

UNIVERSIDAD NUEVO MUNDO

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios incorporados a la Universidad  
Nacional Autónoma de México



PROYECTO PARA LA CONSTRUCCION DE UNA ESTACION DE REGULACION  
Y MEDICION DE GAS NATURAL PARA EL HOSPITAL C.N. DE PEMEX

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

( Area Industrial )

P r e s e n t a

LUIS MANUEL PADILLA LAMADRID

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

|  |     |
|--|-----|
| Introducción   | 4   |
| I - Generalidades  |     |
| - Propiedades del Gas Natural  | 8   |
| - Gasoducto Ciudad PEMEX - Venta de Carpio   | 13  |
| - Red de distribución de Gas Natural del Valle de México   | 15  |
| - El problema del suministro de gas L.P. al Hospital C.N. de PEMEX                               | 18  |
| II - Cálculo del cabezal para la regulación y medición del suministro de Gas Natural al Hospital |     |
| - Cálculo del ramal de suministro  | 21  |
| - Diámetro de la tubería   | 23  |
| - Espesor de la pared de la tubería  | 26  |
| - Protección anticorrosiva   | 30  |
| - Soldadura y pruebas de seguridad   | 32  |
| - Regulación   | 34  |
| - Medición   | 44  |
| - Medidores de desplazamiento positivo   | 44  |
| - Medición de fluidos a través de un orificio  | 51  |
| - Válvula de seguridad   | 82  |
| III - Equipo y accesorios  |     |
| - Equipo y accesorios  | 85  |
| - Lista de materiales para el cabezal  | 87  |
| - Planos del cabezal y de la caseta de regulación y medición de gas natural                      | 96  |
| IV - Costos  | 100 |
| V - Conclusiones   | 111 |
| Bibliografía   | 115 |

## INTRODUCCION

La combinación de Hidrógeno y Carbón en la naturaleza, bajo ciertos cambios físicos y químicos tales como presión y temperatura, dió por resultado el origen del petróleo, con el que el hombre, al extraerlo del subsuelo, adquirió una fuerza potencial y un auge industrial sin precedente.

Las formas gaseosas del petróleo, comunmente llamadas "gas natural" que consisten en mezclas de hidrocarburos gaseosos y vapores, principalmente Metano, Etano, Propano y Butano, de la serie de los parafínicos utilizados industrialmente, son el mejor combustible que se tiene en la actualidad; ya que por sus múltiples cualidades, que son entre otras, gran eficiencia calorífica, limpieza en su manejo y bajo costo, lo han hecho insustituible.

El combustible y el diesel requiere de la inversión en instalaciones costosas y en varias ocasiones de procesos complicados para su aprovechamiento que exige el empleo de grandes y poco funcionales depósitos para su almacenamiento dentro de las instalaciones del usuario, dando origen el capital invertido, a un exponente que altera los costos de mantenimiento.

Al iniciarse la industria petrolera en México, el gas natural no se utilizaba del idamente por no tenerse instalaciones para procesarlo. Actualmente se cuenta con plantas de absorción en Ciudad Femex y La Venta, en el estado de Tabasco, que hacen posible el tratamiento del gas separando sus impurezas, tales como: Acido Sulfhídrico y Bióxido de Carbono, así como condensables, obteniendose el gas seco, a este proceso se le conoce con el nombre de endulzamiento y además de evitar el olor desagradable, suprime el carácter corrosivo que imparte el azufre al presentarse en dicho gas, aun siendo en pequeñas cantidades. Petroleos Mexicanos, ante la necesidad de transportar este gas desde su lugar de origen hasta las zonas de consumo, construyó un gasoducto que partiendo de Ciudad Femex, en Tabasco, cruza el estado de Veracruz y parte del de Puebla, teniendo como terminal Venta de Carpio en el Estado de México, de donde se distribuye a todo el Valle de México.

Muchos factores hacen que el uso del gas natural sea más conveniente, siendo posible en su manejo la técnica más avanzada y el equipo más moderno y eficiente, diseñado para utilizar al máximo las múltiples ventajas de este fluido.

El presente proyecto tiene como objetivo, el sustituir los combustibles usados actualmente en el Hospital de Concentración Norte de Petroleos Mexicanos, tales como gas L.P. y diesel, por el Gas Natural. Esto se puede lograr mediante la construcción de una estación de regulación y medición de gas natural, conectando dicha estación a una de las troncales con las

que cuenta la Red de distribución de Gas Natural del Valle de México, la cual es operada por Petroleos Mexicanos.

Para limitar el objetivo de dicho proyecto, podemos decir que:

A partir de una cantidad determinada de Gas Natural solicitada por el futuro usuario de la Red de Gas del Valle de México, la cual sabemos que es de 400 metros cúbicos por hora, se estudiará detenidamente la configuración que debe tener la instalación necesaria para llevar el producto desde el punto mas cercano al Hospital hasta un lugar dentro de sus instalaciones, a partir de donde el usuario (el Hospital) distribuirá el producto a los puntos donde se requiere, como son; laboratorios, guarderia, calderas, cocina, etc. Dicha distribución interna no se incluye en el proyecto dado que actualmente se cuenta con ella por medio de la cual se distribuyen el gas L.F. y el Diesel.

## I - GENERALIDADES

## PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

Una teoría enteramente aceptada, con respecto al origen y a la forma de acumulación del petróleo, o a la procedencia del mismo, aún no se conoce.

Se cree que las formas inferiores de vida animal y vegetal suministraron el primer material de origen para los hidrocarburos. La subsecuente putrefacción de la materia orgánica como consecuencia de la acción bacterial, pudo haber eliminado los constituyentes distintos de las grasas, sustancias oleosas y materiales semejantes. A través de modificaciones todavía no bien entendidas, las sustancias orgánicas se transformaron en hidrocarburos líquidos y gaseosos.

La palabra "Petróleo" deriva de los términos latinos "Petra" que significa roca, y "Oleum" que significa aceite. Siendo en sí el "Aceite crudo o petróleo", una mezcla compleja de hidrocarburos, los cuales son compuestos orgánicos, en los que el carbono y el hidrógeno son los principales elementos. Al petróleo que se encuentra en la naturaleza en forma gaseosa, se le conoce comúnmente con el nombre de "Gas Natural". A esta serie de hidrocarburos se le conoce con el nombre de parafínicos, ( $C_n H_{2n+2}$ ) la cual comprende:

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| Metano     | ( $CH_4$ )            |
| Etano      | ( $C_2H_6$ )          |
| Propano    | ( $C_3H_8$ )          |
| Butano     | ( $C_4H_{10}$ )       |
| Iso Butano | ( $IC_4H_{10}$ )      |
| Pentano    | ( $C_5H_{12}$ )       |
| Hexano     | ( $C_6H_{14}$ ), etc. |

El nombre parafina significa que tiene poca actividad; es decir los compuestos de esta serie no son muy activos químicamente.

La acumulación de este Gas Natural tiene lugar en la parte superior de un yacimiento de aceite llamada "casquete", entrampado bajo un estrato impermeable que da forma a la estructura del yacimiento. El principal factor por el que se encuentra acumulado este gas, es un proceso de migración proporcionado por fuerzas naturales, tales como presión hidráulica desarrollada por el flujo de agua por canales subterráneos, presión de la tierra, resultado del diastrofismo, así como la capilaridad y la misma presión del gas, ya que es siempre acompañante del petróleo líquido. El gas se mueve libremente por los intersticios en los poros de las rocas y ejerce presión en todas direcciones, tratando de fluir de áreas de alta presión hacia áreas de baja presión en la tierra,

arrastrando petróleo líquido consigo ya sea como una película que rodea a las burbujas de gas o empujándolo a través de las rocas en volúmenes relativamente grandes al frente de un cuerpo de gas. Este gas disuelto en el petróleo reduce su viscosidad e indirectamente ayuda a otras fuerzas naturales a provocar su migración. Los movimientos del gas y del petróleo líquido son indudablemente motivados en muchos casos por la acción selectiva de la gravedad en los fluidos de la roca. Los glóbulos de aceite sumergidos tienden a flotar en el agua que satura generalmente a las rocas, por razón de su densidad más baja y a acumularse en los horizontes superiores de los estratos porosos a los que tienen acceso. Esta migración no es necesariamente vertical hacia arriba ya que la cara inferior de una capa impermeable contribuye como componente horizontal. Si se considera la presión y las fuerzas hidrostáticas, desarrollando un trabajo suficiente para vencer la resistencia que ofrecen los poros de la roca, es obvio que los glóbulos continuarán moviéndose con la inclinación hacia arriba hasta que son atrapados o hasta que llegan al punto más alto del estrato, en el que están contenidos, a menos que el estrato que contiene al aceite este cubierto por una capa de roca permeable, el aceite escapará a formaciones superiores hasta encontrar un estrato impermeable. Las cimas de los domos y anticlinales, sirven en esta forma como trampas estructurales elevadas, en las que el aceite y el gas, por influencia de las fuerzas hidrostáticas, tienden a acumularse. El gas por ser más ligero que el aceite, tenderá a los niveles superiores de la trampa anticlinal, mientras que el aceite ocupará una zona intermedia entre el gas y el agua que esta abajo.

Los términos más ligeros de la serie parafínica: metano, etano, propano y butano, son gaseosos a la temperatura ordinaria, pero los dos últimos presentan cierta facilidad para su licuefacción.

La propiedad con la que cuentan el propano y el butano, con respecto a su licuefacción, es aprovechada para la obtención del gas L.P., este es una mezcla de 30% de propano y 70% de butano, obteniéndose un gas de 7 Kg/cm<sup>2</sup> (100 lb/pulg<sup>2</sup>) a una temperatura media de 20 grados Centígrados; el metano y etano tienen un punto de ebullición tan bajo que se considera poco comercial su conducción y distribución en forma líquida, lo cual hace que el único medio práctico para su transporte y manejo sea através de tuberías de conducción, desde los lugares de producción hasta los puntos de consumo.

Los términos intermedios: pentano, hexano, heptano y octano son líquidos en las condiciones atmosféricas ordinarias y los más pesados son substancias solidas o semisólidas, todo esto debido al aumento en el peso molecular.

El gas natural esta compuesto principalmente por metano y cantidades menores de los hidrocarburos parafínicos: etano, propano, butano e isómeros de este último (el isomerismo consiste en la existencia de dos o más sustancias que tienen la misma composición pero propiedades diferentes); así como también incluye a menudo constituyentes no hidrocarburos tales como el nitrógeno ( $N_2$ ), ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), bioxido de carbono ( $CO_2$ ), helio (He) y vapor de agua.

La presencia de azufre, aun en pequeñas cantidades en el aceite y el gas, imparte un olor desagradable y carácter corrosivo a estos, denominándoseles entonces como amargos. Existen normas que limitan el contenido de ácido sulfhídrico en sistemas de distribución de gas por tubería a menos de 10 granos por 100 pies cúbicos y el contenido total de azufre a menos de 30 granos por 100 pies cúbicos de gas.

Aunque el gas natural se encuentra bajo presión en rocas porosas bajo la superficie de la tierra, a menudo esta en solución con el aceite crudo, denominándosele entonces como porción volátil del petróleo.

Al gas natural se le conoce también como "húmedo", "seco" o "pobre". Aunque el uso diario de estas palabras se refiere a la presencia o ausencia de humedad (por ejemplo agua o vapor de agua); para el que está íntimamente ligado con la producción y explotación del gas, estas tienen un significado muy diferente. Para él, dichos términos indican la concentración de hidrocarburos menos volátiles (propano, butano y compuestos más pesados) los cuales pueden recuperarse fácilmente como productos líquidos (gas licuado, gasolina, kerosena y gasóleo). El vocablo "seco" se aplica, cuando hay menos que el equivalente de 100 galones de tal material en cada millón de pies<sup>3</sup> de gas, calculado a condiciones base. En tanto que el término "pobre" se refiere a un gas que contiene el equivalente de 100 a 300 galones por millón de pies<sup>3</sup> de gas. En consecuencia, el término "húmedo" significa que contiene mas de 300 galones por millón de pies<sup>3</sup>, y no significa líquidos transportados sino riqueza de hidrocarburos condensables y cuya condensación depende de la temperatura y la presión.

También podemos clasificar el gas natural según la cantidad de compuestos de azufre, principalmente ácido sulfhídrico, como en "amargo" y "dulce". El primero contiene alta concentración de dicho compuesto y el segundo la tiene baja. Al proceso por el cual se reduce la concentración de azufre en el gas natural, se le conoce con el nombre de "endulzamiento", y se realiza en las plantas de absorción.

El Gas Natural usado como combustible es del tipo "gas

seco" habiendo sido procesado para extraerle todos los productos licuables en plantas llamadas de absorción.

La gasolina, compuesto bastante complejo de hidrocarburos y ampliamente utilizada como combustible (máquinas de combustión interna) es el producto más valioso del petróleo y se obtiene de esto por destilación fraccionaria. El gas natural ha sido otra importante fuente para la recuperación de gasolina (combustible altamente volátil) por medio de los métodos de compresión, refrigeración o absorción.

En la siguiente tabla se da el análisis del Gas Natural extraído de las diferentes zonas de producción más conocidas del país, aunque su composición puede variar de un campo a otro y aun de un pozo a otro.

#### V O L U M E N %

| Termino                        |                                | Pozo Rica | Reynosa | Ciudad Pemex |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------|---------|--------------|
| Metano                         | ( $\text{CH}_4$ )              | 87.4      | 76.2    | 74.0         |
| Etano                          | ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )     | 9.0       | 3.4     | 3.9          |
| Propano                        | ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )     | 2.8       | 0.4     | 1.8          |
| Butano                         | ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )  | 0.2       | ---     | 0.2          |
| Iso Butano                     | ( $\text{IC}_4\text{H}_{10}$ ) | 0.1       | ---     | 0.1          |
| Pentano                        | ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )  | 0.1       | ---     | ---          |
| Hexano                         | ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )  | 0.1       | ---     | ---          |
| Densidad específica (aire = 1) |                                | 0.648     | 0.576   | 0.587        |

En Cd. Pemex, 9 Km. distante aproximadamente del campo "Jose Colomo", uno de los más grandes productores de gas natural, se tiene instalada una gran Planta de Absorción, expresada para la recuperación de gasolina a partir del gas natural. A la Planta llegan alrededor de 15 millones de m<sup>3</sup> diarios de gas húmedo para ser procesados, obteniéndose 25000 barriles de gasolina natural por día aproximadamente, enviándose 10 millones de m<sup>3</sup> diarios de "gas seco" al gasoducto Cd. Pemex - Venta de Carpio; y el resto de "gas seco" se reinyecta al yacimiento, con lo cual este último se mantiene bajo determinada presión y además sirve de almacenamiento.

La principal propiedad del gas natural es su alto poder calorífico, este es igual a la cantidad de calor liberada después de completar la combustión de la unidad de volumen considerada.

El gas que Petroleos Mexicanos suministra a sus consumidores, tiene un poder calorífico total base de 9,460 Kcal/m<sup>3</sup>, considerando el m<sup>3</sup> de gas a una presión de 1 Kg/cm<sup>2</sup> y 20 grados Centígrados de temperatura, en función de este valor se

fija el costo del gas natural a los consumidores.

El Calorímetro que mide esta propiedad se encuentra en la Estación de Regulación y Medición en Venta de Carpio, Edo. de México y está calibrado a una presión de una atmósfera y 15.6 grados Centígrados, por lo tanto para las condiciones de calibración del Calorímetro, el poder calorífico de 8,460 Kcal/m<sup>3</sup>, deberá ser corregido para efectos de obtención del costo real del gas natural distribuido a los usuarios.

El uso principal del gas natural es como: combustible Doméstico e Industrial.

Los usos domésticos incluyen: estufas, calentadores de agua, refrigeración, acondicionamiento de aire, etc.

Los usos industriales son: generación de potencia y procesos de calentamiento.

Hay algunos usos específicos tales como la deshidratación de productos agrícolas, por los gases de combustión, la producción de cemento Portland, la producción de cal y como materia prima para la Industria Petroquímica.

Algunas ventajas que presenta el gas natural como combustible, son las siguientes:

- 1.- Se queman con un bajo exceso de aire que da por resultado una alta eficiencia.
- 2.- Contiene muy poco residuo sólido.
- 3.- El equipo de control automático usado para regular el combustible y el aire, satisface las fluctuaciones en la demanda instantánea del vapor.
- 4.- Las calderas fácilmente entran en funcionamiento y alcanzan rápidamente sus temperaturas de operación.
- 5.- Los costos de mantenimiento se reducen considerablemente. La vigilancia en la operación es mínima, así como las pérdidas ocasionadas.

## GASODUCTO CIUDAD FEMEX - VENTA DE CARPIO

Para cubrir la creciente demanda de combustible, debido a la gran expansión industrial en las zonas sur y centro del País, Petroleos Mexicanos, inició en el año de 1958, la construcción de un Gasoducto entre Cd. Femex, en el estado de Tabasco y Venta de Carpio, en el Estado de México. Dicho Gasoducto tiene 24 pulgadas (60.96 cm) de diámetro y una longitud total de 780.4 Kms. El gasoducto cuenta con un recubrimiento anticorrosivo y con protección catódica para evitar al máximo la acción corrosiva sobre el material de la tubería.

El Gasoducto recibe el gas que transporta de las plantas de absorción de Cd. Femex y La Venta, en el estado de Tabasco, así como la inyección de los campos de San Pablo y Rincón Pacheco, en el estado de Veracruz.

Se inició la operación del mismo en el año de 1961, sin contar con ninguna estación de compresión, distribuyéndose el gas natural a lo largo de la línea conductora, por medio de ramales específicos y redes de distribución.

A partir de septiembre de 1960 y a medida que se fueron construyendo, entraron en servicio las diez estaciones de compresión proyectadas para dicho gasoducto.

Las estaciones de compresión tienen como finalidad el aumentar la capacidad de transporte del gasoducto. En La Venta, Tabasco, el gas se inyecta a una presión de 74 kg/cm<sup>2</sup>; y gracias a las estaciones de compresión, el gas se recibe en Venta de Carpio a una presión de 70 kg/cm<sup>2</sup>.

Después de muchos años y debido a la necesidad de hacer llegar dicho producto a zonas de consumo como Queretaro, Salamanca, etc., se extendió dicho gasoducto hasta quedar como se encuentra en la actualidad. La Figura No. 1 ilustra gráficamente dicho gasoducto.



## RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL DEL VALLE DE MEXICO

El Sector Valle de México, depende técnica y administrativamente del SISTEMA TRONCAL DUCTOS CENTRO, conformando todas las líneas del valle de México comprendidas entre Venta de Carpio, por el noroeste, Cuautitlán por el norte, Yochimilco por el sur y el aeropuerto por el oriente, conteniendo también el complejo Ciudad Sahagún y San Martín de las Pirámides.

Fue en el año de 1947 cuando se introdujo el gas natural (enviado de Fort Ricas), para su utilización como combustible en las industrias situadas en el Distrito Federal y periferia de este. Desde ese momento, la Red de distribución de Gas Natural del Valle de México, comenzó a crecer y a modernizarse día con día.

La Red de distribución de Gas Natural del Valle de México, se inició con un gasoducto que sale de Venta de Carpio, Estado de México con una estación de regulación y medición central. Dicho gasoducto tenía un diámetro de 20 pulgadas (50.8 cm.) de diámetro nominal, el cual pasara por las siguientes zonas de consumo: San Cristóbal Ecatepec, Tlupetic (Cerro Gordo, San Pedro Xalostoc), Santa Clara, San Juan Ecatepec y la Colonia Vallejo.

El gasoducto llegaba hasta la Refinería 18 de Marzo en Atzacapotzalco, E.F. La longitud total del gasoducto era de 30,110.85 metros. La máxima presión de trabajo del gasoducto, incluyendo instalaciones de regulación y medición para la entrega de gas a los consumidores era de 7.031 kg/cm<sup>2</sup> man. (100 Lb/pulg<sup>2</sup> manométricas).

Tiempo después, desde el Km. 24 + 903.00 de este gasoducto, en las inmediaciones de la zona industrial de Vallejo, se derivó hacia el norte un gasoducto de 20 pulgadas (50.8 cm.) de diámetro nominal hasta el Km. 5 + 068.80, donde se redujo a 12 pulgadas (30.48 cm.) de diámetro nominal y así continuaba a Tultitlán hasta el Km. 18 + 613.04. Esta derivación abastecía de gas natural a las zonas de: Atzacapotzalco, Tlalnepantla, Lechería y Tultitlán. La presión máxima de trabajo, también era de 7.031 kg/cm<sup>2</sup> man. (100 Lb/pulg<sup>2</sup> manométricas).

Posteriormente con objeto de darle mayor capacidad a este gasoducto, se tendió una nueva línea de 12 pulgadas (30.48 cm.) de diámetro nominal desde Venta de Carpio hasta Tultitlán con una longitud de 20,849.87 metros, cerrándose así el anillo: Venta de Carpio - Río de los Remedios - Tultitlán - Venta de Carpio.

Esta última línea a diferencia del gasoducto operante

hasta esa fecha, se encuentra protegida catódicamente y probada a 56.25 Kg/cm<sup>2</sup> (800 Lb/pulg<sup>2</sup>) manométricas, lo cual permite hacerla funcionar con un sistema de alta presión.

Ahora bien, el auge industrial en el valle de México (Distrito Federal y sus alrededores), dió margen a la formación de gran cantidad de empresas, generalmente industrias de transformación, tales como manufacturera de muelles, de herramientas, de papel, de productos químicos, textiles, fábricas de vidrio, de cemento, de panificación, etc.

Teniendo en cuenta que la necesidad de estas, era bastante fuerte en lo que respecta a combustible líquido (combustóleo, kerosina, diesel, etc.) y gaseoso (propano y butano), se llevó a cabo una promoción industrial, cuya tendencia primordial fue la de interesar a estas empresas con el objeto de lograr sustituir dichos combustibles por el gas natural, el cual ofrece considerables ventajas, como son:

- 1.- Limpieza en su manejo.
- 2.- Facilidad en su manejo.
- 3.- Facilidad de combustión.
- 4.- No necesita precalentamiento.
- 5.- Eliminación de problemas de transporte.
- 6.- Seguridad en el abastecimiento.
- 7.- Economía.

De las zonas de consumo antes mencionadas, con el tiempo se sumaron a ellas seis zonas más: San Bartolo Naucaipan, Clavería, Nonoalco, Irrigación, Anahuac y San Pedro de los Pinos.

Después de muchos años, a través de los cuales se deterioraron algunas líneas y existió la necesidad de sustituirlas por el alto grado de corrosión que habían adquirido, y por otra parte la necesidad de ampliar la red de gas natural que estaba en funcionamiento, actualmente la Red de distribución de Gas Natural del Valle de México cuenta con las líneas que se ilustran en la Figura No. 2.



## EL PROBLEMA DEL SUMINISTRO DE GAS L.P. AL HOSPITAL C.N. DE PEMEX

Actualmente el Hospital de Concentración Norte de Petroleos Mexicanos, cuenta con el suministro de gas L.P. y de Diesel para operar su caldera, laboratorios, cocinas, etc..

Dicho suministro, tanto del gas L.P. como el de Diesel, es por medio de carros tanque que proveen de estos combustibles en el momento que el Hospital lo requiere.

En el caso del gas L.P., el Hospital cuenta con un tanque de una capacidad de 3350 litros, este tanque en la actualidad solamente alimenta a los laboratorios, una cocina general, una cocina de la guardería, y una pequeña caldera que activa la calefacción en el área de rehabilitación. En el momento en el que dicho tanque contiene solamente el 25% de gas del total de su capacidad, los laboratorios comienzan a tener problemas con la operación de sus mecheros, dado que estos requieren de una determinada presión para su correcto funcionamiento, y al encontrarse el tanque de gas L.P. casi vacío, la presión en las líneas de suministro se cae de cada uno de los puntos de servicio disminuye.

Por otra parte, el Hospital recibió un equipo de aire acondicionado que opera con Gas Natural y energía eléctrica, dicho equipo requiere de un suministro de 70 metros cúbicos de gas natural por hora, esto es trabajando a toda su capacidad. Este equipo se encuentra ya instalado en el Hospital, hace aproximadamente 2 años pero no se ha puesto a funcionar debido a la falta del suministro del Gas Natural. En el mes de Febrero de 1988, la Dirección General del Hospital inició los trámites para poder contar con el suministro del combustible por gasoducto, el objetivo de este proyecto es analizar, estudiar y proponer finalmente una solución al problema de dicho suministro y que de esa manera el equipo que se encuentra por el momento sin operar, pueda trabajar normalmente sin tener que parar en ningún momento por la falta de suministro, y por otra parte, que tanto las cocinas como los laboratorios también aprovechen dicho combustible para su operación.

El Hospital actualmente, se encuentra en un pequeño proceso de expansión pensando en ello, la Dirección General del Hospital solicitó un suministro de 400 metros cúbicos por hora y en base a este dato se realizarán los cálculos necesarios para dar una solución al problema con el equipo y accesorios necesarios para regular y medir el suministro de esa cantidad de Gas Natural sin ningún problema.

En cuanto al suministro de diesel con el que cuenta actualmente el hospital para operar sus calderas, mas adelante

también se podría sustituir cambiando los quemadores de las calderas y así manejar solamente gas natural para la operación de todos los servicios del Hospital.

Como ya se mencionó con anterioridad, este proyecto sólo abarca el problema del suministro de Gas Natural, esto es, llevar el combustible desde el punto mas cercano al Hospital de donde se pueda tomar (gasoducto más cercano), llevarlo a un punto dentro del Hospital, regularlo y medirlo.

II - CALCULO DEL CABEZAL PARA LA REGULACION Y MEDICION  
DEL SUMINISTRO DE GAS NATURAL AL HOSPITAL

## CALCULO DEL RAMAL DE SUMINISTRO

La cantidad de gas natural solicitada por el Hospital Central Norte de Concentración Nacional de Petroleos Mexicanos es de 400 Metros cúbicos por hora. Tomando como base la información mencionada, se procederá a realizar los cálculos necesarios para conocer las características del equipo, instrumentos, y las diferentes instalaciones que se requieren para la construcción del cabezal de regulación y medición de gas natural de dicho usuario, así como de la obra civil de la caseta que resguardará el cabezal dentro de las instalaciones del Hospital.

El Hospital se encuentra aproximadamente a 100 Mts. del punto por donde pasa la línea de 20 pulgadas de diámetro nominal que es una de las troncales con las que cuenta la Red de Distribución de Gas Natural del Valle de México. En la Figura No. 3 puede apreciarse el curso de la línea mencionada y la ubicación del Hospital, así como el trazo propuesto que llevará el ramal de suministro.

Los factores que influyen en el escurrimiento de gas natural por tuberías de transporte, de una manera general, se pueden dividir en los siguientes:

- a) Los inherentes a tuberías y gases.
- b) Los debidos a características de construcción.

En el primer grupo estan comprendidos dimensiones y propiedades de la tubería y del producto como son:

Longitud, diámetro y rugosidad de las paredes de la tubería, así como las propiedades del gas transportado, tales como densidad, viscosidad y velocidad del flujo.

El segundo grupo, que son los factores debidos a las características de construcción, comprenden:

Materiales extraños que se encuentran en la tubería como sedimentos, condensados, etc. y tambien rasgos distintivos de construcción que influyen como una resistencia al flujo o disminución del diámetro efectivo de la tubería. Los efectos de todos estos factores se expresan en reducción de la eficiencia del transporte del producto a través de la tubería.

### ECUACION GENERAL

La fórmula que se toma como base para el flujo de gas en tuberías se debe a Johnson & Berweld<sup>1</sup> y es la siguiente:

<sup>1</sup>Aprobada por el Departamento de Minas de los Estados Unidos

$$Q = 38.77 \frac{T_o}{P_o} \sqrt{\frac{(P_1 - P_2) d^5}{G T_f L F}}^{1/2}$$

en donde:

- Q = Volumen en pies<sup>3</sup>/día a presión y temperatura base.
- T<sub>o</sub> = Temperatura base en grados Rankine.
- P<sub>o</sub> = Presión base en lbs/pulg<sup>2</sup> absoluta.
- P<sub>1</sub> = Presión de entrada en lbs/pulg<sup>2</sup> absoluta.
- P<sub>2</sub> = Presión de salida en lbs/pulg<sup>2</sup> absoluta.
- d = Diámetro interior de la tubería en pulgadas.
- G = Densidad relativa al aire (aire = 1.000).
- T<sub>f</sub> = Temperatura de flujo del gas, en grados Rankine.
- L = Longitud de la tubería en millas.
- F = Coeficiente de fricción.

EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN "F" es el factor principal que influye en el desarrollo de estas fórmulas de gasto para obtener resultados exactos. Este criterio nos divide a las ecuaciones para obtener gastos en tres grupos:

- a) Fórmulas que consideran a "F" como una constante.
- b) Fórmulas en las que el valor "F" es función del diámetro interior de la tubería.
- c) Fórmulas en que "F" es función del número de Reynolds.

Habiéndose estudiado varias de las fórmulas pertenecientes a los grupos antes mencionados, se dedujo que, en la práctica de transporte de hidrocarburos gaseosos se obtienen los mejores resultados al emplear las ecuaciones de Weymouth y Panhandle, ya que el coeficiente de fricción está relacionado al diámetro de la tubería, y además la caída de presión en la tubería es base para el desarrollo de estas fórmulas y muy importante para la práctica.

### DIAMETRO DE LA TUBERIA

El gasoducto de 22 pulgadas de diámetro nominal que pasa por la avenida Tezozomoc con una dirección del flujo Norte - Sur, es la troncal de donde se tomara el ramal que abastecerá de gas natural al Hospital Central Norte de PEMEX. La válvula de toma se ubicará en el área del camellón de dicha avenida, de donde partirá el ramal perpendicular a la línea troncal y con dirección oeste hasta completar 117.67 Mts. al llegar a la barda del Hospital, ahí cambiará de dirección 90 grados con dirección sur bordeando la barda del Hospital hasta llegar a la esquina a 29.93 Mts., y cambiando nuevamente de dirección 90 grados con dirección oeste bordeando la barda 28.80 Mts., allí cambiará de dirección 90 grados con dirección norte internándose ya en el área del Hospital 11.00 Mts., Este recorrido nos da un total de 187.40 Mts. desde el punto donde pasa el gasoducto de 22 pulgadas hasta el punto donde se encontrará la caseta de regulación y medición de gas natural dentro de las instalaciones del Hospital.

En la Figura No. 3 se ilustra el trazo de dicho ramal desde su origen, en la línea de 22 pulgadas hasta el punto donde se ubicará la estación de regulación y medición de gas natural dentro del Hospital.

Calculo del Diametro.- Para el calculo de este ramal vamos a emplear la ecuación de Fanning para tuberías comerciales, dado que es la más indicada como ya se dijo anteriormente y es la empleada generalmente en instalaciones de PEMEX para el cálculo de gasoductos:

$$Q = 435.87 \sqrt{\frac{1.07881}{P_1} \left( \frac{1}{L} \right) \left( \frac{1}{T_f} \right) \left( \frac{1}{G} \right) \left( \frac{1}{P_2} \right)}$$

$\frac{1.07881}{P_1} \quad \frac{1}{L} \quad \frac{1}{T_f} \quad \frac{1}{G} \quad \frac{1}{P_2}$

$\frac{2.6182}{d} \quad \frac{2}{(P_1 - P_2)} \quad \frac{2}{0.5394} \quad E$

Donde:

- Q = Gasto en pies<sup>3</sup>/día a condiciones base de presión y temperatura.
- To = Temperatura base en grados Rankine.
- Po = Presión base en lbs/pulg<sup>2</sup> absoluta.
- L = Longitud de la tubería en millas.
- Tf = Temperatura de flujo en grados Rankine.
- G = Densidad relativa del gas (aire = 1.000).
- d = Diametro interior de la tubería en pulgadas.
- P1 = Presión de entrada en libras/pulg<sup>2</sup> absoluta.
- P2 = Presión de salida en libras/pulg<sup>2</sup> absoluta.

E = Eficiencia en % ; generalmente se toma 0.92.  
Este valor varía entre 0.88 y 0.95.

En esta ecuación se introdujo el factor de eficiencia "E" que se expresa en % y es la relación del flujo que se obtiene realmente en tuberías comerciales, al flujo teórico en tuberías lisas.

Sustituyendo:

Q = 9,600 m<sup>3</sup>/dia = 339,024 pies<sup>3</sup>/dia.  
 To = 20 grados C = 528 grados R.  
 Po = 1 Kg/cm<sup>2</sup> = 14.223 lbs/pulg<sup>2</sup>.  
 L = 187.40 mts. = 0.1164 millas  
 Tf = 21.1 grados C = 530 grados R.  
 G = 0.620 (aire = 1.000)  
 d = Incógnita (diámetro interior en pulgadas).  
 P2 = 14.062 Kg/cm<sup>2</sup> = 200 lbs/pulg<sup>2</sup>  
 P1 = 14.5 Kg/cm<sup>2</sup> = 206.19 lbs/pulg<sup>2</sup>  
 E = 0.92 % (eficiencia en tubería comercial).

$$435.87 \frac{1.07881}{\sqrt{528}} \sqrt{\frac{1}{14.223}} \frac{0.5394}{\sqrt{0.1164}} \sqrt{\frac{1}{530}} \sqrt{\frac{0.4606}{0.620}} \rightarrow$$

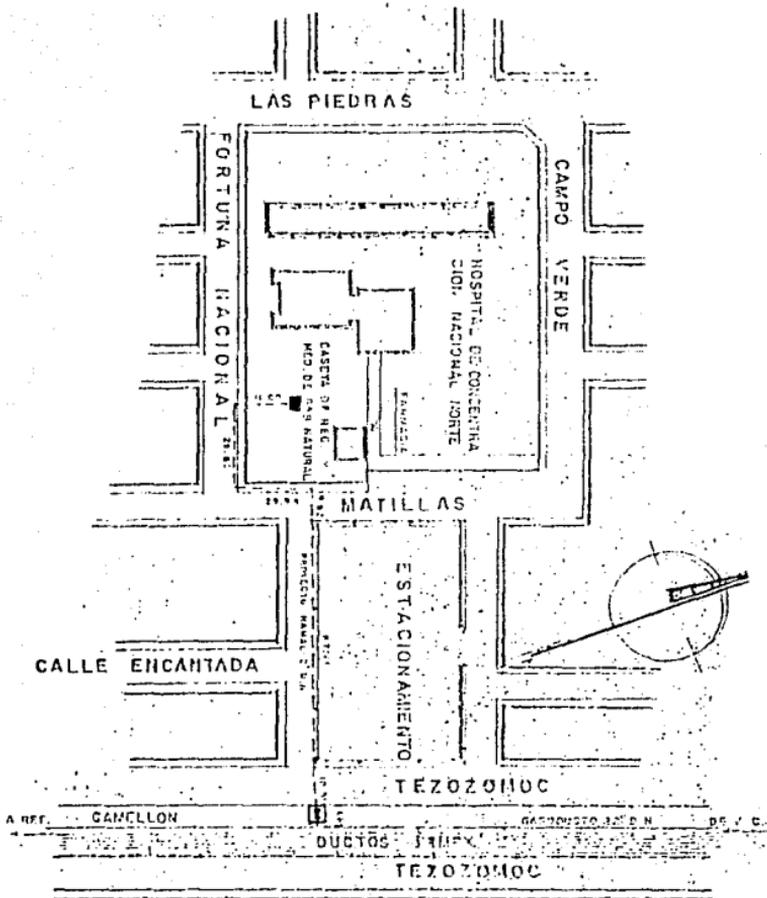
$$\rightarrow d = \frac{2.6181}{(206.19 - 200)^{0.5394}} \cdot 0.92 = 339,024$$

Despejando y realizando las operaciones tenemos que:

d = 1.267 pulgadas de diámetro interior.

Por el cálculo anterior vemos que debe usarse tubería con un diámetro interior de 1.267 pulgadas, sin embargo, usaremos tubería con un diámetro nominal de 2 pulgadas, dado que es la medida comercial inmediata superior al resultado, y de esta manera dicho ramal podrá soportar un aumento en el consumo de gas natural en el Hospital.

Diametro Nominal = 2 pulgadas



PLANO DEL RAMAL PARA LA ESTACION DE REGULACION Y MEDICION DE GAS NATURAL DEL HOSPITAL

Figura No. 3

## ESFESOR DE LA PARED DE LA TUBERIA

En la determinación del espesor de la tubería, el factor primordial que se debe de tomar en cuenta es la máxima seguridad de operación de dicha línea, para lo cual, la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) ha elaborado normas de seguridad para la elaboración de proyectos, normas que se reducen a limitaciones en la presión de diseño dependiendo de las especificaciones del acero, tipo de soldadura empleada y tipo de construcción, según la zona por la que atraviesa la línea. Este código es el ASA B-31-1 y presenta la siguiente fórmula:

$$P = \frac{2St}{D} \times F \times E \times T$$

Donde:

- P = Presión de diseño, en lbs/pulg<sup>2</sup> manométrica.
- S = Límite elástico mínimo de la tubería en lbs/pulg<sup>2</sup>.
- t = Espesor nominal de la pared de la tubería en pulgadas.
- F = Factor de diseño, según el área geográfica.
- E = Factor de junta longitudinal (según el tipo de soldadura).
- T = Factor de temperatura.
- D = Diámetro nominal de la tubería en pulgadas.

### LIMITE ELASTICO

El API (Instituto Americano del Petróleo), ha publicado especificaciones para tubería de alta presión, a las que ya se apegan las compañías que fabrican tubería de acero.

En la siguiente tabla se anotan los grados estandar de tuberías así como el límite elástico mínimo.

| GRADO | LIMITE ELASTICO MINIMO<br>(lbs/pulg <sup>2</sup> ) |
|-------|--|
| A     | 30,000   |
| B     | 35,000   |
| X 42  | 42,000   |
| X 46  | 46,000   |
| X 52  | 52,000   |

### CLASIFICACION DE LOCALIDADES

Se han clasificado las localidades en cuatro clases,

para dar la seguridad requerida, de la siguiente manera:

#### Localidad Clase I

Comprende terrenos baldíos, colonias deshabitadas, granjas, etc., de tal modo que: el índice de población de una milla para cualquier sección de la línea sea de 20 o menor; el índice de población de las 10 millas para cualquier sección de la línea sea menor de 12.

#### Localidades Clase II

Comprende las zonas alrededor de las ciudades o pueblos, lo mismo zonas industriales, donde el índice de población de una milla es superior a 20; o el índice de densidad de 10 millas excede de 12.

#### Localidades Clase III

Incluye zonas pobladas, residenciales, donde predominan edificios no mayores de 3 pisos.

#### Localidades Clase IV

Comprende zonas metropolitanas con edificios mayores de 3 pisos y donde el tráfico de vehículos automotores es numeroso, existiendo además líneas de drenaje, agua, teléfonos, etc.

Esta clasificación esta basada en el índice de población, entendiéndose como:

Índice de población de una milla. Es la zona comprendida en media milla a cada lado de la línea y una milla de longitud sobre la línea, determinado por el número de fincas existentes en el area.

Índice de población de 10 millas. Es el promedio del índice de una milla, en una longitud de 10 millas sobre la línea.

Después de esta clasificación, podemos calcular el factor de diseño "F", ya que depende de lo anterior.

#### FACTOR DE DISEÑO "F"

Este se aplica según el lugar donde se va a efectuar la construcción del ramal, por lo que tenemos la siguiente tabla:

| TIPO DE APLICACION | FACTOR DE DISEÑO | LUGAR DE APLICACION   |
|--------------------|------------------|---|
| A                  | 0.72             | Localidad de clase I  |
| B                  | 0.60             | Localidad de Clase II<br>Carreteras asfaltadas,<br>calles y ferrocarriles en<br>clase I y II                        |
| C                  | 0.50             | En todas las localidades<br>de la clase III,<br>carreteras asfaltadas,<br>calles y ferrocarriles en<br>Clase I y II |
| D                  | 0.40             | En todas las localidades<br>Clase IV  |

#### FACTOR DE LA JUNTA LONGITUDINAL "E"

La Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (ASTM) clasifica los diferentes aceros y los diferentes tipos de soldadura en la forma siguiente:

| ESPECIFICACIONES | TIPO DE TUBERIA                                | FACTOR "E" |
|------------------|--|------------|
| ASTM A52         | Sin costura                                    | 1.00       |
|                  | Soldado eléctrico<br>a resistencia             | 1.00       |
|                  | Soldado a tope por<br>calentamiento            | 0.60       |
|                  | Soldado traslape por<br>calentamiento          | 0.60       |
| ASTM 106         | Sin costura                                    | 1.00       |
| ASTM A134        | Soldado por arco<br>eléctrico                  | 0.80       |
| ASTM A135        | Soldado por resistencia<br>eléctrica           | 1.00       |
| ASTM A139        | Soldado por fusión<br>eléctrica                | 1.00       |
| ASTM A155        | Soldado por arco<br>eléctrico                  | 1.00       |
| ASTM A381        | Soldado por arco eléctrico<br>con doble cordón | 1.00       |
| API 56           | Sin costura                                    | 1.00       |
|                  | Soldado por resistencia<br>eléctrica           | 1.00       |
|                  | Soldado a traslape por<br>calentamiento        | 1.00       |
|                  | Soldado a tope por<br>calentamiento            | 0.80       |
| API 5L           | Sin costura                                    | 1.00       |

|         |                                      |      |
|---------|--------------------------------------|------|
|         | Soldado por resistencia eléctrica    | 1.00 |
|         | Soldado a traslape por calentamiento | 0.80 |
|         | Soldado a tope por calentamiento     | 0.60 |
| API SLX | Sin costura                          | 1.00 |
|         | Soldado por resistencia eléctrica    | 1.00 |
|         | Soldado por arco eléctrico           | 1.00 |

#### FACTOR DE TEMPERATURA

Este factor se aplica para temperaturas de flujo muy altas. Como para 250 grados F o menos, el factor "T" es igual a "uno", ( T = 1.00 ) y siendo la temperatura promedio de operación en gasoductos menor de 250 grados F, se tomará el factor T = 1.00.

#### CALCULO DEL ESPESOR PARA LA TUBERIA DE 2 PULGADAS DE DIAMETRO

Para el calculo del espesor de la tubería tomaremos como dato de presión de diseño "P", la presión máxima de operación del gasoducto de 20 pulgadas que es de 28 Kg/cm<sup>2</sup> y no la presión normal de operación que es de 14.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Esto lo haremos en base a que la presión dentro de la línea puede subir hasta 28 Kg/cm<sup>2</sup>.

$$t = \frac{P \times D}{2 \times S \times F \times E \times T}$$

- P = 398.24 lbs/pulg<sup>2</sup> manométrica
- D = 2 pulgadas diametro nominal
- S = 30,000 (tubería estandar grado A)
- F = 0.40 (Localidad de Clase IV)
- E = 1.00 (Especificaciones API SLX sin costura)
- T = 1.00 (temperatura de flujo menor de 250 grados F.)

Luego tenemos:

$$t = \frac{398.24 \times 2}{2 \times 30,000 \times 0.40 \times 1.00 \times 1.00}$$

$$t = 0.033 \text{ pulgadas de espesor}$$

Por las mismas observaciones hechas al calcular el

diámetro de la tubería se utilizará tubería standard de 0.154 pulg. de espesor. Este espesor es conocido comercialmente como cédula 40, y es más fácil de conseguir en el mercado por ello se elige dicha especificación.

### PROTECCION ANTICORROSIVA

La corrosión es la acción destructiva que tiene lugar en un metal o aleación por acción química o electroquímica, en otros términos puede decirse que la corrosión es la tendencia de los metales refinados de volver a sus formas originales de minerales o compuestos. Llegando así a un estado que es el más estable.

En la generalidad de los casos, el fenómeno de corrosión es electroquímica siendo muy raros los casos de corrosión natural provocada por fenómenos netamente químicos.

Los dos sistemas de protección anticorrosiva más usuales en gasoductos, son a base de recubrimiento y el de protección catódica.

Teóricamente cualquiera de los dos procedimientos por si solo será suficiente. Si se logra un recubrimiento perfecto no existirá oportunidad para que el medio corrosivo actúe sobre el metal, sin embargo es prácticamente imposible lograr un recubrimiento perfecto.

Se podría recurrir exclusivamente a la protección catódica, sin embargo, el costo de ésta, por ser un procedimiento eléctrico, depende del consumo de energía que se tenga, por lo tanto es deseable reducir el área expuesta al mínimo, ya que el consumo de energía depende del área expuesta.

Por lo anterior resultan procedimientos idealmente complementarios el recubrimiento protector y la protección catódica. Es decir aislar la tubería del medio utilizando para ello una barrera y brindar protección catódica a las partes de la superficie donde la barrera falla.

Las características requeridas en un recubrimiento protector son las siguientes:

- Baja permeabilidad
- Buena adhesión
- Estabilidad química en el subsuelo
- Resistencia mecánica contra la presión de fragmentos rocosos de aristas vivas
- Alto valor de resistencia óhmica

De acuerdo con la experiencia, los materiales que mejor satisfacen los requerimientos de los recubrimientos y que serán los empleados en el presente proyecto son los siguientes:

Pintura Primaria (Primer)  
Esmalte  
Envoltura de fibra de Vidrio  
Envoltura exterior de fibra de vidrio impregnada  
de productos asfálticos

## SOLDADURA

El número mínimo de cordones en cada soldadura será de cuatro.

- 1.- "Fondeo" con electrodos de 3.96 mm Ø (5/32 pulg.)
  - 2.- "Paso Caliente" con electrodo de 3.96 mm. Ø (5/32 pulg.)
- Otros dos "relleno" con electrodo de 4.76 mm Ø (3/16 pulg.)

Para comprobar la calidad de la soldadura se sacarán radiografías a cada una de ellas.

## PRUEBAS DE SEGURIDAD

Natural por el Ing. Francisco P. Linares G.

"Para aquellas tuberías que trabajan a presiones menores que el 50 % del límite elástico mínimo pero mayores de 100 lbs/pulg<sup>2</sup> deberán probarse a una presión de 1.5 veces mínimo la presión de operación, usando agua, aire y gas".<sup>4</sup>

**PRUEBA HIDROSTATICA.** - Este tipo de prueba es la más práctica en zonas urbanas, debiendo mantener la presión a la que se hace la prueba por un período mínimo de 24 horas. En el caso del ramal que abastecerá el Hospital, el cual trabajará a una presión máxima de 28.0 kg/cm<sup>2</sup>, (395.244 lb/pulg<sup>2</sup>), la prueba se hará a una presión de 42.0 kg/cm<sup>2</sup> (597.366 lb/pulg<sup>2</sup>) manteniendola por un período mínimo de 24 horas (un día) y colocando un registrador de presión para comprobar que la presión no se ha abatido; durante el tiempo de la prueba, los extremos del ramal deben estar totalmente cerrados.

**PRUEBA NEUMATICA.** - Este tipo de prueba se hará con aire a la presión y durante el tiempo indicado en la prueba hidrostática; esta prueba es recomendable para zonas despobladas.

**SOPLADO DE LA TUBERIA.** - Después de haber terminado las pruebas satisfactoriamente, se procederá a empacar el ramal con gas a la presión de operación (14.5 kg/cm<sup>2</sup>) destagando todo el aire que hay dentro de la tubería, así como otras materias extrañas que se encuentren en ella.

## AUTORIZACION PARA LA CONSTRUCCION DEL RAMAL

La autorización para la construcción del ramal y ruptura de banquetas y pavimentos donde se requiera, deberá solicitarse a la Dirección General de Obras Públicas; ésta aclarará cualquier interferencia del proyecto con alguna obra posterior de cualquier tipo que ella tenga planeado, procediendo

<sup>4</sup>Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Redes de Gas

a tomar las medidas necesarias para la modificación del proyecto por autorizar o para hacer notar aquellos puntos que merezcan especial atención.

## REGULACION

Después de haber calculado el ramal de 2 pulgadas de diámetro nominal, que nos va a transportar el gas desde la troncal de 22 pulgadas de diámetro que pasa por la avenida Ixcocomoc enfrente del Hospital C. N. de PEMEX, es necesario fijar la presión a la que se entregará el gas natural al mismo. Para esto necesitamos una Estación de Regulación y Medición de Gas Natural, para poder controlar el suministro, tanto en presión como en gasto.

Como ha sido citado anteriormente, la presión de llegada a la Caseta la fijamos en 200 lb/pulg<sup>2</sup> (14.060 Kg/cm<sup>2</sup>), misma que debemos abatir para entregar al Hospital a 50 lb/pulg<sup>2</sup> (3.51 Kg/cm<sup>2</sup>), por lo que necesitamos que la caseta tenga un regulador que nos origine esta caída de presión; dicha presión será a la que Petrolens Mexicanos entregará el gas al Hospital. Después de esta caseta, El Hospital podrá abatir más la presión dependiendo de sus necesidades.

El tipo de consumo de gas en hospitales es de flujo variable, por esta razón, se requiere un sistema de control, que mantenga una presión constante de entrega; para este caso lo más conveniente es un regulador automático de presión.

Un regulador automático de presión, es una válvula de control que nos mide el valor de una condición variable y actúa para corregir cualquier desviación en este valor, tomando como referencia un punto determinado, que será el punto de operación.

Prácticamente, un regulador de presión equivale a un orificio variable que controla un determinado flujo para mantener una presión constante.

Este tipo de regulador de presión puede operar de tres maneras diferentes:

- 1.- Control hidráulico
- 2.- Control eléctrico
- 3.- Control neumático

Como en nuestro caso, manejamos gas y este lo podemos emplear como "medio operante", es conveniente utilizar el tipo de control neumático.

De estos reguladores de presión operados neumáticamente, el más usado es el de "diafragma", que consta de las siguientes partes: un motor, que en este caso es el propio diafragma, un cuerpo de la válvula, que incluye la válvula interior; y un resorte, que son las partes básicas de un

regulador, o sea; medio de medición, medios reguladores y fuerza antagonista.

#### MOTOR DE LA VALVULA

Aunque el resorte se ha considerado como parte principal de un regulador, puede ser considerado como parte del motor del diafragma, presentando así el motor dos variantes las cuales se ilustran en la Figura No. 4:

- a) De acción directa: Cuando el aire (en este caso el gas), desplaza el vástago hacia abajo y la acción del resorte es hacia arriba.
- b) De acción inversa: Cuando el aire o gas desplaza hacia arriba el vástago y la acción del resorte es hacia abajo.

#### ACCION DEL MOTOR DE LA VALVULA AUTOMATICA

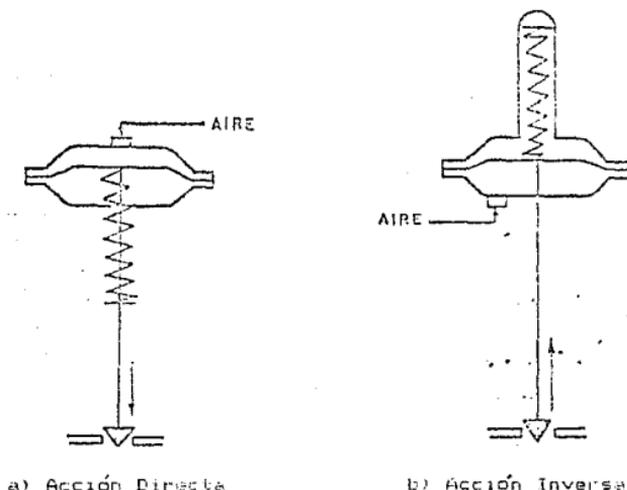


Figura No. 4

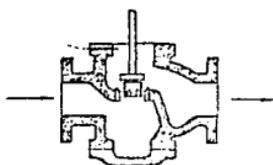
## CUERPO DE LA VALVULA

El cuerpo o globo de la válvula reguladora de presión puede ser de varios tipos, dependiendo de sus condiciones de operación:

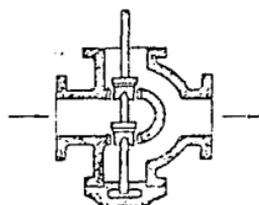
- a) Asiento sencillo: Tiene la particularidad de sellar perfectamente, originando un mínimo de filtración cuando está en posición cerrada. Su uso es frecuente en nuestro medio.
- b) Doble asiento: Se utiliza donde no se requiere cierre hermético, pero sí una regulación más eficiente. A este tipo de cuerpo y válvula interior se le llama tipo balanceado.
- c) Asiento sencillo cuerpo angular: Cuando se requiere sellado eficiente y se trabaja con altas presiones.
- d) Cuerpo de tres vías: Utilizado para mezclar fluidos o producir desviaciones.
- e) Tipo Venturi de asiento sencillo: Para fluidos que llevan en suspensión partículas abrasivas y se requiere alta velocidad de flujo.
- f) Cierre de diafragma: Consta de un diafragma de hule y se utiliza para fluidos corrosivos.

Estos diferentes tipos de cuerpo de las válvulas se ilustran en la Figura No. 5.

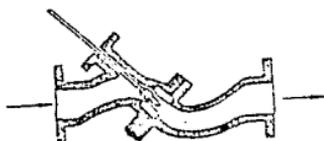
TIPOS DE CUERPO DE LAS VALVULAS REGULADORAS



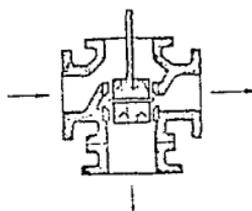
a) Asiento Sencillo



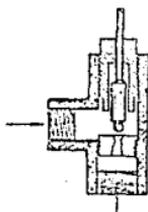
b) Lobía Asiento



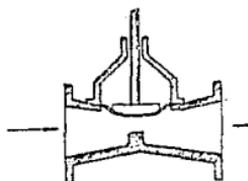
c) Asiento Sencillo Cuerpo Angular



d) Cuerpo de Tres Vías



e) Tipo Vénturi



f) Cierre de Diafragma

Figure No. 5

Estos cuerpos de válvulas pueden suministrarse para su montaje, de varias formas:

- a) de extremos acoplados a bridas
- b) de extremos roscados
- c) de extremos soldables

#### MATERIAL DE LOS CUERPOS

Estos cuerpos se fabrican con diferentes materiales:

- a) Cuerpo de hierro: Se utiliza para soportar hasta 250 lb/pulg<sup>2</sup> de presión y una temperatura de 211 grados centígrados como máximo.
- b) Cuerpo de acero colado: Para presiones de 4000 lb/pulg<sup>2</sup> como máximo y una temperatura de hasta 400 grados centígrados.
- c) Cuerpo de bronce: Soporta presiones máximas de 300 lb/pulg<sup>2</sup> y una temperatura de 260 grados centígrados como máximo. Este tipo puede operar con agua, aire y gas.
- d) Aleaciones especiales: Cuando se requiere manejar sustancias muy ácidas o muy altas temperaturas y presiones.

#### TIPOS DE VALVULAS INTERIORES

Se llama válvula interior al conjunto que esta unido al vástago en su parte inferior y que consta de los taponos que cierran los orificios. Hay tres tipos de válvulas interiores usados en la mayoría de los reguladores de presión: de apertura rápida, válvula interior de puerta en "V" y parabólica.

- a) La válvula de apertura rápida, es conveniente en los casos en que se encuentran cargas promedio. Se debe tener cuidado en el uso de este tipo de válvula cuando el gasto mínimo de flujo es menor que el 20 % del gasto máximo de flujo. La principal característica de esta válvula es que con un pequeño porcentaje del total de su carrera, la válvula adquiere su máxima capacidad y no produce restricciones en el flujo. Esta válvula no es recomendable si se presentan grandes variaciones de flujo, es aconsejable para válvulas de alivio.
- b) Válvula interior de puerta en "V". Su característica

es que para un aumento igual de abertura, hay un incremento igual de flujo; o sea, que al ir abriendo la válvula, va aumentando gradualmente el área de flujo, de manera que al total de la carrera del vástago corresponde a la máxima capacidad de flujo. Se recomienda para sistemas que se controlan únicamente variando la carga o sea, para todos los controles de flujo.

