0.9367	107387.30	114645.03	122393.27
314.0	0.9365	108043.70	115368.59	123190.08
315.0	0.9363	108702.10	116094.58	123989.80
316.0	0.9361	109362.50	116822.98	124792.40
317.0	0.9360	110024.90	117553.82	125597.93
318.0	0.9358	110689.30	118287.07	126406.36
319.0	0.9356	111355.70	119022.75	127217.70
320.0	0.9354	112024.10	119760.86	128031.94
321.0	0.9352	112694.50	120501.39	128849.10
322.0	0.9350	113366.90	121244.36	129669.19
323.0	0.9348	114041.30	121989.76	130492.20
324.0	0.9347	114717.70	122737.58	131318.13
325.0	0.9345	115396.10	123487.84	132147.00
326.0	0.9343	116076.50	124240.54	132978.78
327.0	0.9341	116758.90	124995.68	133813.52
328.0	0.9339	117443.30	125753.25	134651.19
329.0	0.9337	118129.70	126513.26	135491.80
330.0	0.9335	118818.10	127275.71	136335.35
331.0	0.9334	119508.50	128040.61	137181.85
332.0	0.9332	120200.90	128807.95	138031.31
333.0	0.9330	120895.30	129577.74	138883.73
334.0	0.9328	121591.70	130349.97	139739.09
335.0	0.9326	122290.10	131124.65	140597.42
336.0	0.9324	122990.50	131901.78	141458.72
337.0	0.9323	123692.90	132681.36	142323.00
338.0	0.9321	124397.30	133463.39	143190.23
339.0	0.9319	125103.70	134247.88	144060.44
340.0	0.9317	125812.10	135034.82	144933.61
341.0	0.9315	126522.50	135824.22	145809.79
342.0	0.9313	127234.90	136616.08	146688.94
343.0	0.9311	127949.30	137410.39	147571.08
344.0	0.9310	128665.70	138207.17	148456.20
345.0	0.9308	129384.10	139006.41	149344.34
346.0	0.9306	130104.50	139808.12	150235.46
347.0	0.9304	130826.90	140612.28	151129.57
348.0	0.9302	131551.30	141418.92	152026.71
349.0	0.9300	132277.70	142228.02	152926.84
350.0	0.9299	133006.10	143039.60	153829.98

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
351.0	0.9297	133736.50	143853.64	154736.15
352.0	0.9295	134468.90	144670.16	155645.32
353.0	0.9293	135203.30	145489.15	156557.51
354.0	0.9291	135939.70	146310.61	157472.73
355.0	0.9289	136678.10	147134.56	158390.98
356.0	0.9287	137418.50	147960.98	159312.25
357.0	0.9286	138160.90	148789.88	160236.56
358.0	0.9284	138905.30	149621.26	161163.91
359.0	0.9282	139651.70	150455.13	162094.31
360.0	0.9280	140400.10	151291.48	163027.74
361.0	0.9278	141150.50	152130.31	163964.22
362.0	0.9276	141902.90	152971.63	164903.75
363.0	0.9275	142657.30	153815.45	165846.34
364.0	0.9273	143413.70	154661.74	166791.98
365.0	0.9271	144172.10	155510.53	167740.68
366.0	0.9269	144932.50	156361.82	168692.45
367.0	0.9267	145694.90	157215.60	169647.29
368.0	0.9265	146459.30	158071.87	170605.18
369.0	0.9264	147225.70	158930.64	171566.16
370.0	0.9262	147994.10	159791.91	172530.22
371.0	0.9260	148764.50	160655.68	173497.36
372.0	0.9258	149536.90	161521.95	174467.57
373.0	0.9256	150311.30	162390.73	175440.90
374.0	0.9254	151087.70	163262.01	176417.30
375.0	0.9252	151866.10	164135.79	177396.78
376.0	0.9251	152646.50	165012.09	178379.39
377.0	0.9249	153428.90	165890.89	179365.07
378.0	0.9247	154213.30	166772.20	180353.87
379.0	0.9245	154999.70	167656.02	181345.78
380.0	0.9243	155788.10	168542.35	182340.79
381.0	0.9241	156578.50	169431.20	183338.91
382.0	0.9240	157370.90	170322.57	184340.16
383.0	0.9238	158165.30	171216.45	185344.54
384.0	0.9236	158961.70	172112.86	186352.04
385.0	0.9234	159760.10	173011.78	187362.66
386.0	0.9232	160560.50	173913.23	188376.42
387.0	0.9230	161362.90	174817.20	189393.31
388.0	0.9229	162167.30	175723.70	190413.35
389.0	0.9227	162973.70	176632.72	191436.51
390.0	0.9225	163782.10	177544.26	192462.83
391.0	0.9223	164592.50	178458.34	193492.30
392.0	0.9221	165404.90	179374.96	194524.92
393.0	0.9219	166219.30	180294.11	195560.71
394.0	0.9218	167035.70	181215.78	196599.64
395.0	0.9216	167854.10	182139.99	197641.74
396.0	0.9214	168674.50	183066.74	198687.01
397.0	0.9212	169496.90	183996.03	199735.45
398.0	0.9210	170321.30	184927.86	200787.05
399.0	0.9208	171147.70	185862.22	201841.83
400.0	0.9206	171976.10	186799.13	202899.80

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
401.0	0.9205	172806.50	187738.59	203960.96
402.0	0.9203	173638.90	188680.60	205025.31
403.0	0.9201	174473.30	189625.15	206092.83
404.0	0.9199	175309.70	190572.24	207163.55
405.0	0.9197	176148.10	191521.89	208237.47
406.0	0.9195	176988.50	192474.10	209314.60
407.0	0.9194	177830.90	193428.84	210394.92
408.0	0.9192	178675.30	194386.16	211478.48
409.0	0.9190	179521.70	195346.03	212565.22
410.0	0.9188	180370.10	196308.45	213655.19
411.0	0.9186	181220.50	197273.43	214748.36
412.0	0.9184	182072.90	198240.98	215844.78
413.0	0.9183	182927.30	199211.08	216944.40
414.0	0.9181	183783.70	200183.75	218047.27
415.0	0.9179	184642.10	201158.99	219153.37
416.0	0.9177	185502.50	202136.79	220262.71
417.0	0.9175	186364.90	203117.16	221375.27
418.0	0.9173	187229.30	204100.10	222491.08
419.0	0.9172	188095.70	205085.61	223610.15
420.0	0.9170	188964.10	206073.70	224732.47
421.0	0.9168	189834.50	207064.36	225858.05
422.0	0.9166	190706.90	208057.59	226986.86
423.0	0.9164	191581.30	209053.40	228118.95
424.0	0.9162	192457.70	210051.79	229254.30
425.0	0.9161	193336.10	211052.77	230392.93
426.0	0.9159	194216.50	212056.33	231534.84
427.0	0.9157	195098.90	213062.46	232680.00
428.0	0.9155	195983.30	214071.18	233828.45
429.0	0.9153	196869.70	215082.49	234980.19
430.0	0.9151	197758.10	216096.39	236135.22
431.0	0.9150	198648.50	217112.89	237293.54
432.0	0.9148	199540.90	218131.96	238455.14
433.0	0.9146	200435.30	219153.64	239620.07
434.0	0.9144	201331.70	220177.91	240788.27
435.0	0.9142	202230.10	221204.76	241959.76
436.0	0.9140	203130.50	222234.23	243134.59
437.0	0.9139	204032.90	223266.29	244312.74
438.0	0.9137	204937.30	224300.95	245494.18
439.0	0.9135	205843.70	225338.21	246678.95
440.0	0.9133	206752.10	226378.07	247867.04
441.0	0.9131	207662.50	227420.55	249058.47
442.0	0.9129	208574.90	228465.62	250253.21
443.0	0.9128	209489.30	229513.30	251451.28
444.0	0.9126	210405.70	230563.59	252652.70
445.0	0.9124	211324.10	231616.49	253857.46
446.0	0.9122	212244.50	232672.01	255065.58
447.0	0.9120	213166.90	233730.15	256277.05
448.0	0.9118	214091.30	234790.90	257491.85
449.0	0.9117	215017.70	235854.26	258710.01
450.0	0.9115	215946.10	236920.24	259931.53

