

19. 119

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE QUIMICA



SELECCION DE INSTRUMENTOS
PARA LA MEDICION DE FLUJO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

MARIO RIVERO GONZALEZ

MEXICO, D. F.

1979

15925



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

	PAG
I.- INTRODUCCION	1
II.- GENERALIDADES	2
III.- CLASIFICACION DE MEDIDORES DE FLUJO	3
IV.- ANALISIS DE LOS MEDIDORES DE FLUJO	5
.Principios generales de los medidores de presión diferencial	5
. Placa de orificio	11
. Tubo venturi	24
. Tubos de baja pérdida de presión	38
. Tobera	41
. Medidor de codo	44
. Tubo pitot	50
. Tubo pitot-venturi	54
. Anubar	56
. Rotámetro	80
. Turbina	92
. Canales y vertederos	110
. Momentum angular	119
. Térmico	127
. Ultrasónico	134
. Laminar	145
. Magnético	147
. Swirlmeter	160
. Flujo sólido	166
. Medidores de desplazamiento positivo de líquidos	170
. Bombas	182
. Medidores de desplazamiento positivo de gases	189
V.- DATOS PARA LA REQUISICION DE EQUIPO	197
VI.- SELECCION DE MEDIDORES DE FLUJO PARA LA RESOLUCION DE PROBLEMAS - ESPECIFICOS	200
VII.- CONCLUSIONES	213
VIII.- BIBLIOGRAFIA	214

CAPITULO I

INTRODUCCION

La medición de los fluidos es una de las variables a medir en un proceso. En la mayoría de las plantas de procpio. existe la necesidad de medir las variables flujo, presión, temperatura y otras. De las cuales consideramos que la medición del flujo es la más importante para el control y operación de un proceso.

Una medición de flujo acertada es esencial para la determinación del balance de material en los procesos de separación tales como la destilación, extracción, cristalización así como operaciones de transformación química. Siendo también extremadamente importante en la selección de equipo para el manejo de fluidos tales como bombas, compresores, etc.

Como consecuencia de la importancia de la medición de flujo, la selección de un medidor apropiado es fundamental y necesario en el diseño de una planta de proceso, así que el ingeniero debe empezar con una elección competente del tipo de medidor adecuado para cada aplicación. Esto dependerá de la importancia de una operación en particular y esta basada sobre su criterio individual dependiendo de las consideraciones de exactitud, mantenimiento, flexibilidad, tipo de indicación o control, costo y resistencia a los fluidos procesados.

El objetivo del presente trabajo es establecer las bases para la selección adecuada de un medidor de flujo y la solución de problemas sucitados en la industria, teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente.

CAPITULO II

GENERALIDADES

La necesidad e importancia de medir el flujo se presentó desde el --- tiempo de los faraones del antiguo Egipto quienes utilizaron presas o vertederos para medir el agua de irrigación de sus cultivos, tambien se tiene conocimiento de que los romanos usaron orificios para medir el agua de dis tribución urbana en los tiempos del César.

Esto viene a demostrar que la variable flujo ha sido de primordial im portancia hasta nuestros días ya que podemos encontrar medidores de flujo tambien en las casas habitación los cuales son usados para la medición del agua y gas consumidos por una familia.

En el siglo XVIII Bernoulli estableció la relación básica entre la -- presión y la velocidad, además Venturi publicó un reportaje sobre el tubo de flujo que llevó su nombre. Sin embargo no fue hasta 1887 que Clemence - Herschel desarrolló el tubo venturi comercial. El estudio sobre la placa - de orificio para la medición de flujo gaseoso fué comenzado por Weymouth en 1903.

Con el transcurso del tiempo se han venido perfeccionando las técni-- cas de medición de flujo en cuanto a precisión, mejores sensores de presión diferencial que representan más seguridad y ampliación del campo de aplica ción; así como han aparecido otros medidores de flujo que se basan en dife rentes principios teóricos como son los rotámetros, los medidores electro- magnéticos, ultrasónico, etc. los que analizaremos posteriormente con más detalle. Todos estos estudios han contribuido al desarrollo de la indus--- tría química a partir del siglo XIX.

CAPITULO III

CLASIFICACION DE MEDIDORES DE FLUJO

En este capítulo damos una clasificación de los medidores en base a los principios del funcionamiento que los rigen:

1.- MEDIDORES EN LOS QUE LA VELOCIDAD DE FLUJO ES PROPORCIONAL A LA VARIABLE QUE SE ESTA MIDIENDO.

- . Presión diferencial:
 - Placa de orificio
 - Tubo venturi
 - Tubos de baja pérdida de presión
 - Tobera
 - Medidor de codo
 - Tubo pitot
 - Pitot-venturi
 - Annubar
 - Laminar

- . Area variable :
 - Rotámetro

- . Velocidad :
 - Turbina

- . Diferencial nivel-área :
 - Canales y vertederos

- . Fuerza :
 - Momentum angular
 - .. másico tipo impulsor turbina
 - .. clutch histéresis
 - .. doble turbina
 - .. coriolis
 - .. giroscópico

- . Térmico :
 - Transferencia de calor
 - Alambre caliente

- . Otros :
 - Ultrasónico
 - Magnético
 - Swirlmeter
 - Flujo sólido

2.- MEDIDORES CUANTIFICADORES

- . Volumétricos :
 - Líquidos ((desplazamiento positivo)
 - .. disco
 - .. aspa rotatoria
 - .. pistón oscilante
 - .. pistón recíprocante
 - .. lóbulo rotatorio

 - Bombas
 - .. pistón
 - .. diafragma
 - .. peristáltica
 - .. proporcionamiento

 - Gases (desplazamiento positivo)
 - .. tipo campana
 - .. fuelles
 - .. lóbulos impulsores

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS MEDIDORES DE FLUJO

. Principios generales de los medidores de presión diferencial

a).- Manómetros:

Debido a que la mayor parte de medidores de flujo originan una diferencia de presión, en la sección donde se toma la medida se pueden utilizar dispositivos sencillos y fáciles de usar para medir la presión e indicar esta diferencia. Uno de los instrumentos para medir la presión es el manómetro de tubo en forma de "U". Este instrumento está representado en la figura 1.

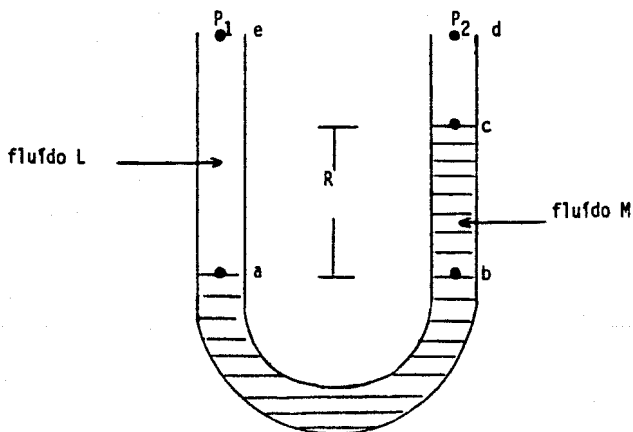


Fig. 1 Manómetro en "U"

El fluido M no puede ser idéntico ni miscible con el fluido que fluye. Generalmente se usa un fluido más pesado que el que fluye como se muestra en la figura, pero en algunas ocasiones se usa un fluido más ligero que el líquido que fluye, en cuyo caso el tubo en U se invierte. Casos como este será cuando tengamos flujo slurry.

Como muestra la figura, es deseable medir la diferencia entre P_1 y P_2 , ésta diferencia de presión puede ser relacionada a la diferencia en altura entre los puntos a y c, recibiendo el nombre de lectura manométrica R.

Aplicando el balance de energía al tubo donde no hay energía cinética, pérdidas por fricción, calor ni trabajo la ecuación se simplifica :

$$\Delta Z \frac{g}{g_c} + V(P_2 - P_1) = 0 \quad \dots \dots \dots 1$$

o bien despejando

$$P_2 - P_1 = \Delta P = \rho (z_1 - z_2) \left(\frac{g}{g_c} \right) \quad \dots \dots \dots 2$$

haciendo el análisis para el tubo, queda :

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = (Z_c - Z_a)(e_m - e_1) = R(e_m - e_1) \quad \dots \dots \dots 3$$

Para indicar diferencias de presión bajas, a menudo se utiliza un manómetro como el de la figura 2.

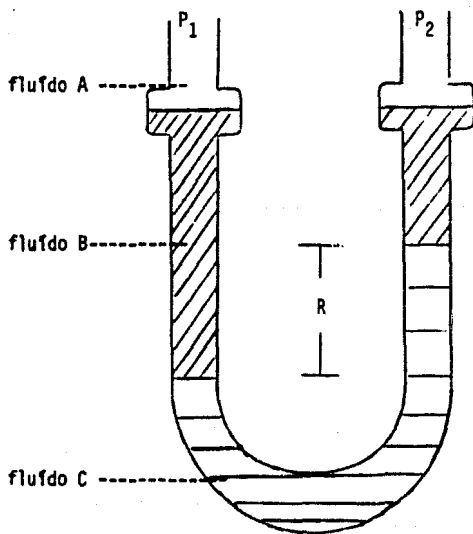


Fig. 2 Manómetro en U de dos fluidos

Aplicando el mismo principio, la diferencia de presión será:

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = (R - R_0)(\rho_C - \rho_B + (a/A)\rho_B) g/g_c \dots 4$$

siendo

a = área del tubo en forma de U

A = área de la sección transversal de los depósitos

R_0 = R cuando la diferencia de presión es cero

ρ_B = densidad del fluido B

ρ_C = densidad del fluido C

Tubo U inclinado : Se utiliza para cuando tenemos pequeñas lecturas ya que con la inclinación se amplía el desplazamiento lineal del fluido.

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = (R - R_0) \text{Sen } \theta (\rho_M - \rho_L) \dots 5$$

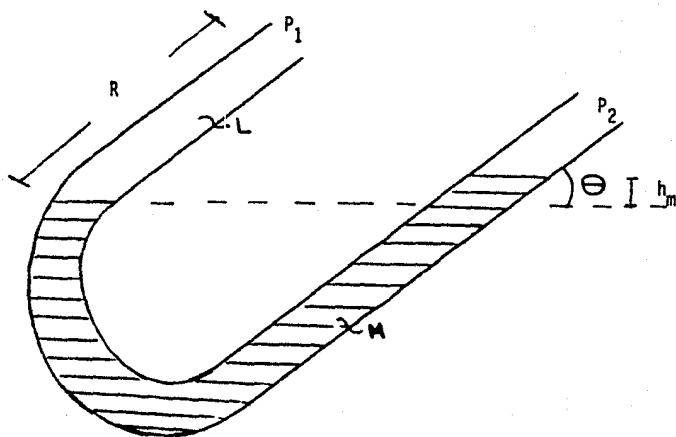


Fig. 3 Manómetro inclinado

Existen otros tipos de manómetros cuyas formas dependen de los requerimientos.

b).- Teoría

El medidor de presión diferencial se fundamenta en el teorema de Bernoulli, el cual dice que en una corriente de fluido, la suma de la energía de presión, la energía cinética y la energía potencial en un punto es igual a la suma de las energías en otro punto más las pérdidas debidas a la fricción entre esos dos puntos.

Este principio es aplicado para la medición de flujo alterando la velocidad de una manera predeterminada, comunmente por una restricción del diámetro.

La restricción conocida como elemento primario de medición hace que el fluido se contraiga y una vez que el flujo permanece constante la velocidad de éste aumenta al pasar por la restricción y la presión estática - disminuye al mismo tiempo, según la ley de la conservación de la energía (teorema de Bernoulli), la diferencia entre las presiones antes y después de la restricción, llamada comunmente diferencial, representa un índice de la velocidad de flujo.

Para determinar el caudal del fluido basta simplemente multiplicar el índice de la velocidad por el área transversal de la tubería dando como resultado las ecuaciones básicas de flujo :

$$Q = V A \quad \dots 6$$

$$V = k (\Delta P / \rho)^{1/2} \quad \dots 7$$

$$Q = k A (\Delta P / \rho)^{1/2} \quad \dots 8$$

$$W = k A (\Delta P \rho)^{1/2} \quad \dots 9$$

V = Velocidad

Q = Velocidad de flujo volumétrico

W = Velocidad de flujo másico

A = Sección transversal de la tubería

ΔP = Presión diferencial entre los puntos de medición

ρ = Densidad del fluido

k = Constante que incluye la relación de áreas de tubería y res-

tricción, unidades de medición, factores de corrección, etc. dependiendo del tipo específico del medidor.