- c) Válvula interior para obtener "igual porcentaje de flujo" o parabólica: Este tipo de válvula interior produce un cambio en cantidad de flujo por unidad de cambio en la carrera de abertura de la válvula, tomando como base una pérdida constante de presión, o sea, que conserva siempre la misma relación de porcentaje de flujo para cualquier abertura de la válvula; excluyendo los casos extremos de abertura o cierre total de la válvula. Este tipo es el más empleado, ya que se usa para manejar flujos máximos para pérdidas de presión mínimas.

Tanto las válvulas parabólicas como las válvulas en "V" proporcionan un mejor control en los casos en que se encuentren grandes cambios de carga y cuando existen frecuentemente condiciones de carga baja. La forma de estas válvulas es tal que la carrera del regulador debe ser mayor para dar a la válvula una abertura determinada, permitiendo, por lo tanto, que el regulador quede abierto constantemente en cargas bajas. Esto tiende a eliminar el constante abrir y cerrar del regulador durante esos momentos.

Estos tipos de válvula interior se ilustran en la Figura No. 6.

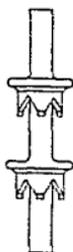
TIPOS DE VALVULA INTERIOR EN REGULADORES



a) Válvula apertura rápida



b) Válvula de puerta en "V"



c) Válvulas para obtener igual porcentaje de flujo



Figura No. 6

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA VALVULA AUTOMATICA

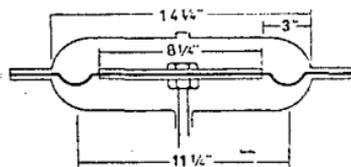
Basicamente se emplea una presión en un área determinada (en este caso el diafragma) para producir una fuerza descendente que desplaza un bástago que tiene en su extremo la válvula interior que produce un aumento o disminución del área de flujo, y una fuerza ascendente originada por un resorte que contrarresta la fuerza descendente del diafragma manteniendo en equilibrio el sistema.

**Descripción del diafragma:** El diafragma es el "centro nervioso" o cerebro del regulador. Cualquiera variación en la presión de salida es detectada por el diafragma, el cual transmite la variación a la válvula cuya carrera se altera automáticamente para satisfacer la nueva condición. Los diafragmas mas grandes son característicos de los reguladores de baja presión, mientras que los pequeños caracterizan a los reguladores de alta presión. Para lograr la máxima potencia de operación de la válvula, el fabricante utiliza practicamente los diafragmas mayores para una aplicación dada, sin sobrepasar los límites de resistencia del material del diafragma y del cuerpo de éste.

El diafragma es de material flexible, generalmente hule sintético, por no afectarle la composición de los hidrocarburos y ser resistente a la presión. En la actualidad se esta utilizando un material denominado "Buna N" que ha dado mejores resultados que el hule sintético simple.

Este diafragma va unido al extremo superior del vástago por medio de placas metálicas llamadas cabeceles de diafragma y está fijo en sus extremos por dos caías de fundición las cuales forman la cámara de presión.

El diametro efectivo de este diafragma queda comprendido entre los extremos interiores de las caías de fundición y los cabeceles de diafragma, como se ilustra en la Figura No. 7.



Diámetro efectivo 11 1/4 pulg.

Figura No. 7

## SELECCION DE LA VALVULA REGULADORA DE PRESION

Para seleccionar un regulador de presión se deben tomar en cuenta los siguientes puntos básicos:

- Presión de entrada al regulador (P1)
- Presión de salida del regulador (P2)
- Volumen máximo de gas a medir en pies<sup>3</sup>/hr
- Densidad relativa del gas en cuestión
- Temperatura de flujo del gas

Las condiciones a las que trabajará el regulador son las siguientes:

|      |   |  |   |                             |
|------|---|--|---|-----------------------------|
| P1   | = | 14.062 kg/cm <sup>2</sup>              | = | 200 lb/pulg <sup>2</sup>    |
| P2   | = | 3.51 kg/cm <sup>2</sup>                | = | 50 lb/pulg <sup>2</sup>     |
| Q    | = | 400 m <sup>3</sup> /hr                 | = | 14126 pies <sup>3</sup> /hr |
| D.R. | = | 0.600                                  |   |                             |
| T    | = | 21.1 grados C                          | = | 69.98 grados F              |
| Po   | = | 11.31 (presión atmosférica de la zona) |   |                             |

Como estas condiciones de operación difieren de las usadas como base en el Sistema Inglés para este cálculo, que son 14.73 lb/pulg<sup>2</sup> y 60 grados F, se tendrá que hacer la siguiente conversión:

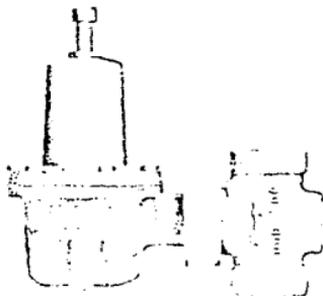
$$Q = 14126 \times \frac{11.31}{14.73} \times \frac{520}{530}$$
$$Q = 10641 \text{ pies}^3/\text{hr}$$

Para la presión de entrada P1 = 200 lb/pulg<sup>2</sup> y presión de salida P2 = 50 lb/pulg<sup>2</sup> y un gasto Q = 10641 pies<sup>3</sup>/hr; según el boletín F-12A de la Fisher Governor Co. (en donde se considera una caída de presión de 20 % a través de la válvula) tomamos el valor inmediato superior que es de 10900 pies<sup>3</sup>/hr, y seleccionamos un regulador Fisher Tipo No. 621 con las siguientes características:

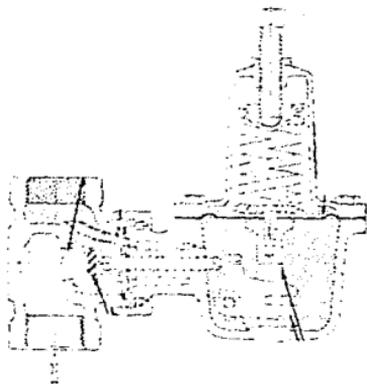
- Cuerpo de acero forjado
- Presión máxima de entrada 750 lb/pulg<sup>2</sup>
- Orificio de la válvula interior 3/8 de pulgada de acero inoxidable
- Extremos roscados de 25.4 mm (1 pulgada) diámetro nominal
- Resorte de 25 - 60 lb/pulg<sup>2</sup>

La Figura No. 8 ilustra gráficamente el regulador seleccionado.

REGULADOR FISHER TIPO 621



Regulador Fisher Tipo 621 cara frontal



Regulador Fisher tipo 621 corte transversal

Figura No. B

## MEDICION

El flujo de gas se puede medir por medio de diferentes métodos, se ha observado en la practica que muchos de los dispositivos para la medición tienen aplicaciones específicas como investigación o laboratorios.

A continuación se verán aquellos que comercialmente son los más utilizados.

### MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Están basados en la medición directa, mediante recipientes calibrados y usados para bajas capacidades. La exactitud de estos medidores es bastante alta, el rango de error se encuentra generalmente entre el 0.1 y el 1 %.

La medición de gas natural en consumos pequeños como es en el uso doméstico, se efectúa por medio de medidores de desplazamiento positivo. Se le llama medición "positiva", debido a que los aparatos proporcionan directamente un volumen "positivo", en m<sup>3</sup> o pies<sup>3</sup>, bajo determinadas condiciones de flujo, sin considerar temperatura, densidad específica del gas o presión de flujo.

Estos medidores de flujo tienen tres elementos básicos que son:

- a) Elemento primario o de medición: que es un recipiente de volumen conocido a través del cual fluye la cantidad de gas a medir.
- b) Elemento secundario: que consiste en un contador graduado para registrar la cantidad total de gas que ha pasado por el elemento primario.
- c) Elemento terciario: Esta básicamente formado por un conjunto de válvulas, mediante las cuales se obliga al gas a fluir a través del elemento primario.

Podemos considerar los siguientes tipos de medidores de desplazamiento positivo:

- a) Medidores de diafragma
- b) Medidores de lóbulo
- c) Medidores de claro

Medidores de diafragma: Son de alta exactitud y requieren un mínimo de mantenimiento. En la medición del gas en

consumo doméstico son los medidores más utilizados. Estos operan desviando alternativamente el flujo de gas de un lado a otro de un diafragma flexible. La acción de este medidor es muy parecida a la de un motor de dos cilindros con manivelas a 90 grados, por tal motivo tiene la ventaja de no poderse detener en un punto muerto del cual no pudiera volverse a arrancar. La calibración de estos medidores se hace con altos y bajos gastos ajustando, simultáneamente, la carrera y la distribución angular de un giro de la manivela.

El elemento primario o de medición en los aparatos de este tipo, es el diafragma y consiste esencialmente en un elemento no flexible (el disco) y una parte flexible (la tela recubierta de hule sintético para permitir el movimiento necesario para el desplazamiento del gas.

Para la obtención de la capacidad máxima a diferentes presiones de entrada, se multiplica la capacidad de un medidor a condiciones atmosféricas por el siguiente factor:

$$\frac{P1 + 1.0}{1.033}$$

Donde:

- P1 = Presión de entrada al medidor, kg/cm<sup>2</sup>
- 1.0 = Presión base expresado en Kg/cm<sup>2</sup>
- 1.033 = Presión atmosférica al nivel del mar expresada en Kg/cm<sup>2</sup>

En general, para la conversión de lecturas de un medidor de diferentes condiciones a las condiciones base, se emplea la siguiente fórmula:

$$Qs = Qd Pm Tm (Fpv)^2 Fpc$$

Donde:

- Qs = Cantidad de gas que fluye a la presión y temperatura base, m<sup>3</sup>
- Qd = Volumen de gas desplazado a las condiciones del medidor, m<sup>3</sup>
- Pm = Factor de presión  

$$= \frac{Pg + Pb}{Po}$$
- Pg = Presión manométrica promedio de entrada al medidor

- $P_b$  = Presión absoluta, 0.795 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $P_o$  = Presión absoluta base, 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $T_m$  = Factor de temperatura  

$$= \frac{T_o + 273}{T_f + 273}$$
 $T_o$  = Temperatura base, 20 grados C  
 $T_f$  = Temperatura de flujo promedio grados C  
 $F_{pv}$  = Factor de supercompresibilidad o de corrección por desviación de la ley de Boyle ( 1/2 )  
 $Z$  = Compresibilidad del gas a la presión de flujo  
 $F_{pc}$  = Factor de corrección por poder calorífico  

$$= \frac{\text{Poder calorífico superior del gas}}{8899}$$
8899 = Es el factor para transferir condiciones del calorímetro, 1.033 Kg/cm<sup>2</sup> y 15.6 grados C a las condiciones base de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> y 20 grados C

La fórmula anterior corrige el volumen desplazado del gas, a las condiciones base de presión y temperatura.

La Figura No. 9 muestra un medidor de desplazamiento positivo tipo diafragma; y la Figura No. 10 muestra un esquema de la operación del mismo.

MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO TIPO DIAFRAGMA

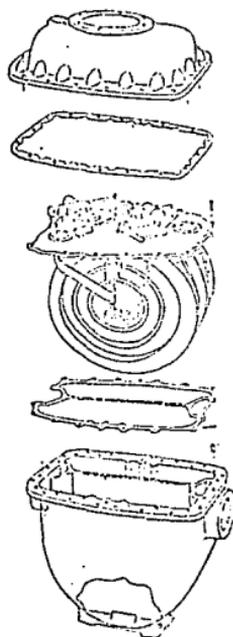


Figura No. 9

## FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR TIPO DIAFRAGMA

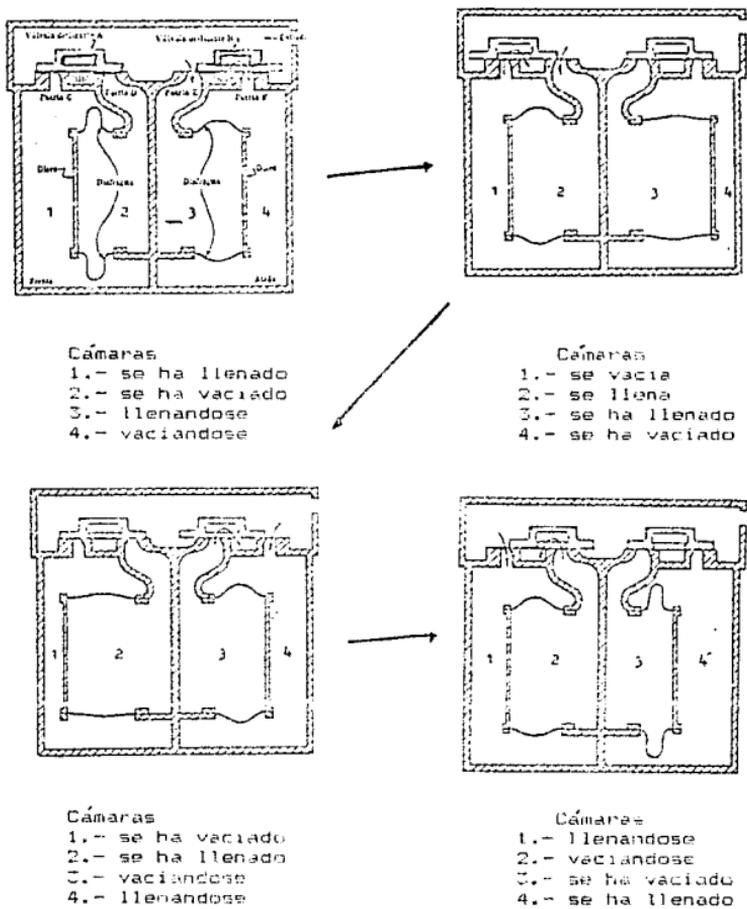


Figura No. 10

Medidores de Lóbulo: Un medidor de este tipo es el Routh, cuyo esquema aparece en la figura No. 11; su funcionamiento, como todos los medidores de desplazamiento, es similar al de una bomba de engranes, solo que en esta el fluido es movido por la bomba mientras que en el medidor, el agente guiador es el fluido. Los medidores de lóbulo tienen una capacidad desde 113 hasta 28,320 m<sup>3</sup>/hr y su máximo error de medición es de 1 %. Sin embargo su uso no es muy común pues su instalación y ajuste deben de ser muy precisos: los impulsores no se tocan uno a otro ni la carcasa hace contacto con ellos; los claros son extremadamente pequeños, variando desde 0.0076 cm. en los medidores más pequeños hasta 0.0038 cm. en los de mayor tamaño. Las cámaras de medición se encuentran en los espacios entre los lóbulos de los rotores; las flechas en el esquema ilustrativo muestran la dirección del flujo del gas, conforme el gas fluye dentro del cilindro medidor, este gira los impulsores. El impulsor de la derecha gira en el sentido de las manecillas del reloj y se muestra en una posición en donde está por atrapar un volumen predeterminado. El impulsor de la izquierda, gira en sentido contrario y está descargando una cantidad de volumen igual a la anterior, hacia la línea de salida.

MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO TIPO LOBULO

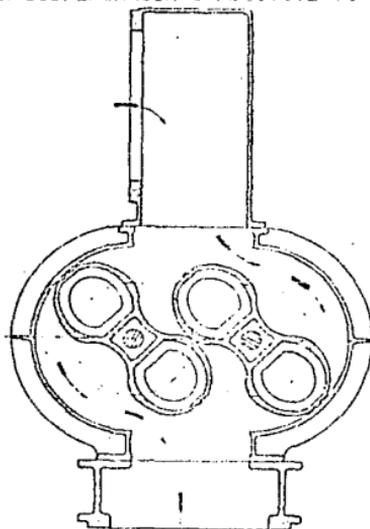


Figura No. 11

Medidores de Claro: La Rockwell fabrica un medidor de desplazamiento positivo de este tipo, este es el medidor Roto-Seal, cuyo esquema se muestra en la Figura No. 12. Su capacidad máxima es de 28,000 pies<sup>3</sup>/hr (793 m<sup>3</sup>/hr) a una presión de operación máxima de 125 lb/pulg<sup>2</sup> (8.8 kg/cm<sup>2</sup>) y un máximo error permitido de 1.0 %. Tiene aplicación sin peligro de averfias en servicio duro y operación constante. El volumen de gas medido, igual que en los otros aparatos mencionados anteriormente, es volumen a condiciones de presión y temperatura de flujo, sin ser afectado por la gravedad específica del gas, para referir este volumen a las condiciones base se afectará por los factores correspondientes.

Este medidor es compacto, de peso ligero y su mantenimiento es reducido, por las características anteriores este medidor ha tenido bastante aceptación.

MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO TIPO CLARO

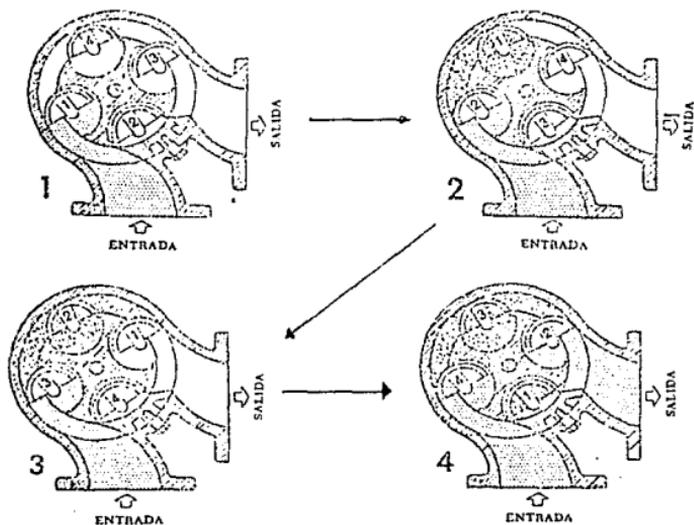


Figura No. 12

## MEDICION DE FLUIDOS A TRAVES DE UN ORIFICIO

El estudio sobre medición de fluidos se inició hace varios siglos, fue a principios del siglo XVII, Benedetto Castelli y Evangelista Torricelli investigaron las bases fundamentales de la medición, derivadas de las ecuaciones:

$$Q = v \cdot S$$

$$v = 2gh$$

Hasta el año de 1905, Thomas R. Weymouth de la Unidad Natural Gas Co., comenzó a experimentar utilizando orificios concéntricos con corte a 90 grados en relación con el plano de la placa, para medir grandes volúmenes de gas y utilizando al mismo tiempo un medidor de orificio con presión diferencial.

En su experimentación uso conexiones "Flange" (en bridas), hechas a una pulgada de distancia de las caras de la placa y desarrolló coeficientes empíricos correspondientes a distintos diámetros de tuberías y orificios.

Esta información se uso hasta 1935, en que la Asociación Americana de Gas (AGA) presentó el resultado de los trabajos que había venido elaborando durante algunos años.

**DISPOSITIVO PRIMARIO:** Se llama dispositivo primario aquel que se utiliza para producir una caída de presión a través del mismo y que puede ser de varios tipos, se consideran los tres siguientes como los más importantes:

- a) Tubo de Venturi
- b) Boquilla o Tobera de flujo
- c) Placa de Orificio

**Tubo de Venturi:** Este dispositivo por su forma tiene la particularidad de que origina en el fluido un aumento de velocidad en forma gradual, de manera que disminuye considerablemente la turbulencia en la entrada y en el lado de salida, el fluido vuelve a su velocidad inicial también con una turbulencia mínima. Por lo tanto, sus ventajas son las siguientes: mínima pérdida de presión permanente, o sea, debida a turbulencias del gas en la restricción y puede medir un gasto de 1.6 veces mayor que la placa de orificio; se utiliza cuando se requiere mayor exactitud en la medición de fluidos viscosos o con materia en suspensión, tiene como desventajas ser difícil de instalar, dando esto origen a un costo elevado de mantenimiento. La figura No. 13 ilustra gráficamente este tipo de tubo de medición.

## TUBO DE VENTURI

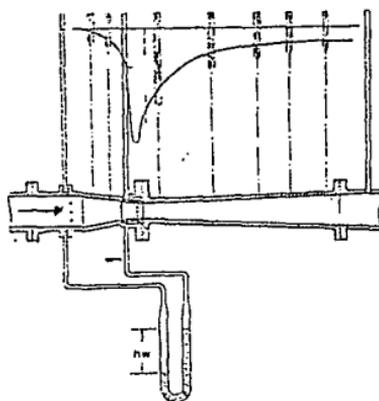
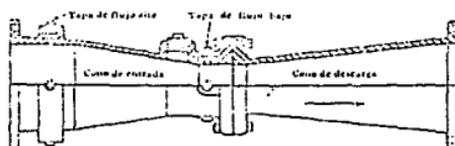


Figura No. 13

Boquilla o Tobera de flujo: Es igual que el tubo Venturi, unicamente sin el cono de salida, por lo que aumenta un poco la pérdida de presión permanente, pero en cambio, se obtiene mayor diferencial y permite el paso del mismo flujo que el tubo Venturi; se utiliza para la medición de fluidos con pequeñas cantidades de sólidos en suspensión. La Figura No. 14 ilustra gráficamente este tipo de tubo de medición.

#### TOBERA DE FLUJO

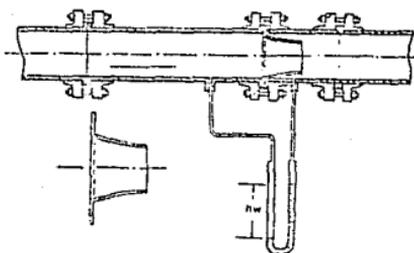
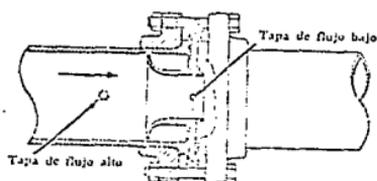


Figura No. 14

**Placa de Orificio:** Es una lámina delgada de metal resistente a la corrosión, de forma circular y con un orificio que puede ser circular concéntrico o excéntrico y también de forma segmental. Esta placa debe tener la resistencia necesaria para evitar deformaciones, por lo que debe tener un espesor determinado, dentro de estas especificaciones:

- e = 0 menor de 1/20 del diámetro de la tubería (D)
- e = 0 menor de 1/8 del diámetro del orificio (d)
- e = 0 mayor de (D-d)/8

En la práctica, hay placas de orificio que por condiciones de resistencia, tienen un espesor mayor que el especificado, por lo que el orificio se bisela en la parte excéntrica de espesor, bisel que debe tener un ángulo no menor de 45 grados con respecto al eje de la tubería. La Figura No. 15 muestra esto tres tipos de placa. Y la Figura No. 16 ilustra el comportamiento del flujo/presión al pasar por la placa.

#### TIPOS DE PLACA DE ORIFICIO

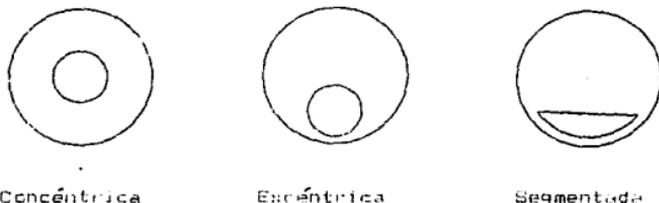


Figura No. 15

#### COMPORTAMIENTO FLUJO/PRESION ATRAVES DE LA PLACA DE ORIFICIO

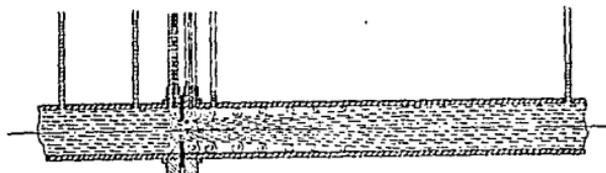


Figura No. 16

La placa de orificio, además, debe llenar las siguientes especificaciones, de acuerdo con la Asociación Americana de Gas (AGA):

- 1.- Taladro con una exactitud dentro de los límites de más o menos 0.05 %.
- 2.- El filo de la cara al flujo corriente arriba debe ser un ángulo recto. Cualquier redondeo en el filo no deberá exceder de 0.025 % del diámetro del orificio para asegurar exactitud en la medición.
- 3.- La cara corriente arriba debe ser pulida como comercialmente sea posible.
- 4.- La porción de la placa que se extiende dentro de la tubería deberá ser plana dentro de una tolerancia de 0.01 pulgadas por pulgada de radio.
- 5.- La placa de orificio debe centrarse en la tubería, de manera tal que la excentricidad del orificio de esta sea menor del 5% del diámetro de la tubería.
- 6.- El borde deberá estar libre de acumulaciones de materiales extraños.

Cuando se maneja un fluido que lleva partículas en suspensión, deberán utilizarse placas con orificio excéntrico o placas de orificio segmentado.

Para la instalación de una placa de orificio, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- 1.- Debe instalarse en un lugar de la línea donde el flujo sea uniforme.
- 2.- Debe ser normal al flujo.
- 3.- Debe tener un tramo mínimo de tubería recta antes y después de la placa.
- 4.- El orificio deberá ser el más pequeño que permita la medición, para tener una diferencial tan alta como sea posible.

Instalación de la placa de orificio: La forma más simple de instalar una placa de orificio dentro del tubo de medición, es colocarla entre dos bridas y hacerle las conexiones necesarias para las tomas de alta presión (antes de la placa) y de baja presión (después de la placa). Estas tomas de presión las

podemos hacer de la manera siguiente:

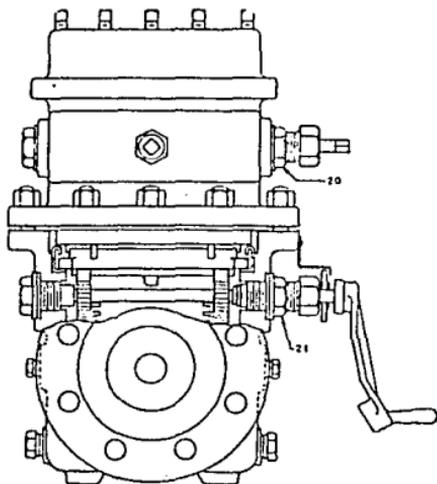
- a) Toma en bridas. Estas, como su nombre lo indica, se hacen en las bridas a 1 pulgada antes y después de la placa de orificio. Dichas conexiones vienen maquinadas en las bridas que se fabrican para este fin.
- b) Tomas en tubería: Se encuentran localizadas a 2 1/2 diámetro nominal de la tubería del lado de alta presión y 8 diámetro nominal de la tubería del lado de baja presión.
- c) Toma en vena contracta: Este tipo de conexión poco utilizado, se localiza a 1 pulgada del lado de alta presión y en la vena contracta del lado de baja presión. La distancia de la vena contracta es variable, dependiendo del diámetro del orificio, por lo que existen tablas para obtener con exactitud esta distancia.

Todas estas tomas de presión deben hacerse en las instalaciones, con un tubo de 1/4 de pulgada mínimo.

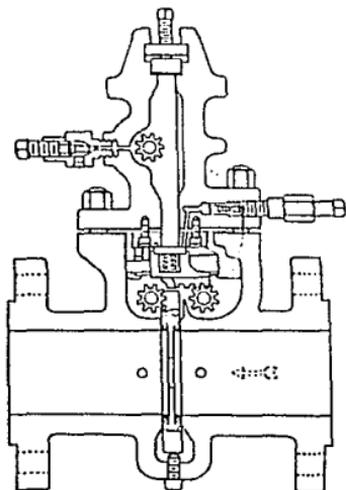
Tipos de bridas:

- 1.- Bridas roscadas: Se acoplan a la tubería por medio de roscas y la placa se coloca entre ellas con su respectivo empaque, atornillándose luego para evitar fugas. Se emplean en tuberías de diámetros pequeños.
- 2.- Bridas tipo anillo: Se emplean para altas presiones y están hechas de tal modo que se les puede colocar un anillo porta placa entre ellas.
- 3.- Bridas soldadas: Estas son poco usadas, ya que presentan dificultad en la colocación de la placa.
- 4.- Bridas portaplaca de orificio: Son las más usadas comercialmente, ya que constan de un mecanismo que permite cambiar la placa sin interrumpir el flujo.

Este tipo de portaplaca de orificio es el utilizado en la práctica de medición de gas, debido a la necesidad de cambiar placas de orificio según variaciones considerables en consumos de los usuarios. El mecanismo se ilustra en la Figura No. 17.