GRAVEDAD: 0.67

TEMPERATURA: 535.00 °R

P (Lpcm)	Z	PA <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z (Lpca) <sup>2</sup>	PA <sup>2</sup> /Z <sup>2</sup> (Lpca) <sup>2</sup>
451.0	0.9113	216876.50	237988.85	261156.43
452.0	0.9111	217808.90	239060.08	262384.70
453.0	0.9109	218743.30	240133.92	263616.31
454.0	0.9107	219679.70	241210.40	264851.30
455.0	0.9106	220618.10	242289.51	266089.72
456.0	0.9104	221558.50	243371.23	267331.45
457.0	0.9102	222500.90	244455.59	268576.61
458.0	0.9100	223445.30	245542.59	269825.16
459.0	0.9098	224391.70	246632.21	271077.08
460.0	0.9096	225340.10	247724.47	272332.40
461.0	0.9095	226290.50	248819.36	273591.13
462.0	0.9093	227242.90	249916.90	274853.27
463.0	0.9091	228197.30	251017.06	276118.79
464.0	0.9089	229153.70	252119.88	277387.76
465.0	0.9087	230112.10	253225.33	278660.12
466.0	0.9085	231072.50	254333.42	279935.91
467.0	0.9084	232034.90	255444.17	281215.12
468.0	0.9082	232999.30	256557.56	282497.77
469.0	0.9080	233965.70	257673.59	283783.82
470.0	0.9078	234934.10	258792.29	285073.35
471.0	0.9076	235904.50	259913.63	286366.28
472.0	0.9074	236876.90	261037.62	287662.67
473.0	0.9073	237851.30	262164.28	288962.50
474.0	0.9071	238827.70	263293.57	290265.76
475.0	0.9069	239806.10	264425.54	291572.51
476.0	0.9067	240786.50	265560.16	292882.69
477.0	0.9065	241768.90	266697.44	294196.33
478.0	0.9063	242753.30	267837.39	295513.45
479.0	0.9062	243739.70	268980.00	296834.04
480.0	0.9060	244728.10	270125.27	298158.07
481.0	0.9058	245718.50	271273.22	299485.63
482.0	0.9056	246710.90	272423.83	300816.63
483.0	0.9054	247705.30	273577.11	302151.12
484.0	0.9052	248701.70	274733.07	303489.11
485.0	0.9051	249700.10	275891.68	304830.55
486.0	0.9049	250700.50	277052.99	306175.54
487.0	0.9047	251702.90	278216.97	307523.99
488.0	0.9045	252707.30	279383.62	308875.95
489.0	0.9043	253713.70	280552.96	310231.43
490.0	0.9042	254722.10	281724.99	311590.42
491.0	0.9040	255732.50	282899.70	312952.94
492.0	0.9038	256744.90	284077.08	314318.94
493.0	0.9036	257759.30	285257.16	315688.51
494.0	0.9034	258775.70	286439.92	317061.57
495.0	0.9032	259794.10	287625.38	318438.17
496.0	0.9031	260814.50	288813.51	319818.27
497.0	0.9029	261836.90	290004.35	321201.95
498.0	0.9027	262861.30	291197.87	322589.14
499.0	0.9025	263887.70	292394.11	323979.93
500.0	0.9023	264916.10	293593.04	325374.23

**ANEXO C**

**TABLAS DE TUBERIAS**

**PARA GAS**

DATOS DE TUBERÍA

---

DIÁMETRO NOMINAL : 2 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 2.375 (PULG)

TIPO NUM	F (1)	ESPESOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
5	Si	0.06500	2.2450	7.74	8.64	1.604	4.234	0.18708	0.02749	1379
--	No	0.08300	2.2090	7.43	8.28	2.032	5.364	0.18408	0.02661	1761
--	No	0.09500	2.1850	7.22	8.04	2.314	6.108	0.18208	0.02604	2016
10	No	0.10900	2.1570	6.99	7.77	2.638	6.965	0.17975	0.02538	2313
--	No	0.12500	2.1250	6.73	7.46	3.004	7.931	0.17708	0.02463	2653
--	No	0.13400	2.1070	6.59	7.30	3.208	8.468	0.17558	0.02421	2844
--	No	0.14200	2.0910	6.46	7.15	3.387	8.941	0.17425	0.02385	3013
Std y 40	No	0.15400	2.0670	6.28	6.93	3.653	9.645	0.17225	0.02330	3268
XS y 80	No	0.21800	1.9390	5.34	5.85	5.023	13.260	0.16158	0.02051	4626
160	No	0.34300	1.6890	3.77	4.05	7.445	19.654	0.14075	0.01556	7279
XXS	No	0.43600	1.5030	2.80	2.96	9.030	23.839	0.12525	0.01232	9252

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

---

DIÁMETRO NOMINAL : 2.5 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 2.875 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPESOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
--	Si	0.06500	2.7450	12.87	14.77	1.951	5.151	0.22875	0.04110	1139
5	Si	0.08300	2.7090	12.45	14.26	2.475	6.535	0.22575	0.04003	1455
--	No	0.09500	2.6850	12.17	13.93	2.821	7.447	0.22375	0.03932	1665
--	No	0.10900	2.6570	11.85	13.54	3.220	8.502	0.22142	0.03850	1911
--	No	0.12500	2.6250	11.49	13.11	3.672	9.693	0.21875	0.03758	2191
--	No	0.13400	2.6070	11.29	12.87	3.923	10.357	0.21725	0.03707	2349
--	No	0.14200	2.5910	11.12	12.66	4.145	10.944	0.21592	0.03662	2489
--	No	0.15400	2.5670	10.86	12.35	4.476	11.816	0.21392	0.03594	2700
Std y 40	No	0.20300	2.4690	9.84	11.14	5.794	15.296	0.20575	0.03325	3559
Xs y 80	No	0.27600	2.3230	8.44	9.47	7.662	20.228	0.19358	0.02943	4838
160	No	0.37500	2.1250	6.73	7.46	10.014	26.436	0.17708	0.02463	6574
XXS	No	0.55200	1.7710	4.25	4.59	13.697	36.159	0.14758	0.01711	9677

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

DIÁMETRO NOMINAL : 3 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 3.5 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPEJOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
5	Si	0.08300	3.3340	21.04	24.81	3.029	7.998	0.27783	0.06063	1195
--	Si	0.09500	3.3100	20.66	24.33	3.455	9.122	0.27583	0.05976	1368
--	Si	0.10900	3.2820	20.22	23.79	3.948	10.423	0.27350	0.05875	1570
--	No	0.12500	3.2500	19.73	23.18	4.506	11.896	0.27083	0.05761	1800
--	No	0.13400	3.2320	19.45	22.83	4.818	12.719	0.26933	0.05697	1930
--	No	0.14200	3.2160	19.21	22.53	5.093	13.446	0.26800	0.05641	2045
--	No	0.15600	3.1880	18.79	22.01	5.572	14.710	0.26567	0.05543	2246
--	No	0.18800	3.1240	17.85	20.86	6.651	17.558	0.26033	0.05323	2707
Std y 40	No	0.21600	3.0680	17.05	19.87	7.577	20.003	0.25567	0.05134	3110
--	No	0.25000	3.0000	16.11	18.72	8.679	22.912	0.25000	0.04909	3600
--	No	0.28100	2.9380	15.28	17.71	9.662	25.507	0.24483	0.04708	4046
Xs y 80	No	0.30000	2.9000	14.79	17.10	10.254	27.071	0.24167	0.04587	4320
160	No	0.43800	2.6240	11.48	13.10	14.325	37.819	0.21867	0.03755	6307
XXS	No	0.60000	2.3000	8.23	9.22	18.586	49.066	0.19167	0.02885	8640