La presión diferencial medida es convertida a unidades de flujo por medio del dispositivo de medición. La forma más sencilla de éste dispositivo es un manómetro en forma de U donde el flujo se determina midiendo la diferencia de altura entre dos columnas de mercurio.

c).- Características

Una de las características principales de los medidores de presión diferencial es que no se obtienen lecturas directas para la medición de flujo másico o volumétrico; por lo que es necesario hacer uso de las ecuaciones básicas para obtener el gasto.

En la utilización de las ecuaciones disminuimos el error que se pueda tener en la lectura de la diferencia de presión y densidad ya que se encuentran relacionadas por una raíz cuadrada.

Otra de las características de los medidores de presión diferencial es que dependen de una restricción en el camino del flujo la cual produce un cambio en la velocidad, así tenemos que para tuberías circulares y restricciones también circulares, la relación β es la relación entre el diámetro de la restricción y el diámetro interior de la tubería; la relación entre la velocidad en la tubería y la velocidad en la restricción es igual a la relación de áreas o β^2 .

Para configuraciones no circulares, β está definida como la raíz cuadrada de la relación de área de la restricción al área de la tubería o conducto.

d).- Número de Reynolds

Las ecuaciones básicas de flujo suponen que la velocidad es uniforme a través de una sección transversal dada en la práctica, la velocidad de flujo en cualquier sección transversal se aproxima a cero en la capa adyacente a la pared de la tubería y varía a través del diámetro. Este perfil de velocidad de flujo tiene un efecto importante sobre la relación entre la velocidad de flujo y la presión diferencial desarrollada en un medidor de presión diferencial.

Osborne Reynolds presentó una ecuación adimensional por medio de la cual se puede obtener un criterio sobre el comportamiento de flujo dentro de una tubería, la cual se describe a continuación:

$$Re = Dv\rho / \mu \quad \dots 10$$

v = Velocidad

D = Diámetro interno de la tubería

ρ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad absoluta del fluido

A bajos números de Reynolds el flujo es laminar. El perfil de velocidad transversal a un diámetro es sustancialmente parabólico. A altos números de Reynolds el flujo es turbulento, con remolinos formados dentro del fluido. Esta turbulencia tiende a producir una velocidad axial uniforme - promedio transversal a la corriente. El cambio de flujo laminar a turbulento es gradual con un punto de transición no exacto, para números de Reynolds arriba de 10 000 el flujo es definitivamente turbulento.

El valor para k en las ecuaciones básicas incluye un factor del número de Reynolds. Para medidores de presión diferencial este factor simple es suficiente para establecer una compensación en el coeficiente por cambios en la relación de fuerza inercial a friccional.

Para fluidos compresibles como gases o vapores la presión diferencial desarrollada resulta en un correspondiente cambio en densidad entre los puntos de medición de presión corriente arriba y corriente abajo. Para cálculos acertados de flujo de gas, éste es corregido por un factor de expansión el cual es empíricamente determinado.

PLACA DE ORIFICIO

a).- Generalidades

Un medidor de orificio es un aparato sumamente sencillo, normalmente consiste de una placa plana con un orificio perforado en el centro. La placa perforada se inserta perpendicularmente a la dirección del flujo el cual pasa a través del orificio.

De acuerdo a la posición y forma de la restricción con respecto a la placa de orificio, podemos encontrar placas con orificio concéntrico, excéntrico, segmental, los cuales pueden ser de corte afilado o cuadrado. El espesor de la placa depende del gasto que se este manejando.

La placa de orificio delgada con perforación concéntrica de corte -afilado, en particular tiene importantes ventajas incluyendo su manufactura económica para altas presiones, facilidad de instalación y reemplazamiento.

Placa de orificio concéntrico

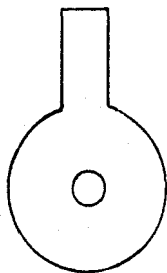
De acuerdo a los datos de coeficientes publicados dentro de las tolerancias estandar podemos mencionar las siguientes especificaciones:

- 1.- El espesor del plato no debe exceder de los límites $d/8$ ó $D/50$ en tuberías cilíndricas
 d = diámetro del orificio
 D = diámetro de la tubería
- 2.- El corte del orificio de la placa corriente arriba debe ser afilado ó redondeado.
- 3.- La cara de la placa corriente arriba debe estar lo más pulida posible.
- 4.- El orificio debe estar muy bien centrado con respecto a la tubería con un error máximo del 3% .

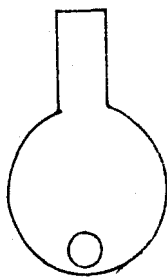
Placa de orificio excéntrico

El orificio excéntrico como se muestra en la figura es exactamente igual como la placa de orificio concéntrico, excepto que el orificio es tan gente a un círculo con un diámetro del 98% del diámetro de la tubería. Ninguna porción del orificio deberá ser cubierta por la brida o empaque al --

PLACA DE ORIFICIO CONCENTRICO



PLACA DE ORIFICIO EXCENTRICO



PLACA DE ORIFICIO SEGMENTAL

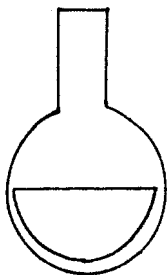


FIG 4.- TIPOS DE PLACA DE ORIFICIO

ser instalada la placa.

Placa de orificio segmental

El orificio segmental como se muestra en la figura es el segmento de un círculo con un diámetro igual al 98% del diámetro de la tubería. Este debe instalarse de tal forma que la sección circular es concéntrica a la tubería y de tal forma que ninguna porción de la brida o empaque cubra el orificio.

Placa de orificio con corte redondeado

La inercia es el efecto dominante en el desarrollo de la vena contracta en la placa de orificio de corte afilado. Mayores variaciones en el coeficiente ocurrirán a flujos de bajo número de Reynolds, donde los efectos viscosos empiezan a hacerse importantes, y el perfil del flujo es parabólico.

La sustitución de un corte redondeado por el corte afilado, resulta en más de diez veces la disminución del coeficiente de descarga en el rango del número de Reynolds 500-10000. La placa de orificio de corte cuadrático es generalmente más grueso que la placa de corte afilado.

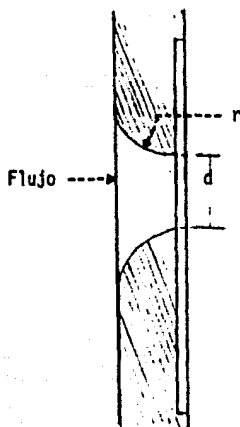


Fig. 5 Placa de orificio de corte redondeado

b).- Localización de las tomas de presión

La localización exacta de la toma de presión corriente arriba es relativamente poco importante excepto para una relación de diámetros alta. Desde dos y medio diámetros de tubería a medio diámetro de tubería corriente arriba la presión es casi constante sobre todas las relaciones de diámetros comerciales. Desde medio diámetro de tubería corriente arriba de la placa hay un incremento gradual en la presión de una magnitud apreciable en relación de diámetros arriba de 0.5. Abajo de esta relación no hay un incremento gradual importante de la presión tanto que la toma de presión corriente arriba se puede localizar dentro del rango dos y medio a cero diámetros de tubería .

La localización de las tomas de presión corriente abajo es muy importante. Las mejores condiciones se obtienen localizando la toma de presión en la vena contracta. La siguiente gráfica nos muestra donde se encuentra localizada la vena contracta para distintas relaciones de diámetros y tipos de orificio.

Tomas de brida

Se localizan a una pulgada corriente arriba y una pulgada corriente abajo de las respectivas caras de la placa de orificio.

La localización cerca del término de la tubería facilita la inspección de las rebabas causadas cuando el orificio de la toma es taladrado a través de la pared de la tubería.

No son recomendadas para tuberías menores de dos pulgadas porque la vena contracta se puede formar antes de una pulgada y por lo tanto la toma quedaría en un región inestable. Ampliamente usadas en Estados Unidos.

Tomas de esquina

Son similares en muchos aspectos a las anteriores excepto que la presión es leída en la esquina entre la placa de orificio y la pared del tubo. Se utilizan bastante en Europa. Algunas pruebas han indicado inconsistencia en instalaciones con alta relación β , las cuales han sido atribuidas a una región de flujo inestable antes de la placa. Para evitar este error la toma corriente arriba se localiza a un diámetro de tubería. Este tipo de toma ha sido usado en Estados Unidos con diámetros menores de 2 in.

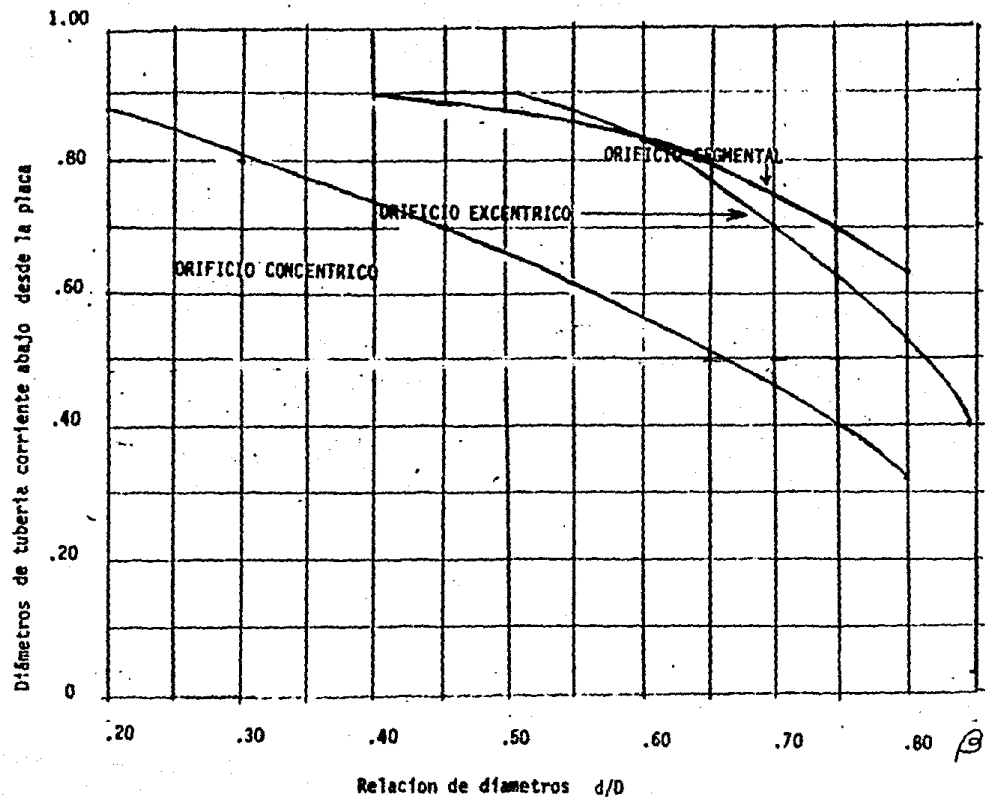


FIG 6.- LOCALIZACION DE LA VENA CONTRACTA

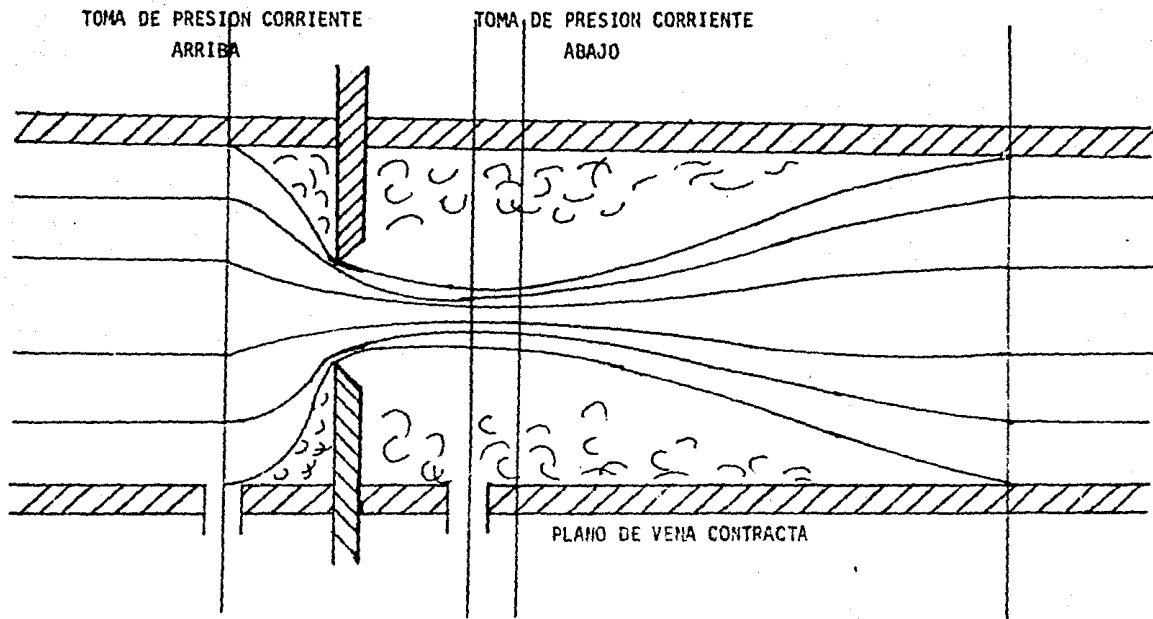


FIG. 7 PATRON DE FLUJO CON PLACA DE ORIFICIO

Tomas de vena contracta

La toma corriente arriba esta localizada a un diámetro de tubería -- de la placa y la toma corriente abajo esta localizada en el punto de mínima presión o máxima velocidad (vena contracta). Aunque esta es posición óptima, presenta problemas al cambiar la relación de diámetro porque entonces el punto de mínima presión va a variar pudiendo quedar la toma dentro de la zona inestable y teneremos medidas inconsistentes.