Portaplaca Daniel sección lateral



Portaplaca Daniel corte frontal

Figura No. 17

## TUBO DE MEDICION

El tubo de medición es el tramo de tubería recta donde se instala el portaplaca de orificio que contiene la placa de orificio y comprende la sección flujo arriba, desde la placa del orificio hasta la primera obstrucción (codo, válvula de seccionamiento, etc.) y sección flujo abajo igualmente hasta la obstrucción mas cercana.

Este tubo de medición lleva un rectificador de flujo que absorbe la turbulencia y provoca un flujo laminar y paralelo a las paredes del tubo, requisito indispensable para medir correctamente el flujo de gas. Este rectificador de flujo consta de una serie de tubos no mayores de 1/16 del área de la tubería, colocados paralelamente en el interior del tubo de medición, debiendo haber un mínimo de cuatro tubos de la longitud de 10 veces el diámetro de ellos mismos.

Los requisitos que debe llenar un tubo de medición son los siguientes:

- a) Superficie interior lo mas lisa que comercialmente sea posible.
- b) No contener costuras de soldadura y de ser necesaria ésta, hacerla con procedimientos especiales para evitar bordes interiores.
- c) A 1 pulgada de la placa de orificio el diámetro de este tubo, debe coincidir midiendolo en tres posiciones diferentes.
- d) Las longitudes corriente arriba y corriente abajo deben someterse a las especificaciones que muestran las Figuras No. 18, 19, 20 y 21.

Dichas figuras muestran diferentes tipos de tubos de medición. La Figura No. 18 muestra el caso de codos en los extremos del tubo de medición y las longitudes mínimas dadas por medio de una gráfica que esta en función de la relación de diámetros (B) y de longitudes expresadas en diámetros de tubería. La Figura No. 19 muestra el mismo caso, pero utilizando rectificador de flujo y vemos que disminuye considerablemente la longitud corriente arriba del flujo. En la Figura No. 20 se presenta el caso cuando hay cambio de sección en la tubería con y sin rectificador de flujo. El caso mas frecuente, con válvulas de seccionamiento o de regulación en los extremos del tubo, con y sin rectificador de flujo se muestra en la Figura No. 21.

TUBO DE MEDICION CON CODOS EN LOS EXTREMOS

Longitudes mínimas requeridas expresadas en  
Diámetros nominales del tubo

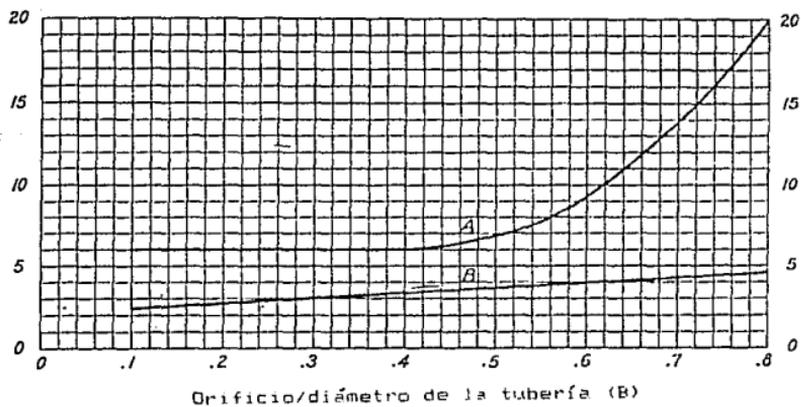
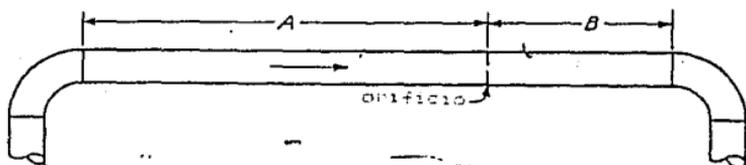


Figura No. 18

TUBO DE MEDICION CON CODOS EN LOS EXTREMOS  
Y RECTIFICADOR DE FLUJO

Longitudes mínimas requeridas expresadas en  
Diámetros nominales del tubo

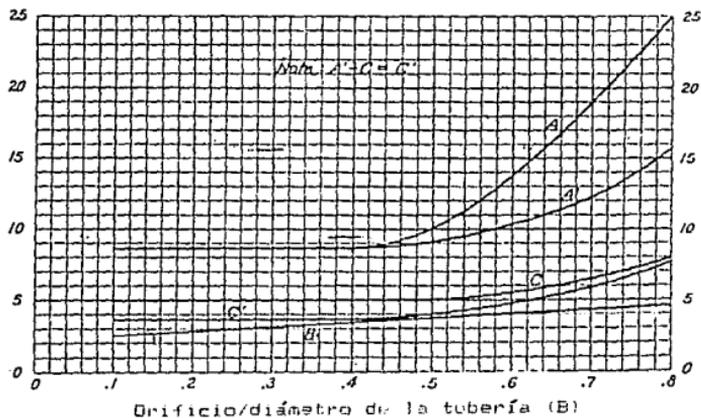
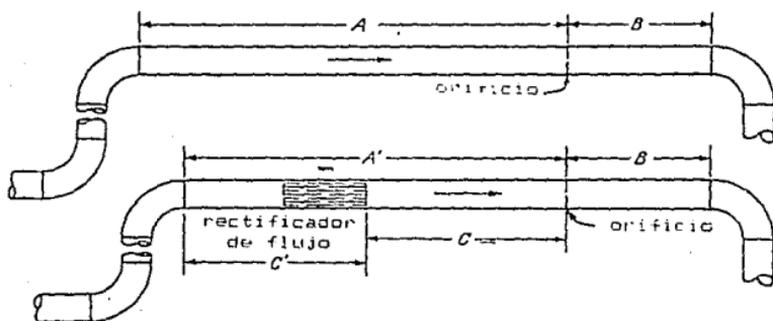
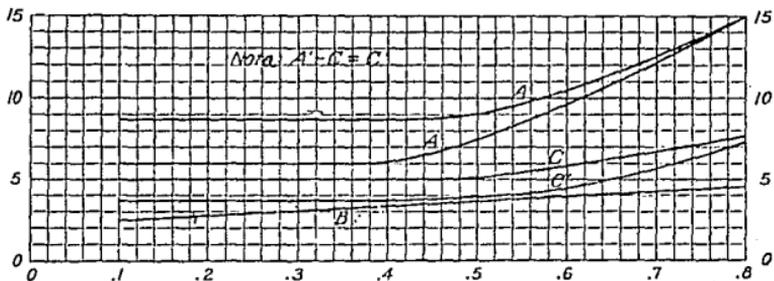
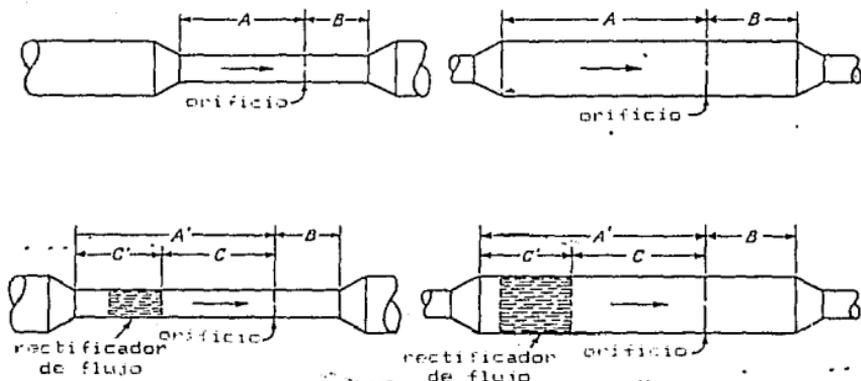


Figura No. 19

TUBO DE MEDICION CON CAMBIO DE SECCION EN LA TUBERIA

Longitudes mínimas requeridas expresadas en  
Diámetros nominales del tubo



Orificio/diámetro de la tubería (B)

Figura No. 20

TIPO DE MEDICION CON VALVULAS DE SECCIONAMIENTO EN LOS EXTREMOS

Longitudes mínimas requeridas expresadas en Diámetros nominales del tubo

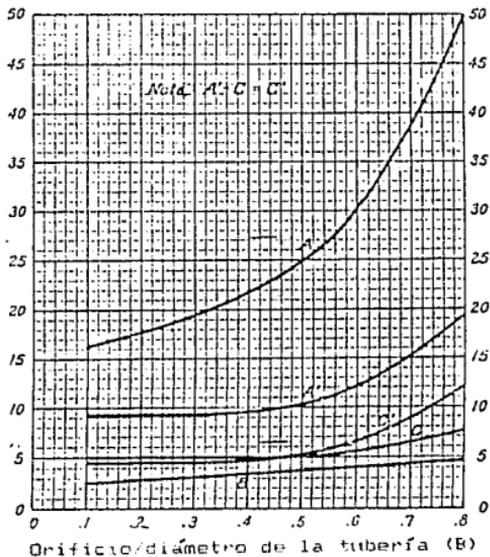
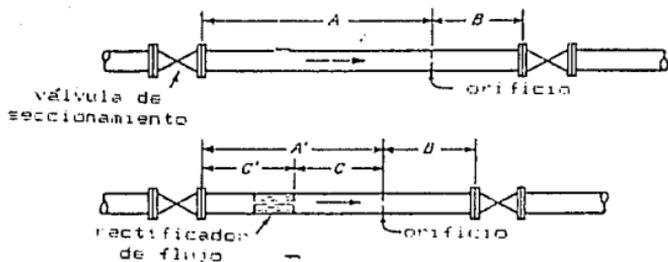


Figura No. 21

Veremos a continuación como se comportan las presiones antes y después de un orificio.

En la Figura No. 22, el flujo tiene el sentido marcado por la flecha y la vena de gas se contrae antes de pasar por el orificio y a la salida vuelve a tomar paulatinamente la forma primitiva.

Al pasar el gas por el orificio aumenta su velocidad y este aumento de velocidad se logra a expensas de la energía de presión, por lo que las presiones antes y después de la placa son las que se muestran como ordenadas o bien las que aparecen en un tubo "U" lleno de mercurio.

Esta diferencia de presiones se conoce como "presión diferencial", y es la presión que se utiliza en el medidor de orificio para medir el flujo que circula a través de la placa.

#### VENA CONTRACTA DEL FLUJO A TRAVÉS DEL ORIFICIO

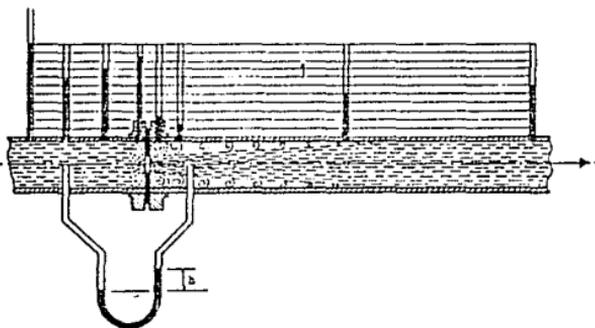


Figura No. 22

**ECUACION GENERAL PARA EL CALCULO DE FLUJO  
DE GAS EN MEDIDORES DE ORIFICIO**

Quando se miden gases a través de un medidor de orificio se recomienda el uso de la fórmula siguiente, tomada del Reporte No. 3 de la Asociación Americana de Gas (AGA).

$$Q_h = C' \sqrt{hw P_f}$$

En la cual:

$Q_h$  = Cantidad de flujo a condiciones base (presión 14.73 psia y temperatura de 60 grados F) en pies<sup>3</sup>/hr.

$C'$  = Constante del orificio.

$hw$  = Diferencial de presión en pulgadas de agua.

$P_f$  = Presión estática absoluta en lb/pulg<sup>2</sup>.

La constante del flujo del orificio  $C'$  puede definirse como la cantidad medida en pies cúbicos por hora en condiciones base, cuando la diferencial de presión es de una pulgada de agua, y la presión estática es de una libra por pulgada cuadrada absoluta, o sea, cuando:

$$\sqrt{hw P_f} = 1$$

La constante del orificio  $C'$  puede encontrarse experimentalmente para cada condición dada de temperatura y presión de flujo, diámetro del orificio, diámetro del tubo de medición, densidad del gas, etc. Pero generalmente se calcula utilizando la siguiente ecuación, dada para las condiciones base antes citadas y para medidores con tomas en bridas.

$$C' = F_b \times F_r \times Y \times F_{pb} \times F_{tb} \times F_{tf} \times F_g \times F_{pv} \times F_m$$

Donde:

$F_b$  = Factor básico del orificio.

$F_r$  = Factor del número de Reynolds.

$Y$  = Factor de expansión.

$F_{pb}$  = Factor de presión base.

$F_{tb}$  = Factor de temperatura base.

F<sub>tf</sub> = Factor de temperatura de flujo.

F<sub>g</sub> = Factor de densidad.

F<sub>pv</sub> = Factor de supercompresibilidad.

F<sub>m</sub> = Factor de manómetro.

Los valores de todos estos factores se obtienen de las tablas o con las formulas indicadas a continuacion:

Factor básico de orificio: Se toma directamente de la Tabla No. 1 que aparece en las páginas 68 y 69, para los tamaños correctos de tubería y orificio.

Factor del numero de Reynolds, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Fr = 1 + \frac{b}{\sqrt{hw} Pf}$$

Los valores de "b" para diferentes orificios y diámetros se dan en la Tabla No. 2 de las páginas 70 y 71. El valor de  $\sqrt{hw} Pf$  (extensión) usado en cálculo de Fr puede basarse en el registro del medidor, o estimado, conociendo la presión estática media y la diferencial media a las que vaya a operar el medidor.

Factor de expansión: Cuando un gas fluye por un orificio, el cambio de velocidad y presión trae consigo un cambio en el peso específico y hay que aplicar un factor al coeficiente para compensarlo. Este factor se conoce como factor de expansión "Y", sus valores pueden obtenerse de las Tablas No. 3, 4 y 5 que aparecen en las páginas 72, 73 y 74. Aquí la relación  $hw/Pf$  es un índice con el cual se selecciona el valor de Y, y puede sacarse del registro del medidor o estimarse con el promedio de la presión estática y la diferencial a la cual vaya a trabajar el medidor.

Factor de presión básica: Se aplica al cambio de 14.73 psia y se calcula dividiendo 14.73 por la presión básica deseada (de contrato). El uso de este factor se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{pb} = \frac{14.73}{P_b}$$

Factor de temperatura básica: se aplica si la

temperatura base no es de 60 grados F. y se calcula dividiendo la temperatura base requerida expresada en grados Fahrenheit absolutos entre 520 grados, o sea, aplicando la siguiente fórmula:

$$F_{tb} = \frac{T_b}{520}$$

Factor de temperatura de flujo: Este factor se aplica para pasar de una temperatura de flujo supuesta de 60 grados F. a una temperatura media  $T_f$ , se determina dividiendo 520 grados F. absolutos y tomando la raíz cuadrada del resultado o sea aplicando la siguiente fórmula:

$$F_{tf} = \sqrt{\frac{520}{T_f}}$$

Factor de densidad: Se aplica para pasar de una densidad de 1.00 a la densidad real del gas en cuestión y se obtiene tomando la raíz cuadrada de 1 dividido por la densidad del gas:

$$F_s = \sqrt{\frac{1}{G}}$$

donde:

$G$  = densidad del gas (aire = 1.00)

Factor de supercompresibilidad: La Ley de Boyle para los gases, establece que su peso específico es directamente proporcional a la presión absoluta si la temperatura es constante. Todos los gases se desvían de la ley mas o menos y dentro del rango de condiciones que ordinariamente se encuentran en la industria del gas natural se ha visto que el peso específico a altas presiones es superior al teórico. A esta desviación se le conoce con el nombre de "supercompresibilidad" del gas. Sus valores para diferentes condiciones de presión de flujo y temperatura de flujo estan dados en la Tabla No. 6 de las paginas 75, 76 y 77.

Factor de manómetro: Este factor sirve para corregir el error de la indicación de diferencial en los manómetros de tipo de columna de mercurio causada por el peso del gas sobre la columna de mercurio. El factor que se debe usar para una condición dada, es una función de los pesos específicos del gas y del mercurio en el medidor. Para obtener el peso específico de

estos dos componentes. se usará la temperatura ambiente (tomada cerca del medidor), la presión estática y la densidad del gas. Y se aplicará la siguiente fórmula:

$$F_m = \sqrt{\frac{Y_m - Y}{Y_m}} = \sqrt{1 - \frac{Y}{Y_m}}$$

Donde:

- Y = Peso específico del gas que desplaza al mercurio a la temperatura ambiente y presión estática en el medidor.
- Y<sub>m</sub> = Peso específico del mercurio a la temperatura ambiente.

A continuación se muestran algunas de las tablas que se mencionaron anteriormente, tomadas directamente del reporte No. 3 del A.S.A. A partir de dichas tablas y conociendo las condiciones de operación del tubo de medición se pueden obtener los factores para el cálculo correcto del flujo a través de la placa de orificio.

Las tablas están calculadas con las condiciones base que se indican a continuación:

- Temperatura base: 60 grados F.
- Presión base: 14.73 lbs/pulg<sup>2</sup> absoluta.
- Gravedad específica: 0.600 (aire = 1.000).

Tabla No. 1

FACTORES BASICOS DE ORIFICIO EN

Diámetro nominal y comercial en pulgadas

| Diámetro del orificio en pulgadas | 2      |        |        | 3      |        |        | 4      |        |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                   | 1.689  | 1.939  | 2.067  | 2.309  | 2.626  | 2.799  | 3.569  | 4.182  |
| .250                              | 12.695 | 12.707 | 12.711 | 12.714 | 12.710 | 12.702 | 12.705 | 12.703 |
| .375                              | 28.474 | 28.439 | 28.420 | 28.411 | 28.393 | 28.382 | 28.375 | 28.373 |
| .500                              | 50.777 | 50.507 | 50.521 | 50.435 | 50.356 | 50.313 | 50.292 | 50.289 |
| .625                              | 80.090 | 79.509 | 79.311 | 79.052 | 78.818 | 78.636 | 78.505 | 78.500 |
| .750                              | 117.09 | 115.62 | 115.34 | 114.92 | 114.59 | 114.29 | 113.96 | 113.92 |
| .875                              | 162.95 | 159.56 | 158.47 | 157.12 | 156.00 | 155.41 | 155.14 | 155.03 |
| 1.000                             | 219.77 | 212.47 | 210.22 | 207.44 | 205.18 | 203.94 | 203.56 | 203.33 |
| 1.125                             | 290.99 | 276.20 | 271.70 | 266.39 | 262.26 | 259.35 | 257.60 | 257.63 |
| 1.250                             | 385.70 | 373.58 | 365.13 | 355.12 | 347.39 | 343.63 | 342.03 | 341.37 |
| 1.375                             |        | 448.57 | 433.50 | 415.75 | 402.15 | 395.20 | 393.05 | 391.27 |
| 1.500                             |        |        | 492.26 | 510.05 | 487.98 | 477.15 | 475.01 | 473.14 |
| 1.625                             |        |        |        | 603.91 | 580.82 | 569.65 | 562.50 | 559.72 |
| 1.750                             |        |        |        |        | 701.27 | 674.44 | 653.42 | 648.95 |
| 1.875                             |        |        |        |        |        | 793.28 | 777.16 | 776.44 |
| 2.000                             |        |        |        |        |        | 893.45 | 876.01 | 875.06 |
| 2.125                             |        |        |        |        |        | 1001.2 | 1000.5 | 1000.1 |
| 2.250                             |        |        |        |        |        | 1223.2 | 1223.2 | 1199.9 |
| 2.375                             |        |        |        |        |        |        |        | 1147.7 |
| 2.500                             |        |        |        |        |        |        |        | 1311.7 |
|                                   |        |        |        |        |        |        |        | 1408.4 |

| Diámetro del orificio en pulgadas | 4      |        |        | 6      |        |        | 8      |        |        |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                   | 3.826  | 4.026  | 4.897  | 5.189  | 5.751  | 6.005  | 7.625  | 7.961  | 8.071  |
| .250                              | 12.687 | 12.683 |        |        |        |        |        |        |        |
| .375                              | 28.353 | 28.348 |        |        |        |        |        |        |        |
| .500                              | 50.234 | 50.224 | 50.197 | 50.131 | 50.122 | 50.120 |        |        |        |
| .625                              | 78.450 | 78.421 | 78.338 | 78.321 | 78.206 | 78.287 |        |        |        |
| .750                              | 113.15 | 113.08 | 112.87 | 112.82 | 112.75 | 112.72 |        |        |        |
| .875                              | 154.40 | 154.27 | 153.88 | 153.78 | 153.63 | 153.56 | 153.31 | 153.31 | 153.31 |
| 1.000                             | 202.20 | 201.99 | 201.34 | 201.19 | 200.96 | 200.85 | 200.46 | 200.46 | 200.46 |
| 1.125                             | 256.69 | 256.33 | 255.31 | 255.05 | 254.72 | 254.66 | 253.39 | 253.05 | 253.05 |
| 1.250                             | 318.03 | 317.45 | 315.03 | 314.88 | 314.95 | 314.72 | 313.91 | 313.78 | 313.78 |
| 1.375                             | 386.46 | 385.51 | 382.99 | 382.47 | 381.70 | 381.57 | 380.29 | 380.09 | 380.09 |
| 1.500                             | 462.27 | 460.79 | 456.93 | 456.16 | 455.03 | 454.57 | 453.00 | 452.78 | 452.78 |
| 1.625                             | 545.89 | 543.61 | 537.77 | 536.64 | 535.03 | 534.36 | 532.27 | 531.95 | 531.87 |
| 1.750                             | 637.64 | 634.39 | 625.73 | 624.09 | 621.79 | 620.88 | 618.02 | 617.60 | 617.50 |
| 1.875                             | 738.75 | 733.60 | 721.03 | 718.69 | 715.44 | 714.14 | 710.32 | 709.77 | 709.64 |
| 2.000                             | 849.41 | 842.12 | 823.99 | 820.64 | 816.14 | 813.11 | 809.22 | 808.62 | 808.35 |
| 2.125                             | 970.95 | 960.48 | 934.97 | 930.35 | 924.07 | 921.71 | 914.75 | 913.85 | 913.64 |
| 2.250                             | 1104.7 | 1089.9 | 1054.4 | 1048.1 | 1039.5 | 1036.3 | 1027.1 | 1026.6 | 1026.6 |
| 2.375                             | 1252.1 | 1231.7 | 1182.9 | 1174.2 | 1162.6 | 1155.5 | 1145.2 | 1144.7 | 1144.3 |
| 2.500                             | 1415.0 | 1387.2 | 1320.9 | 1309.3 | 1293.6 | 1288.2 | 1272.4 | 1270.3 | 1269.9 |
| 2.625                             | 1595.6 | 1558.2 | 1469.2 | 1453.9 | 1433.5 | 1426.0 | 1405.4 | 1402.9 | 1402.3 |
| 2.750                             | 1797.1 | 1746.7 | 1628.9 | 1608.7 | 1582.1 | 1572.3 | 1545.7 | 1542.5 | 1541.8 |
| 2.875                             |        | 1955.5 | 1801.0 | 1774.5 | 1740.0 | 1727.5 | 1693.4 | 1689.3 | 1688.4 |
| 3.000                             |        | 2194.9 | 1986.6 | 1952.4 | 1927.2 | 1891.2 | 1848.6 | 1843.5 | 1842.3 |
| 3.125                             |        |        | 2187.2 | 2143.4 | 2085.4 | 2066.1 | 2011.6 | 2005.2 | 2003.0 |
| 3.250                             |        |        | 2404.2 | 2348.8 | 2276.5 | 2250.8 | 2182.6 | 2174.6 | 2172.9 |
| 3.375                             |        |        | 2639.5 | 2569.8 | 2479.1 | 2446.8 | 2361.8 | 2352.0 | 2349.9 |
| 3.500                             |        |        | 2895.5 | 2808.1 | 2695.1 | 2649.6 | 2549.7 | 2537.7 | 2535.0 |
| 3.625                             |        |        | 3180.8 | 3085.3 | 2925.7 | 2876.5 | 2746.5 | 2731.8 | 2728.6 |
| 3.750                             |        |        |        | 3345.5 | 3172.1 | 3111.2 | 2959.6 | 2943.8 | 2939.8 |
| 3.875                             |        |        |        | 3657.7 | 3435.7 | 3361.5 | 3169.3 | 3146.0 | 3142.1 |
| 4.000                             |        |        |        |        | 3715.2 | 3625.2 | 3394.1 | 3368.5 | 3352.5 |
| 4.250                             |        |        |        |        | 4354.8 | 4211.5 | 3874.3 | 3842.3 | 3834.2 |
| 4.500                             |        |        |        |        |        | 4420.5 | 4012.8 | 4060.5 | 4049.0 |
| 4.750                             |        |        |        |        |        |        | 5000.7 | 4928.1 | 4912.2 |
| 5.000                             |        |        |        |        |        |        | 5670.0 | 5551.1 | 5523.5 |
| 5.250                             |        |        |        |        |        |        | 6399.3 | 6230.4 | 6207.3 |
| 5.500                             |        |        |        |        |        |        | 7170.9 | 6992.0 | 6953.6 |
| 5.750                             |        |        |        |        |        |        |        | 7830.0 | 7777.6 |
| 6.000                             |        |        |        |        |        |        |        |        | 8766.9 |

Tabla No. 1 (cont.)