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

DIÁMETRO NOMINAL : 4 (PULG)  
DIÁMETRO EXTERIOR: 4.5 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPEJOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
5	Sí	0.08300	4.3340	40.86	49.93	3.916	10.338	0.36117	0.10245	930
--	Sí	0.09500	4.3100	40.29	49.20	4.470	11.801	0.35917	0.10132	1064
--	Sí	0.10900	4.2820	39.63	48.35	5.112	13.497	0.35683	0.10000	1221
--	Sí	0.12500	4.2500	38.89	47.39	5.841	15.421	0.35417	0.09852	1400
--	Sí	0.13400	4.2320	38.47	46.86	6.249	16.498	0.35267	0.09768	1501
--	Sí	0.14200	4.2160	38.11	46.39	6.610	17.451	0.35133	0.09695	1590
--	No	0.15600	4.1880	37.47	45.57	7.238	19.109	0.34900	0.09566	1747
--	No	0.18800	4.1240	36.04	43.74	8.659	22.860	0.34367	0.09276	2106
--	No	0.20500	4.0900	35.29	42.78	9.405	24.828	0.34083	0.09124	2296
--	No	0.21900	4.0620	34.68	42.01	10.014	26.438	0.33850	0.08999	2453
Std y 40	No	0.23700	4.0260	33.91	41.02	10.792	28.490	0.33550	0.08840	2654
--	No	0.25000	4.0000	33.36	40.32	11.349	29.961	0.33333	0.08727	2800
--	No	0.28100	3.9380	32.07	38.67	12.663	33.431	0.32817	0.08458	3147
--	No	0.31200	3.8760	30.80	37.07	13.957	36.846	0.32300	0.08194	3494
XS y 80	No	0.33700	3.8260	29.81	35.81	14.985	39.561	0.31883	0.07984	3774
120	No	0.43800	3.6240	25.99	30.99	19.004	50.170	0.30200	0.07163	4906
160	No	0.53100	3.4380	22.74	26.92	22.511	59.430	0.28650	0.06447	5947
XXS	No	0.67400	3.1520	18.26	21.36	27.544	72.717	0.26267	0.05419	7549

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
(2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
(3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

---

DIÁMETRO NOMINAL : 5 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 5.563 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPESOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
10	Si	0.13400	5.2950	67.82	85.17	7.771	20.514	0.44125	0.15292	1214
--	No	0.22000	5.1230	62.39	77.99	12.556	33.147	0.42692	0.14314	1993
--	No	0.25300	5.0570	60.37	75.34	14.350	37.883	0.42142	0.13948	2292
Std y 40	No	0.25800	5.0470	60.07	74.95	14.620	38.596	0.42058	0.13893	2337
--	No	0.29600	4.9710	57.81	71.98	16.653	43.963	0.41425	0.13478	2682
--	No	0.36200	4.8390	54.00	66.99	20.111	53.092	0.40325	0.12771	3280
XS y 80	No	0.37500	4.8130	53.27	66.04	20.781	54.861	0.40108	0.12635	3397
120	No	0.50000	4.5630	46.55	57.28	27.040	71.386	0.38025	0.11356	4530
160	No	0.62500	4.3130	40.36	49.29	32.965	87.029	0.35942	0.10146	5662
XXS	No	0.75000	4.0630	34.70	42.03	38.557	101.791	0.33858	0.09004	6795

- 
- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA
  - (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>
  - (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

---

DIÁMETRO NOMINAL : 6 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 6.625 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPESOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
5	Si	0.10900	6.4070	109.86	141.61	7.586	20.028	0.53392	0.22389	829
--	Si	0.12500	6.3750	108.48	139.73	8.679	22.912	0.53125	0.22166	951
--	Si	0.14200	6.3410	107.02	137.75	9.833	25.960	0.52842	0.21930	1080
--	Si	0.15600	6.3130	105.83	136.13	10.779	28.457	0.52608	0.21737	1187
--	Si	0.18800	6.2490	103.13	132.48	12.926	34.125	0.52075	0.21298	1430
--	No	0.21900	6.1870	100.56	129.01	14.985	39.561	0.51558	0.20878	1666
--	No	0.25000	6.1250	98.03	125.59	17.023	44.942	0.51042	0.20462	1902
--	No	0.27700	6.0710	95.86	122.66	18.782	49.585	0.50592	0.20102	1727
Std y 40	No	0.28000	6.0650	95.62	122.33	18.977	50.098	0.50542	0.20063	2130
--	No	0.31250	6.0000	93.05	118.87	21.071	55.627	0.50000	0.19635	2373
--	No	0.37500	5.8750	88.22	112.38	25.035	66.091	0.48958	0.18825	2853
XS y 80	No	0.43200	5.7610	83.96	106.66	28.577	75.443	0.48008	0.18102	3286
--	No	0.50000	5.6250	79.03	100.08	32.712	86.359	0.46875	0.17257	3804
120	No	0.56200	5.5010	74.70	94.30	36.396	96.085	0.45842	0.16505	4275
160	No	0.71800	5.1890	64.44	80.70	45.302	119.598	0.43242	0.14686	5462
XXS	No	0.86400	4.8970	55.66	69.15	53.167	140.360	0.40808	0.13079	6573

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

-----

DIÁMETRO NOMINAL : 8 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 8.625 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPEJOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
--	Si	0.15600	8.3130	212.32	283.59	14.111	37.255	0.69275	0.37691	912
--	Si	0.18800	8.2490	208.21	277.80	16.942	44.728	0.68742	0.37113	1099
--	Si	0.20300	8.2190	206.30	275.12	18.262	48.211	0.68492	0.36844	1186
--	Si	0.21900	8.1870	204.27	272.27	19.664	51.912	0.68225	0.36558	1280
--	Si	0.25000	8.1250	200.38	266.81	22.364	59.042	0.67708	0.36006	1461
20	Si	0.25400	8.1170	199.88	266.11	22.711	59.957	0.67642	0.35935	1484
30	Si	0.27700	8.0710	197.03	262.10	24.700	65.207	0.67258	0.35529	1619
--	No	0.31250	8.0000	192.67	256.00	28.539	75.344	0.66667	0.34907	1826
Std y 40	No	0.32200	7.9810	191.52	254.38	28.557	75.392	0.66508	0.34741	1882
--	No	0.34400	7.9370	188.86	250.66	30.428	80.329	0.66142	0.34359	2010
--	No	0.35200	7.9210	187.89	249.31	31.105	82.118	0.66008	0.34221	2057
--	No	0.37500	7.8750	185.15	245.47	33.046	87.240	0.65625	0.33824	2191
60	No	0.40600	7.8130	181.48	240.35	35.643	94.097	0.65108	0.33294	2372
--	No	0.46900	7.6870	174.17	230.15	40.858	107.865	0.64058	0.32229	2741
XS y 80	No	0.50000	7.6250	170.63	225.24	43.393	114.558	0.63542	0.31711	2922
100	No	0.59300	7.4390	160.30	210.88	50.875	134.311	0.61992	0.30183	3465
--	No	0.62500	7.3750	156.83	206.08	53.407	140.995	0.61458	0.29665	3652
120	No	0.71800	7.1890	147.02	192.51	60.641	160.092	0.59908	0.28188	4196
140	No	0.81200	7.0010	137.48	179.37	67.765	178.898	0.58342	0.26733	4745
XXS	No	0.87500	6.8750	131.31	170.89	72.433	191.224	0.57292	0.25779	5113
160	No	0.90600	6.8130	128.34	166.82	74.699	197.207	0.56775	0.25317	5294

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

DIÁMETRO NOMINAL : 10 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 10.75 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPEJOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
10	Si	0.16500	10.4200	376.02	517.98	18.655	49.250	0.86833	0.59219	774
--	Si	0.18800	10.3740	371.83	511.91	21.210	55.993	0.86450	0.58698	881
--	Si	0.20300	10.3440	369.12	507.97	22.869	60.375	0.86200	0.58359	952
--	Si	0.21900	10.3120	366.23	503.79	24.634	65.035	0.85933	0.57998	1027
20	Si	0.25000	10.2500	360.69	495.75	28.039	74.022	0.85417	0.57303	1172
--	Si	0.27900	10.1920	355.55	488.31	31.205	82.381	0.84933	0.56656	1308
30	Si	0.30700	10.1360	350.62	481.18	34.245	90.406	0.84467	0.56035	1439
--	Si	0.34400	10.0620	344.19	471.87	38.236	100.943	0.83850	0.55220	1613
--	Si	0.34800	10.0540	343.49	470.87	38.666	102.077	0.83783	0.55132	1632
Std y 40	No	0.36500	10.0200	340.56	466.64	40.488	106.889	0.83500	0.54760	1711
--	No	0.37500	10.0000	338.84	464.16	41.557	109.711	0.83333	0.54541	1758
--	No	0.39500	9.9600	335.43	459.22	43.689	115.340	0.83000	0.54106	1852
--	No	0.43800	9.8740	328.14	448.73	48.244	127.365	0.82283	0.53176	2054
--	No	0.45000	9.8500	326.13	445.82	49.508	130.702	0.82083	0.52918	2110
Xs y 60	No	0.50000	9.7500	317.82	433.86	54.742	144.519	0.81250	0.51849	2344
--	No	0.53100	9.6880	312.73	426.54	57.960	153.015	0.80733	0.51191	2490
80	No	0.59300	9.5640	302.70	412.13	64.335	169.845	0.79700	0.49889	2780
100	No	0.71800	9.3140	283.08	384.03	76.938	203.116	0.77617	0.47315	3366
--	No	0.75000	9.2500	278.19	377.03	80.111	211.492	0.77083	0.46667	3516
120	No	0.84300	9.0640	264.25	357.15	89.207	235.506	0.75533	0.44809	3952
140	No	1.00000	8.7500	241.70	325.10	104.144	274.939	0.72917	0.41758	4688
--	No	1.06200	8.6260	233.13	312.96	109.897	290.129	0.71883	0.40583	4979
160	No	1.12500	8.5000	224.61	300.92	115.660	305.341	0.70833	0.39406	5274