Tomas de tubería

Son localizadas a dos y medio diámetros de tubería corriente arriba y ocho diámetros corriente abajo. La toma corriente abajo se localiza ahí debido a que en ese punto se vuelve a estabilizar el flujo. Se les conoce también con el nombre de tomas de flujo lleno.

c).- Perforaciones para drene o venteo

Cuando tenemos gases húmedos o vapores saturados puede formarse un condensado en el fondo de la tubería horizontal delante de la placa de -- orificio y causar mediciones de flujo erráticas. Así mismo cuando tenemos flujo líquido que contenga cantidades pequeñas de gas o vapores las cuales tienden a colectarse en la parte superior de la línea, se llega a los mismos errores.

Estos problemas se resuelven para líquidos conteniendo gas o vapor -- por medio de un venteo en el plato; ahora si se trata de gas húmedo o vapor saturado se utiliza un drene localizado en el fondo de la placa de -- orificio.

El diámetro común de la perforación o drene es el 10 % menor del diámetro del orificio, localizado en la parte superior o inferior de la placa, interior o tangente a un círculo concéntrico sobre el plato teniendo -- un diámetro igual a la tubería. El máximo flujo a través del drene es menor del 1% del flujo total.

d).- Cálculos

A partir de la ecuación básica de flujo tenemos :

$$W = kA (h_e)^{1/2}$$

haciendo conversiones para que nos quede el flujo másico como lb/hr nos quedará:

$$kA = 359 C d^2 / (1 - \beta^4)^{1/2} \dots\dots\dots 11$$

donde:

359 = factor de conversión

C = coeficiente de descarga (adimensional)

d = diámetro del orificio en pulgadas

h = presión diferencial en pulgadas de agua

ρ = densidad de operación en lb/ft³

β = relación de diámetro del orificio entre el diámetro de la tubería.

sustituyendo la ecuación 11 en la ecuación 9 nos queda:

$$W = 359 C d^2 (h_e / (1 - \beta^4))^{1/2} \dots\dots\dots 12$$

Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga para una placa de orificio dada es una -- función del número de Reynolds, de la relación de diámetros β y tomas de presión. A números de Reynolds mayores de 30000 (basados sobre el diámetro del orificio y velocidad), los coeficientes son casi constantes. Para orificios concéntricos de corte redondeado o afilado, el valor caerá -- entre 0.595 ó 0.62 para tomas de vena contracta con β arriba de 0.8 y para tomas de brida con β arriba de 0.5.

La siguiente tabla nos da el rango de valores del coeficiente de des -- carga según el tipo de orificio:

Tipo de placa	No. de Reynolds	β	Tipo de toma	Coeficiente de -- descarga
Concéntrico (redondeado ó afilado)	< 3000	0.8	vena contracta ó radial	0.595-0.62

Concéntrico (redondeado ó afilado)	<3000	< 0.5	brida	0.595-0.62
Redondeado	5000-6000	0.225	brida, esqui- na y radial	0.77
"	5000-150000	0.4	"	0.78
"	4000-200000	0.5	"	0.824
"	3000-120000	0.6	"	0.856
"	3000-105000	0.63	"	0.885
Excéntrico (redondeada)	<10000	0.3-0.5	vena contracta y brida	0.61-0.63
Segmental	"	0.3-0.5	"	0.63-0.64

En la literatura se pueden encontrar gráficas para obtener el coeficiente de descarga según el tipo de tomas de presión y tipo de placa.

e).- Pérdidas y recuperación de presión

Todos los elementos primarios tienen recuperación de presión, si la toma corriente abajo esta localizada en el punto de mínima presión. En -- las tomas a dos y medio diámetros de tubería corriente arriba y ocho corriente abajo ya no hay recuperación de presión más alla del punto de medición.

Debido a las pérdidas tan grandes de fricción por los remolinos generados, en el momento de reexpansión del flujo después de la vena contracta, el recobre de presión en un medidor de orificio es pobre, por lo que esto es una gran desventaja del medidor de orificio. El porcentaje de pérdidas de presión depende del valor de β así como tenemos que para un valor de β de 0.8 la pérdida de presión será alrededor de 40% como se muestra en la siguiente gráfica.

f).- Instalación

La placa de orificio es comunmente instalada entre un par de bridas. Al instalar la placa de orificio, se debe tener cuidado de que la junta o empaque sea colocada de tal manera de que no se salga a través de la placa de orificio sobre el lado interno de la pared de tubería. Existen uni-

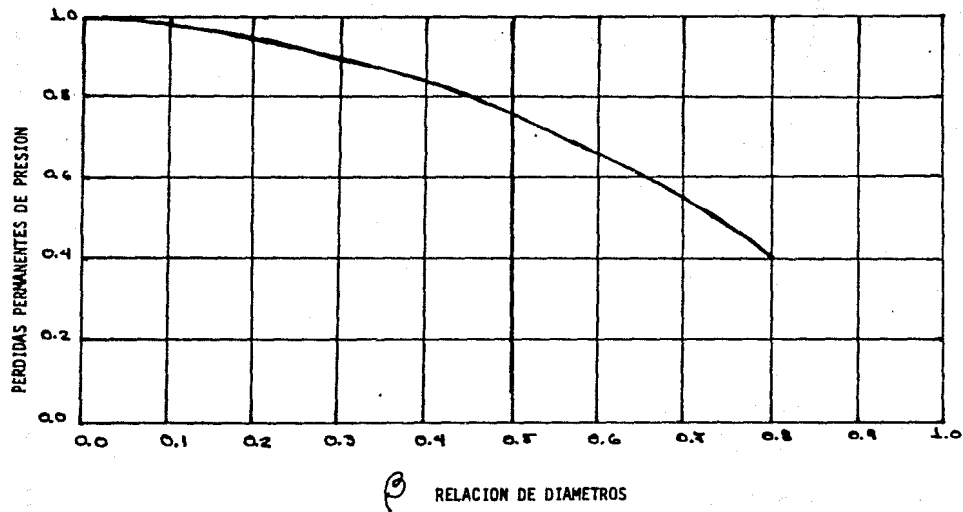


FIG.- 8 PERDIDAS DE PRESION EN MEDIDORES DE ORIFICIO

dades por medio de las cuales la placa de orificio puede ser colocada y removida de las líneas de flujo, bajo presión y sin interrumpir el flujo.

Para evitar errores que pueden cambiar el modelo de flujo debido a válvulas, codos, etc, una línea recta de tubería lisa antes y después del orificio es recomendada. La longitud requerida depende de la relación de diámetros y del tipo de flujo que se tenga.

Una separación de 45 diámetros de tubería corriente arriba desde el orificio con una relación β de 0.75 es recomendada para la colocación de una válvula. Seis diámetros de tubería corriente arriba es suficiente para la colocación de un codo si este es requerido, con una relación de β de 0.4. Una línea recta de tubería corriente abajo desde el orificio con una longitud de cinco diámetros de tubería es recomendada para cualquier aplicación.

Cuando no resulta práctico la instalación del orificio en una línea recta de tubería con la longitud deseada, se recomienda el uso de un accesorio enderezador de flujo como el de la fig. 9 .

Este accesorio puede ser un haz de tubos o aspas enderezadoras de flujo, colocadas en los últimos seis diámetros de tubería a partir de la toma de alta presión.

La instalación de las tomas de presión es muy importante. Rebabas o filos donde las tomas son introducidas en la línea deben ser eliminadas. Considerables errores en la medición pueden resultar debido a esas salientes que generan una falsa presión. Esto es muy importante en la toma de tubería.

g).- Conclusiones

La placa de orificio concéntrico no es recomendada para flujos slurries y fluidos sucios, donde los sólidos pueden acumularse cerca de esta. La placa de orificio de corte afilado no se recomienda para fluidos fuertemente erosivos o corrosivos, los cuales tienden a redondear el corte afilado del orificio. La placa de orificio de corte redondeado es recomendada para cuando se tiene un número de Reynolds menor de 10000 en la tubería, ya que en los cálculos, el factor de corrección para el número de Reynolds no introduce problemas para la determinación de flujo total como

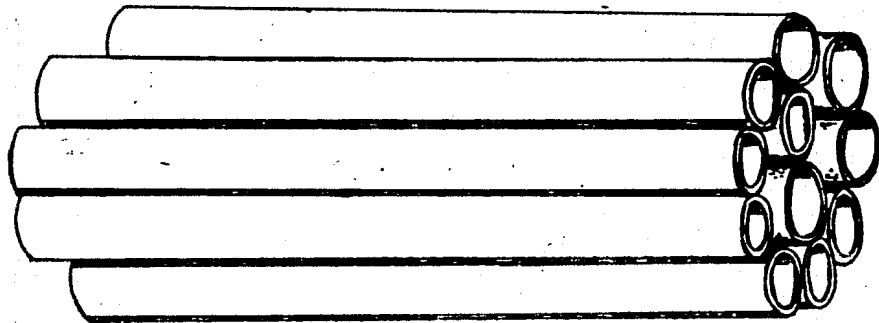


FIG.- 9 TUBOS ENDEREZADORES DE FLUJO

sucede en la placa de corte afilado. Las ecuaciones básicas escritas en capítulos anteriores nos sirven para la medición de flujo con velocidades menores al flujo sónico, por lo cual para velocidades mayores a este se requieren otro tipo de cálculos.

Se recomienda que para placas de orificio concéntrico la relación no exceda de 0.75, ya que para relaciones de β mayores nos da una diferencia de presión grande y esto no es recomendable.

Los orificios excéntricos y segmental son preferibles a los orificios concéntricos para la medición de slurries o líquidos sucios y también para medir gases y vapores donde se puede presentar líquido.

Para casos extremos el orificio segmental el cual esta provisto de un orificio de paso completamente abierto en el fondo de la tubería es -- más recomendado.

No obstante, para condiciones dentro de la capacidad del orificio -- excéntrico, este es preferible por la facilidad de manufactura, menos requerimientos críticos, como la localización con respecto a la tubería y generalmente más seguro.

No se dispone de datos de coeficientes de descarga exactos, para el orificio excéntrico y segmental a bajos números de Reynolds.

La presión y la temperatura de diseño del medidor de orificio estan limitados únicamente por el sistema de lectura exterior.

El tamaño máximo del medidor es una función del tamaño de la tubería con el que está relacionado.

La cantidad de flujo que puede manejar la placa de orificio esta limitada únicamente por el tamaño de la tubería y la exactitud de medición es muy grande, teniendo errores desde $\pm 0.25\%$ hasta $\pm 2\%$ de la escala total.

Los materiales de construcción del medidor depende del tipo de fluido que se maneje pudiendo ser de acero, acero inoxidable, níquel, etc.