FACTORES BASICOS DE ORIFICIO F<sub>0</sub>

Diámetro nominal y comercial en pulgadas

| Diámetro del orificio en pulgadas | 10      |         |         | 12      |         |         | 16      |         |         |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                   | 9.564   | 10.023  | 10.136  | 11.376  | 11.932  | 12.090  | 14.628  | 15.000  | 15.250  |
| 1.000                             | 200.20  |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 1.125                             | 253.55  |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 1.250                             | 313.11  | 313.20  | 313.10  | 312.04  | 312.05  | 312.53  |         |         |         |
| 1.375                             | 379.44  | 379.29  | 379.26  | 378.04  | 378.82  | 378.79  |         |         |         |
| 1.500                             | 451.95  | 451.76  | 451.72  | 451.30  | 451.14  | 451.10  | 450.53  | 450.48  |         |
| 1.625                             | 530.87  | 530.63  | 530.57  | 530.04  | 529.03  | 529.78  | 529.06  | 528.99  | 528.94  |
| 1.750                             | 616.21  | 615.90  | 615.83  | 615.16  | 614.90  | 614.04  | 613.94  | 613.05  | 613.78  |
| 1.875                             | 707.99  | 707.61  | 707.51  | 706.60  | 706.16  | 705.28  | 705.18  | 705.07  | 704.79  |
| 2.000                             | 806.23  | 805.76  | 805.65  | 804.61  | 804.24  | 804.14  | 803.78  | 803.65  | 803.55  |
| 2.125                             | 910.97  | 910.50  | 910.24  | 908.98  | 908.51  | 908.39  | 907.77  | 907.61  | 907.49  |
| 2.250                             | 1022.2  | 1021.5  | 1021.3  | 1019.8  | 1019.2  | 1019.1  | 1017.1  | 1017.0  | 1016.8  |
| 2.375                             | 1140.1  | 1139.2  | 1139.0  | 1137.1  | 1136.4  | 1136.2  | 1133.9  | 1133.7  | 1133.5  |
| 2.500                             | 1264.5  | 1264.4  | 1264.0  | 1260.0  | 1260.0  | 1259.8  | 1257.1  | 1256.6  | 1256.6  |
| 2.625                             | 1395.6  | 1394.2  | 1393.9  | 1391.1  | 1390.1  | 1389.9  | 1386.7  | 1386.4  | 1386.1  |
| 2.750                             | 1533.4  | 1531.7  | 1531.3  | 1528.0  | 1526.5  | 1526.5  | 1522.7  | 1522.4  | 1522.1  |
| 2.875                             | 1678.0  | 1675.9  | 1675.4  | 1671.4  | 1670.2  | 1669.6  | 1665.2  | 1664.6  | 1664.5  |
| 3.000                             | 1829.4  | 1826.5  | 1826.1  | 1821.4  | 1819.7  | 1819.3  | 1814.1  | 1813.7  | 1813.3  |
| 3.125                             | 1987.8  | 1984.7  | 1984.0  | 1978.1  | 1975.1  | 1975.5  | 1969.6  | 1969.0  | 1968.6  |
| 3.250                             | 2153.2  | 2149.5  | 2149.0  | 2141.5  | 2137.2  | 2137.6  | 2131.5  | 2130.9  | 2130.4  |
| 3.375                             | 2325.7  | 2321.2  | 2320.2  | 2311.7  | 2306.9  | 2307.2  | 2299.9  | 2299.2  | 2298.7  |
| 3.500                             | 2505.6  | 2500.1  | 2498.9  | 2488.7  | 2482.4  | 2484.6  | 2474.9  | 2474.1  | 2473.4  |
| 3.625                             | 2692.3  | 2686.2  | 2684.7  | 2672.6  | 2666.7  | 2667.7  | 2656.4  | 2655.5  | 2654.8  |
| 3.750                             | 2887.6  | 2879.7  | 2877.9  | 2863.5  | 2856.9  | 2857.7  | 2844.6  | 2843.5  | 2842.7  |
| 3.875                             | 3090.1  | 3080.7  | 3078.5  | 3061.4  | 3053.5  | 3054.6  | 3039.4  | 3038.1  | 3037.2  |
| 4.000                             | 3300.6  | 3290.1  | 3286.8  | 3266.4  | 3256.0  | 3256.5  | 3238.6  | 3236.4  | 3235.3  |
| 4.125                             | 3518.6  | 3507.2  | 3502.7  | 3478.4  | 3466.6  | 3467.5  | 3446.5  | 3443.9  | 3442.5  |
| 4.250                             | 3744.2  | 3731.2  | 3725.7  | 3698.4  | 3685.2  | 3686.0  | 3661.5  | 3658.9  | 3657.5  |
| 4.375                             | 3977.6  | 3962.4  | 3955.7  | 3918.4  | 3903.6  | 3904.5  | 3876.5  | 3873.9  | 3872.5  |
| 4.500                             | 4219.2  | 4202.1  | 4194.2  | 4148.4  | 4132.4  | 4133.2  | 4099.9  | 4097.3  | 4095.9  |
| 4.625                             | 4469.6  | 4450.7  | 4441.6  | 4386.4  | 4368.6  | 4369.4  | 4332.4  | 4329.8  | 4328.4  |
| 4.750                             | 4729.2  | 4708.1  | 4697.2  | 4632.4  | 4613.2  | 4614.0  | 4572.4  | 4569.8  | 4568.4  |
| 4.875                             | 4998.6  | 4975.5  | 4963.6  | 4888.4  | 4867.2  | 4868.0  | 4821.4  | 4818.8  | 4817.4  |
| 5.000                             | 5278.6  | 5253.5  | 5240.6  | 5152.4  | 5129.2  | 5130.0  | 5078.4  | 5075.8  | 5074.4  |
| 5.125                             | 5569.4  | 5541.6  | 5527.6  | 5428.4  | 5403.2  | 5404.0  | 5347.4  | 5344.8  | 5343.4  |
| 5.250                             | 5871.1  | 5840.9  | 5825.9  | 5716.4  | 5689.2  | 5690.0  | 5628.4  | 5625.8  | 5624.4  |
| 5.375                             | 6184.0  | 6151.9  | 6135.9  | 6016.4  | 5987.2  | 5988.0  | 5921.4  | 5918.8  | 5917.4  |
| 5.500                             | 6508.6  | 6474.5  | 6457.5  | 6328.4  | 6297.2  | 6298.0  | 6226.4  | 6223.8  | 6222.4  |
| 5.625                             | 6845.4  | 6809.3  | 6791.3  | 6652.4  | 6619.2  | 6620.0  | 6544.4  | 6541.8  | 6540.4  |
| 5.750                             | 7194.2  | 7156.1  | 7137.1  | 7000.4  | 6965.2  | 6966.0  | 6885.4  | 6882.8  | 6881.4  |
| 5.875                             | 7555.6  | 7515.5  | 7495.5  | 7360.4  | 7323.2  | 7324.0  | 7238.4  | 7235.8  | 7234.4  |
| 6.000                             | 7929.6  | 7877.5  | 7856.5  | 7724.4  | 7685.2  | 7686.0  | 7595.4  | 7592.8  | 7591.4  |
| 6.125                             | 8316.4  | 8262.3  | 8240.3  | 8112.4  | 8071.2  | 8072.0  | 7976.4  | 7973.8  | 7972.4  |
| 6.250                             | 8716.2  | 8660.1  | 8637.1  | 8512.4  | 8469.2  | 8470.0  | 8369.4  | 8366.8  | 8365.4  |
| 6.375                             | 9129.6  | 9071.5  | 9047.5  | 8928.4  | 8883.2  | 8884.0  | 8778.4  | 8775.8  | 8774.4  |
| 6.500                             | 9556.4  | 9496.3  | 9471.3  | 9364.4  | 9317.2  | 9318.0  | 9207.4  | 9204.8  | 9203.4  |
| 6.625                             | 10000.0 | 9938.9  | 9912.9  | 9812.4  | 9763.2  | 9764.0  | 9648.4  | 9645.8  | 9644.4  |
| 6.750                             | 10462.4 | 10399.9 | 10372.9 | 10284.4 | 10232.2 | 10233.0 | 10112.4 | 10109.8 | 10108.4 |
| 6.875                             | 10944.6 | 10880.5 | 10852.5 | 10776.4 | 10721.2 | 10722.0 | 10596.4 | 10593.8 | 10592.4 |
| 7.000                             | 11447.2 | 11381.1 | 11352.1 | 11288.4 | 11230.2 | 11231.0 | 11099.4 | 11096.8 | 11095.4 |
| 7.125                             | 11970.6 | 11902.5 | 11872.5 | 11820.4 | 11759.2 | 11760.0 | 11624.4 | 11621.8 | 11620.4 |
| 7.250                             | 12515.2 | 12445.1 | 12414.1 | 12372.4 | 12308.2 | 12309.0 | 12168.4 | 12165.8 | 12164.4 |
| 7.375                             | 13081.6 | 13009.5 | 12977.5 | 12948.4 | 12882.2 | 12883.0 | 12737.4 | 12734.8 | 12733.4 |
| 7.500                             | 13660.0 | 13585.9 | 13552.9 | 13528.4 | 13460.2 | 13461.0 | 13310.4 | 13307.8 | 13306.4 |
| 7.625                             | 14260.4 | 14183.3 | 14149.3 | 14132.4 | 14062.2 | 14063.0 | 13907.4 | 13904.8 | 13903.4 |
| 7.750                             | 14882.8 | 14802.7 | 14767.7 | 14760.4 | 14688.2 | 14689.0 | 14528.4 | 14525.8 | 14524.4 |
| 7.875                             | 15527.2 | 15444.1 | 15408.1 | 15412.4 | 15338.2 | 15339.0 | 15172.4 | 15169.8 | 15168.4 |
| 8.000                             | 16193.6 | 16107.5 | 16070.5 | 16084.4 | 16007.2 | 16008.0 | 15836.4 | 15833.8 | 15832.4 |
| 8.125                             | 16882.0 | 16792.9 | 16754.9 | 16776.4 | 16697.2 | 16698.0 | 16521.4 | 16518.8 | 16517.4 |
| 8.250                             | 17592.4 | 17499.3 | 17460.3 | 17492.4 | 17411.2 | 17412.0 | 17230.4 | 17227.8 | 17226.4 |
| 8.375                             | 18324.8 | 18228.7 | 18188.7 | 18232.4 | 18149.2 | 18150.0 | 17968.4 | 17965.8 | 17964.4 |
| 8.500                             | 19079.2 | 18979.1 | 18938.1 | 18992.4 | 18907.2 | 18908.0 | 18731.4 | 18728.8 | 18727.4 |
| 8.625                             | 19855.6 | 19751.5 | 19709.5 | 19776.4 | 19689.2 | 19690.0 | 19508.4 | 19505.8 | 19504.4 |
| 8.750                             | 20654.0 | 20545.9 | 20502.9 | 20580.4 | 20491.2 | 20492.0 | 20306.4 | 20303.8 | 20302.4 |
| 8.875                             | 21474.4 | 21362.3 | 21318.3 | 21408.4 | 21317.2 | 21318.0 | 21129.4 | 21126.8 | 21125.4 |
| 9.000                             | 22316.8 | 22200.7 | 22155.7 | 22256.4 | 22163.2 | 22164.0 | 21971.4 | 21968.8 | 21967.4 |
| 9.125                             | 23181.2 | 23061.1 | 23015.1 | 23124.4 | 23029.2 | 23030.0 | 22836.4 | 22833.8 | 22832.4 |
| 9.250                             | 24067.6 | 23943.5 | 23896.5 | 24024.4 | 23927.2 | 23928.0 | 23703.4 | 23700.8 | 23699.4 |
| 9.375                             | 24976.0 | 24847.9 | 24800.9 | 24872.4 | 24773.2 | 24774.0 | 24556.4 | 24553.8 | 24552.4 |
| 9.500                             | 25906.4 | 25774.3 | 25726.3 | 25808.4 | 25707.2 | 25708.0 | 25497.4 | 25494.8 | 25493.4 |
| 9.625                             | 26858.8 | 26722.7 | 26673.7 | 26772.4 | 26669.2 | 26670.0 | 26466.4 | 26463.8 | 26462.4 |
| 9.750                             | 27833.2 | 27693.1 | 27643.1 | 27748.4 | 27643.2 | 27644.0 | 27447.4 | 27444.8 | 27443.4 |
| 9.875                             | 28829.6 | 28685.5 | 28634.5 | 28748.4 | 28641.2 | 28642.0 | 28451.4 | 28448.8 | 28447.4 |
| 10.000                            | 29848.0 | 29699.9 | 29647.9 | 29760.4 | 29651.2 | 29652.0 | 29462.4 | 29459.8 | 29458.4 |
| 10.125                            | 30888.4 | 30736.3 | 30683.3 | 30780.4 | 30669.2 | 30670.0 | 30477.4 | 30474.8 | 30473.4 |

Tabla No. 2

VALOR "K" PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DEL NUMERO DE REYNOLDS

Diámetro nominal y comercial en pulgadas

| Diámetro del orificio en pulgadas | 2     |       |       | 3     |       |       |       | 4     |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                   | 1.609 | 1.939 | 2.067 | 2.300 | 2.626 | 2.900 | 3.068 | 3.152 | 3.438 |
| .250                              | .0879 | .0911 | .0928 | .0950 | .0979 | .0999 | .1010 | .1014 | .1030 |
| .375                              | .0677 | .0709 | .0726 | .0755 | .0792 | .0820 | .0836 | .0844 | .0867 |
| .500                              | .0562 | .0576 | .0588 | .0612 | .0648 | .0677 | .0695 | .0703 | .0728 |
| .625                              | .0520 | .0505 | .0506 | .0516 | .0541 | .0566 | .0583 | .0591 | .0618 |
| .750                              | .0536 | .0485 | .0471 | .0462 | .0470 | .0486 | .0498 | .0504 | .0528 |
| .875                              | .0595 | .0506 | .0478 | .0445 | .0429 | .0433 | .0439 | .0442 | .0460 |
| 1.000                             | .0677 | .0592 | .0515 | .0458 | .0416 | .0403 | .0402 | .0403 | .0411 |
| 1.125                             | .0762 | .0630 | .0574 | .0495 | .0427 | .0396 | .0386 | .0383 | .0390 |
| 1.250                             | .0824 | .0707 | .0646 | .0550 | .0456 | .0403 | .0388 | .0381 | .0365 |
| 1.375                             |       | .0772 | .0715 | .0614 | .0501 | .0435 | .0406 | .0394 | .0365 |
| 1.500                             |       |       | .0773 | .0679 | .0554 | .0474 | .0436 | .0420 | .0378 |
| 1.625                             |       |       |       | .0735 | .0613 | .0522 | .0477 | .0457 | .0402 |
| 1.750                             |       |       |       |       | .0669 | .0575 | .0524 | .0500 | .0434 |
| 1.875                             |       |       |       |       | .0717 | .0628 | .0574 | .0549 | .0473 |
| 2.000                             |       |       |       |       |       | .0676 | .0624 | .0598 | .0517 |
| 2.125                             |       |       |       |       |       | .0715 | .0669 | .0642 | .0563 |
| 2.250                             |       |       |       |       |       |       | .0706 | .0665 | .0607 |
| 2.375                             |       |       |       |       |       |       |       |       | .0648 |
| 2.500                             |       |       |       |       |       |       |       |       | .0683 |

| Diámetro del orificio en pulgadas | 4     |       | 6     |       |       | 8     |       |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                   | 3.826 | 4.026 | 4.897 | 5.189 | 5.761 | 6.065 | 7.625 | 7.981 | 8.071 |
| .250                              | .1047 | .1054 |       |       |       |       |       |       |       |
| .375                              | .0894 | .0907 |       |       |       |       |       |       |       |
| .500                              | .0763 | .0779 | .0836 | .0852 | .0880 | .0892 |       |       |       |
| .625                              | .0653 | .0670 | .0734 | .0753 | .0785 | .0801 |       |       |       |
| .750                              | .0561 | .0578 | .0645 | .0665 | .0701 | .0718 |       |       |       |
| .875                              | .0487 | .0502 | .0567 | .0587 | .0625 | .0643 | .0723 | .0738 | .0742 |
| 1.000                             | .0430 | .0442 | .0500 | .0520 | .0557 | .0576 | .0640 | .0676 | .0680 |
| 1.125                             | .0388 | .0396 | .0444 | .0462 | .0498 | .0517 | .0602 | .0619 | .0623 |
| 1.250                             | .0361 | .0364 | .0399 | .0414 | .0447 | .0464 | .0549 | .0566 | .0571 |
| 1.375                             | .0347 | .0344 | .0363 | .0375 | .0403 | .0419 | .0501 | .0518 | .0523 |
| 1.500                             | .0345 | .0336 | .0336 | .0344 | .0367 | .0381 | .0457 | .0474 | .0479 |
| 1.625                             | .0354 | .0338 | .0318 | .0322 | .0337 | .0348 | .0418 | .0435 | .0439 |
| 1.750                             | .0372 | .0350 | .0307 | .0306 | .0314 | .0322 | .0383 | .0399 | .0403 |
| 1.875                             | .0398 | .0370 | .0305 | .0298 | .0298 | .0303 | .0353 | .0366 | .0371 |
| 2.000                             | .0430 | .0395 | .0308 | .0296 | .0287 | .0288 | .0327 | .0340 | .0343 |
| 2.125                             | .0467 | .0427 | .0310 | .0300 | .0281 | .0278 | .0304 | .0315 | .0318 |
| 2.250                             | .0507 | .0462 | .0334 | .0310 | .0281 | .0274 | .0286 | .0295 | .0297 |
| 2.375                             | .0548 | .0501 | .0354 | .0324 | .0286 | .0274 | .0271 | .0278 | .0280 |
| 2.500                             | .0589 | .0540 | .0378 | .0342 | .0295 | .0279 | .0259 | .0264 | .0265 |
| 2.625                             | .0626 | .0579 | .0406 | .0365 | .0308 | .0287 | .0251 | .0253 | .0254 |
| 2.750                             | .0659 | .0615 | .0436 | .0391 | .0324 | .0300 | .0246 | .0245 | .0245 |
| 2.875                             |       | .0647 | .0468 | .0418 | .0343 | .0314 | .0244 | .0240 | .0240 |
| 3.000                             |       | .0673 | .0500 | .0448 | .0365 | .0332 | .0245 | .0240 | .0237 |
| 3.125                             |       |       | .0533 | .0479 | .0389 | .0353 | .0248 | .0249 | .0237 |
| 3.250                             |       |       | .0564 | .0510 | .0416 | .0375 | .0254 | .0242 | .0230 |
| 3.375                             |       |       | .0594 | .0541 | .0443 | .0400 | .0263 | .0248 | .0244 |
| 3.500                             |       |       | .0620 | .0569 | .0472 | .0426 | .0273 | .0255 | .0251 |
| 3.625                             |       |       | .0643 | .0597 | .0500 | .0452 | .0286 | .0265 | .0260 |
| 3.750                             |       |       |       | .0621 | .0527 | .0479 | .0300 | .0274 | .0271 |
| 3.875                             |       |       |       | .0640 | .0553 | .0505 | .0316 | .0289 | .0283 |
| 4.000                             |       |       |       |       | .0578 | .0531 | .0334 | .0304 | .0297 |
| 4.250                             |       |       |       |       |       | .0579 | .0372 | .0338 | .0330 |
| 4.500                             |       |       |       |       |       | .0618 | .0414 | .0386 | .0366 |
| 4.750                             |       |       |       |       |       |       | .0457 | .0416 | .0405 |
| 5.000                             |       |       |       |       |       |       | .0500 | .0457 | .0446 |
| 5.250                             |       |       |       |       |       |       | .0539 | .0497 | .0481 |
| 5.500                             |       |       |       |       |       |       | .0574 | .0535 | .0524 |
| 5.750                             |       |       |       |       |       |       |       | .0569 | .0559 |
| 6.000                             |       |       |       |       |       |       |       |       | .0588 |

Tabla No. 2 (cont.)

VALOR "b" PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DEL NUMERO DE REYNOLDS  
Diámetro nominal y comercial en pulgadas

| Diámetro del<br>orificio en<br>pulgadas | 10    |        |        | 12     |        |        | 16     |        |        |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | 9.564 | 10.020 | 10.136 | 11.376 | 11.922 | 12.090 | 14.688 | 15.000 | 15.250 |
| 1.000                                   | .0738 |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 1.125                                   | .0685 |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 1.250                                   | .0635 | .0701  | .0705  | .0698  | .0714  | .0718  |        |        |        |
| 1.375                                   | .0588 | .0606  | .0610  | .0654  | .0671  | .0676  |        |        |        |
| 1.500                                   | .0545 | .0563  | .0568  | .0612  | .0631  | .0635  | .0706  | .0713  |        |
| 1.625                                   | .0504 | .0523  | .0527  | .0573  | .0592  | .0597  | .0670  | .0678  | .0684  |
| 1.750                                   | .0467 | .0485  | .0490  | .0536  | .0555  | .0560  | .0636  | .0644  | .0650  |
| 1.875                                   | .0433 | .0451  | .0455  | .0501  | .0521  | .0526  | .0604  | .0612  | .0618  |
| 2.000                                   | .0401 | .0419  | .0424  | .0469  | .0488  | .0492  | .0572  | .0581  | .0587  |
| 2.125                                   | .0372 | .0389  | .0393  | .0438  | .0458  | .0463  | .0542  | .0551  | .0558  |
| 2.250                                   | .0346 | .0362  | .0366  | .0410  | .0429  | .0434  | .0514  | .0523  | .0529  |
| 2.375                                   | .0322 | .0337  | .0340  | .0383  | .0402  | .0407  | .0487  | .0496  | .0502  |
| 2.500                                   | .0302 | .0315  | .0318  | .0361  | .0379  | .0384  | .0464  | .0473  | .0479  |
| 2.625                                   | .0283 | .0296  | .0299  | .0342  | .0360  | .0365  | .0445  | .0454  | .0460  |
| 2.750                                   | .0267 | .0278  | .0281  | .0324  | .0342  | .0347  | .0427  | .0436  | .0442  |
| 2.875                                   | .0254 | .0263  | .0266  | .0309  | .0327  | .0332  | .0413  | .0422  | .0428  |
| 3.000                                   | .0241 | .0250  | .0253  | .0296  | .0314  | .0319  | .0399  | .0408  | .0414  |
| 3.125                                   | .0234 | .0243  | .0246  | .0289  | .0307  | .0312  | .0392  | .0401  | .0407  |
| 3.250                                   | .0226 | .0235  | .0238  | .0281  | .0299  | .0304  | .0384  | .0393  | .0399  |
| 3.375                                   | .0221 | .0230  | .0233  | .0276  | .0294  | .0299  | .0379  | .0388  | .0394  |
| 3.500                                   | .0219 | .0228  | .0231  | .0274  | .0292  | .0297  | .0377  | .0386  | .0392  |
| 3.625                                   | .0218 | .0227  | .0230  | .0273  | .0291  | .0296  | .0376  | .0385  | .0391  |
| 3.750                                   | .0218 | .0227  | .0230  | .0273  | .0291  | .0296  | .0376  | .0385  | .0391  |
| 3.875                                   | .0221 | .0231  | .0234  | .0277  | .0295  | .0300  | .0380  | .0389  | .0395  |
| 4.000                                   | .0225 | .0234  | .0237  | .0280  | .0298  | .0303  | .0383  | .0392  | .0398  |
| 4.250                                   | .0230 | .0239  | .0242  | .0285  | .0303  | .0308  | .0388  | .0397  | .0403  |
| 4.500                                   | .0256 | .0265  | .0268  | .0311  | .0329  | .0334  | .0414  | .0423  | .0429  |
| 4.750                                   | .0279 | .0288  | .0291  | .0334  | .0352  | .0357  | .0437  | .0446  | .0452  |
| 5.000                                   | .0307 | .0316  | .0319  | .0362  | .0380  | .0385  | .0465  | .0474  | .0480  |
| 5.250                                   | .0337 | .0346  | .0349  | .0392  | .0410  | .0415  | .0495  | .0504  | .0510  |
| 5.500                                   | .0370 | .0379  | .0382  | .0425  | .0443  | .0448  | .0528  | .0537  | .0543  |
| 5.750                                   | .0404 | .0413  | .0416  | .0459  | .0477  | .0482  | .0567  | .0576  | .0582  |
| 6.000                                   | .0438 | .0447  | .0450  | .0493  | .0511  | .0516  | .0601  | .0610  | .0616  |
| 6.250                                   | .0473 | .0482  | .0485  | .0528  | .0546  | .0551  | .0636  | .0645  | .0651  |
| 6.500                                   | .0505 | .0514  | .0517  | .0560  | .0578  | .0583  | .0668  | .0677  | .0683  |
| 6.750                                   | .0536 | .0545  | .0548  | .0591  | .0609  | .0614  | .0704  | .0713  | .0719  |
| 7.000                                   | .0562 | .0571  | .0574  | .0617  | .0635  | .0640  | .0730  | .0739  | .0745  |
| 7.250                                   |       | .0590  | .0593  | .0636  | .0654  | .0659  | .0749  | .0758  | .0764  |
| 7.500                                   |       | .0572  | .0575  | .0618  | .0636  | .0641  | .0731  | .0740  | .0746  |
| 7.750                                   |       |        |        | .0641  | .0659  | .0664  | .0754  | .0763  | .0769  |
| 8.000                                   |       |        |        | .0517  | .0535  | .0540  | .0630  | .0639  | .0645  |
| 8.250                                   |       |        |        | .0540  | .0558  | .0563  | .0653  | .0662  | .0668  |
| 8.500                                   |       |        |        | .0560  | .0578  | .0583  | .0673  | .0682  | .0688  |
| 8.750                                   |       |        |        |        | .0543  | .0548  | .0638  | .0647  | .0653  |
| 9.000                                   |       |        |        |        |        | .0551  | .0641  | .0650  | .0656  |
| 9.250                                   |       |        |        |        |        |        | .0642  | .0651  | .0657  |
| 9.500                                   |       |        |        |        |        |        | .0625  | .0634  | .0640  |
| 9.750                                   |       |        |        |        |        |        | .0617  | .0626  | .0632  |
| 10.000                                  |       |        |        |        |        |        | .0609  | .0618  | .0624  |
| 10.250                                  |       |        |        |        |        |        | .0601  | .0610  | .0616  |
| 10.500                                  |       |        |        |        |        |        | .0593  | .0602  | .0608  |
| 10.750                                  |       |        |        |        |        |        | .0585  | .0594  | .0600  |
| 11.000                                  |       |        |        |        |        |        | .0577  | .0586  | .0592  |
| 11.250                                  |       |        |        |        |        |        | .0569  | .0578  | .0584  |







Tabla No. 6

FACTORES DE SUPERCOMPRESIBILIDAD  $F_{pv}$ 

| $P_f$ | Temperatura °F |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | -40            | -35    | -30    | -25    | -20    | -15    | -10    | -5     |
| 0     | 1.0000         | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20    | 1.0031         | 1.0030 | 1.0029 | 1.0028 | 1.0027 | 1.0026 | 1.0025 | 1.0024 |
| 40    | 1.0062         | 1.0060 | 1.0059 | 1.0057 | 1.0055 | 1.0053 | 1.0051 | 1.0049 |
| 60    | 1.0093         | 1.0091 | 1.0089 | 1.0086 | 1.0083 | 1.0080 | 1.0077 | 1.0074 |
| 80    | 1.0125         | 1.0122 | 1.0119 | 1.0115 | 1.0111 | 1.0107 | 1.0103 | 1.0099 |
| 100   | 1.0158         | 1.0154 | 1.0148 | 1.0145 | 1.0139 | 1.0134 | 1.0129 | 1.0125 |
| 120   | 1.0192         | 1.0186 | 1.0178 | 1.0175 | 1.0168 | 1.0162 | 1.0156 | 1.0151 |
| 140   | 1.0227         | 1.0216 | 1.0209 | 1.0205 | 1.0198 | 1.0190 | 1.0183 | 1.0177 |
| 160   | 1.0262         | 1.0251 | 1.0241 | 1.0235 | 1.0228 | 1.0218 | 1.0210 | 1.0202 |
| 180   | 1.0297         | 1.0285 | 1.0274 | 1.0265 | 1.0258 | 1.0246 | 1.0237 | 1.0228 |
| 200   | 1.0333         | 1.0319 | 1.0307 | 1.0296 | 1.0288 | 1.0275 | 1.0265 | 1.0255 |
| 220   | 1.0369         | 1.0355 | 1.0340 | 1.0328 | 1.0317 | 1.0304 | 1.0291 | 1.0282 |
| 240   | 1.0406         | 1.0390 | 1.0373 | 1.0360 | 1.0347 | 1.0334 | 1.0321 | 1.0309 |
| 260   | 1.0444         | 1.0424 | 1.0407 | 1.0392 | 1.0377 | 1.0364 | 1.0350 | 1.0337 |
| 280   | 1.0482         | 1.0461 | 1.0442 | 1.0425 | 1.0408 | 1.0394 | 1.0379 | 1.0365 |
| 300   | 1.0522         | 1.0499 | 1.0475 | 1.0459 | 1.0441 | 1.0425 | 1.0409 | 1.0393 |
| 320   | 1.0562         | 1.0537 | 1.0514 | 1.0494 | 1.0474 | 1.0456 | 1.0439 | 1.0422 |
| 340   | 1.0602         | 1.0575 | 1.0551 | 1.0529 | 1.0507 | 1.0488 | 1.0469 | 1.0451 |
| 360   | 1.0642         | 1.0614 | 1.0589 | 1.0564 | 1.0541 | 1.0520 | 1.0500 | 1.0480 |
| 380   | 1.0684         | 1.0654 | 1.0627 | 1.0601 | 1.0576 | 1.0553 | 1.0531 | 1.0510 |
| 400   | 1.0727         | 1.0695 | 1.0666 | 1.0638 | 1.0611 | 1.0586 | 1.0563 | 1.0540 |
| 420   | 1.0771         | 1.0737 | 1.0706 | 1.0675 | 1.0646 | 1.0620 | 1.0595 | 1.0571 |
| 440   | 1.0816         | 1.0779 | 1.0746 | 1.0713 | 1.0682 | 1.0654 | 1.0627 | 1.0601 |
| 460   | 1.0862         | 1.0822 | 1.0787 | 1.0752 | 1.0719 | 1.0686 | 1.0660 | 1.0632 |
| 480   | 1.0909         | 1.0866 | 1.0828 | 1.0791 | 1.0756 | 1.0721 | 1.0693 | 1.0664 |
| 500   | 1.0956         | 1.0910 | 1.0869 | 1.0830 | 1.0793 | 1.0759 | 1.0727 | 1.0696 |
| 520   | 1.1004         | 1.0956 | 1.0911 | 1.0869 | 1.0830 | 1.0794 | 1.0761 | 1.0728 |
| 540   | 1.1053         | 1.1002 | 1.0955 | 1.0910 | 1.0868 | 1.0830 | 1.0795 | 1.0760 |
| 560   | 1.1106         | 1.1051 | 1.1000 | 1.0952 | 1.0908 | 1.0868 | 1.0830 | 1.0793 |
| 580   | 1.1159         | 1.1100 | 1.1045 | 1.0995 | 1.0948 | 1.0906 | 1.0865 | 1.0826 |
| 600   | 1.1213         | 1.1149 | 1.1091 | 1.1038 | 1.0989 | 1.0944 | 1.0901 | 1.0860 |
| 620   | 1.1267         | 1.1200 | 1.1138 | 1.1082 | 1.1030 | 1.0982 | 1.0937 | 1.0894 |
| 640   | 1.1323         | 1.1252 | 1.1186 | 1.1127 | 1.1072 | 1.1021 | 1.0973 | 1.0928 |
| 660   | 1.1379         | 1.1305 | 1.1236 | 1.1172 | 1.1114 | 1.1060 | 1.1010 | 1.0963 |
| 680   | 1.1439         | 1.1359 | 1.1286 | 1.1218 | 1.1156 | 1.1099 | 1.1047 | 1.0998 |
| 700   | 1.1497         | 1.1413 | 1.1336 | 1.1265 | 1.1199 | 1.1136 | 1.1083 | 1.1033 |
| 720   | 1.1562         | 1.1469 | 1.1383 | 1.1313 | 1.1245 | 1.1181 | 1.1127 | 1.1076 |
| 740   | 1.1626         | 1.1528 | 1.1442 | 1.1363 | 1.1291 | 1.1225 | 1.1162 | 1.1106 |
| 760   | 1.1692         | 1.1587 | 1.1496 | 1.1413 | 1.1337 | 1.1267 | 1.1202 | 1.1143 |
| 780   | 1.1759         | 1.1647 | 1.1551 | 1.1464 | 1.1384 | 1.1311 | 1.1242 | 1.1180 |
| 800   | 1.1826         | 1.1706 | 1.1607 | 1.1516 | 1.1432 | 1.1355 | 1.1283 | 1.1217 |
| 820   | 1.1894         | 1.1769 | 1.1663 | 1.1563 | 1.1480 | 1.1399 | 1.1324 | 1.1255 |
| 840   | 1.1967         | 1.1835 | 1.1723 | 1.1622 | 1.1528 | 1.1443 | 1.1365 | 1.1293 |
| 860   | 1.2041         | 1.1901 | 1.1783 | 1.1676 | 1.1577 | 1.1486 | 1.1407 | 1.1332 |
| 880   | 1.2116         | 1.1968 | 1.1843 | 1.1731 | 1.1627 | 1.1533 | 1.1449 | 1.1373 |
| 900   | 1.2191         | 1.2035 | 1.1903 | 1.1786 | 1.1677 | 1.1579 | 1.1491 | 1.1410 |
| 920   | 1.2269         | 1.2103 | 1.1965 | 1.1842 | 1.1728 | 1.1625 | 1.1531 | 1.1450 |
| 940   | 1.2347         | 1.2173 | 1.2035 | 1.1899 | 1.1780 | 1.1674 | 1.1577 | 1.1496 |
| 960   | 1.2427         | 1.2245 | 1.2093 | 1.1956 | 1.1832 | 1.1721 | 1.1620 | 1.1530 |
| 980   | 1.2509         | 1.2318 | 1.2157 | 1.2014 | 1.1884 | 1.1768 | 1.1663 | 1.1570 |

Tabla No. 6 (cont.)