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

---

DIÁMETRO NOMINAL : 12 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 12.75 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPESOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
10	SI	0.18000	12.3900	582.73	821.97	24.168	63.803	1.03250	0.83728	712
--	SI	0.18800	12.3740	580.83	819.14	25.226	66.596	1.03117	0.83512	743
--	SI	0.20300	12.3440	577.28	813.86	27.206	71.824	1.02867	0.83107	803
--	SI	0.21900	12.3120	573.50	808.24	29.313	77.386	1.02600	0.82677	866
20	SI	0.25000	12.2500	566.22	797.44	33.379	88.122	1.02083	0.81846	988
--	SI	0.27900	12.1920	559.46	787.41	37.165	98.116	1.01600	0.81073	1103
--	SI	0.28100	12.1880	558.00	786.71	37.425	98.803	1.10567	0.81020	1111
--	SI	0.30000	12.1500	554.60	780.20	39.895	105.323	1.01250	0.80516	1186
--	SI	0.31250	12.1250	551.72	775.92	41.516	109.601	1.01042	0.80185	1235
30	SI	0.33000	12.0900	547.69	769.96	43.779	115.576	1.00750	0.79722	1304
--	SI	0.34400	12.0620	544.49	765.22	45.585	120.343	1.00517	0.79353	1360
Std	SI	0.37500	12.0000	537.44	754.77	49.568	130.861	1.00000	0.78540	1482
40	SI	0.40600	11.9380	530.44	744.42	53.532	141.323	0.99483	0.77730	1605
--	No	0.43800	11.8740	523.28	733.82	57.601	152.067	0.98950	0.76899	1731
XS	No	0.50000	11.7500	509.56	713.57	65.424	172.718	0.97917	0.75301	1976
60	No	0.56200	11.6260	496.07	693.66	73.164	193.153	0.96883	0.73720	2222
80	No	0.68700	11.3760	469.52	654.59	88.520	233.692	0.94800	0.70584	2716
100	No	0.84300	11.0640	437.62	607.81	107.216	283.049	0.92200	0.66765	3332
120	No	1.00000	10.7500	406.88	562.89	125.507	331.337	0.89583	0.63030	3952
140	No	1.12500	10.5000	383.36	528.65	139.693	368.789	0.87500	0.60132	4447
160	No	1.31200	10.1260	349.75	479.92	160.292	423.171	0.84383	0.55925	5186

(1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA

(2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>

(3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

-----

DIÁMETRO NOMINAL : 14 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 14 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPEJOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
--	Si	0.22000	13.5600	732.18	1045.58	32.382	85.488	1.13000	1.00287	792
--	Si	0.23800	13.5240	727.27	1038.20	34.985	92.361	1.12700	0.99756	857
10	Si	0.25000	13.5000	724.01	1033.29	36.717	96.934	1.12500	0.99402	900
--	Si	0.28125	13.4375	715.56	1020.59	41.213	108.803	1.11979	0.98484	1013
20	Si	0.31250	13.3750	707.17	1007.98	45.688	120.616	1.11458	0.97570	1125
--	Si	0.34400	13.3120	698.77	995.36	50.178	132.469	1.10933	0.96653	1238
Std y 30	Si	0.37500	13.2500	690.57	983.05	54.575	144.079	1.10417	0.95754	1350
--	Si	0.40600	13.1880	682.42	970.83	58.952	155.634	1.09900	0.94860	1462
40	Si	0.43800	13.1240	674.07	958.32	63.449	167.506	1.09367	0.93942	1577
--	No	0.46900	13.0620	666.05	946.29	67.785	178.951	1.08850	0.93056	1688
XS	No	0.50000	13.0000	658.08	934.36	72.099	190.343	1.08333	0.92175	1800
60	No	0.59300	12.8140	634.52	899.14	84.921	224.191	1.06783	0.89556	2135
--	No	0.62500	12.7500	626.53	887.21	89.290	235.725	1.06250	0.88664	2250
--	No	0.65600	12.6880	618.85	875.75	93.501	246.844	1.05733	0.87804	2362
80	No	0.75000	12.5000	595.91	841.58	106.146	280.227	1.04167	0.85221	2700
100	No	0.93700	12.1260	551.83	776.09	130.741	345.156	1.01050	0.80198	3373
120	No	1.09300	11.8140	516.61	723.98	150.686	397.812	0.98450	0.76124	3935
140	No	1.25000	11.5000	482.58	673.79	170.235	449.420	0.95833	0.72131	4500
--	No	1.34400	11.3120	462.87	644.82	181.687	479.654	0.94267	0.69792	4838
160	No	1.40600	11.1880	450.14	626.14	189.137	499.323	0.93233	0.68270	5062

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

DIÁMETRO NOMINAL : 16 (PULG)

DIÁMETRO EXTERIOR: 16 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPELOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
--	SI	0.21900	15.5620	1037.35	1509.53	36.915	97.457	1.29683	1.32086	690
--	SI	0.23400	15.5320	1032.30	1501.78	39.406	104.033	1.29433	1.31578	737
--	SI	0.23800	15.5240	1030.95	1499.72	40.070	105.784	1.29367	1.31442	750
10	SI	0.25000	15.5000	1026.93	1493.54	42.058	111.033	1.29167	1.31036	788
--	SI	0.25900	15.4820	1023.91	1488.92	43.547	114.965	1.29017	1.30732	816
--	SI	0.27000	15.4600	1020.23	1483.29	45.365	119.764	1.28833	1.30360	851
--	SI	0.28100	15.4380	1016.57	1477.67	47.180	124.556	1.28650	1.29990	885
--	SI	0.28400	15.4320	1015.57	1476.13	47.675	125.861	1.28600	1.29889	895
--	SI	0.30200	15.3960	1009.58	1466.97	50.638	133.685	1.28300	1.29283	951
20	SI	0.31250	15.3750	1006.10	1461.64	52.364	138.241	1.28125	1.28931	984
--	SI	0.33000	15.3400	1000.32	1452.78	55.235	145.819	1.27833	1.28345	1040
--	SI	0.34400	15.3120	995.71	1445.72	57.526	151.870	1.27600	1.27877	1084
std y 30	SI	0.37500	15.2500	985.54	1430.17	62.586	165.228	1.27083	1.26843	1181
--	SI	0.40600	15.1880	975.43	1414.71	67.626	178.532	1.26567	1.25814	1279
--	SI	0.43800	15.1240	965.07	1398.87	72.806	192.208	1.26033	1.24756	1380
--	SI	0.46900	15.0620	955.09	1383.63	77.804	205.402	1.25517	1.23735	1477
XS y 40	SI	0.50000	15.0000	945.17	1368.50	82.781	218.542	1.25000	1.22718	1575
--	No	0.53100	14.9380	935.32	1353.46	87.737	231.627	1.24483	1.21706	1673
--	No	0.56250	14.8750	925.37	1338.30	92.753	244.868	1.23958	1.20682	1772
--	No	0.62500	14.7500	905.82	1308.52	102.642	270.974	1.22917	1.18662	1969
60	No	0.65600	14.6880	896.22	1293.90	107.515	283.841	1.22400	1.17666	2066
--	No	0.68800	14.6240	886.37	1278.92	112.525	297.066	1.21867	1.16643	2167
--	No	0.75000	14.5000	867.48	1250.21	122.169	322.525	1.20833	1.14673	2363
80	No	0.84300	14.3140	839.61	1207.90	136.480	360.307	1.19283	1.11750	2655
100	No	1.03100	13.9380	784.92	1125.13	164.847	435.195	1.16150	1.05957	3248
120	No	1.21800	13.5640	732.73	1046.41	192.313	507.707	1.13033	1.00347	3837
140	No	1.43800	13.1240	674.07	958.32	223.670	590.490	1.09367	0.93942	4530
--	No	1.50000	13.0000	658.08	934.36	232.321	613.326	1.08333	0.92175	4725
160	No	1.59300	12.8140	634.52	899.14	245.142	647.175	1.06783	0.89556	5018