TUBO VENTURI

a).- Generalidades

La teoría, el comportamiento general y cálculos para tubo venturi, -- tubos de baja pérdida de presión y toberas de flujo son similares a los de la placa de orificio. Sin embargo, en estos elementos hay continuo contacto entre el fluido y la superficie del elemento primario, en contraste a la placa de orificio donde el contacto existe sólo en el corte afilado. -- La superficie final del elemento primario puede tener un efecto importante sobre el coeficiente. El coeficiente aumenta con el incremento del número de Reynolds (al inverso de la placa de orificio de corte afilado). El coeficiente calculado para este caso es menos seguro que para una placa.

El tubo venturi que aparece en la figura 10 consiste :

- 1.- Sección cónica convergente corriente arriba cuya sección transversal disminuye conforme nos acercamos a la garganta del elemento primario y la velocidad aumenta con la consecuente disminución de presión.
- 2.- Una garganta cilíndrica en la cual no existe ni aumento ni disminución de presión.
- 3.- Un cono de recuperación divergente en la cual la velocidad disminuye y la presión se recupera.

Las tomas de presión son colocadas a medio diámetro de tubería corriente arriba en el principio de la convergencia y en la mitad de la garganta.

Un piezómetro de anillo es algunas veces usado para la medición de la presión diferencial, este consiste de diversas perforaciones alrededor de la garganta y del tubo. Cada conjunto de perforaciones son conectadas para dar una presión promedio. Para la medición de slurries y líquidos similares no homogéneos, los piezómetros de anillo son comunmente eliminados para permitir eficiencia de purgado de las tomas de presión.

El tubo venturi no tiene cambios bruscos en su contorno, ni esquinas afiladas , ni proyecciones dentro de la corriente de flujo. Debido a esto puede ser usado para slurries y líquidos sucios.

El tubo venturi es algunas veces modificado a una configuración ---- excéntrica como se puede ver en la figura 11, con el fondo de la garganta en el mismo plano horizontal del fondo de la tubería.

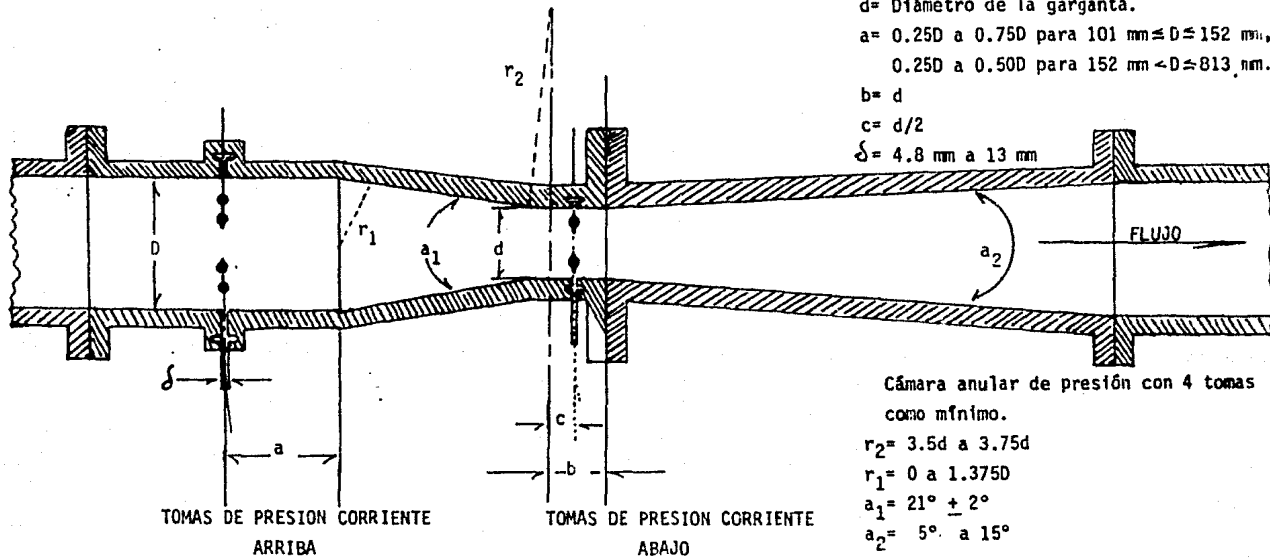


FIG.- 10 TUBO VENTURI CLASICO

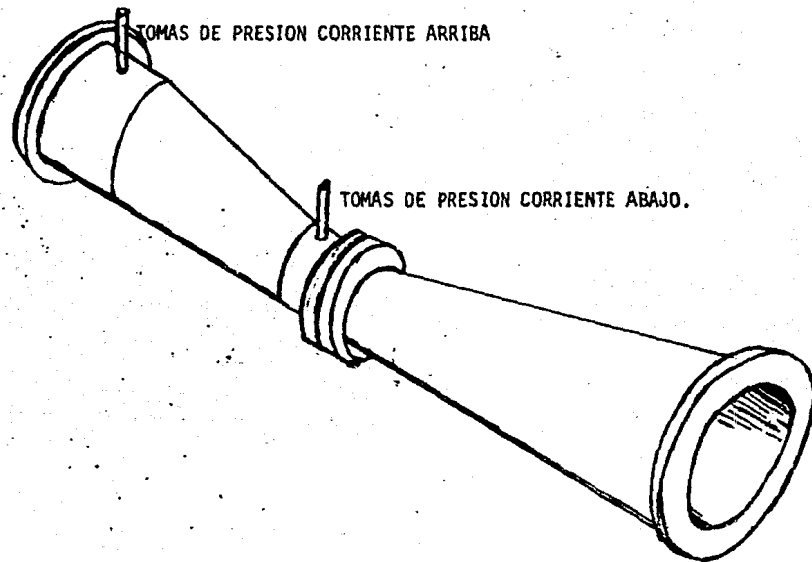


FIG.- 11 TUBO VENTURI EXCENTRICO

A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE
ORIGEN**

Esto asegura que la acumulación de materiales pesados no ocurre y permite completo drenaje de líneas horizontales.

El recobro de presión relativamente grande resulta en una pérdida de presión de solamente 10-25% de la presión diferencial. Hay un ahorro sustancial de potencia cuando se miden grandes cantidades de fluido. Los tubos venturi son frecuentemente usados para medir grandes flujos de aire a baja presión. La presión disponible está generalmente limitada; un tubo venturi a menudo desarrollará una diferencia de presión suficiente para poder medir el flujo dentro de los límites de pérdida de presión disponible. Para este tipo de mediciones a baja presión los tubos venturi rectangulares son frecuentemente usados para conformar un ducto de trabajo rectangular. Si el ducto es netamente cuadrado, las cuatro paredes del ducto convergen y divergen con los mismos ángulos que en el tubo circular como se ve en la fig. 12.

Un ángulo de 19° a 23° de convergencia en la entrada del cono de un tubo venturi es el valor clásico establecido por Herchell en 1887. La recuperación de presión depende del ángulo. Un ángulo más grande de 15° puede resultar en una importante disminución en la recuperación de presión. Cuando la longitud disponible está limitada el tubo venturi truncado puede ser usado como en la fig. 13.

Para una comparación de varios medidores de presión diferencial la recuperación de presión se puede ver en la gráfica 14.

b).- Cálculos de flujo

La A.S.M.E. ha adoptado un coeficiente de descarga C en la ecuación 12 de 0.984 para todas las relaciones de diámetro y tamaño de tubo venturi clásico, desde 2" a 30" de diámetro de tubería y un número de Reynolds mayor de 200 000.

A partir de esto el flujo aproximado puede ser calculado desde la ecuación

$$W = 359(0.984) d^2 (h_p / 1 - \beta^4)^{1/2} \dots\dots\dots 13$$

$$W = 353 d^2 (h_p / 1 - \beta^4) \dots\dots\dots 14$$

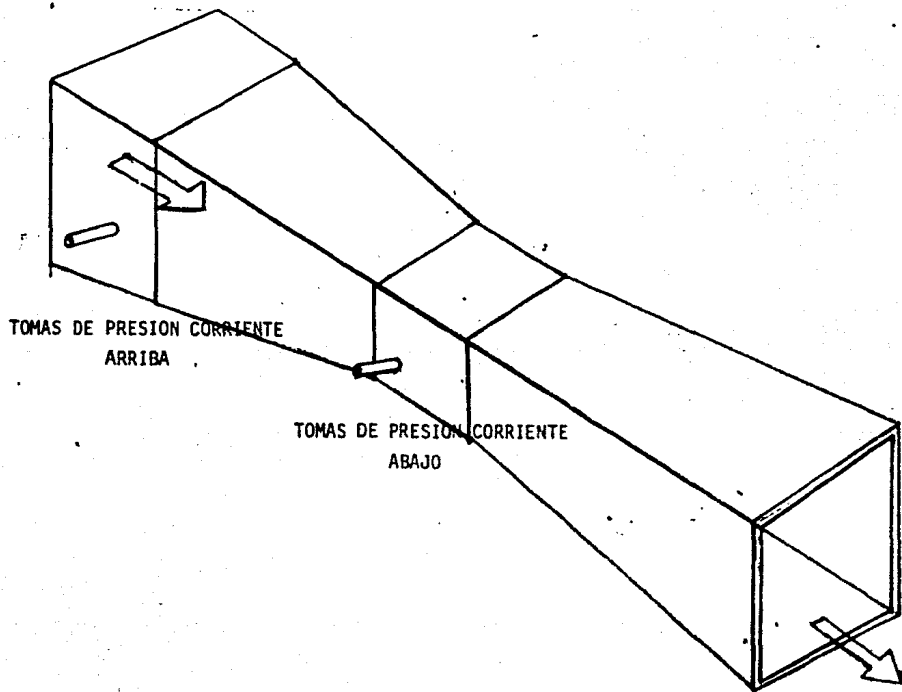


FIG.- 12 TUBO VENTURI RECTANGULAR

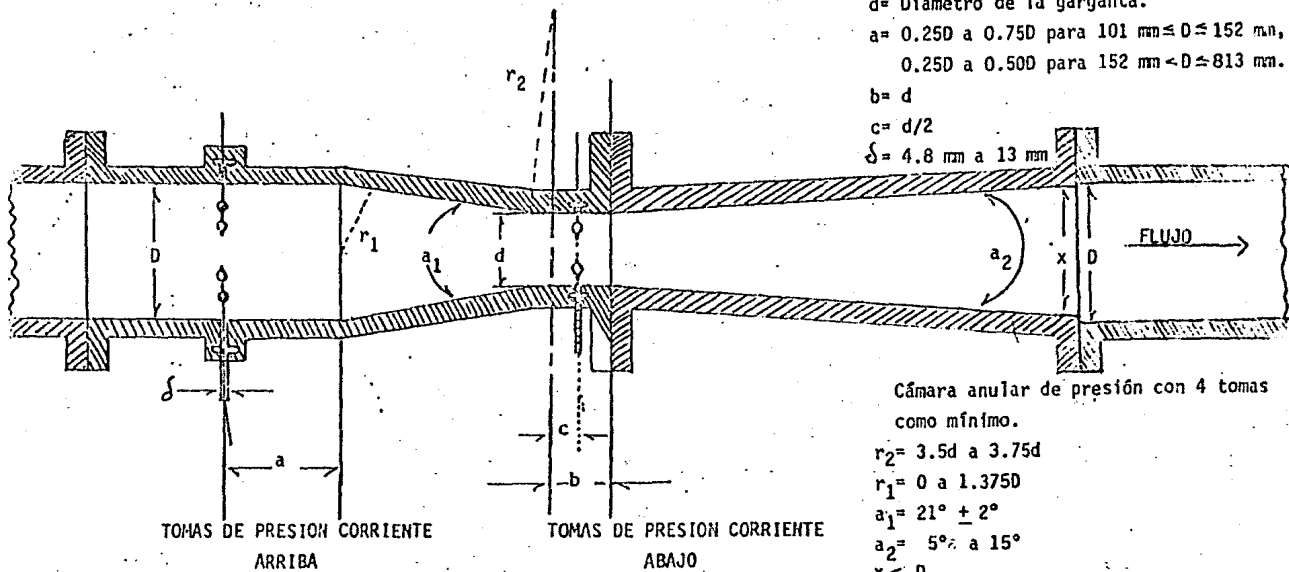


FIG.- 13 TUBO VENTURI TRUNCADO

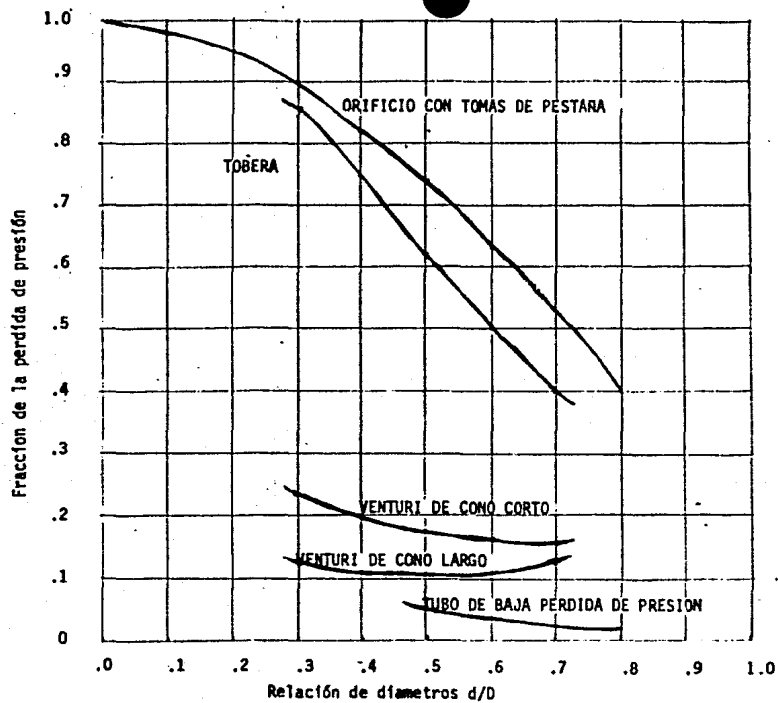


FIG. - 14 PERDIDAS DE PRESION VS. RELACION DE DIAMETROS

y para el diseño del tubo venturi:

$$\beta = 1 / (1 + 125\,000 \text{ hp } D^4 / w^2)^{1/4} \dots \dots \dots 15$$

Para un número de Reynolds de 50 000 el coeficiente se considera a una $C = 0.968$ y así se sustituye 344 en lugar del 353 de la ecuación 14.

Para números de Reynolds mas bajos no se dispone de datos seguros. El coeficiente de expansión de temperatura del tubo venturi y el factor de corrección de la expansión de gas son similares a los de un orificio.

c).- Instalación

Un tubo venturi puede ser instalado en una posición vertical, horizontal o inclinado, procurando que el venturi esté siempre lleno de líquido a la entrada del medidor. En la mayoría de los casos las tomas de presión son horizontales.

Como regla general se requiere una línea recta tan posible como sea corriente arriba, para tener un perfil de velocidad simétrica. Los medidores venturi en la mayoría de las instalaciones, necesita menos tubería recta corriente arriba que los orificios, tubo pitot o tobera. Generalmente, con una relación β mas pequeña, una tubería corta corriente arriba puede ser usada. Especificamente con una relación 0.53 una longitud recta de tubo igual a 10 veces el diámetro de entrada es adecuado, con una β de 0.63 una longitud recta igual a 20 veces el diámetro de entrada es necesaria.

Los requerimientos de tubería recta para varios accesorios pueden ser estimados de las siguientes gráficas como se ve en la Fig 15.

Los tubos enderezadores de flujo pueden reducir la longitud de tubería recta requerida corriente arriba. Para una razonable instalación se usa una longitud mínima de dos diámetros de tubería corriente arriba de la entrada del cono a los tubos.

La configuración de la tubería corriente abajo, no tiene efectos sobre la exactitud de la medición. Reducciones o codos pueden ser conectados a la salida del venturi, se recomienda dejar una longitud de dos diámetros de tubería después del venturi si se va a colocar una válvula a la salida del medidor.

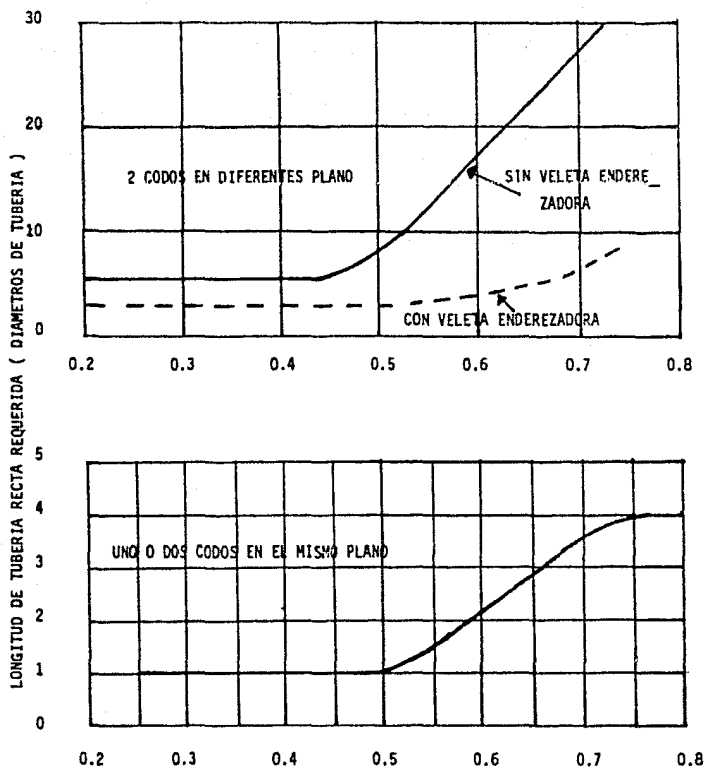


FIG 15.- TRAMO RECTA DE TUBERIA CORRIENTE ARRIBA PARA MEDIDORES VENTURI

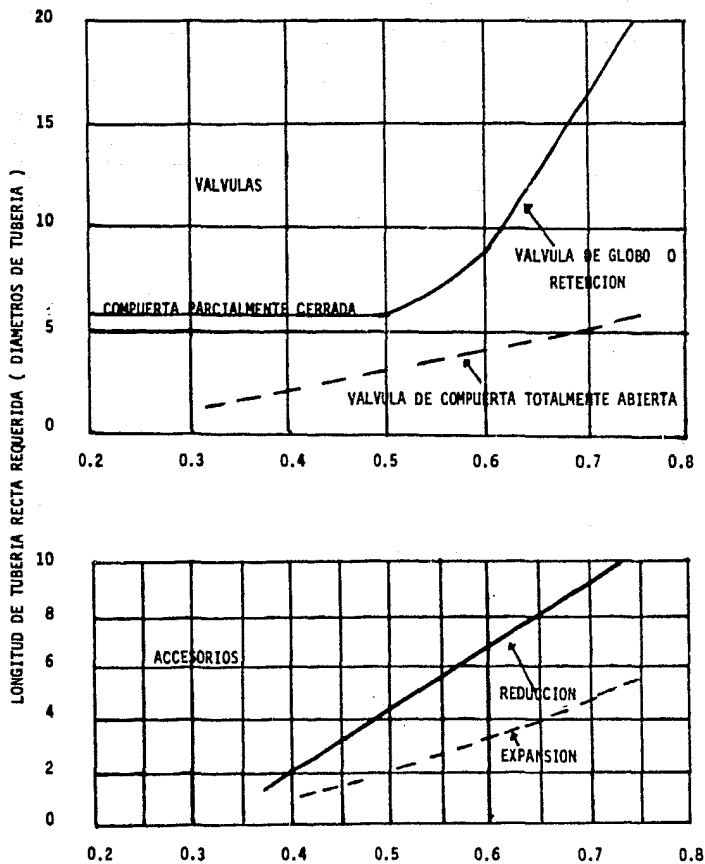


FIG 15.- TRAMO RECTO DE TUBERIA CORRIENTE ARRIBA PARA MEDIDORES VENTURI

Los medidores venturi pueden tener aberturas de limpieza, aberturas de inspección en el cono de salida y válvulas de purgado además de las tomas de presión.

d).- Conclusiones

La mayor limitación del tubo venturi es el costo para el tubo mismo y frecuentemente para la instalación de la longitud necesaria en los tamaños mas grandes. Un tubo venturi es mucho mas difícil de inspeccionar que una placa de orificio, por diversas razones, la seguridad de medición con un tubo venturi puede ser menor que con una placa de orificio a menos que el tubo venturi sea diseñado específicamente para un rango de flujo determinado.

Debido a la considerable area de contacto del fluido con el cono de entrada, los efectos debido a la presión son apreciables específicamente cuando tratamos con líquidos viscosos. La lisura de la superficie del cono puede tener un efecto apreciable el cual puede cambiar si existe corrosión ó erosión. Datos de prueba de alta precisión del tubo venturi bajo una amplia variedad de condiciones de operación son limitados, debido a que hay pocos datos sobre tamaños pequeños de venturi y a bajos números de Reynolds.

El tubo venturi es considerado el mejor medidor de presión diferencial para medir líquidos con gran concentración de sólidos.

La pérdida de presión a través del venturi es muy pequeña y en sistemas bien diseñados, los venturi requieren la mitad del tramo recto requerido por una placa de orificio para la misma exactitud. Los venturi también manejan rangos de capacidad mas altos.

Desde el punto de vista de diseño de tuberías, debemos contestar las siguientes preguntas para poder aplicar las propiedades del venturi.

1.- Puede ajustarse el medidor venturi a una tubería calculada ?

Tanto el medidor como la tubería son dimensionados con los mismos datos de flujo.

2.- Es posible ajustar un medidor venturi dentro de una tubería dada sin tramo de tubería y accesorios adicionales ?

Es posible siempre y cuando tenga las mismas dimensiones de la tubería.

El medidor venturi mas simple corresponde a la figura 16a. y se usa para servicios de alta temperatura y presión, comparados con otros medidores su costo es bajo. Este tiene dimensiones cortas y una alta recuperación de presión. Este medidor puede ser utilizado para slurries y para líquidos que contienen sólidos. En servicios slurries las conexiones de presión son limpiadas intermitentemente.

El tubo venturi estandar de forma corta como se muestra en la figura 16b, tiene un amplio rango de aplicaciones industriales. Las tomas de alta y baja presión son conectadas a las cámaras anulares localizadas alrededor de la sección cilíndrica a la entrada del medidor y alrededor de la garganta. Este tipo de venturi es adecuado para líquidos limpios y gases.

El tubo venturi de forma larga como se presenta en la fig. 16c, tiene unas pérdidas de presión permanentes mas pequeñas que el de forma corta, especialmente a mas bajas relaciones de β .

Los venturi de forma corta y larga operan con un amplio rango de flujo debido a que el coeficiente de descarga permanece constante. La seguridad de medición es escasamente afectada por disturbios corriente arriba. Ambos venturi son disponibles en tamaños de 1" - 48".

Para servicios de presión y temperaturas altas los medidores descritos anteriormente se presentan con diseños extra teniendo un terminado biselado como se presenta en la Fig.16.d, siendo el rango de tamaños de 1" a 42".

La presión de diseño del tubo venturi está limitada solamente por el elemento de lectura externa o por la máxima presión permitida por la tubería. La temperatura de diseño está también limitada por el elemento de lectura exterior si es que debe operar a altas temperaturas.

El tamaño del medidor estandar va de 1" a 48", mientras tamaños mas grandes necesitan ser construidos de acuerdo a la necesidad que se requiera. El venturi es un medidor adecuado para líquidos y gases y puede medir desde un galon por minuto para líquidos o desde un pie cúbico estandar por minuto para gases a cualquier velocidad máxima, limitada por el tamaño de la tubería solamente; pudiendo tener un error en la medición de $\pm 0.25\%$ a $\pm 3\%$, los errores debido a las inexactitudes de los elementos de lectura exterior y a la de los cálculos son adicionales.

Los materiales de construcción no son limitados. Los materiales estandar incluyen, acero al carbón, acero inoxidable y fibra de vidrio.

El costo varía de acuerdo al material usado siendo la fibra de vidrio mas barata que el acero al carbón, y éste mas económico que el acero inoxidable.

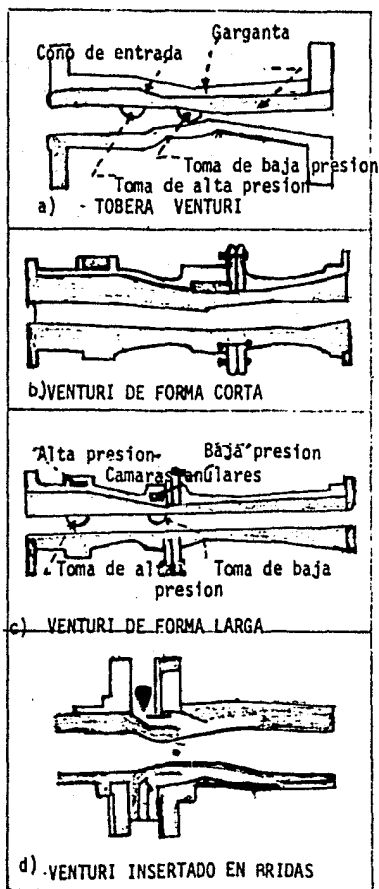


Fig. 16. TIPOS DE VENTURI.