FACTORES DE SUPERCOMPRESIBILIDAD  $F_{sv}$ 

| P <sub>1</sub> -<br>psig | Temperatura °F |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 0              | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | 50     | 55     |        |
| 0                        | 1.0000         | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20                       | 1.0023         | 1.0022 | 1.0022 | 1.0021 | 1.0020 | 1.0020 | 1.0019 | 1.0018 | 1.0018 | 1.0017 | 1.0016 | 1.0016 | 1.0016 |
| 40                       | 1.0048         | 1.0047 | 1.0045 | 1.0044 | 1.0042 | 1.0041 | 1.0040 | 1.0038 | 1.0037 | 1.0035 | 1.0034 | 1.0033 | 1.0033 |
| 60                       | 1.0071         | 1.0069 | 1.0067 | 1.0065 | 1.0063 | 1.0061 | 1.0059 | 1.0057 | 1.0054 | 1.0053 | 1.0051 | 1.0049 | 1.0049 |
| 80                       | 1.0096         | 1.0093 | 1.0090 | 1.0087 | 1.0084 | 1.0081 | 1.0078 | 1.0076 | 1.0073 | 1.0070 | 1.0068 | 1.0066 | 1.0066 |
| 100                      | 1.0121         | 1.0117 | 1.0113 | 1.0109 | 1.0105 | 1.0102 | 1.0098 | 1.0095 | 1.0091 | 1.0088 | 1.0085 | 1.0083 | 1.0083 |
| 120                      | 1.0146         | 1.0141 | 1.0136 | 1.0131 | 1.0127 | 1.0122 | 1.0118 | 1.0114 | 1.0110 | 1.0106 | 1.0103 | 1.0100 | 1.0100 |
| 140                      | 1.0170         | 1.0164 | 1.0158 | 1.0152 | 1.0148 | 1.0142 | 1.0138 | 1.0132 | 1.0128 | 1.0124 | 1.0120 | 1.0116 | 1.0116 |
| 160                      | 1.0195         | 1.0188 | 1.0182 | 1.0176 | 1.0169 | 1.0163 | 1.0158 | 1.0152 | 1.0147 | 1.0142 | 1.0138 | 1.0133 | 1.0133 |
| 180                      | 1.0220         | 1.0213 | 1.0206 | 1.0198 | 1.0191 | 1.0184 | 1.0178 | 1.0171 | 1.0166 | 1.0160 | 1.0155 | 1.0150 | 1.0150 |
| 200                      | 1.0245         | 1.0237 | 1.0229 | 1.0220 | 1.0213 | 1.0206 | 1.0198 | 1.0192 | 1.0185 | 1.0179 | 1.0173 | 1.0167 | 1.0167 |
| 220                      | 1.0272         | 1.0263 | 1.0254 | 1.0244 | 1.0235 | 1.0227 | 1.0219 | 1.0211 | 1.0204 | 1.0197 | 1.0191 | 1.0184 | 1.0184 |
| 240                      | 1.0298         | 1.0288 | 1.0277 | 1.0267 | 1.0257 | 1.0248 | 1.0239 | 1.0231 | 1.0223 | 1.0215 | 1.0208 | 1.0201 | 1.0201 |
| 260                      | 1.0324         | 1.0313 | 1.0302 | 1.0291 | 1.0282 | 1.0270 | 1.0260 | 1.0250 | 1.0242 | 1.0234 | 1.0226 | 1.0219 | 1.0219 |
| 280                      | 1.0351         | 1.0339 | 1.0327 | 1.0315 | 1.0303 | 1.0292 | 1.0281 | 1.0271 | 1.0261 | 1.0252 | 1.0244 | 1.0236 | 1.0236 |
| 300                      | 1.0379         | 1.0365 | 1.0352 | 1.0339 | 1.0326 | 1.0314 | 1.0303 | 1.0291 | 1.0281 | 1.0271 | 1.0262 | 1.0253 | 1.0253 |
| 320                      | 1.0406         | 1.0391 | 1.0377 | 1.0363 | 1.0349 | 1.0336 | 1.0324 | 1.0312 | 1.0300 | 1.0290 | 1.0280 | 1.0270 | 1.0270 |
| 340                      | 1.0434         | 1.0417 | 1.0401 | 1.0386 | 1.0372 | 1.0358 | 1.0344 | 1.0332 | 1.0320 | 1.0308 | 1.0298 | 1.0287 | 1.0287 |
| 360                      | 1.0462         | 1.0444 | 1.0427 | 1.0411 | 1.0395 | 1.0380 | 1.0366 | 1.0353 | 1.0340 | 1.0328 | 1.0316 | 1.0305 | 1.0305 |
| 380                      | 1.0491         | 1.0471 | 1.0453 | 1.0436 | 1.0420 | 1.0404 | 1.0388 | 1.0374 | 1.0361 | 1.0347 | 1.0334 | 1.0322 | 1.0322 |
| 400                      | 1.0519         | 1.0498 | 1.0479 | 1.0461 | 1.0444 | 1.0427 | 1.0410 | 1.0395 | 1.0381 | 1.0366 | 1.0352 | 1.0340 | 1.0340 |
| 420                      | 1.0548         | 1.0526 | 1.0506 | 1.0486 | 1.0468 | 1.0450 | 1.0433 | 1.0417 | 1.0401 | 1.0386 | 1.0371 | 1.0358 | 1.0358 |
| 440                      | 1.0577         | 1.0553 | 1.0531 | 1.0511 | 1.0492 | 1.0472 | 1.0453 | 1.0437 | 1.0421 | 1.0405 | 1.0389 | 1.0375 | 1.0375 |
| 460                      | 1.0606         | 1.0581 | 1.0558 | 1.0536 | 1.0516 | 1.0496 | 1.0476 | 1.0458 | 1.0441 | 1.0425 | 1.0408 | 1.0393 | 1.0393 |
| 480                      | 1.0636         | 1.0609 | 1.0585 | 1.0562 | 1.0540 | 1.0519 | 1.0498 | 1.0479 | 1.0461 | 1.0444 | 1.0427 | 1.0411 | 1.0411 |
| 500                      | 1.0667         | 1.0639 | 1.0613 | 1.0588 | 1.0565 | 1.0543 | 1.0521 | 1.0501 | 1.0482 | 1.0464 | 1.0446 | 1.0429 | 1.0429 |
| 520                      | 1.0697         | 1.0667 | 1.0639 | 1.0613 | 1.0588 | 1.0565 | 1.0543 | 1.0522 | 1.0503 | 1.0484 | 1.0465 | 1.0447 | 1.0447 |
| 540                      | 1.0727         | 1.0696 | 1.0667 | 1.0640 | 1.0613 | 1.0588 | 1.0564 | 1.0543 | 1.0523 | 1.0503 | 1.0483 | 1.0465 | 1.0465 |
| 560                      | 1.0759         | 1.0726 | 1.0695 | 1.0666 | 1.0639 | 1.0612 | 1.0587 | 1.0565 | 1.0544 | 1.0523 | 1.0502 | 1.0483 | 1.0483 |
| 580                      | 1.0790         | 1.0757 | 1.0724 | 1.0693 | 1.0665 | 1.0637 | 1.0611 | 1.0587 | 1.0565 | 1.0543 | 1.0521 | 1.0501 | 1.0501 |
| 600                      | 1.0822         | 1.0787 | 1.0753 | 1.0721 | 1.0691 | 1.0661 | 1.0634 | 1.0609 | 1.0586 | 1.0562 | 1.0540 | 1.0519 | 1.0519 |
| 620                      | 1.0853         | 1.0816 | 1.0781 | 1.0747 | 1.0716 | 1.0685 | 1.0656 | 1.0631 | 1.0607 | 1.0582 | 1.0559 | 1.0538 | 1.0538 |
| 640                      | 1.0886         | 1.0848 | 1.0811 | 1.0775 | 1.0742 | 1.0710 | 1.0680 | 1.0653 | 1.0628 | 1.0602 | 1.0578 | 1.0556 | 1.0556 |
| 660                      | 1.0919         | 1.0879 | 1.0840 | 1.0802 | 1.0767 | 1.0733 | 1.0704 | 1.0676 | 1.0649 | 1.0623 | 1.0598 | 1.0574 | 1.0574 |
| 680                      | 1.0953         | 1.0910 | 1.0869 | 1.0830 | 1.0793 | 1.0760 | 1.0728 | 1.0698 | 1.0670 | 1.0643 | 1.0617 | 1.0593 | 1.0593 |
| 700                      | 1.0986         | 1.0941 | 1.0898 | 1.0857 | 1.0819 | 1.0784 | 1.0751 | 1.0720 | 1.0691 | 1.0663 | 1.0636 | 1.0611 | 1.0611 |
| 720                      | 1.1020         | 1.0973 | 1.0928 | 1.0885 | 1.0847 | 1.0810 | 1.0775 | 1.0742 | 1.0712 | 1.0684 | 1.0656 | 1.0630 | 1.0630 |
| 740                      | 1.1054         | 1.1005 | 1.0958 | 1.0914 | 1.0873 | 1.0835 | 1.0799 | 1.0766 | 1.0734 | 1.0704 | 1.0675 | 1.0648 | 1.0648 |
| 760                      | 1.1089         | 1.1038 | 1.0989 | 1.0943 | 1.0900 | 1.0860 | 1.0822 | 1.0788 | 1.0756 | 1.0725 | 1.0694 | 1.0667 | 1.0667 |
| 780                      | 1.1124         | 1.1070 | 1.1019 | 1.0972 | 1.0927 | 1.0885 | 1.0846 | 1.0810 | 1.0777 | 1.0745 | 1.0714 | 1.0685 | 1.0685 |
| 800                      | 1.1159         | 1.1103 | 1.1050 | 1.1000 | 1.0954 | 1.0911 | 1.0870 | 1.0831 | 1.0795 | 1.0765 | 1.0733 | 1.0704 | 1.0704 |
| 820                      | 1.1193         | 1.1135 | 1.1080 | 1.1029 | 1.0981 | 1.0936 | 1.0894 | 1.0856 | 1.0819 | 1.0785 | 1.0752 | 1.0722 | 1.0722 |
| 840                      | 1.1227         | 1.1167 | 1.1112 | 1.1057 | 1.1000 | 1.0956 | 1.0919 | 1.0879 | 1.0841 | 1.0805 | 1.0771 | 1.0740 | 1.0740 |
| 860                      | 1.1265         | 1.1202 | 1.1143 | 1.1087 | 1.1037 | 1.0989 | 1.0943 | 1.0902 | 1.0863 | 1.0826 | 1.0792 | 1.0759 | 1.0759 |
| 880                      | 1.1301         | 1.1236 | 1.1175 | 1.1117 | 1.1064 | 1.1015 | 1.0968 | 1.0925 | 1.0885 | 1.0847 | 1.0811 | 1.0776 | 1.0776 |
| 900                      | 1.1337         | 1.1270 | 1.1206 | 1.1146 | 1.1091 | 1.1040 | 1.0991 | 1.0947 | 1.0906 | 1.0867 | 1.0830 | 1.0795 | 1.0795 |
| 920                      | 1.1373         | 1.1303 | 1.1237 | 1.1175 | 1.1118 | 1.1066 | 1.1016 | 1.0970 | 1.0928 | 1.0887 | 1.0849 | 1.0813 | 1.0813 |
| 940                      | 1.1410         | 1.1338 | 1.1269 | 1.1205 | 1.1146 | 1.1092 | 1.1041 | 1.0994 | 1.0950 | 1.0908 | 1.0868 | 1.0832 | 1.0832 |
| 960                      | 1.1448         | 1.1374 | 1.1301 | 1.1234 | 1.1175 | 1.1119 | 1.1065 | 1.1016 | 1.0971 | 1.0928 | 1.0887 | 1.0850 | 1.0850 |
| 980                      | 1.1485         | 1.1407 | 1.1334 | 1.1265 | 1.1203 | 1.1145 | 1.1090 | 1.1039 | 1.0992 | 1.0948 | 1.0906 | 1.0868 | 1.0868 |

Tabla No. 6 (cont.)

## FACTORES DE SUPERCOMPRESIBILIDAD Fpv

| P /<br>psig | Temperatura °F |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 60             | 65     | 70     | 75     | 80     | 85     | 90     | 95     | 100    | 105    | 110    | 115    | 120    |
| 0           | 1.0000         | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20          | 1.0016         | 1.0015 | 1.0014 | 1.0014 | 1.0014 | 1.0013 | 1.0013 | 1.0012 | 1.0012 | 1.0012 | 1.0012 | 1.0011 | 1.0011 |
| 40          | 1.0032         | 1.0031 | 1.0030 | 1.0029 | 1.0028 | 1.0027 | 1.0027 | 1.0026 | 1.0025 | 1.0025 | 1.0024 | 1.0023 | 1.0022 |
| 60          | 1.0047         | 1.0046 | 1.0045 | 1.0043 | 1.0042 | 1.0040 | 1.0039 | 1.0038 | 1.0037 | 1.0036 | 1.0035 | 1.0033 | 1.0032 |
| 80          | 1.0064         | 1.0062 | 1.0061 | 1.0058 | 1.0056 | 1.0054 | 1.0052 | 1.0051 | 1.0049 | 1.0047 | 1.0046 | 1.0044 | 1.0043 |
| 100         | 1.0080         | 1.0078 | 1.0075 | 1.0073 | 1.0071 | 1.0068 | 1.0066 | 1.0064 | 1.0061 | 1.0059 | 1.0058 | 1.0056 | 1.0055 |
| 120         | 1.0097         | 1.0094 | 1.0091 | 1.0088 | 1.0085 | 1.0082 | 1.0079 | 1.0076 | 1.0073 | 1.0071 | 1.0069 | 1.0067 | 1.0065 |
| 140         | 1.0112         | 1.0109 | 1.0105 | 1.0102 | 1.0099 | 1.0095 | 1.0092 | 1.0088 | 1.0085 | 1.0083 | 1.0080 | 1.0078 | 1.0076 |
| 160         | 1.0129         | 1.0125 | 1.0121 | 1.0117 | 1.0112 | 1.0108 | 1.0105 | 1.0101 | 1.0098 | 1.0095 | 1.0092 | 1.0089 | 1.0087 |
| 180         | 1.0145         | 1.0140 | 1.0136 | 1.0131 | 1.0126 | 1.0122 | 1.0118 | 1.0114 | 1.0111 | 1.0107 | 1.0103 | 1.0100 | 1.0098 |
| 200         | 1.0162         | 1.0156 | 1.0151 | 1.0146 | 1.0140 | 1.0135 | 1.0131 | 1.0127 | 1.0123 | 1.0119 | 1.0115 | 1.0111 | 1.0108 |
| 220         | 1.0178         | 1.0172 | 1.0166 | 1.0160 | 1.0154 | 1.0149 | 1.0145 | 1.0140 | 1.0136 | 1.0131 | 1.0126 | 1.0122 | 1.0119 |
| 240         | 1.0194         | 1.0188 | 1.0181 | 1.0175 | 1.0168 | 1.0163 | 1.0159 | 1.0153 | 1.0149 | 1.0143 | 1.0138 | 1.0133 | 1.0129 |
| 260         | 1.0211         | 1.0204 | 1.0197 | 1.0190 | 1.0183 | 1.0177 | 1.0171 | 1.0165 | 1.0160 | 1.0155 | 1.0150 | 1.0144 | 1.0139 |
| 280         | 1.0228         | 1.0220 | 1.0212 | 1.0205 | 1.0197 | 1.0191 | 1.0185 | 1.0178 | 1.0173 | 1.0167 | 1.0162 | 1.0155 | 1.0150 |
| 300         | 1.0244         | 1.0236 | 1.0228 | 1.0220 | 1.0212 | 1.0205 | 1.0199 | 1.0192 | 1.0185 | 1.0179 | 1.0173 | 1.0167 | 1.0162 |
| 320         | 1.0261         | 1.0252 | 1.0243 | 1.0235 | 1.0227 | 1.0219 | 1.0212 | 1.0205 | 1.0198 | 1.0191 | 1.0185 | 1.0178 | 1.0173 |
| 340         | 1.0277         | 1.0267 | 1.0258 | 1.0249 | 1.0241 | 1.0233 | 1.0225 | 1.0217 | 1.0209 | 1.0203 | 1.0196 | 1.0189 | 1.0183 |
| 360         | 1.0294         | 1.0284 | 1.0273 | 1.0264 | 1.0256 | 1.0247 | 1.0239 | 1.0230 | 1.0222 | 1.0215 | 1.0207 | 1.0200 | 1.0194 |
| 380         | 1.0311         | 1.0300 | 1.0289 | 1.0279 | 1.0270 | 1.0261 | 1.0252 | 1.0243 | 1.0234 | 1.0227 | 1.0219 | 1.0211 | 1.0204 |
| 400         | 1.0328         | 1.0317 | 1.0305 | 1.0294 | 1.0285 | 1.0275 | 1.0265 | 1.0256 | 1.0246 | 1.0238 | 1.0230 | 1.0223 | 1.0215 |
| 420         | 1.0345         | 1.0333 | 1.0321 | 1.0309 | 1.0299 | 1.0289 | 1.0279 | 1.0269 | 1.0259 | 1.0250 | 1.0242 | 1.0234 | 1.0226 |
| 440         | 1.0361         | 1.0349 | 1.0336 | 1.0324 | 1.0313 | 1.0302 | 1.0292 | 1.0281 | 1.0272 | 1.0262 | 1.0253 | 1.0244 | 1.0236 |
| 460         | 1.0378         | 1.0365 | 1.0351 | 1.0339 | 1.0327 | 1.0315 | 1.0305 | 1.0294 | 1.0285 | 1.0275 | 1.0265 | 1.0255 | 1.0247 |
| 480         | 1.0395         | 1.0381 | 1.0367 | 1.0354 | 1.0341 | 1.0329 | 1.0318 | 1.0307 | 1.0297 | 1.0287 | 1.0276 | 1.0265 | 1.0258 |
| 500         | 1.0413         | 1.0398 | 1.0384 | 1.0370 | 1.0356 | 1.0344 | 1.0332 | 1.0320 | 1.0309 | 1.0298 | 1.0288 | 1.0278 | 1.0269 |
| 520         | 1.0430         | 1.0414 | 1.0399 | 1.0385 | 1.0371 | 1.0357 | 1.0345 | 1.0333 | 1.0321 | 1.0310 | 1.0299 | 1.0289 | 1.0279 |
| 540         | 1.0447         | 1.0431 | 1.0415 | 1.0400 | 1.0385 | 1.0371 | 1.0358 | 1.0346 | 1.0334 | 1.0322 | 1.0310 | 1.0300 | 1.0289 |
| 560         | 1.0465         | 1.0448 | 1.0432 | 1.0416 | 1.0400 | 1.0385 | 1.0372 | 1.0359 | 1.0346 | 1.0334 | 1.0322 | 1.0311 | 1.0300 |
| 580         | 1.0482         | 1.0464 | 1.0447 | 1.0431 | 1.0415 | 1.0399 | 1.0385 | 1.0372 | 1.0358 | 1.0346 | 1.0333 | 1.0322 | 1.0310 |
| 600         | 1.0499         | 1.0481 | 1.0463 | 1.0446 | 1.0430 | 1.0414 | 1.0399 | 1.0384 | 1.0370 | 1.0358 | 1.0345 | 1.0333 | 1.0321 |
| 620         | 1.0517         | 1.0497 | 1.0479 | 1.0461 | 1.0444 | 1.0428 | 1.0412 | 1.0397 | 1.0383 | 1.0369 | 1.0356 | 1.0344 | 1.0331 |
| 640         | 1.0534         | 1.0514 | 1.0495 | 1.0476 | 1.0460 | 1.0442 | 1.0426 | 1.0410 | 1.0396 | 1.0381 | 1.0368 | 1.0355 | 1.0341 |
| 660         | 1.0552         | 1.0530 | 1.0511 | 1.0492 | 1.0474 | 1.0456 | 1.0439 | 1.0423 | 1.0408 | 1.0393 | 1.0379 | 1.0365 | 1.0352 |
| 680         | 1.0570         | 1.0547 | 1.0527 | 1.0507 | 1.0488 | 1.0470 | 1.0453 | 1.0436 | 1.0420 | 1.0405 | 1.0390 | 1.0377 | 1.0363 |
| 700         | 1.0587         | 1.0563 | 1.0543 | 1.0522 | 1.0502 | 1.0483 | 1.0466 | 1.0449 | 1.0432 | 1.0416 | 1.0401 | 1.0387 | 1.0373 |
| 720         | 1.0605         | 1.0580 | 1.0559 | 1.0537 | 1.0517 | 1.0497 | 1.0479 | 1.0461 | 1.0444 | 1.0428 | 1.0412 | 1.0398 | 1.0383 |
| 740         | 1.0622         | 1.0597 | 1.0575 | 1.0553 | 1.0531 | 1.0510 | 1.0492 | 1.0474 | 1.0456 | 1.0440 | 1.0424 | 1.0409 | 1.0393 |
| 760         | 1.0640         | 1.0614 | 1.0591 | 1.0568 | 1.0546 | 1.0524 | 1.0505 | 1.0487 | 1.0468 | 1.0451 | 1.0435 | 1.0419 | 1.0403 |
| 780         | 1.0658         | 1.0631 | 1.0607 | 1.0583 | 1.0560 | 1.0538 | 1.0519 | 1.0500 | 1.0480 | 1.0463 | 1.0446 | 1.0430 | 1.0414 |
| 800         | 1.0676         | 1.0648 | 1.0623 | 1.0598 | 1.0575 | 1.0552 | 1.0532 | 1.0513 | 1.0492 | 1.0474 | 1.0456 | 1.0440 | 1.0424 |
| 820         | 1.0693         | 1.0665 | 1.0639 | 1.0613 | 1.0589 | 1.0566 | 1.0545 | 1.0524 | 1.0504 | 1.0485 | 1.0467 | 1.0450 | 1.0434 |
| 840         | 1.0711         | 1.0681 | 1.0654 | 1.0628 | 1.0603 | 1.0580 | 1.0558 | 1.0536 | 1.0517 | 1.0497 | 1.0478 | 1.0460 | 1.0443 |
| 860         | 1.0728         | 1.0697 | 1.0670 | 1.0643 | 1.0617 | 1.0593 | 1.0571 | 1.0549 | 1.0529 | 1.0508 | 1.0489 | 1.0471 | 1.0453 |
| 880         | 1.0745         | 1.0714 | 1.0686 | 1.0658 | 1.0631 | 1.0607 | 1.0584 | 1.0562 | 1.0540 | 1.0519 | 1.0500 | 1.0481 | 1.0463 |
| 900         | 1.0762         | 1.0730 | 1.0701 | 1.0673 | 1.0646 | 1.0620 | 1.0597 | 1.0574 | 1.0552 | 1.0530 | 1.0510 | 1.0491 | 1.0473 |
| 920         | 1.0779         | 1.0746 | 1.0716 | 1.0688 | 1.0660 | 1.0634 | 1.0610 | 1.0586 | 1.0563 | 1.0541 | 1.0520 | 1.0501 | 1.0482 |
| 940         | 1.0797         | 1.0763 | 1.0733 | 1.0703 | 1.0675 | 1.0649 | 1.0623 | 1.0599 | 1.0575 | 1.0553 | 1.0531 | 1.0511 | 1.0492 |
| 960         | 1.0814         | 1.0779 | 1.0748 | 1.0718 | 1.0689 | 1.0662 | 1.0636 | 1.0610 | 1.0586 | 1.0563 | 1.0541 | 1.0521 | 1.0501 |
| 980         | 1.0831         | 1.0795 | 1.0763 | 1.0732 | 1.0703 | 1.0675 | 1.0648 | 1.0622 | 1.0597 | 1.0574 | 1.0552 | 1.0530 | 1.0510 |

### SELECCION DEL TIPO DE MEDIDOR

Para el consumo que se tendrá en el Hospital que será de 9,600 m<sup>3</sup>/día elegiremos un medidor de desplazamiento positivo con la capacidad suficiente para medir dicho volumen, se selecciona un medidor del tipo diferencial debido a que estos son para medición de consumos mayores.

Según el Boletín M 1021 de la Rockwell Manufacturing Company, un medidor No. 5000 mide 141.58 m<sup>3</sup>/hr (5000 pies<sup>3</sup>/hr) con una densidad relativa de 0.600 a 14.65 lb/pulg<sup>2</sup> absoluta (14.4 lb/pulg<sup>2</sup> manométrica) a 4 onzas de presión base de medición) y 60 grados F. de temperatura.

En el mismo boletín encontramos una tabla donde nos indica que para un medidor No. 5000 pero a una presión manométrica de 50 lb/pulg<sup>2</sup> dicho medidor tendrá una capacidad máxima de 15600 pies<sup>3</sup>/hr (441.74 m<sup>3</sup>/hr).