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

-----

DIÁMETRO NOMINAL : 18 (PULG)  
 DIÁMETRO EXTERIOR: 18 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPELOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
10	Si	0.25000	17.5000	1396.00	2064.28	47.399	125.133	1.45833	1.67033	700
--	Si	0.28125	17.4375	1383.42	2044.68	53.230	140.526	1.45313	1.65842	788
20	Si	0.31250	17.3750	1370.91	2025.19	59.040	155.865	1.44792	1.64656	875
--	Si	0.34375	17.3125	1358.47	2005.82	64.829	171.149	1.44271	1.63473	963
Std.	Si	0.37500	17.2500	1346.10	1986.57	70.597	186.377	1.43750	1.62295	1050
--	Si	0.40625	17.1875	1333.79	1967.44	76.345	201.551	1.43229	1.61121	1138
30	Si	0.43750	17.1250	1321.56	1948.42	82.072	216.669	1.42708	1.59951	1225
--	Si	0.46875	17.0625	1309.39	1929.51	87.777	231.732	1.42188	1.58786	1313
XS	Si	0.50000	17.0000	1297.29	1910.72	93.462	246.740	1.41667	1.57625	1400
40	Si	0.56250	16.8750	1273.29	1873.48	104.770	276.592	1.40625	1.55315	1575
--	No	0.59400	16.8120	1261.30	1854.89	110.437	291.553	1.40100	1.54158	1663
--	No	0.62500	16.7500	1249.56	1836.71	115.993	306.223	1.39583	1.53023	1750
--	No	0.71900	16.5620	1214.38	1782.25	132.717	350.373	1.38017	1.49607	2013
60	No	0.75000	16.5000	1202.91	1764.51	138.191	364.823	1.37500	1.48489	2100
--	No	0.81200	16.3760	1180.17	1729.37	149.077	393.563	1.36467	1.46266	2274
80	No	0.93700	16.1260	1135.12	1659.86	170.775	450.845	1.34383	1.41834	2624
100	No	1.15600	15.6880	1058.73	1542.34	207.985	549.080	1.30733	1.34234	3234
120	No	1.37500	15.2500	985.54	1430.17	244.170	644.609	1.27083	1.26843	3850
140	No	1.56200	14.8760	925.53	1338.54	274.257	724.040	1.23967	1.20698	4374
--	No	1.68800	14.6240	886.37	1278.92	294.109	776.447	1.21867	1.16643	4726
160	No	1.78100	14.4380	858.13	1236.00	308.544	814.555	1.20317	1.13695	4987

- (1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA  
 (2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>  
 (3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

DATOS DE TUBERÍA

DIÁMETRO NOMINAL : 20 (PULG)

DIÁMETRO EXTERIOR: 20 (PULG)

TIPO NUM.	F (1)	ESPESOR PULGADAS	DI PULGADAS	2.53 (DI)	8/3 (DI)	LBS/PIE (2)	TONELADA / MILLA	DI PIES	ÁREA DE FLUJO PIE <sup>2</sup>	PRESIÓN (3) PERMISIBLE
10	Si	0.25000	19.5000	1835.64	2754.81	52.739	139.232	1.62500	2.07394	630
--	Si	0.27200	19.4560	1825.18	2738.27	57.317	151.316	1.62133	2.06459	685
--	Si	0.28125	19.4375	1820.79	2731.33	59.238	156.388	1.61979	2.06067	709
--	Si	0.31250	19.3750	1806.02	2707.97	65.716	173.489	1.61458	2.04744	788
--	Si	0.34375	19.3125	1791.31	2684.74	72.173	190.535	1.60938	2.03425	866
Std y 20	Si	0.37500	19.2500	1776.68	2661.64	78.608	207.526	1.60417	2.02110	945
--	Si	0.40600	19.1880	1762.24	2638.84	84.972	224.327	1.59900	2.00811	1023
--	Si	0.40900	19.1820	1760.85	2636.64	85.587	225.950	1.59850	2.00685	1031
--	Si	0.43750	19.1250	1747.64	2615.80	91.418	241.343	1.59375	1.99494	1103
--	Si	0.46875	19.0625	1733.23	2593.06	97.791	258.169	1.58854	1.98192	1181
XS y 30	Si	0.50000	19.0000	1718.88	2570.45	104.144	274.939	1.58333	1.96895	1260
--	Si	0.56250	18.8750	1690.42	2525.60	116.786	308.315	1.57292	1.94313	1418
40	Si	0.59300	18.8140	1676.63	2503.90	122.925	324.523	1.56783	1.93059	1494
--	Si	0.62500	18.7500	1662.24	2481.25	129.345	341.471	1.56250	1.91747	1575
--	No	0.75000	18.5000	1606.74	2394.00	154.219	407.122	1.54167	1.86668	1890
60	No	0.81250	18.3750	1579.41	2351.11	166.521	439.617	1.53125	1.84154	2048
--	No	0.87500	18.2500	1552.37	2308.70	178.747	471.891	1.52083	1.81657	2205
--	No	0.90600	18.1880	1539.06	2287.84	184.779	487.818	1.51567	1.80425	2283
80	No	1.03125	17.9375	1486.00	2204.78	208.945	551.614	1.49479	1.75489	2599
--	No	1.25000	17.5000	1396.00	2064.28	250.345	660.912	1.45833	1.67033	3150
100	No	1.28100	17.4380	1383.52	2044.83	256.130	676.183	1.45317	1.65852	3228
120	No	1.50000	17.0000	1297.29	1910.72	296.409	782.520	1.41667	1.57625	3780
140	No	1.75000	16.5000	1202.91	1764.51	341.137	900.603	1.37500	1.48489	4410
--	No	1.84400	16.3120	1168.54	1711.40	357.610	944.090	1.35933	1.45125	4647
160	No	1.96800	16.0640	1124.11	1642.89	379.051	1000.694	1.33867	1.40745	4959

(1) FLOTA LA TUBERÍA EN EL AGUA

(2) TOMANDO LA DENSIDAD DEL ACERO 489.6 Lbs/Pie<sup>3</sup>

(3) PARA S = 35.000,0 Y F = 0,72

## Nivel de flotación de las tuberías.

Tubería (pulgadas)	Tipo	Hundimiento (*)	Empuje (lbs/pie)	Tubería (pulgadas)	Tipo	Hundimiento (*)	Empuje (lbs/pie)
2		0,083	1,920	18		0,594	110,270
2 1/2		0,095	2,813	20		0,750	136,136
3		0,125	4,169	22	60	0,875	164,724
4		0,156	6,892	24	60	0,968	196,035
5		0,220	10,532	26		Todas flotan	230,070
6		0,219	14,938	28		Todas flotan	266,826
8		0,3125	25,318	30		Todas flotan	306,305
10	Std. y 40	0,365	39,330	32		Todas flotan	348,507
12		0,438	55,326	34		Todas flotan	393,432
14		0,469	66,706	36		Todas flotan	441,080
16		0,531	87,127	42		Todas flotan	600,358

(\*) Las tuberías cuyo espesor es igual o mayor al indicado se hunden en el agua. ( $\rho = 62,4 \text{ lbs/pie}^3$ ).