TUBOS DE BAJA PERDIDA DE PRESION

a).- Generalidades

El tubo de flujo Dall se escoge cuando una alta presión diferencial es requerida en la medición teniendo una pérdida de presión mas baja que el tubo venturi.

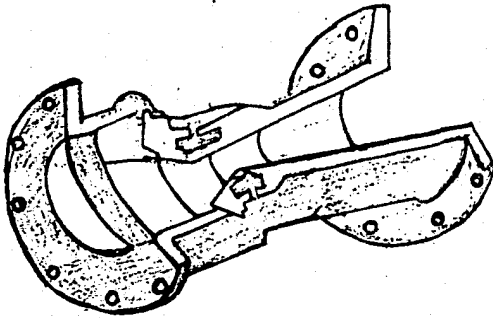
Estos medidores son considerablemente mas compactos que el venturi clásico con su largo cono de recuperación, ademas son comunmente usados donde se requiere grandes cantidades de flujo líquido. La fig. 17.a presenta el modelo de metal fundido del tubo para un tamaño de 6" a 48" y la fig. 17.b -- presenta el diseño soldado.

El tubo de flujo Dall tiene una longitud menor que el tubo venturi para un mismo tamaño de tubería. Su instalación es sencilla y tiene un menor costo que el tubo venturi.

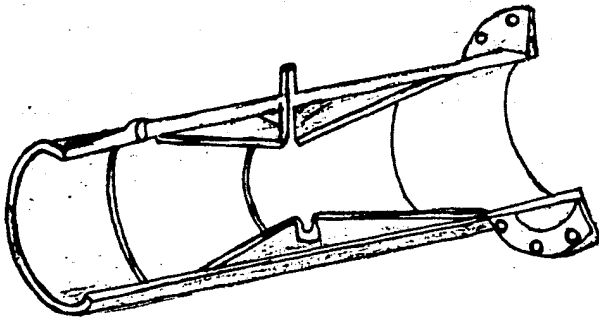
El tubo Dall fué desarrollado en Inglaterra y ahora es también hecho en Estados Unidos. Estos son propiamente primarios con una combinación de contornos y localización de tomas para dar una presión diferencial alta y una pérdida de presión baja. El tamaño de estos tubos son menores que cuatro diámetros de longitud. La relación entre el flujo y la presión diferencial es similar a los otros medidores de presión diferencial.

Los medidores de baja pérdida de presión estan sujetos a cambios en su coeficiente de descarga por las variaciones en la viscosidad del fluido que se maneje. Los fabricantes proveen datos sobre el efecto del número de Reynolds en el coeficiente. En general estos elementos primarios no son recomendados para líquidos viscosos ya que cualquier acumulación puede afectar seriamente el coeficiente. Ninguno tiene el contorno liso del medidor venturi, no obstante, algunas veces se usa satisfactoriamente para la medición de aguas de drenaje.

La exactitud de medición depende básicamente de los datos de calibración que proporcione el fabricante. Es difícil y caro calibrar un medidor para tuberías con diámetros de 24" ó mayores.



a) Fundido



b) Soldado

FIG.- 17 TUBO DE FLUJO DALL CON ALTA PRESION DIFERENCIAL

b).- Cálculos

$$\text{gpm H}_2\text{O} = \text{gpm (sg)}^{1/2}$$

$$\text{gpm H}_2\text{O} = \text{scfm} \times 0.0432(\text{sg} \times \text{T/P})^{1/2}$$

$$\Delta P = \Delta P_t (\text{gpm H}_2\text{O} / \text{gpm}_t)^2$$

gpm = Velocidad de flujo máxima deseada en gpm

scfm = Velocidad de flujo máxima deseada en ft^3/min a condiciones estándar

$\text{gpm H}_2\text{O}$ = Flujo máximo equivalente de agua

gpm_t = Flujo de agua dado en las tablas de capacidades del medidor proporcionadas por el fabricante.

sg = Gravedad específica del fluido

T = Temperatura de operación absoluta (460 +°F)

P = Presión de operación absoluta (PSIG + 14.7)

ΔP = Caída de presión en in de H_2O a la capacidad deseada

ΔP_t = Caída de presión en in de H_2O dada en la tabla de capacidades del medidor proporcionada por el fabricante.

TOBERA

a).- Generalidades

La tobera de flujo fig.18 consiste de una restricción con un contorno elíptico o casi elíptico el cual termina en una tangencia con una sección - de garganta cilíndrica. Hay tres diseños estandar aceptados generalmente, los cuales difieren en la sección del contorno y la longitud de la garganta; las diferencias en el comportamiento son casi indistinguibles, las tomas de presión son comunmente localizadas un diámetro de tubería corriente arriba y - 0.5 diámetros de tubería corriente abajo de las caras de la tobera.

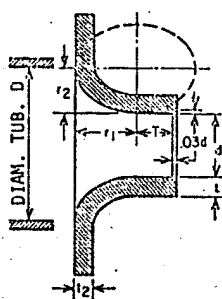
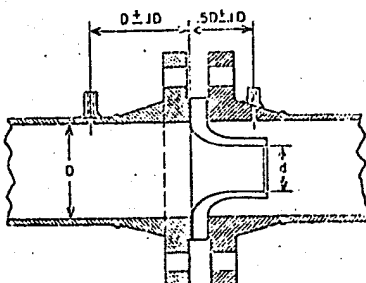
En Estados Unidos el diseño que mas se usa es el llamado tobera de flujo de radio largo. Para un sistema totalmente soldado la tobera esta hecha - con un diámetro exterior para inserción en el tubo.

Las toberas de flujo son comunmente usadas para la medición de flujo de vapor y otros fluidos a altas velocidades donde la erosión puede causar problemas, y que el contorno exacto no es particularmente crítico, la tobera de flujo se puede esperar que retenga una precisa calibración por un largo - tiempo bajo condiciones hostiles.

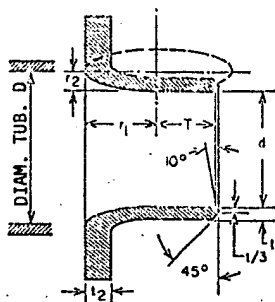
La tobera de flujo debido a su contorno alineado a la corriente, tiende a desalojar sólidos a través de la garganta. La tobera es superior a la placa de orificio para medir fluidos no homogéneos. No es recomendada para la medición de fluidos con un gran porcentaje de sólidos. Cuando una cantidad apreciable de sólidos está presente, es preferible montar la tobera en un tubo vertical con flujo en dirección hacia abajo. Por la tobera de flujo pasará casi un 60% mas de fluido que en una placa de orificio con el mismo diámetro, desarrolla la misma presión diferencial; esta será una ventaja - distinta para medición de altas velocidades . El hecho de que una relación de 0.8 sea aceptable para la tobera de flujo; aumenta esta ventaja.

La exactitud del coeficiente de una tobera de flujo, determinado a partir de las dimensiones físicas es menor que la de una placa de orificio. Para altos números de Reynolds (mayor que 33000 veces el diámetro de tubería), la relación β entre 0.3 y 0.7 , y tamaños de tubería de 6" a 12" la desviación estandar tomada a partir de los datos de prueba, es alrededor del 50%. Esto aumenta a 1.5% para tubería de 2". La lisura de la tobera afecta a el coeficiente de corrección y al número de Reynolds. Un acabado rugoso tiende

FLUJO

BAJAS β PARA $\beta < 0.5$

$$\begin{aligned} r_1 &= d \\ r_2 &= 2/3d \\ T &= 0.6d \\ 1/8^\circ \leq \alpha \leq 1/2^\circ \\ 1/8^\circ \leq \beta \leq 0.150 \end{aligned}$$

ALTAS β PARA $\beta > 0.25$

$$\begin{aligned} r_1 &= 1/2D \\ r_2 &= 1/2(D-d) \\ T &= 0.6d \\ 2^\circ \leq \alpha - (d + 1/8^\circ) \\ 1/8^\circ \leq \beta \leq 0.150 \end{aligned}$$

FIG 18.- TOBERA DE FLUJO

a reducir el cambio de coeficiente junto con el cambio del número de Reynolds pero puede requerir una calibración de flujo para asegurar la determinación del coeficiente. Con la calibración del flujo actual a condiciones de operación la exactitud está limitada primeramente por la seguridad en la facilidad de calibración.

b).- Cálculos

Los cálculos para una tobera de flujo son similares a los del venturi. Los tipos comunes de flujo tienen un coeficiente de descarga aproximadamente de 0.993 de tal manera que :

$$W = 358 d^2 (h_e / (1 - \beta^4))^{1/2} \dots \dots \dots 16$$

Para diseño

$$\beta = 1 / (1 + 128000 h_e D^4 / W^2)^{1/4} \dots \dots \dots 17$$

MEDIDOR DE CODO

a).- Generalidades

La fuerza centrífuga de un fluido fluyendo a través de un codo puede ser aprovechada para crear la diferencial de presión por la que opera un medidor de flujo.

Para seguridad de la medición el codo podría ser calibrado contra un flujo conocido o una instalación temporal de un medidor de flujo convencional. El medidor de codo tiene pérdidas de presión relativamente pequeñas. Un codo en la configuración de tubería regular puede ser utilizado; en este caso no hay pérdidas de presión y además se tiene una instalación económica.

La mayor limitación de los medidores de codo es la baja presión diferencial que existe en muchas ocasiones. La presión diferencial depende del diámetro de la tubería, el radio del codo, densidad y velocidad del fluido. En muchas ocasiones, los efectos combinados resultan en una presión diferencial insuficiente para practicar una operación segura. Un medidor común de codo es el que se representa en la figura 19.

Las tomas de presión para el medidor de codo no introducen obstrucción en la línea de tubo. Hay que tener precaución de que no halla una acumulación de materiales extraños en estas tomas.

b).- Instalación

El codo podría estar localizado entre 25 diámetros corriente arriba y 10 corriente abajo de tubería recta. Las tomas de presión están localizadas aproximadamente a la mitad del codo, es decir 45° desde cada brida y diametralmente opuestas. Con tomas de 45° el flujo puede seguir cualquier dirección, pero en instalaciones verticales con flujos líquidos la dirección preferida para eliminar aire o vapores es hacia arriba.

El diámetro de la perforación de la toma no debe exceder de 1/8 del diámetro de la tubería D, y las precauciones comunes pueden ser observadas en la figura 20. Los codos pueden ser bridados con el diámetro de la tubería D prácticamente el mismo. Un codo el cual es más pequeño que la tubería, si es

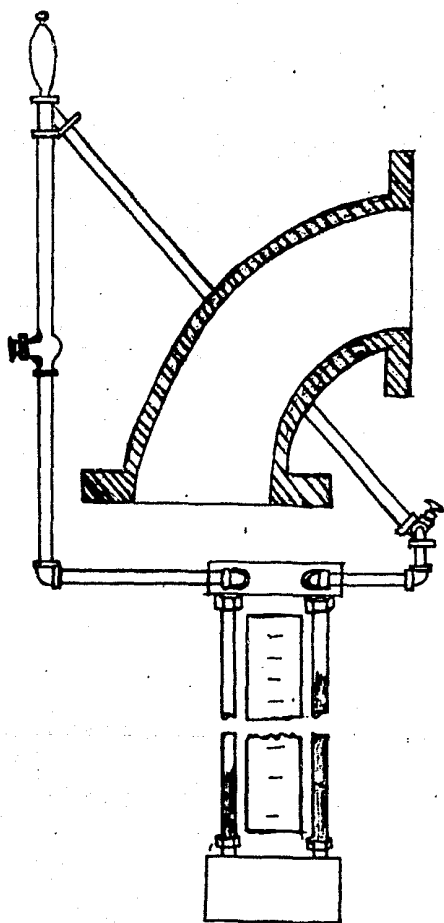


Fig. 19 MEDIDOR DE CODO CON TOMAS A 45 °

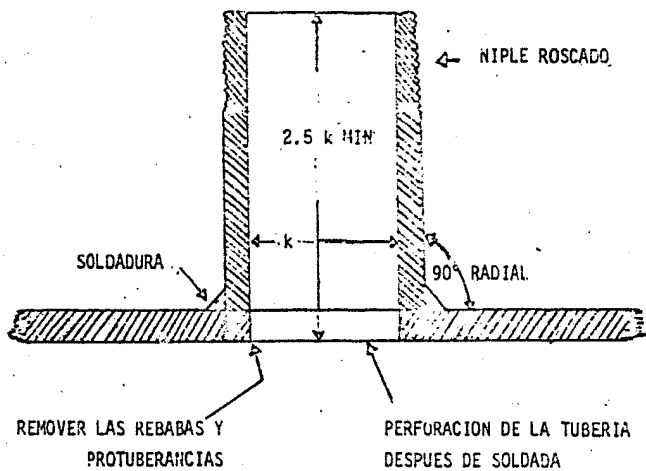


FIG.- 20 TOMAS DE PRESION EN LA PARED DE LA TUBERIA

calibrado con una exactitud estandar nos dará mediciones mas consistentes . Una reducción corta podría ser usada para efectuar el cambio de tamaño, y nos daría una presión diferencial mas alta para un flujo dado. La aproximación de las lecturas del flujo pueden ser obtenidas utilizando las mediciones del codo y velocidad en la fórmula estandar, pero para resultados precisos una calibración individual es recomendada.