Haciendo correcciones a las condiciones base de 1 kg/cm<sup>2</sup> y 20 grados C. tenemos:

$$Q = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$Q = 15600 \times \frac{14.65}{14.22} \times \frac{520}{520}$$

$$Q = 16018.78 \text{ pies}^3/\text{hr} = 452.10 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ a una presión de } 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ y una temperatura de } 20 \text{ grados C.}$$

Esto nos indica que un medidor Rockwell No. 5000 puede medir perfectamente el gasto indicado anteriormente que cubra perfectamente las necesidades del Hospital la cual es de 400 m<sup>3</sup>/hr. Dicho medidor tendrá las siguientes características:

- Cuerpo de Aluminio
- Calibración en Sistema Métrico
- Conexiones roscadas de 4 pulgadas
- Presión máxima de operación 7 Kg/cm<sup>2</sup> (100 lb/pulg<sup>2</sup>)

A continuación se muestran esquemas ilustrativos del medidor seleccionado en la Figura No. 23 y en la Figura No. 24.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

MEDIDOR RODWELL No. 5000

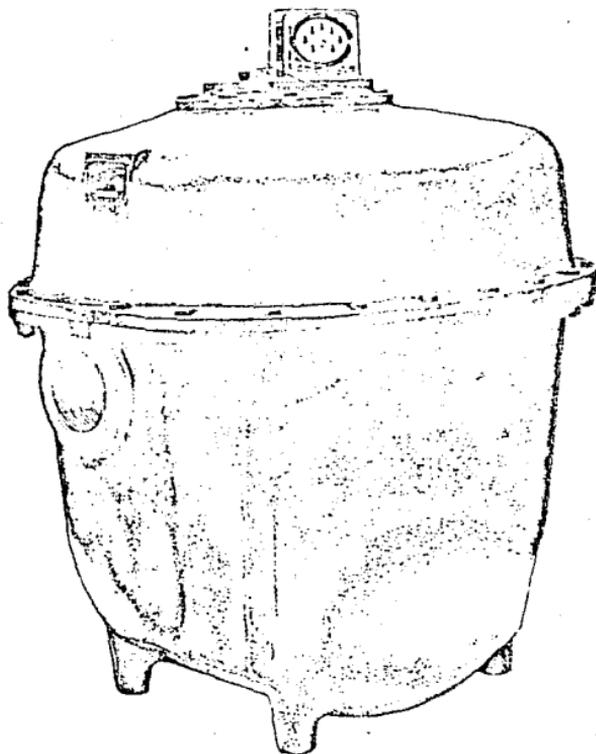


Figura No. 23

MEDIDOR ROCKWELL No. 5000 CORTE FRONTAL

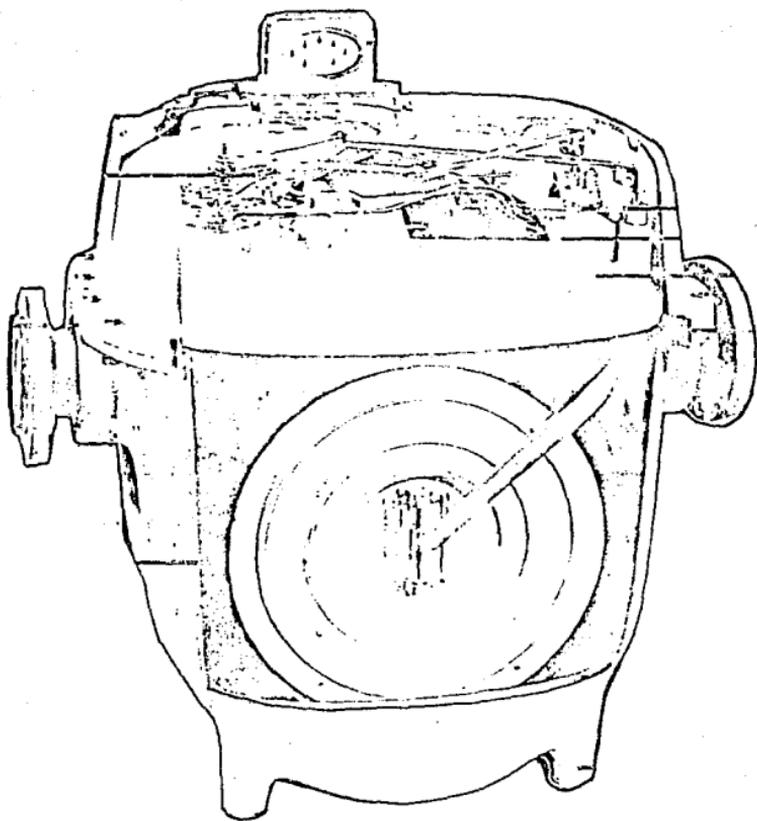


Figura No. 24

## REGISTRADOR DE FLUJO

El medidor de flujo irá equipado con un registrador combinado de presión tipo CD fabricado por la Rockwell con escala de 0 - 7 kg/cm<sup>2</sup>, un reloj impulsor de gráfica con cuerda para 8 días y rotación de 7 días. En la Figura No. 25 se muestra dicho registrador.

REGISTRADOR ROCKWELL COMBINADO TIPO C.D. FLUJO/PRESION

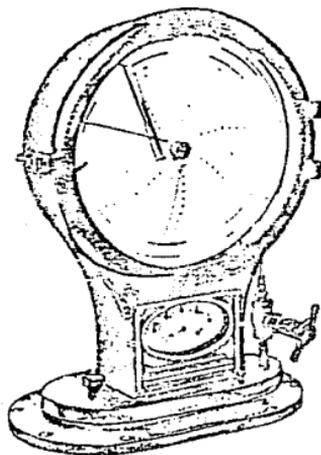


Figura No. 25

## VALVULA DE SEGURIDAD

Las valvulas de seguridad se instalan en un cabezal de regulaci3n y medici3n de gas con la finalidad de proteger el equipo instalado.

Para llevar a cabo esta funci3n tan importante, las valvulas se dise~an para abrir automaticamente a una presi3n determinada y sus dimensiones deben ser tales, que permitan reducir la presi3n por eliminaci3n violenta del fluido en la linea, pero deben cerrar herm3ticamente despu3s de esta operaci3n; esta v3lvula se dispara y abre instantaneamente al llegar a la presi3n de ajuste, alcanzando su m3xima capacidad de descarga a una presi3n 3 % mayor que la presi3n de ajuste.

Para seleccionar la v3lvula de seguridad tomaremos en cuenta el volumen que nos puede manejar el regulador que se ha escogido o sea 10900 pies<sup>3</sup>/hr (regulador 621 de 1 pulgada de di3metro y orificio de 3/8 de pulgada), con este valor se procede a seleccionar la v3lvula de seguridad.

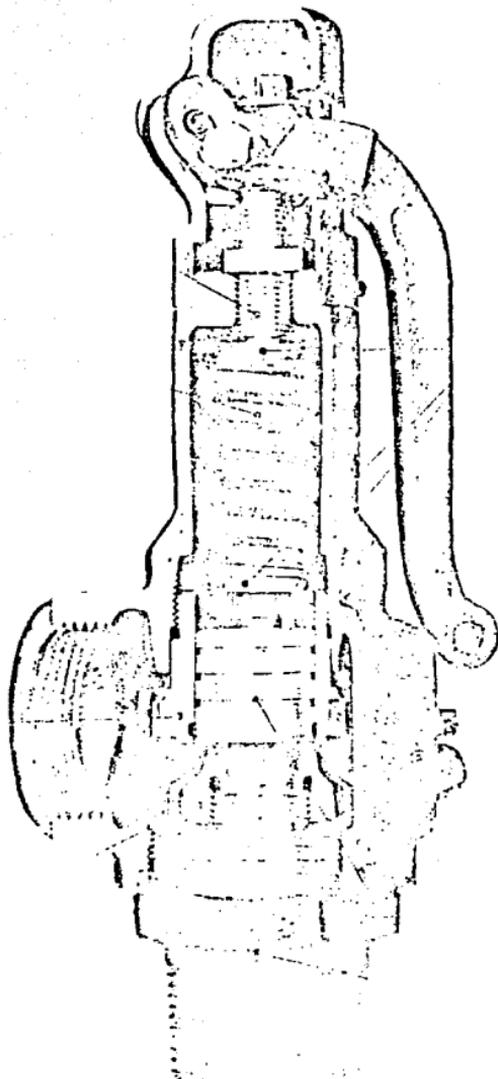
$$Q = 10900 \text{ pies}^3/\text{hr} = 181.66 \text{ pies}^3/\text{min}$$

En el cat3logo 700-A de la Consolidated, seleccionamos una v3lvula de las siguientes caracteristicas:

Tipo 1905 Ec.  
Cuerpo de acero al carb3n  
Conexiones bridadas cara realizada R.F.  
Entrada 1 1/2 pulgadas de di3metro  
Salida 2 pulgadas de di3metro  
Temperatura m3xima de operaci3n 450 grados F. (232.2 grados C.)

Presi3n m3xima de operaci3n 300 lb/pulg<sup>2</sup> (21 Kg/cm<sup>2</sup>)  
Capacidad 578.33 pies<sup>3</sup>/min a 50 lbs/pulg<sup>2</sup> (7.39 m<sup>3</sup>/min)

Esta v3lvula se calibrar3 para dispararse a una presi3n de 90 lb/pulg<sup>2</sup> (6.3 Kg/cm<sup>2</sup>) o sea 10 % menos de la presi3n m3xima a la que puede trabajar el medidor de gas seleccionado. En la Figura No. 26 encontramos una ilustraci3n de la v3lvula de seguridad seleccionada.



Válvula de seguridad Consolidate tipo 1905 Ec.  
Figura No. 26

I I I - E Q U I P O Y A C C E S O R I O S

## EDIFICIO Y ACCESORIOS

En el capítulo anterior al estudiar y analizar los diferentes tipos de equipo de regulación, medición y de la válvula de seguridad, ya se eligió el regulador, el medidor y la válvula de seguridad que tendrá el cabezal que se propone.

Solo nos queda aclarar la función y el porque de cada uno de los elementos que integrarán el cabezal de regulación y medición de gas natural.

Para empezar, en la línea de 22 pulgadas de donde se tomará el suministro del gas natural, se tendrá que realizar una perforación en el tubo, y ahí mismo colocar una válvula de compuerta de 2 pulgadas de diámetro nominal ya que el ramal de suministro será de dicha medida, a esta válvula le llamaremos "Válvula de Toma", esta válvula debe de ser de compuerta debido a que sólo siendo de este tipo se podrá realizar la perforación del tubo sin tener la necesidad de suspender el servicio de la línea de 22 pulgadas por causa de fugas, ya que con un nuevo y moderno sistema de perforación de tubos llamado "JAPPING", se puede realizar dicho trabajo.

En el capítulo anterior también se analizó y eligió el ramal de 2 pulgadas de diámetro nominal que irá desde la línea de 22 pulgadas de diámetro hasta el interior del Hospital en donde se ubicará la caseta.

Al llegar al punto donde se encontrará la caseta pero sin entrar en ella se colocará una válvula tipo macho de 2 pulgadas de diámetro. Después de esta válvula y sin entrar aún en la caseta se colocará una trampa de líquidos cuyas dimensiones se verán mas adelante en las láminas ilustrativas. Este aparato contará con un desfogeo o purga en la parte inferior con una válvula tipo macho de 1 pulgada de diámetro, para que cuando sea necesario se active y los residuos que haya detenido dicha trampa, puedan ser expulsados al exterior y el cabezal no tenga problemas para operar normalmente. Por otra parte este aparato también evitará que llegue cualquier tipo de líquido a los puntos de consumo dentro del Hospital, por ello también le podemos llamar separador de líquidos.

Ya dentro de la caseta instalaremos un arreglo de válvulas y tubería con el regulador de presión. Ahí necesitaremos tres válvulas tipo macho de 2 pulgadas de diámetro y 200 libras de presión máxima de operación. Dos de estas válvulas servirán para sacar de servicio el regulador en cualquier momento que se necesite reemplazar o darle servicio preventivo o correctivo, y que por medio de un "BY-PASS", con la tercer válvula pueda seguir el suministro del gas al Hospital.

El Regulador servirá para mantener una presión de entrega al usuario moderada y segura, esto es debido a que la presión de llegada a la caseta será aproximadamente de 14 Kg/cm<sup>2</sup>, dicha presión es demasiado alta y puede ser peligroso para el usuario, por ello se regulará una presión de entrega al usuario de 3.51 Kg/cm<sup>2</sup>.

En un momento dado puede fallar el regulador y dejar que aumente la presión de entrega al usuario, esto sería perjudicial tanto para el usuario como para el equipo de medición, por ello se colocará una válvula de seguridad calibrada a 90 libras que son aproximadamente 6.0 Kg/cm<sup>2</sup>. Dicha válvula tendrá como función abrir y desfogar la alta presión en el momento que sea necesario.

Para poder conocer tanto la presión de llegada a la caseta como la presión de entrega, se colocarán dos arreglos de válvulas de aguja y un manómetro. Uno de ellos se colocará antes del regulador y otro después.

En la sección de medición del cabetal se colocarán cuatro válvulas de 2 pulgadas de diámetro y de 150 libras de presión máxima de operación. Dos de ellas serán para saber de servicio el medidor de desplazamiento positivo para cambiarlo o darle el mantenimiento preventivo o correctivo necesario. Las otras dos servirán para adaptar un "BY-PASS" y no suspender el servicio en ningún momento.

El medidor y el registrador combinado ya se analizaron en el capítulo anterior y servirán para medir la cantidad de gas natural que consume el usuario y saber cual es la presión a la que lo recibe.

LISTA DE MATERIALES PARA EL CAREZAL DE REGULACION Y MEDICION

A continuación se expone una lista clara y detallada de todos y cada uno de los componentes que integrarán el cabezal de regulación y medición de gas natural del Hospital.

| PARTIDA | CANTIDAD | UNIDAD | DESCRIPCION  |
|---------|----------|--------|--|
| 1       | 10       | Pzas.  | BRIDAS.- De cuello para soldar, de acero al carbón forjado ASTM-A-105 Gr II, cara realizada R.F. de 50.8 mm (2 pulgadas) diámetro nominal, 300 libras ANSI, diámetro interior Bore = 50.5 mm (2.067 pulgadas). |
| 2       | 4        | "      | VALVULA MACHO LITIGABLE.- Bridada, cuerpo de acero al carbón fundido ASTM-A-318 Gr WCB, operada con manual Rockwell Nordstrom, de 50.8 mm (2 pulgadas) diámetro nominal, 300 libras ANSI, R.F.                 |
| 3       | 1        | "      | SEPARADOR DE LIQUIDOS.-  |
|         | 2        | "      | SILESIAS DE REFUERZO, salida de 50.8 mm (2 pulgadas) diámetro nominal para soldar a tubería de 203.2 mm (8 pulgadas) diámetro nominal.   |
|         | 2        | "      | TAPONES CHACHUCHA de 203.2 mm (8 pulgadas) diámetro nominal.   |
|         | 10       | "      | CORDO de 90 R.L. de 50.8 mm (2 pulgadas) diámetro nominal de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WFB y peso standard.  |
|         | 1        | "      | CORDO de 45 R.L. de 50.8 mm (2 pulgadas) diámetro nominal de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WFB y peso standard.  |
|         | 1        | "      | PLACA DE ACERO de (1/4 de pulgada) de espesor de 1.20 Mts. de largo por 0.70 Mts. de ancho.  |
|         | 2.5      | Mts.   | TUBERIA de (8 pulgadas) diámetro nominal 203.2 mm y (1/4 de pulgada)   |

6.35 mm de espesor.

|    |   |       |   |
|----|---|-------|---|
|    | 1 | Fzas. | SILLETA DE REFUERZO, salida de 25.4 mm (1 pulgada) diámetro nominal para soldar a tubería de 203.2 mm (8 pulgadas) diámetro nominal.  |
| 4  | 1 | "     | MANOMETRO.- De caja de aluminife con carátula de 114 mm (4 1/2 pulgadas) de diámetro, cubierta de cristal inastillable, conexión interior de 12.7 mm (1/2 pulgada) de diámetro, rosca NPT, elemento bourdon de acero inoxidable rango 0-28 Kg/cm <sup>2</sup> . |
| 5  | 2 | "     | CONEXION PARA SOLDAR.- Tee recta de 50.8 mm X 50.8 mm X 50.8 mm (2 X 2 X 2 pulgadas) de diámetro, de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPB y peso standard.   |
| 6  | 6 | "     | CONEXION PARA SOLDAR.- Codos de 90 P.L. 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPE y peso standard.   |
| 7  | 6 | "     | SOPORTE para cabezal de regulación y medición (ver plano obra civil).   |
| 8  | 2 | "     | CONEXIONES DE EMBUTIR PARA SOLDAR.- Reducciones concéntricas de 50.8 mm X 25.4 mm (2 X 1 pulgadas) de diámetro, de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPB y peso standard.   |
| 9  | 1 | "     | VALVULA REGULADORA DE PRESION.- (Ver datos en hoja de especificaciones).  |
| 10 | 1 | "     | CONEXIONES DE EMBUTIR PARA SOLDAR.- Cruz recta de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPB y peso standard.   |
| 11 | 1 | "     | MANOMETRO.- Caja de aluminife con carátula de 114 mm (4 1/2 pulgadas) de diámetro, cubierta de cristal inastillable, conexión inferior de 12.7 mm (1/2 pulgada) de diámetro,  |

|    |    |   |   |
|----|----|---|---|
|    |    |   | rosca NPT, elemento bourdón de acero inoxidable, rango 0-11 Kg/cm2.   |
| 12 | 1  | " | VALVULA DE SEGURIDAD.- (Ver datos en hoja de especificaciones).   |
| 13 | 11 | " | BRIDAS.- De cuello para soldar, de acero al carbón forjado ASTM-A-181 Gr II cara realzada R.F. de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, 150 libras ANSI, diámetro interior Bore = 52.5 mm (2.067 pulgadas).                                 |
| 14 | 4  | " | VALVULA NACHO LUBRICABLE.- Ebridada, cuerpo de acero al carbón fundido ASTM-A-216 Gr WCB operada con manual, Rockwell Nordstrom, de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, 150 libras ANSI R.F.  |
| 15 | 1  | " | MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.- (Ver datos en hoja de especificaciones).   |
| 16 | 2  | " | BRIDAS CIEGAS.- De acero al carbón forjado ASTM-A-181 Gr II cara realzada R.F. de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, 150 libras ANSI.  |
| 17 | 2  | " | CONEXIONES DE EMBUTIR PARA SOLDAR.- Medios coples de 12.7 mm (1/2 pulgada) de diámetro (sold/rosc) de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPB, 3000 libras WOG y peso standard.   |
| 18 | 2  | " | CONEXIONES ROSCADAS.- Tees rectas roscadas de 12.7 mm (1/2 pulgada) de diámetro, de acero al carbón forjado ASTM-A-105 Gr II, 3000 # WOG.   |
| 19 | 6  | " | VALVULA DE AGUJA.- Roscada, cuerpo de acero al carbón forjado ASTM-A-105 Gr II, vástago ascendente, asiento y empaque de fabricación standard, hancock, disco suelto 5520s o similar, de 12.7 mm (1/2 pulgada) de diámetro, 800 libras. |

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 20 | 1 | " | CONEXIONES DE EMBUTIR PARA SOLDAR.- Tee reducida de 50.8 mm X 50.8 mm X 38.1 mm (2 X 2 X 1 1/2 pulgadas) de diámetro, de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPB y peso standard.                   |
| 21 | 1 | " | BRIDA.- De cuello para soldar, de acero al carbón forjado ASTM-A-181 Gr II, cara realizada R.F. de 38.1 mm (1 1/2 pulgadas) de diámetro, 150 libras# ANSI.                                    |
| 22 | 1 | " | VALVULA MACHO LUBRICABLE.- Bridada, cuerpo de acero al carbón fundido ASTM-A-216 Gr WPB operada con maneral, Rockwell Nordstrom de 38.1 mm (1 1/2 pulgadas) de diámetro, 150 libras ANSI R.F. |
| 23 | 8 | " | EMPAQUES DE ASBESTO COMPRIMIDO.- De 1/16 de pulgada de espesor de Garlock-7001 o similar de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, para usarse en bridas de 300 libras ANSI R.F.                   |
| 24 | 2 | " | JUNTAS AISLANTES.- Juego completo de micarta con bujes y dobles roldanas aislantes de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro para bridas R.F. de 300 libras ANSI.                                   |
| 25 | 1 | " | JUNTAS AISLANTES.- Juego completo de micarta con bujes y dobles roldanas aislantes de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro para bridas R.F. de 150 libras ANSI.                                   |
| 26 | 1 | " | VALVULA MACHO LUBRICABLE.- Bridada cuerpo de acero al carbón fundido ASTM-A-216 Gr WPB operada con maneral Rockwell Nordstrom de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro, 300 libras ANSI R.F.        |
| 27 | 1 | " | BRIDA CIEGA.- De acero al carbón forjado ASTM-A-181 Gr II R.F. de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro, 300 libras ANSI.   |

|    |    |       |   |
|----|----|-------|---|
| 28 | 1  | "     | BRIDA DE CUELLO PARA SOLDAR.- De acero al carbón forjado ASTM-A-105 Gr II cara realzada R.F. de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro, 300 libras ANSI.   |
| 29 | 8  | "     | EMPAQUES DE ASBESTO COMPRIMIDO.- De 1/16 de pulgada de espesor Carlock 7021 o similar de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro para usarse en bridas de 150 libras ANSI R.F.                             |
| 30 | 1  | "     | EMPAQUE DE ACERO INOXIDABLE.- Tipo 304 rellenos de asbesto 3/16 de pulgada, de espesor flexitalic tipo CG o similar de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro, para usarse en bridas 300 libras ANSI R.F. |
| 31 | 15 | Mts.  | TUBERIA.- Sin costura ASTM-A-53 Gr B con extremos biselados para soldar 50.8 (2 pulgadas) diámetro nominal, cédula 40.  |
| 32 | 1  | "     | TUBERIA.- Sin costura ASTM-A-53 Gr B con extremos biselados para soldar de 38.1 mm (1 1/2 pulgadas) diámetro nominal, cédula 40.  |
| 33 | 3  | "     | TUBERIA.- Sin costura ASTM-A-53 Gr B con extremos planos de 12.7 mm (1/2 pulgada) diámetro nominal, cédula 80.  |
| 34 | 3  | "     | TUBERIA.- Sin costura ASTM-A-53 Gr B con extremos planos de 25.4 mm (1 pulgada) diámetro nominal, cédula 40.  |
| 35 | 1  | Pzas. | TAPON CACHUCHA.- Roscada de 50.8 mm (2 pulgadas) diámetro nominal, 150 libras ANSI de acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPB, y peso standard.   |
| 36 | 1  | "     | TUERCA UNION.- De acero forjado ASTM-A-105 Gr II 3000 WOG de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro.   |
| 37 | 2  | "     | REDUCCION BUSHING.- De acero  |

forjado ASTM-A-105 Gr II 3000 WOG  
de 101.6 mm X 50.8 mm (4 X 2  
pulgadas) de diámetro.

|    |    |   |  |
|----|----|---|--|
| 38 | 1  | " | CODO de 45 R.L. de 50.8 mm (2<br>pulgadas) de diámetro nominal, de<br>acero al carbón ASTM-A-234 Gr WPR y<br>peso standard.          |
| SN |    | " | ESPARRAGOS.- De acero de aleación<br>ASTM-A-192 Gr B-7 con 2 tuercas<br>hexagonales cada uno de acero al<br>carbón ASTM-A-194 Gr 2H. |
|    | 72 | " | de 15.88 mm X 82.55 mm (5/8 X 3 1/4<br>pulgadas) 300 libras.   |
|    | 52 | " | de 15.88 mm X 76.22 mm (5/8 X 3<br>pulgadas) 150 libras.   |
|    | 8  | " | de 15.88 mm x 76.22 mm (5/8 X 3<br>pulgadas) 300 libras.   |

## HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Marca:                       | Rodwell  |
| Modelo:                      | No. 5000 con registrador combinado Fluido/Presión C.D., relación de engranes de 18:1, con una rotación cada 1.0 metros cúbicos de gas medido |
| Cuerpo:                      | Aluminio   |
| Tipo de conexión:            | Fosfadas nebra, de 101.6 mm (4 pulgadas) de diámetro nominal   |
| Fluido:                      | Gas Natural  |
| Contadores:                  | Con lectura directa en sistema métrico decimal   |
| Gasto nominal:               | 141.38 m <sup>3</sup> /hr (5000 FCH) a 14.7 PSIA y 2 pulgadas de columna de agua de caída de presión   |
| Gráfica:                     | Con rango de 0-7 kg/cm <sup>2</sup> y ciclos para cada 100 m <sup>3</sup> de gas medido con una revolución cada siete días                   |
| Reloj:                       | Con cuerda para ocho días  |
| Densidad relativa:           | 0.000 (aire = 1.000)   |
| Condiciones base:            | 1 kg/cm <sup>2</sup> absoluto (14.223 PSIA) y 68 grados F. de temperatura  |
| Presión normal de operación: | 4 kg/cm <sup>2</sup> (60 PSIG)   |
| Presión máxima de operación: | 7 kg/cm <sup>2</sup> (100 PSIG)  |
| Gasto normal:                | 470 m <sup>3</sup> /hr a 4 kg/cm <sup>2</sup> de presión (16595 FCH)   |

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LA VALVULA DE CONTROL

|                    |   |
|--------------------|---|
| Marca:             | Fisher  |
| Modelo:            | No. 621   |
| Tipo de válvula:   | De diafragma  |
| Accionamiento:     | Mecánico  |
| Material:          | Acero vaciado   |
| Tipo de conexión:  | Roscas hembra de 25.4 mm ( 1 pulgada)   |
| Forma:             | Globo   |
| Acción del flujo:  | Tiende a abrir  |
| Tipo de obturador: | De disco, material "buna N"   |
| Tipo de asiento:   | Sencillo, de acero inoxidable   |
| Tipo de actuador:  | Diafragma de "buna N", de acción directa  |
| Tipo de resorte:   | De hierro fundido, color amarillo   |
| Fluido:            | Gas Natural   |
| Temperatura:       | 65 grados F., 20 grados C.  |
| Flujo:             | Normal 23500 PCH (665 m <sup>3</sup> /hr)<br>Máximo 34700 PCH (982 m <sup>3</sup> /hr)<br>Mínimo 10400 PCH (294 m <sup>3</sup> /hr) |
| Caída de presión:  | Normal 140 PSIG<br>Máximo 240 PSIG<br>Mínimo 40 PSIG  |
| Presión de salida: | Normal 60 PSIG  |
| Densidad relativa: | 0.600 (aire = 1.000)  |

## HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LA VALVULA DE SEGURIDAD

|                    |   |
|--------------------|---|
| Marca:             | Consolidated  |
| Modelo:            | No. 1505 Ec., de acero al carbón                                      |
| Entrada:           | 38.1 mm (1 1/2 pulgadas)  |
| Salida:            | 50.8 mm (2 pulgadas)  |
| Tipo de conexión:  | Bridada con cara realzada R.F., de 150 libras ANSI                    |
| Partes interiores: | Asiento, disco y guía de acero inoxidable, resorte de acero al carbón |
| Fluido:            | Gas Natural   |
| Capacidad máxima:  | 34700 PCH (980 m <sup>3</sup> /hr)                                    |
| Calibración:       | 6.33 Kg/cm <sup>2</sup> (90 PSIG)                                     |
| Densidad relativa: | 0.600 (aire = 1.000)  |
| Temperatura:       | 68 grados F., 20 grados C.  |

PLANDS DEL CABEZAL Y DE LA CASETA DE REGULACION  
Y MEDICION DE GAS NATURAL

Las láminas que a continuación se presentan ilustran claramente las dimensiones del cabezal y de la caseta de regulación y medición de gas natural dichas dimensiones cumplen con las normas de seguridad que exige el departamento de seguridad industrial del Sector Valle de México.

Por otra parte vale la pena mencionar las normas mínimas de seguridad para la ubicación de una caseta de regulación y medición de gas natural dentro de las instalaciones de un usuario de la Red de Gas Natural del Valle de México.