# Tuberías para transmisión y distribución de gas

D I A N O M	DE	E S P E S O R	PRESIÓN DE TRABAJO PERMISIBLE A UNA TEMPERATURA MENOR A 250°F, lpcm																							
			F = 0,72; TIPO A (*)					F = 0,60; TIPO B (*)					F = 0,50; TIPO C (*)					F = 0,40; TIPO D (*)								
			G.R.B						G.R.B						G.R.B						G.R.B					
			35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000				
2	(STD)	0.154	3268					2723					2270					1816								
	2.375	0.218	4626					3855					3213					2570								
3	(STD)	0.125	1800					1500					1250					1000								
		0.156	2246					1872					1560					1248								
		0.188	2707					2256					1880					1504								
		0.216	3110					2592					2160					1728								
		0.250	3600					3000					2500					2000								
		0.281	4046					3372					2810					2248								
		0.300	4320					3600					3000					2400								
4	(STD)	0.125	1400	1680	1840			1167	1400	1533			973	1167	1278			778	933	1022						
		0.156	1747	2097	2296			1456	1747	1913			1214	1456	1595			971	1165	1276						
		0.188	2105	2526	2767			1754	2105	2306			1462	1755	1922			1170	1404	1537						
		0.219	2453	2943	3223			2044	2453	2686			1704	2044	2239			1363	1635	1791						
		0.237	2654	3185	3488			2212	2654	2907			1844	2212	2423			1475	1770	1938						
		0.250	2800	3360	3680			2333	2800	3067			1945	2333	2556			1556	1869	2044						
		0.281	3147	3776	4136			2623	3147	3447			2186	2622	2873			1748	2098	2298						
		0.312	3494	4193	4593			2912	3494	3827			2427	2912	3190			1941	2330	2552						
		0.337	3774	4530	4961			3145	3775	4134			2621	3146	3445			2097	2516	2756						
		6	(STD)	0.156	1187	1424	1560	1763		989	1187	1300	1469		824	989	1083	1224		659	791	866	980			
0.188	1429			1716	1880	2124		1192	1430	1567	1770		993	1192	1306	1475		794	954	1044	1180					
0.219	1666			2000	2190	2475		1368	1666	1825	2063		1157	1389	1521	1719		926	1111	1216	1375					
0.250	1902			2282	2500	2826		1585	1902	2083	2355		1321	1585	1736	1963		1057	1268	1389	1570					
0.280	2130			2556	2799	3164		1775	2130	2333	2637		1479	1775	1944	2198		1183	1420	1555	1758					
0.312	2373			2848	3120	3527		1978	2374	2600	2933		1649	1978	2167	2449		1319	1582	1733	1959					
0.375	2853			3424	3750	4237		2377	2853	3125	3531		1981	2378	2604	2943		1585	1902	2083	2354					
0.432	3287			3943	4319	4883		2739	3286	3599	4069		2283	2738	3000	3391		1826	2191	2400	2713					

NOTA (\*) FACTOR DE CONSTRUCCION PARA EL DISEÑO.

# Tuberías para transmisión y distribución de gas

D I A N O M	D E	E S P E S O R	PRESIÓN DE TRABAJO PERMISIBLE A UNA TEMPERATURA MENOR A 250°F, lpcm																			
			F = 0,72; TIPO A (*)					F = 0,60; TIPO B (*)					F = 0,50; TIPO C (*)					F = 0,40; TIPO D (*)				
			GR.B					GR.B					GR.B					GR.B				
			35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000
8	8,625	(STD)	0,156	912	1094	1198	1354		760	912	998	1128		633	760	832	940		506	608	666	752
			0,188	1098	1318	1444	1632		915	1098	1203	1360		763	915	1003	1133		610	732	802	907
			0,203	1186	1424	1559	1762		989	1186	1299	1469		824	989	1083	1224		659	791	866	979
			0,219	1280	1535	1681	1901		1067	1280	1401	1584		889	1067	1168	1320		711	853	934	1056
			0,250	1461	1753	1920	2170		1217	1461	1600	1809		1014	1217	1333	1507		812	974	1067	1206
			0,277	1618	1942	2128	2405		1349	1618	1773	2004		1124	1349	1478	1670		899	1079	1182	1336
			0,312	1823	2189	2396	2709		1520	1823	1997	2258		1266	1520	1664	1881		1013	1216	1331	1505
			0,322	1882	2258	2473	2796		1568	1882	2061	2329		1307	1568	1717	1941		1045	1254	1374	1553
			0,344	2011	2412	2642	2988		1676	2011	2202	2490		1396	1676	1835	2075		1117	1340	1468	1660
			0,375	2191	2628	2880	3256		1826	2191	2399	2713		1521	1826	1999	2261		1217	1460	1599	1808
			0,438	2560	3071	3364	3803		2133	2560	2804	3170		1778	2133	2336	2641		1422	1706	1869	2113
0,500	2922	3506	3840	4341		2435	2922	3200	3617		2029	2435	2667	3014		1623	1948	2133	2412			
10	10,75	(STD)	0,188	881	1058	1158	1310		733	881	965	1091		612	735	804	909		490	588	644	728
			0,203	952	1143	1251	1415		794	952	1043	1179		661	794	869	983		529	635	695	786
			0,219	1026	1231	1348	1525		855	1026	1124	1271		713	855	936	1059		570	684	749	847
			0,250	1172	1407	1540	1741		977	1172	1284	1451		814	977	1070	1209		651	781	856	967
			0,279	1309	1570	1719	1944		1091	1309	1433	1620		909	1091	1194	1350		727	872	955	1080
			0,307	1440	1728	1892	2138		1200	1440	1577	1782		1000	1200	1314	1486		800	960	1051	1189
			0,344	1613	1935	2120	2396		1344	1613	1767	1997		1120	1344	1473	1664		896	1075	1178	1331
			0,365	1711	2054	2249	2542		1426	1711	1874	2119		1188	1426	1562	1766		951	1141	1249	1412
			0,438	2054	2464	2700	3051		1712	2054	2250	2543		1426	1712	1875	2119		1141	1369	1500	1695
			0,500	2344	2813	3081	3483		1953	2344	2567	2902		1628	1953	2140	2419		1302	1563	1712	1935
			12	12,75	(STD)	0,188	743	892	977	1104		619	743	814	920		516	619	678	767		413
0,203	803	963				1055	1193		669	803	879	995		558	669	733	829		446	535	586	663
0,219	866	1039				1138	1287		722	866	948	1073		601	722	790	894		481	577	632	715
0,250	988	1186				1299	1468		824	988	1082	1224		686	824	902	1020		549	659	722	816
0,281	1111	1332				1460	1651		926	1111	1217	1376		771	926	1014	1146		617	740	811	917
0,312	1233	1480				1620	1832		1028	1233	1350	1527		856	1028	1125	1273		685	822	900	1018
0,330	1305	1566				1715	1939		1088	1305	1430	1616		906	1088	1191	1346		725	870	953	1077
0,344	1359	1631				1786	2020		1133	1359	1488	1683		944	1133	1240	1403		755	906	992	1122
0,375	1482	1779				1948	2202		1235	1482	1624	1835		1029	1235	1353	1529		824	988	1082	1224
0,406	1606	1926				2110	2385		1338	1606	1758	1988		1115	1338	1465	1656		892	1070	1172	1325
0,438	1732	2077				2275	2572		1443	1732	1896	2144		1203	1443	1580	1786		962	1154	1264	1429
0,500	1976	2372	2598	2936		1647	1976	2165	2447		1373	1647	1804	2039		1098	1318	1443	1631			