Codos roscados o codos con diámetros mas grandes que la tubería pueden ser utilizados con reducciones exactas si una calibración individual es llevada a cabo; pero introducen mayor incertidumbre en el cálculo del coeficiente.

Algunas pruebas han indicado que una diferencial tomada a 22.5° (ver figura 21) en lugar de 45° después de la entrada a la curvatura es mas estable, segura y menos afectada por las condiciones de acercamiento . Aparentemente , hay una tendencia de las líneas de flujo a romperse lejos de la pared del codo en algún punto mas allá de los 22.5° dependiendo de la pronunciación de la curva. Esto crea una condición inestable a 45° si es que existen accesorios adelante del codo. En muchas aplicaciones el flujo debe ser medido en ambas direcciones, una solución para esta situación puede ser encontrada en un arreglo de la tubería para usar codos con tomas de 45° .

c).- Cálculos

Los cálculos de flujo basados en las dimensiones del codo son aproximados teniendo una incertidumbre \pm 10% en el valor absoluto. Una simple expresión es:

$$W = 244 (\rho r h D^3)^{1/2} \dots\dots\dots 18$$

donde:

W = Flujo másico en lb/hr

r = Radio del codo en in

D = Diámetro de la tubería en in

h = Presión diferencial en in de H₂O

ρ = Densidad de operación en lb/ft³

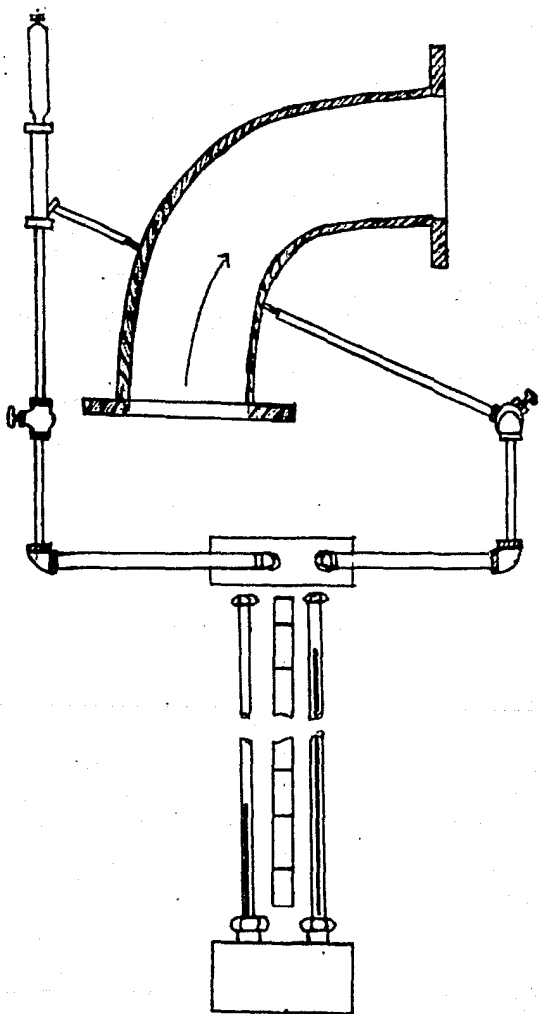


FIG.- 21 CODO CON TOMAS DE PRESION A 22.5°

d).- Parámetros de diseño

- Presión y temperatura : Son una función del elemento de lectura exterior y del diseño de la tubería del proceso.
- Fluidos que maneja : Líquidos y gases
- Rango de flujo : Es una función de las dimensiones de la tubería
- Exactitud : $+ 5$ a $- 10\%$ de la escala total
- Materiales de construcción : Los mismos de la tubería de proceso

TUBO PITOT

a).- Generalidades

El tubo pitot aunque es uno de los medidores mas recientes en la medición de flujo , tiene una aplicación industrial limitada . Su uso principal es en investigación y pruebas de trabajo .

Un tubo pitot común de tipo industrial es como el que se muestra en la fig.22, consiste de una sonda cilíndrica , la cual es insertada a la corriente de flujo. La velocidad del fluido en la fase corriente arriba de la sonda es reducida esencialmente a cero. Este medidor se basa en la presión de impacto la cual es detectada a través de una perforación pequeña en la fase corriente arriba de la sonda. Un pequeño orificio al lado de la sonda detecta la presión estática independientemente de la presión de impacto. Un adecuado instrumento mide la presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad de la corriente, en la vecindad del orificio que detecta la presión de impacto.

El tubo pitot prácticamente no causa pérdidas de presión en la corriente del fluido . Es instalado a través de un niple con la tubería. En las pruebas de trabajo, es frecuentemente instalado a través de una válvula de compuerta y un empaque de tal forma que pueda ser transversal a la corriente - para establecer el perfil de la velocidad de flujo, removido sin reducir la presión de la corriente.

Algunas características del tubo pitot es que la medición de flujo esta limitada en aplicaciones industriales ya que para obtener la medición mas cercana de flujo, es esencial establecer un valor medio de la velocidad.

Para obtener la medición mas acertada con un tubo pitot, es necesario atravesar el tubo por la corriente para establecer la velocidad en todos -- los puntos, y entonces tomar el promedio de acuerdo con el area transversal. Para la medición aproximada, la localización de la sonda en la tercera parte del radio de la tubería con un punto de referencia pared-centro , da un valor promedio claro . No obstante que el perfil de velocidad varia con la velocidad y viscosidad de la corriente, mediciones a diferentes posiciones son requeridas para obtener resultados exactos para la condición de operación. Esto es frecuentemente hecho en pruebas de trabajo, pero es difícil --

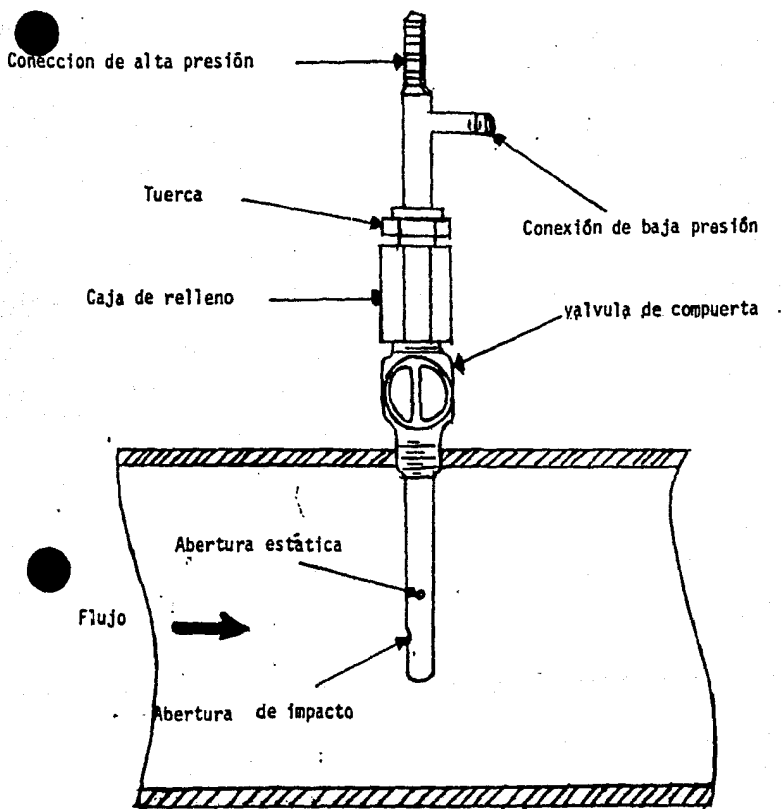


FIG.- 22 TUBO PITOT

practicarlo para la medición y control en procesos industriales.

El tubo pitot desarrolla una presión diferencial relativamente baja a las velocidades de flujo comunes en aplicaciones a procesos industriales. Desarrolla una presión diferencial menor a una cuarta parte de la presión diferencial desarrollada por una placa de orificio con la máxima relación β recomendada (0.75).

Mientras los instrumentos medidores de presión diferencial tienen exactitudes de medición óptimas para pequeñas presiones diferenciales; valores mas altos desarrollados por placas de orificio y toberas contribuyen a mejores mediciones.

El tubo pitot, usado en localización simple es particularmente sensible a perturbaciones corriente arriba. Se recomienda un tramo recto de 50 diámetros corriente arriba.

Los tubos pitot no se recomiendan para medir fluidos sucios y pegajosos. Algunas veces, el sistema de purga puede ser usado para prevenir posibles acumulaciones de sólidos en las pequeñas perforaciones. Para altas velocidades, el diseño debe preverse usando un material duro y resistente. Un vástago insertado en una corriente de flujo tiene una gran tendencia a vibrar y la fatiga elástica es el resultado probable. El coeficiente del tubo pitot cilindrico estandar es aproximadamente de 0.82 .

Para mediciones exactas en trabajos de prueba, el tubo pitot tipo laboratorio es recomendado. Como se ve en la figura 23, consiste de un cono apuntando hacia el frente para medir la presión de impacto con un mínimo de perturbación en la corriente en el punto de medición.

La presión estática se mide a través de varias aberturas en los lados del tubo paralelo con la dirección del fluido. Esta estructura tiene un coeficiente cercano a 1.0, es compleja, tiene un costo elevado, esta sujeta a las fuerzas mas altas para una velocidad de corriente dada, no es de fácil instalación, inserción y no se puede remover la sonda cilíndrica fácilmente.

Para obtener el mejor valor promedio de flujo, los tubos pitot con varias aberturas para presión de impacto distribuidas a través de la corriente estan disponibles.

b).- Parámetros de diseño

Presión

: Normalmente 50 Psig. En diseños especiales se puede aumentar.

Temperatura

: Limitada solamente por el elemento de lectura exterior.

Fluidos que manejan

: Líquidos y gases.

Rango de flujo

: Desde 50 GPM ó 100 SCFM hasta el máximo permitido por el diseño de la tubería.

Exactitud

: \pm 0.5 a 5% de la escala total.

Materiales de construcción

: Latón y acero inoxidable.

TUBO PITOT - VENTURI

Varias formas del tubo pitot han sido desarrolladas en orden para -- obtener presiones diferenciales mas altas de lo que se dispone en el tubo pitot convencional. En una de estas unidades típicas como se ve en la fig. 24, la presión de impacto es desarrollada como en el tubo pitot convencional. Esta presión (estática mas la de impacto) es comparada a una presión reducida en la garganta del tubo venturi pequeño que esta tambien - suspendida en la corriente. La presión diferencial es medida de la manera usual. Estas unidades estan sujetas a los efectos de la viscosidad de la pared del tubo venturi en relación con el flujo total a través del tubo - así como la variación de la velocidad.

Con el perfeccionamiento en los instrumentos modernos para la medición de la presión diferencial, la importancia del tubo pitot venturi para mediciones en procesos industriales han decrecido. Varios de estos tipos continuan teniendo aplicación en la medición de la velocidad del viento.