- 1.- Centros de ignición, calderas hornos o quemadores deberán de estar a una distancia mínima de 20 metros de la estación.
- 2.- Subestaciones eléctricas, distancia mínima de 20 metros de la estación.
- 3.- Almacenamiento de materiales combustibles, solventes, volátiles, bodegas de papel, madera y otros similares, distancia mínima 20 metros.
- 4.- Ventilación, debe ser amplia y cruzada, area abierta 15 metros distancia circundante.
- 5.- Almacenamiento de explosivos, no deben existir en las cercanías.
- 6.- Motores eléctricos y de combustión interna, deben ser a prueba de explosión, caso contrario deberán estar retirados 10 metros.
- 7.- Líneas de alta tensión, 15 metros de separación en la proyección vertical.
- 8.- Ubicación de la caseta en planta baja y totalmente libre la parte superior.
- 9.- Vías ferreas distancia mínima entre la estación y éstas, dos veces el derecho de vía, en caso de espuelas a 10 metros del eje de la vía.
- 10.- Acceso, deberá ser libre y adecuado para el paso de vehículos y equipo, con puerta de entrada directa.
- 11.- Instalaciones eléctricas, en las cercanías de la estación deberán ser a prueba de explosión.

12.- Carreteras y calles deberán encontrarse a una distancia mínima de 10 metros.

13.- La estación de regulación y medición deberá contar con un cercado de protección.

La ubicación de la caseta que se ilustró en el capítulo anterior, cumple con todas y cada una de las normas mencionadas.

A continuación se muestran los dos planos que son la propuesta de este proyecto:

- A - Cabezal de regulación y medición de gas natural.  
Figura No. 27.
- B - Caseta de regulación y medición de gas natural.  
Figura No. 28.

ISOMETRICO DEL CABEZAL DE REGULACION Y MEDICION  
DE GAS NATURAL DEL HOSPITAL

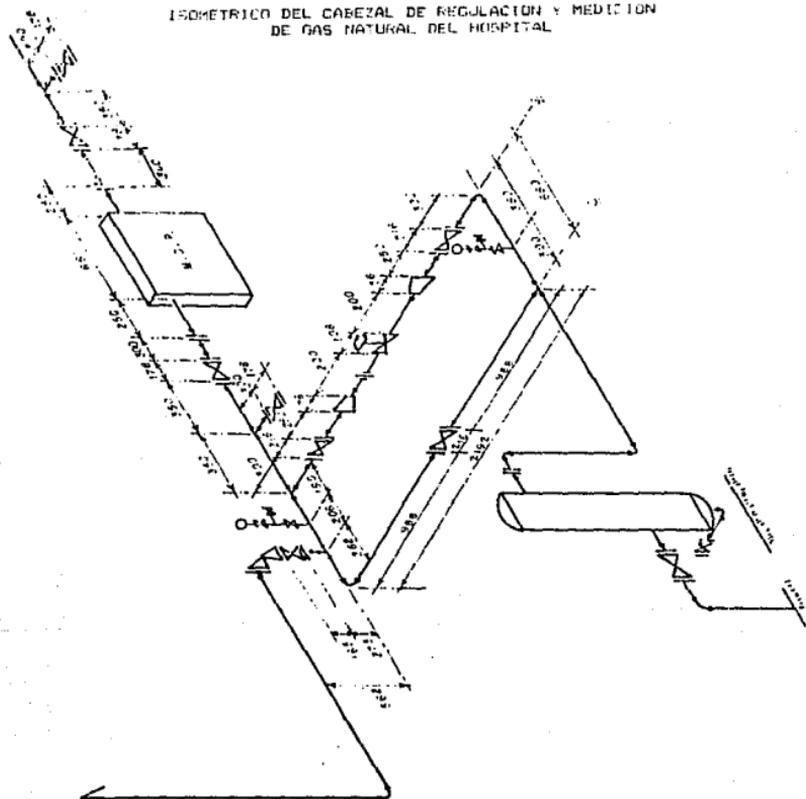
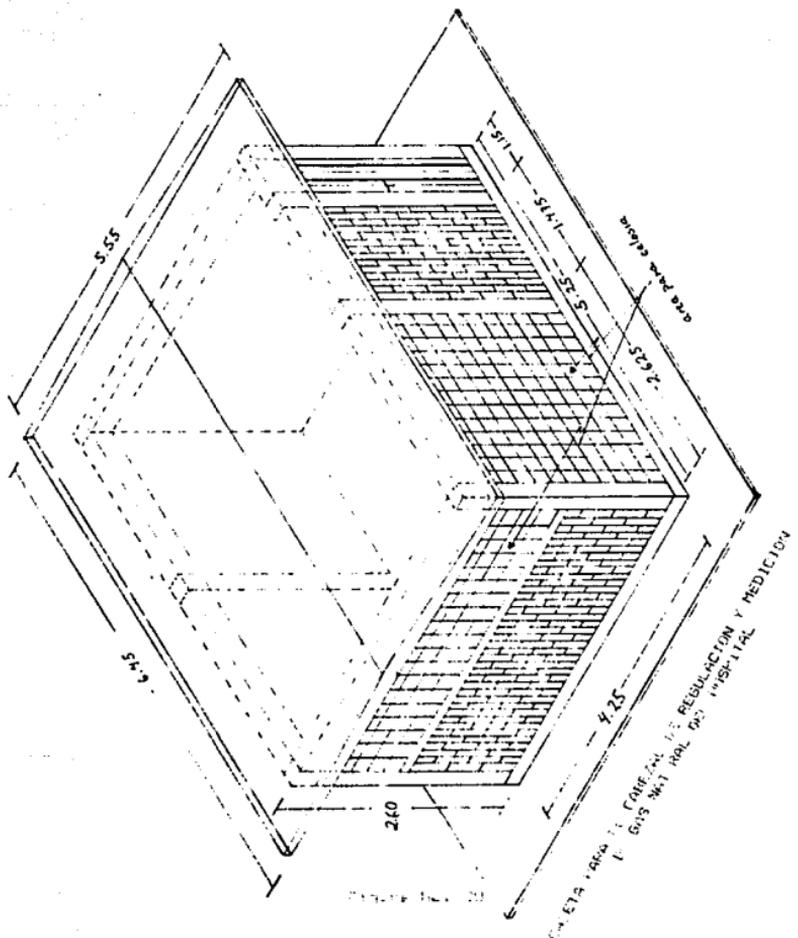


Figura No. 27



12

IV - COSTOS

## C O S T O S

A continuación se expone el presupuesto de la totalidad del proyecto, dividido en cuatro partidas que son las siguientes:

- 1.- Construcción de la caseta de regulación y medición de gas natural (obra civil).
- 2.- Costo del material del cabezal de regulación y medición de gas natural.
- 3.- Construcción del ramal de 2 pulgadas de diámetro nominal.
- 4.- Construcción de la caja de registro de la válvula de toma.

Dicho presupuesto esta basado en los precios al público obtenidos de diferentes proveedores nacionales y extranjeros de equipos y accesorios especiales (manejo de gas natural).

En el caso de la obra civil, los costos de construcción incluyen la mano de obra y materiales tomando como base promedio los siguientes porcentajes:

|              |       |
|--------------|-------|
| Mano de obra | 41 %  |
| Materiales   | 59 %  |
|              | ===== |
| T O T A L    | 100 % |

De esta manera se obtiene el costo directo de cada uno de los conceptos de lo que se refiere a la obra civil del proyecto.

En cada una de las partidas se mencionan todos y cada uno de los conceptos que lo conforman, se indica el costo unitario, la cantidad y las unidades en que se cálculo el concepto, y por último se indica el total del costo del concepto.

COSTO DE CONSTRUCCION DE LA CASETA DE REG. Y MED. DE GAS

(costo unitario y total en miles de pesos)

| CONCEPTO   | COSTO UNIT. | CANTIDAD | TOTAL     |
|--|-------------|----------|-----------|
| Trazo y nivelación   | 0.477       | 25.8 M2  | 12.307    |
| Excavación en zanja con herramienta manual en material tipo "B" con profundidad hasta 2 mt                                       | 4.349       | 10.0 M3  | 43.490    |
| Mampostería de piedra con cimentaciones  | 60.596      | 4.6 M3   | 278.742   |
| Relleno compactado sin control de laboratorio  | 2.382       | 4.5 M3   | 10.719    |
| Dalas, castillos, y cerramientos en PB y 1er. piso concreto F'c = 200 Kg/cm2. varillas No. 4 elaboración de concreto y de cimbra | 44.047      | 54.1 M   | 2'382.943 |
| Impermeabilización de cimientos para desplantes de muros con una capa de asfalto y una de fibra de vidrio                        | 7.406       | 4.5 M2   | 33.327    |
| Muro de block tipo intermedio con entre piso hasta 4.0 mts. de 12 cms. de espesor, juntado con cemento-arena 1:3                 | 17.076      | 26.4 M2  | 450.806   |
| Muro de celosía de concreto con entre piso hasta 4.00 mts. de 12 cms. de espesor, juntado con cemento -arena 1:3                 | 22.646      | 14.9 M2  | 337.425   |
| Elaboración de concreto hidráulico agregado máximo 19 mm cemento normal F'c = 100 Kg/cm2   | 122.348     | 0.05 M3  | 6.117     |
| IDEM F'c = 150 Kg/cm2  | 134.881     | 2.9 M3   | 391.155   |
| IDEM F'c = 200 Kg/cm2  | 157.447     | 3.1 M3   | 488.086   |
| Vaciados con botes o carretillas hasta 50 mts. en plantillas espesor de 5 cms.   | 2.212       | 0.05 M3  | 0.111     |

|  |           |          |                    |
|--|-----------|----------|--------------------|
| Firmes con espesor de 10 cms.  | 4.478     | 2.9 M3   | 12.986             |
| Losas hasta 4 mts. de altura en P.B. y 1er. piso   | 30.560    | 3.1 M2   | 119.536            |
| Cimbrado en reglas y fronteras   | 9.473     | 3.1 m2   | 29.366             |
| Losas de concreto masiso de 10 cms. de espesor con F'c = 200 Kg/cm2 y varillas de 3/8 de pulgada de diámetro | 47.769    | 31.2 M2  | 1 490.393          |
| Habilitado y colocación de acero de refuerzo Fy = 2300 Kg/cm2 de 10 mm (No. 3)                               | 2'898.704 | 0.34 Ton | 985.560            |
| Impermeabilización integral en azoteas acabado en color negro  | 17.549    | 31.2 M2  | 547.529            |
| Aplanado en muros en P.B. y en 1er. piso   | 5.215     | 14.2 M2  | 74.053             |
| Fabricación e instalación de puerta metálica sección tubular de lámina negra calibre No. 18                  | 60.001    | 1 Pza.   | 60.801             |
| Pinturas en alturas hasta 4 metros, vinílica sobre mortero, muros y concreto                                 | 6.409     | 105.8 M2 | 678.072            |
| Esmalte en herrería metálica   | 2.490     | 4.4 M2   | 10.956             |
| T O T A L  |           |          | 8'444.480<br>===== |

**COSTOS DEL MATERIAL DEL CABEZAL**

(costo unitario y total en miles de pesos)

| CONCEPTO  | COSTO UNIT. | CANTIDAD | TOTAL      |
|---|-------------|----------|------------|
| Brida de 300 libras, 2 pulg. de diámetro, cara R.F.                     | 32.628      | 10 Pzas  | 326.280    |
| Válvula tipo macho, 300 lbs., 2 pulg. de diámetro, R.F.                 | 781.770     | 4 Pzas   | 3'127.080  |
| Separador de líquidos de 8 pulgadas de diámetro                         | 2'543.950   | 1 Pza    | 2'543.950  |
| Manómetro de 0-28 Kg/cm <sup>2</sup>                                    | 115.572     | 1 Pza    | 115.572    |
| Te recta de 2 pulg. de diam., peso estandar                             | 99.000      | 2 Pzas   | 198.000    |
| Codo de 90 grados R.L., de 2 pulg. de diam., peso estandar              | 13.266      | 6 Pzas   | 79.596     |
| Soporte para el cabezal   | 25.275      | 6 Pzas   | 151.650    |
| Reducción concéntrica de 2x1 pulg. de diam., peso estandar              | 27.792      | 2 Pzas   | 55.584     |
| Regulador Fisher tipo 621   | 1'349.985   | 1 Pza    | 1'349.985  |
| Cruz recta, 2 pulg. de diam., peso estandar                             | 129.800     | 1 Pza    | 129.800    |
| Manómetro de 0-11 Kg/cm <sup>2</sup>                                    | 115.572     | 1 Pza    | 115.572    |
| Válvula de seguridad marca Consolidated, de 1 1/2 x 2 pulg. de diámetro | 2'057.000   | 1 Pza    | 2'057.000  |
| Brida de 150 libras, 2 pulg. de diámetro, cara R.F.                     | 11.055      | 11 Pzas  | 121.605    |
| Válvula tipo macho, 150 lbs., 2 pulg. de diámetro, R.F.                 | 672.210     | 4 Pzas   | 2'688.840  |
| Medidor Rockwell de desplazamiento positivo tipo 5000                   | 15'418.362  | 1 Pza    | 15'418.362 |
| Registrador combinado tipo C-D Flujo/Presión marca Rockwell             | 3'109.975   | 1 Pza    | 3'109.975  |

|   |         |        |         |
|---|---------|--------|---------|
| Brida ciega de 150 libras. 2 pulg. de diámetro, cara R.F.         | 10.836  | 2 Pzas | 41.676  |
| Medio cople de 1/2 pulg. de diámetro, 3000 #, WOG, peso estandar  | 2.160   | 2 Pzas | 4.320   |
| Te recta roscada 1/2 pulg. 3000 #, WOG                            | 13.078  | 2 Pzas | 26.156  |
| Válvula de aguja 1/2 pulg de diámetro, 800 #                      | 31.076  | 6 Pzas | 186.456 |
| Te reducida de 2 x 2 x 1 1/2 pulg. diam., peso estandar           | 23.750  | 1 Pza  | 23.750  |
| Brida de 150 libras. 1 1/2 pulg. de diámetro, cara R.F.           | 25.818  | 1 Pza  | 25.818  |
| Válvula tipo macho, cara R.F. 1 1/2 pulg. de diámetro, 150 libras | 582.120 | 1 Pza  | 582.120 |
| Empaques de asbesto comprim. para 300 libras                      | 3.925   | 8 Pzas | 31.400  |
| Juntas aislantes para bridas de 300 libras ANSI, cara R.F.        | 17.480  | 2 Pzas | 34.960  |
| Juntas aislantes para bridas de 150 libras ANSI, cara R.F.        | 9.570   | 1 Pza  | 9.570   |
| Válvula tipo macho. 1 pulg. de diámetro, 300 libras, cara R.F.    | 530.860 | 1 Pza  | 530.860 |
| Brida ciega de 300 libras 1 pulg. de diámetro, cara R.F.          | 34.770  | 1 Pza  | 34.770  |
| Brida de cuello 300 libras 1 pulg. de diámetro, cara R.F.         | 26.388  | 1 Pza  | 26.388  |
| Empaques de asbesto comprim. para 150 libras                      | 2.925   | 8 Pzas | 23.400  |
| Empaques de acero inoxidable para 300 libras                      | 8.095   | 1 Pza  | 8.095   |
| Tubería de 2 pulg. diam. nom.                                     |         |        |         |

|   |         |         |                     |
|---|---------|---------|---------------------|
| cédula 40   | 30.097  | 15 Mts  | 451.455             |
| Tubería 1 1/2 pulg. diam/nom.<br>cédula 40  | 31.629  | 1 Mt    | 31.629              |
| Tubería 1/2 pulg. diam. nom.<br>cédula 80   | 14.115  | 3 Mts   | 42.354              |
| Tubería de 1 pulg. diam. nom.<br>cédula 40  | 26.335  | 3 Mts   | 79.005              |
| Tapón cachucha roscado de 2<br>pulg. de diam., 3000 #, WOG  | 29.694  | 1 Pza   | 29.694              |
| Tuerca unión de 1 pulg. diam.<br>3000 #, WOG  | 22.914  | 1 Pza   | 22.914              |
| Reducción bushing de 4 x 2<br>pulg. de diámetro   | 141.900 | 2 Pzas  | 283.800             |
| Codo de 45°, 2 pulg. diam.<br>peso estandar   | 12.450  | 1 Pza   | 12.450              |
| Esparragos de 5/8 x 3 1/4 de<br>pulg. 300 libras  | 3.097   | 72 Pzas | 222.940             |
| Esparragos de 5/8 x 3 pulgad.<br>150 libras   | 2.525   | 52 Pzas | 131.300             |
| Esparragos de 5/8 x 3 pulgad.<br>300 libras   | 3.097   | 8 Pzas  | 24.776              |
| Mano de obra de la construcción<br>del cabezal incluye: un operario<br>especialista en instrumentación,<br>un ayudante de operario especia-<br>lista, un obrero general, y un<br>Ingeniero supervisor |         |         | 820.790             |
| T O T A L   |         |         | 35'342.765<br>***** |

CÓSTOS PARA LA CONSTRUCCION DEL RAMAL DE 2 PULGADAS D.N.

(costo unitario y total en miles de pesos)

| CONCEPTO   | COSTO UNIT. | CANTIDAD | TOTAL     |
|--|-------------|----------|-----------|
| Trazo y nivelación en área urbana  | 0.271       | 271.5 M2 | 73.577    |
| Demolición de carpeta asfáltica de 10 cm. de espesor   | 5.477       | 3.0 M3   | 16.419    |
| Demolición de firmes y banquetas   | 9.699       | 36.2 M3  | 314.904   |
| Excavación en cepa por medios mecánicos de 0.0 a 2.0 mts de profundidad máx. tipo 71                                   | 2.182       | 407.3 M3 | 888.729   |
| Acarreo en camión con carga mecánica de material producto de excavación y demolición                                   | 2.914       | 71.7 M3  | 208.934   |
| Acarreo en camión con carga mecánica de material producto de excavación y demolición km subsiguientes (24) (* = M3/Km) | 1.771       | 1720.3 * | 3'046.651 |
| Tendido de cama de arena para tubería incluye: material mano de obra y acarreos  | 16.977      | 27.2 M3  | 461.774   |
| Suministro y tendido de tubería de acero API-STD-SLX-6 de 2 pulgadas diámetro nominal                                  | 44.556      | 187.4 ML | 8'349.794 |
| Relleno en excavación con material producto de excavación aplanado por medios manuales, compactado al 90 % proctor     | 3.751       | 362.5 M3 | 1'359.738 |
| Relleno en excavación con material producto de excavación con rodillo vibratorio manual compactado al 90 % proctor     | 3.587       | 81.5 M3  | 292.341   |
| Sub-base de grava cementada en capas de 15 cm. compactada al 95 % proctor. zona urbana                                 | 15.534      | 108.6 M3 | 1'686.992 |

Base de grava cementada controlada, compactada al 98 % en capas de 15 cm de espesor. en zona urbana

18.561 54.3 MD 1'007.862

Suministro y tendido de carpeta asfáltica, incluye: riego de impregnación de liga y sello de 7 cms. de espesor

174.902 27.9 MD 3'762.766

T O T A L

21'471 481  
=====

COSTO DE CONSTRUCCION DE CAJA DE REGISTRO DE LA VALVULA DE TOMA

(costo unitario y total en miles de pesos)

| CONCEPTO  | COSTO UNIT. | CANTIDAD | TOTAL   |
|---|-------------|----------|---------|
| Trazo y nivelación  | 0.477       | 4.2 M2   | 2.003   |
| Excavación en zanja con herramientas manual en material tipo "R" profundidad hasta 2.00 mts                               | 4.349       | 27.0 M3  | 117.423 |
| IDEM de 2.01 hasta 4.00 mts.  | 5.505       | 7.0 M3   | 38.745  |
| Habilitado y colocación de acero de refuerzo, alambroón   | 1 100.000   | 0.02 Ton | 62.000  |
| Acero de refuerzo Fv = 2300 Kg/cm <sup>2</sup>  | 2 898.704   | 0.06 Ton | 173.922 |
| Elaboración de concreto hidráulico agregado máximo 19 mm. cemento normal  |             |          |         |
| F'c = 100 Kg/cm <sup>2</sup>  | 122.348     | 0.7 M3   | 85.644  |
| F'c = 200 Kg/cm <sup>2</sup>  | 157.447     | 0.9 M3   | 141.702 |
| Cimbrao en reglas y fronteras   | 9.473       | 3.5 M2   | 33.156  |
| Delas y castillos, concreto de F'c = 200 Kg/cm <sup>2</sup> y varillas de No. 3, incluye elaboración de concreto          | 39.455      | 24.0 M   | 946.920 |
| Vaciado con botes o corretilla acarreo hasta 50 mts. en plantillas, dados, zapatas, cimientos, trabes, contratrabes, etc. | 30.915      | 9.9 M3   | 306.059 |
| Muros de tabique, de carga con entreciso hasta 4.00 mts.  | 28.135      | 14.0 M2  | 393.890 |
| Relleno compactado sin control de laboratorio   | 2.382       | 11.0 M3  | 26.202  |
| Aplanado CE:PR 1 a 5  | 5.215       | 37.0 M2  | 192.955 |
| Fabricación e instalación de escalera con perfil tubular y pasamano de tubo de 3/4 pulg. diámetro con limpieza a metal    |             |          |         |

|  |           |      |     |                    |
|--|-----------|------|-----|--------------------|
| recubrimiento  | 666.282   | 1    | Pza | 666.282            |
| Fabricación e instalación de tapa deslizable de 1.90 x 2.1 mts. en dos secciones, lámina negra calibre No. 18 con limpiador de metal y recubrimiento, incluye: accesorios para su fijación y deslizamiento         | 2'047.157 | 1    | Pza | 2'047.157          |
| Fabricación e instalación de señal fabricada en lámina de acero galvanizada calibre No. 18 de 0.61 x 0.30 mts. fijado a un soporte de tubo galvanizado de 2 pulgadas de diámetro cédula 40 y 3.00 mts. de longitud | 115.000   | 1    | Pza | 115.000            |
| Pintura vinílica sobre muros, paredes y concretos, incluye sellado y dos manos de pintura  | 5.022     | 18.0 | M2  | 90.396             |
| Limpieza final de la obra  | 0.700     | 25.0 | M2  | 17.500             |
| T O T A L  |           |      |     | 5'456.956<br>***** |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 1.- Caseta obra civil                | B'444.480  |
| 2.- Cabezal materiales e instalación | 35'342.765 |
| 3.- Ramal de 2 pulgadas              | 21'471.481 |
| 4.- Caja de la válvula de toma       | 5'456.956  |
|                                      | *****      |
| Total del Proyecto                   | 70'715.682 |

## V - CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Por último se mencionan algunos puntos importantes para justificar la realización del proyecto:

- 1.- El Hospital es una institución de servicio, la cual no es lucrativa debido a que es Administrada por la Gerencia de Servicios Médicos de Petróleos Mexicanos y financiada directamente por la misma corporación.
- 2.- En cuanto a la construcción de la caseta, el ramal y el cableado, lo realizaría directamente la Subdirección de Proyectos y Construcción de Obras de Petróleos Mexicanos, y de esta manera, los costos podrían ser menores ya que no serán afectados por ningún porcentaje de utilidad.
- 3.- Con respecto al mantenimiento de la estación de regulación y medición de gas natural, en cualquier caso, sea a cargo de la Institución Privada o del Gobierno, PEMEX absorbe todos los gastos ya que en el momento en el que se concluye la construcción de la estación, el usuario entrega a Petróleos Mexicanos el área de la caseta y de esta manera la Gerencia de Sistemas de Ductos se hace responsable de la operación y mantenimiento de la estación.
- 4.- Si comparamos el poder calorífico del gas L.P. y el del gas natural tenemos lo siguiente:  
1 litro gas L.P. = 0.7356 m<sup>3</sup> de gas natural  
el precio unitario de cada uno de ellos es:  
1 litro gas L.P. = \$ 180.00  
1 m<sup>3</sup> gas natural = \$ 159.00  
analizando tomando en cuenta el poder calorífico y el precio de cada uno de ellos tenemos:  
 $0.7356 \times \$ 159.00 = \$ 117.00$   
 $\$ 180.00 - \$ 117.00 = \$ 63.00$   
de esta manera tenemos que por cada metro cúbico de gas que consume el Hospital, debido a su alto poder calorífico, estará ahorrando sesenta y tres pesos comparado con el costo y el poder calorífico del combustible que usa actualmente, gas L.P.
- 5.- Actualmente el Hospital consume un promedio de 150 litros de gas L.P., esto equivale a 110 metros cúbicos de gas, si a esto le sumamos lo que consumirá el nuevo equipo de aire acondicionado trabajando a un 70 % de su capacidad durante 10

horas diarias, serian  $70 \times 0,70 \times 10 = 490$  metros cúbicos mas, haciendo un total de 600 metros cúbicos diarios. Si tomamos en cuenta la posibilidad de cambiar los quemadores de la caldera que actualmente opera con diesel y suministrarle a cambio gas natural, el total de consumo diario ascenderia a 1000 metros cúbicos aproximadamente. Esta cantidad es comparable con el consumo del Hospital de Concentración Sur de PEMEX que es de 1000 metros cúbicos de gas natural diarios aproximadamente, dicho Hospital cuenta con instalaciones similares a los que se proponen para el Hospital C.N. de FEME.

- 6.- Debemos tomar en cuenta también que actualmente el servicio de suministro del combustible lo da una compañía privada que en ocasiones no cumple con las fechas de entrega, además de que para el pago se maneja dinero en efectivo y sin crédito. Siendo la misma institución (PEMEX), la responsable del suministro, se evita el manejo de efectivo y se brinda la seguridad de suministro continuo.

Tomando como base el actual consumo de gas L.N. y el consumo previsto del nuevo equipo de aire acondicionado para la guardería del Hospital, tenemos un total de 600 metros cúbicos por día de consumo de gas natural. El factor de ahorro que analizamos en los párrafos anteriores es de 63 pesos por metro cúbico de gas natural consumido por el Hospital. Si nuestra inversión total a tiempo presente será de \$ 70'715,682.00 (setenta millones, setecientos quince mil, seiscientos ochenta y dos pesos 00/100 N.N.), y tenemos una recuperación de \$ 63.00 por cada uno de los 600 metros cúbicos consumidos diarios, o sea,  $63 \times 600 = \$ 37,800.00$  por día. De esta manera tenemos  $37800 \times 365 = \$ 13'797,000.00$  en un año. Para terminar dividimos el total de la inversión entre la cantidad recuperada anualmente debido al ahorro de capital por el alto poder calorífico del gas natural  $70'715,682 / 13'797,000 = 5.10$  años.

En cinco años y 1.56 meses de consumo normal se podrá recuperar el total de la inversión del Proyecto Propuesto, esto es sin tomar en cuenta la sustitución del consumo de diesel en las calderas, por el gas natural. Si tomamos en cuenta este posible consumo, la recuperación de la inversión sería en tan solo dos años y siete meses.

Por otra parte hay que considerar lo siguiente:

- 1.- La ventaja del alto poder calorífico del gas natural.

natural.

- 2.- El hecho de que no habría suspensión en el suministro del producto en ningún momento.
- 3.- No se tendría el problema de falta de presión en la red de distribución interna.
- 4.- El proveedor sería directamente PEMEX, y así se evitaría el tener que tratar con una compañía particular.
- 5.- El desarrollo de la totalidad de la obra que se propone, también estaría a cargo de Petroleros Mexicanos por medio de la Subdirección de Proyectos y Construcción de Obras.
- 6.- El equipo nuevo de aire acondicionado con el que cuenta el hospital para su guardería, que lleva más de dos años sin funcionar, sólo se podría arrancar teniendo el suministro de gas natural que se analizó en este proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

Instrumentos de medición y control  
Werner C. Holzbock

Tecnología del gas  
Irving Deutsch

Handbook of natural gas engineering  
Donald L. Katz

Gas measurement committee report No. 3  
American gas association

Principles and practice of flow meter engineering  
L.K. Spink

Gas Transmission and Distribution Standard Code for  
Pressure piping (Catálogo No. S6 ASA B 31.8 1958)  
American Society of Mechanical Engineers

Catálogos y apuntes diversos  
Departamento de transporte y distribución  
de hidrocarburos de la Red de gas del valle de  
México