NOTA (\*) FACTOR DE CONSTRUCCIÓN PARA EL DISEÑO

# Tuberías para transmisión y distribución de gas

D I A N O M	DE	E S P E S O R	PRESION DE TRABAJO PERMISIBLE A UNA TEMPERATURA MENOR A 250°F, 1p <sub>cm</sub>																							
			F = 0,72; TIPO A (*)					F = 0,60; TIPO B (*)					F = 0,50; TIPO C (*)					F = 0,40; TIPO D (*)								
			G.R.B						G.R.B						G.R.B						G.R.B					
			35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000				
16	16,00    (STD)	0,219	689	828	828	1024	1183	575	689	755	854	986	479	575	629	711	822	383	460	503	569	657				
		0,250	788	945	945	1170	1350	656	788	863	975	1125	547	656	719	843	938	438	525	575	650	750				
		0,281	886	1063	1063	1316	1518	738	886	970	1097	1265	615	738	809	914	1054	492	591	647	731	843				
		0,312	982	1179	1179	1460	1685	818	982	1076	1217	1404	682	819	896	1014	1170	546	656	717	811	936				
		0,344	1084	1300	1300	1609	1858	903	1084	1187	1341	1548	753	903	989	1118	1290	602	722	791	894	1032				
		0,375	1181	1418	1418	1755	2025	984	1181	1294	1463	1688	820	984	1078	1219	1407	656	788	863	975	1125				
		0,438	1379	1655	1655	2049	2365	1149	1379	1511	1707	1971	958	1149	1259	1423	1643	766	919	1007	1138	1314				
		0,500	1575	1890	1890	2340	2700	1313	1575	1725	1950	2250	1094	1313	1438	1625	1875	875	1050	1150	1300	1500				
	0,625	1969	2363	2363	2925	3375	1641	1969	2157	2438	2812	1368	1641	1796	2031	2344	1094	1313	1438	1625	1875					
20	20,00    (STD)	0,250	630	756	828	936	1080	525	630	690	780	900	438	525	575	650	750	350	420	460	520	600				
		0,281	709	851	931	1053	1214	591	709	776	878	1012	492	591	647	731	843	394	473	518	585	674				
		0,312	786	943	1033	1168	1348	656	786	861	973	1123	547	656	719	813	936	438	525	575	650	749				
		0,344	867	1040	1139	1289	1486	723	868	950	1074	1238	603	723	791	895	1032	842	578	632	716	826				
		0,375	945	1134	1242	1404	1620	788	945	1035	1170	1350	656	788	863	975	1125	525	630	690	780	900				
		0,406	1023	1228	1345	1520	1754	853	1023	1121	1267	1462	710	853	934	1056	1218	568	682	747	844	974				
		0,438	1103	1324	1450	1639	1892	919	1103	1208	1366	1577	766	919	1007	1138	1314	613	735	805	910	1051				
		0,500	1260	1512	1656	1872	2160	1050	1260	1380	1560	1800	875	1050	1150	1300	1500	700	840	920	1040	1200				
	0,625	1575	1890	2070	2340	2700	1313	1575	1725	1950	2250	1094	1313	1438	1625	1875	875	1050	1150	1300	1500					
	0,750	1890	2268	2484	2808	3240	1575	1890	2070	2340	2700	1313	1575	1725	1950	2250	1050	1260	1380	1560	1800					
24	24,00    (STD)	0,281	590	709	776	877	1012	492	591	647	731	843	410	492	539	609	703	328	394	431	487	562				
		0,312	655	786	861	973	1123	547	656	719	812	936	456	547	599	677	780	365	438	479	542	624				
		0,344	722	866	949	1073	1238	602	722	791	894	1032	502	602	659	745	860	401	481	527	596	688				
		0,375	788	945	1035	1170	1350	656	788	862	975	1125	547	656	719	813	938	438	525	575	650	750				
		0,406	853	1024	1121	1267	1462	711	853	935	1056	1218	592	711	779	880	1015	474	569	623	704	812				
		0,438	919	1103	1208	1366	1577	766	919	1006	1138	1314	638	766	839	948	1095	510	613	671	758	876				
		0,500	1050	1260	1380	1560	1800	875	1050	1150	1300	1500	729	875	958	1083	1250	583	700	767	867	1000				
		0,625	1312	1575	1725	1950	2250	1094	1313	1437	1625	1875	911	1094	1198	1354	1563	729	875	958	1083	1250				
	0,750	1575	1890	2070	2340	2700	1313	1575	1725	1950	2250	1094	1313	1436	1625	1875	875	1050	1150	1300	1500					

NOTA: (\*) FACTOR DE CONSTRUCCIÓN PARA EL DISEÑO

## Tuberías para transmisión y distribución de gas

D I A  N O M	D E	E S P E S O R	PRESIÓN DE TRABAJO PERMISIBLE A UNA TEMPERATURA MENOR A 250°F, 1pcm																							
			F = 0,72; TIPO A (*)					F = 0,60; TIPO B (*)					F = 0,50; TIPO C (*)					F = 0,40; TIPO D (*)								
			GR.B						GR.B						GR.B						GR.B					
			35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000	60000	35000	42000	46000	52000
26	26,00	(STD)	0,281	545	654	717	810	934	454	545	597	675	778	379	454	498	563	649	303	363	398	450	519			
			0,312	604	727	796	900	1037	503	604	663	750	864	421	505	553	625	720	337	404	442	500	576			
			0,344	667	800	876	990	1143	556	666	730	825	953	463	555	606	688	794	370	444	487	550	635			
			0,375	726	872	955	1080	1246	606	727	796	900	1039	505	606	663	750	866	404	485	531	600	692			
			0,406	787	945	1035	1170	1349	656	787	863	975	1124	547	656	719	813	937	437	525	575	650	750			
			0,438	848	1018	1115	1260	1456	707	848	929	1050	1213	589	707	774	875	1011	471	565	619	700	809			
			0,500	969	1163	1274	1440	1662	806	969	1062	1200	1365	673	808	885	1000	1154	538	646	708	800	923			
			0,625	1211	1454	1592	1800	2077	1010	1212	1327	1500	1731	841	1010	1106	1250	1442	673	808	885	1000	1154			
	0,750	1454	1745	1911	2160	2492	1212	1454	1592	1800	2077	1010	1212	1327	1500	1731	808	969	1062	1200	1385					
30	30,00	(STD)	0,312	525	630	690	780	899	438	525	575	650	749	365	438	479	542	624	292	350	383	433	499			
			0,344	578	693	759	856	991	482	577	632	715	826	401	481	527	596	688	321	385	422	477	550			
			0,375	630	756	828	936	1080	525	630	690	780	900	437	525	575	650	750	350	420	460	520	600			
			0,406	682	819	897	1014	1169	568	682	747	845	974	474	569	623	704	812	379	455	498	563	650			
			0,438	735	882	966	1092	1261	612	735	805	910	1051	510	612	671	756	876	408	490	537	607	701			
			0,500	840	1008	1104	1248	1440	700	840	920	1040	1200	583	700	767	867	1000	467	560	613	693	800			
			0,625	1050	1260	1380	1560	1800	875	1050	1150	1300	1500	729	875	956	1063	1250	583	700	767	867	1000			
			0,750	1260	1512	1656	1872	2160	1050	1260	1380	1560	1800	875	1050	1150	1300	1500	700	840	920	1040	1200			

NOTA: (\*) FACTOR DE CONSTRUCCIÓN PARA EL DISEÑO.

# **ANEXO D**

## **PLANOS & DIAGRAMAS**

## PRESSURE LOSS THROUGH VALVES AND FITTINGS

### "K" Factor table

Representative Resistance Coefficients (K) for valves and fittings

PIPE FRICTION DATA FOR CLEAN COMMERCIAL STEEL PIPE WITH FLOW IN ZONE OF COMPLETE TURBULENCE

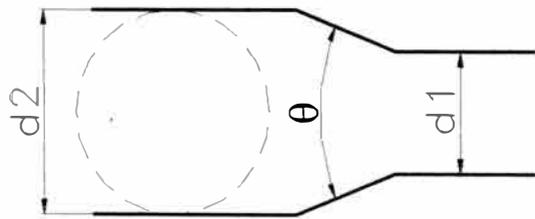
Nominal Size	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2" - 3"	4"	5"	6"	8"-10"	12"-16"	18"-24"
Friction Factor (fr)	0.027	0.025	0.023	0.022	0.021	0.019	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014	0.013	0.012

Formulas for calculating "K" factors

For valves and fittings with reduced port

### SUDDEN AND GRADUAL CONTRACTION

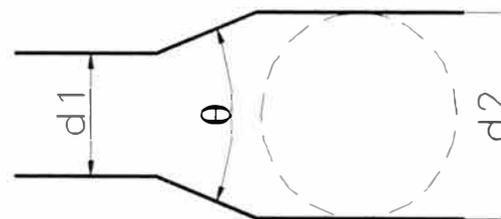
F1:  $K_2 = 0.8 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (1 - \beta^2)$     F2:  $K_2 = 0.5 \cdot (1 - \beta^2) \cdot \sqrt{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$



If  $\theta \leq 45^\circ \Rightarrow F1$ ;  $45^\circ < \theta \leq 180 \Rightarrow F2$

### SUDDEN AND GRADUAL ENLARGEMENT

F3:  $K_2 = 2.6 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (1 - \beta^2)$     F4:  $K_2 = (1 - \beta^2)^2$

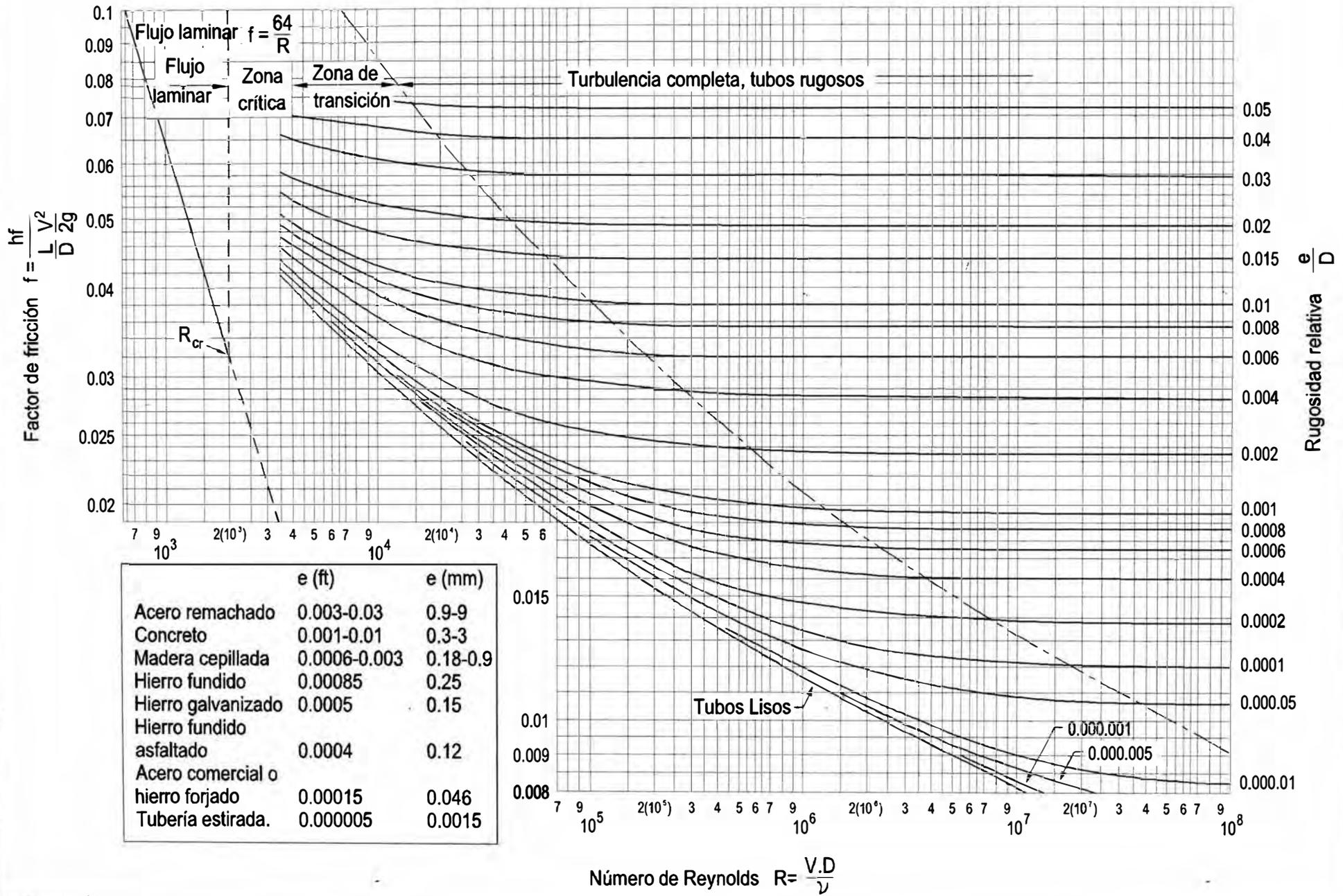


$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

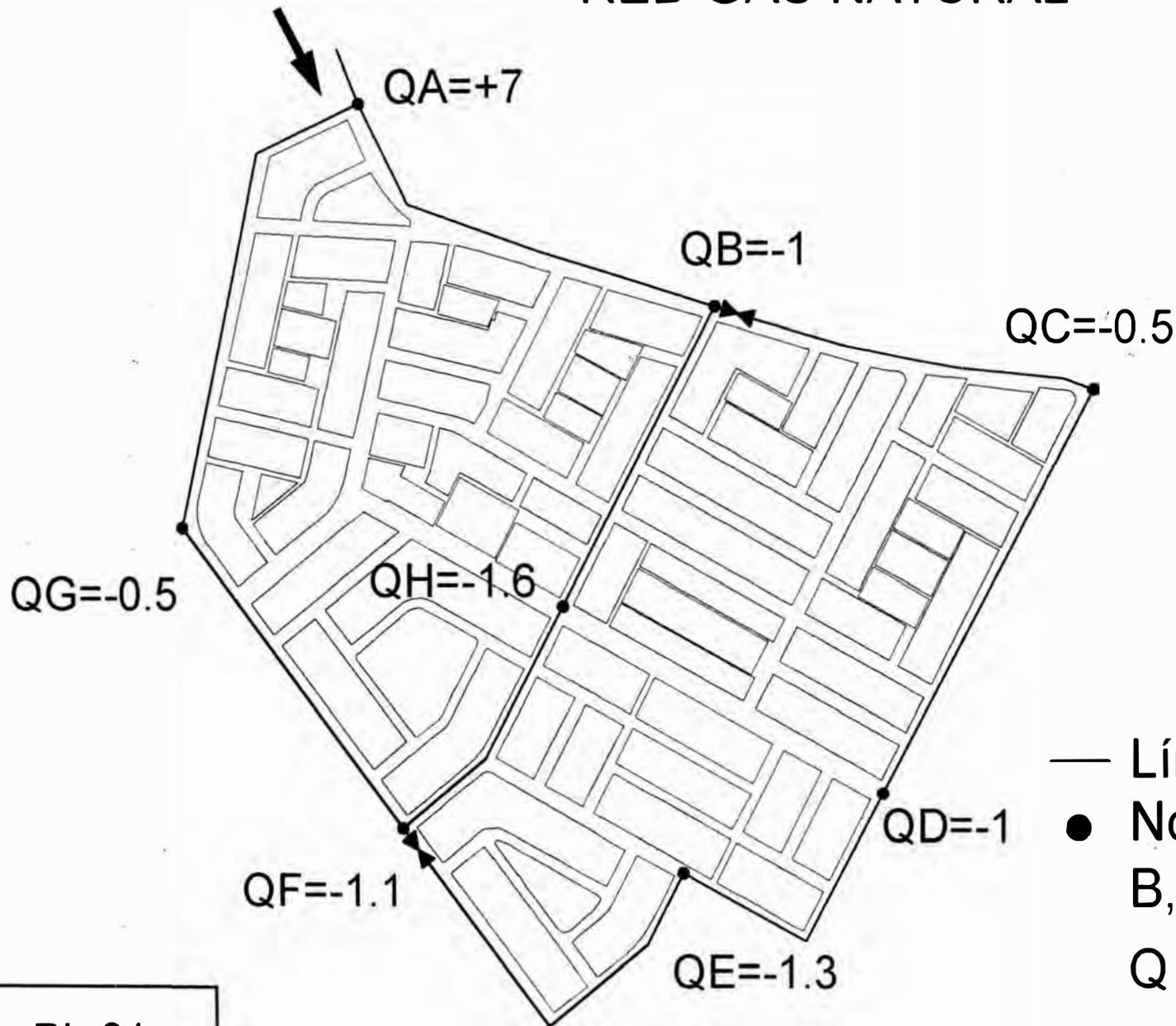
$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

If  $\theta \leq 45^\circ \Rightarrow F3$ ;  $45^\circ < \theta \leq 180 \Rightarrow F4$

# DIAGRAMA DE MOODY



# RED GAS NATURAL



## Distancias

- AB = 660 m
- BH = 340 m
- HF = 340 m
- FG = 700 m
- GA = 660 m
- BC = 360 m
- CD = 400 m
- DE = 340 m
- EF = 520 m

- Línea de gas Ø4"
- Nodo consumo  
B,C,D,E,F,G,H  
Q en MM pcdn

PL-01