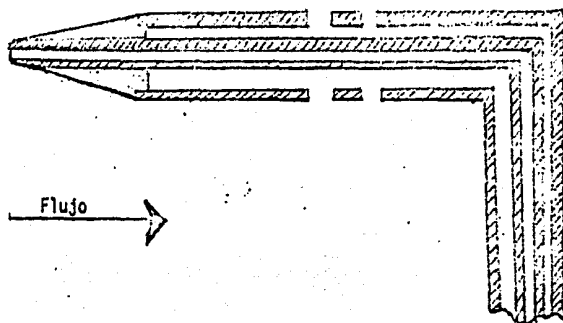


FIG.- 23 TUBO PITOT DE LABORATORIO

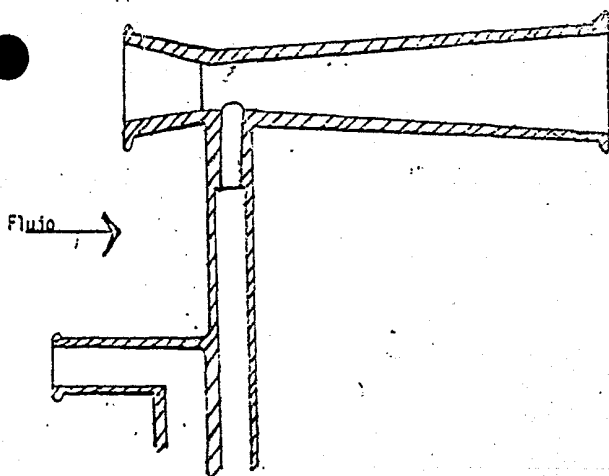


FIG. 24 TUBO PITOT VENTURI

ANNUBAR

a).- Generalidades

Es un medidor de presión diferencial con velocidad promedio para la medición natural de flujo a través de un tubo o ducto. Esto produce una presión diferencial proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido - pero con una pequeña pérdida de presión diferencial permanente. La presión diferencial producida puede conectarse a un transmisor o a un indicador, registrador, integrador, controlador ó bien una combinación de estas funciones. El annubar dará un servicio largo, eficiente, libre de complicaciones; si se asegura su instalación y uso correcto.

Aplicaciones prácticas: Para tuberías, ductos, depósitos o conductos redondos, cuadrados, ovalados o rectangulares.

Exactitud: ± 0.55 a 1.55 % de la velocidad para diámetros de $0.5''$ a $24''$.

± 1.20 a 2.40 % de la velocidad para diámetros de $24''$ en adelante.

Economía: Se instala en 30 minutos, bajo costo de bombeo, esta acoplado directamente a todos los transmisores, controladores, registradores y medidores. No requiere de mantenimiento debido a que no tiene superficies o cortes críticos.

Versatilidad:

- Puede estar soldado a la tubería.
- Insertado mediante rosca.
- En tuberías bajo tierra.
- En ductos de cualquier configuración.
- En chimeneas y casos especiales.

Ingeniería: La simplicidad del annubar en su ingeniería de diseño esta basado en una extensión del clásico teorema de Bernoulli. La figura 25 muestra como en este medidor se interpolan simultáneamente los cuatro puntos sensores de presión localizados de frente al flujo. La presión estática se mide después del primario.

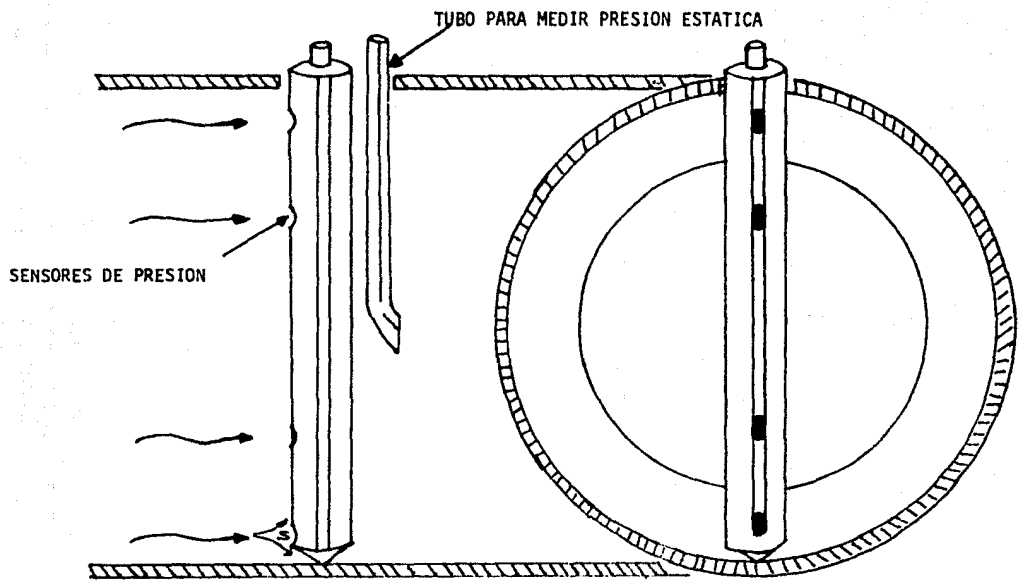


FIG.- 25 ANNUBAR (FRENTE Y LATERAL)

Los cuatro segmentos anulares tienen igual - área transversal, cada área está representada por un computador localizado en cada orificio para medir acertadamente el flujo. La señal exterior es compatible con toda la instrumentación estándar.

Diseño no obstaculizado:

Los sensores del anubar no son obstaculizados por el fluido como otros elementos de -- impacto con flujos de cantidades normales de tierras y polvos. La presión alta "S" creada por el flujo forma una defensa que mantiene los sensores limpios. Si el flujo tiene contaminación excesiva o si el peso de sus contaminantes es mayor que el del fluido medido, se recomienda un purgado convencional.

b).- Instrucciones de instalación

El anubar puede ser instalado en cualquier posición que se encuentre el tubo sobre el cual se va a colocar ya sea horizontal, vertical, a 45°- o en cualquier ángulo. El único criterio a seguir es que debe estar perpendicular con respecto al tubo.

Medición de flujo líquido:

Para tubos verticales al anubar puede instalarse en cualquier posición de la circunferencia del tubo. Para tubos horizontales es mejor instalar el anubar en el fondo o colocar las conexiones del instrumento por debajo de la línea central del tubo; esto mantendrá lleno de líquido el tubo del instrumento expulsando el aire o gas que pudiera estar dentro.

Medición de flujo gaseoso:

Es mejor instalar el anubar en la parte su-

perior para que las conexiones del instrumento esten sobre la línea central de la tube--rfa; esto es para prevenir humedad o conden--sación. En posición vertical de la tuberfa - el annubar puede ser instalado en cualquier punto alrededor de la tuberfa.

Medición de flujo de vapor:

Siempre se instala el annubar horizontalmen--te en tuberfas horizontales. Sobre tuberfas verticales, el annubar puede ser instalado - en cualquier posición alrededor del tubo. -- Usando un annubar con brida permite conexio--nes de instrumentos para alta y baja presión a la misma altura cuando se mide vapor en -- líneas verticales.

Especiales consideraciones requiere la medi--ción de vapor para operaciones acertadas. La presión diferencial producida debe ser lleva--da hasta el instrumento secundario a través de dos cabezas de líquido de condensado.

La exactitud de la medición de flujo es afec--tada por cualquier diferencia en el nivel de condensados en las dos líneas de instrumentos por encima del instrumento secundario. Es di--fícil mantener los dos niveles exactamente - iguales. De aquí que el flujo de vapor que - produce una presión diferencial menor de 5 - in. de agua, puede tener una inexactitud mas grande que la normal reportada.

c).- Características y aplicaciones de los anubar

DIAMETRO DE LA TUBERIA : 3/4" a 3"

APLICACION : Nuclear y alta presión

ACCESOS DE MONTAJE : Colocado en la tubería por medio de nipples

CARACTERISTICAS : Diseñado para soldarse en la línea o con bridas.

ΔP MAX. EN IN DE H₂O : 250

RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :

18 a 390

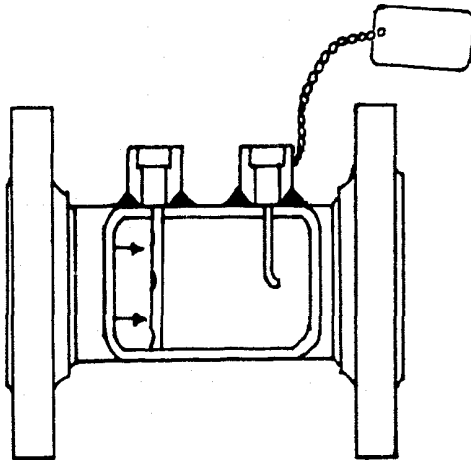
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :

61 y 62

MATERIALES DE CONSTRUCCION :

316 ss , Monel , Hastelloy C, Titanio

DIAGRAMA :



DIAMETRO DE LA TUBERIA : 1/2" a 2 1/2"

APLICACION : En tuberías roscadas estándar

ACCESOS DE MONTAJE : Colocado en la tubería por medio de nipples

CARACTERISTICAS : Instalado en tuberías de cédula 40 y los de cédula 80 para altos rangos de temperatura y presión.

ΔP MAX. EN IN DE H₂O : 250

RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :

18 a 390

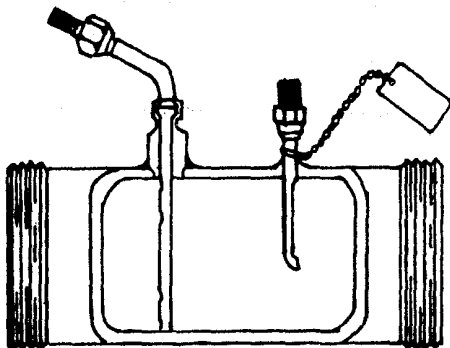
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :

71 y 72

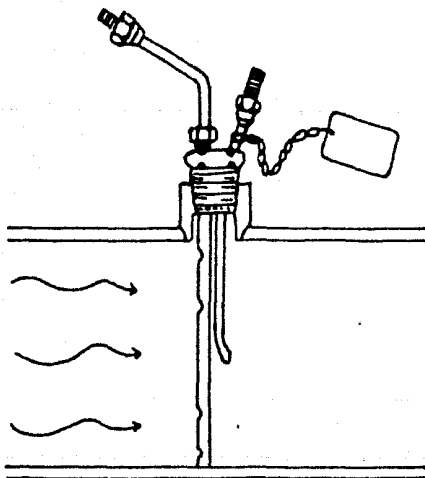
MATERIALES DE CONSTRUCCION :

316 ss, Hastelloy C, Titanio

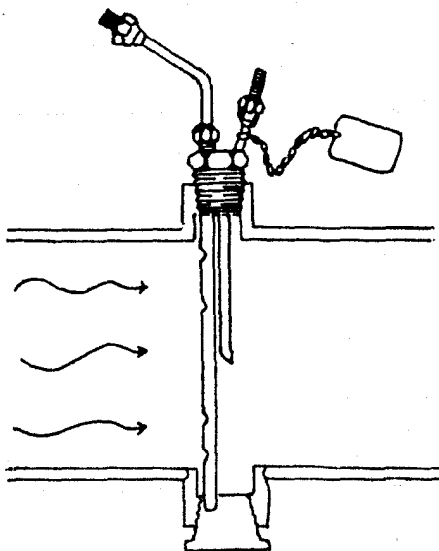
DIAGRAMA :



DIAMETRO DE LA TUBERIA : 1 1/2" a 16"
APLICACION : Para velocidades medias
ACCESOS DE MONTAJE : Colocado de un solo lado de la tuberfa
CARACTERISTICAS : Insertado con soporte en un solo lado de la
tuberfa.
ΔP MAX. EN IN DE H₂O : 250 a 5
RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
170 a 2200
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :
73
MATERIALES DE CONSTRUCCION :
316 ss, Hastelloy C, Titanio
DIAGRAMA :



- DIAMETRO DE LA TUBERIA : 3" a 36"
APLICACION : Para velocidades medias
ACCESOS DE MONTAJE : Accesos en ambos lados de la tuberfa
CARACTERISTICAS : Medidor insertado con soportes en ambos lados de la tuberfa porque las velocidades de flujo son mas altas.
 ΔP MAX. EN IN DE H₂O : 600 a 16
RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
940 a 12000
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :
74
MATERIALES DE CONSTRUCCION :
316 ss, Hastelloy C y Titanio
DIAGRAMA :



DIAMETRO DE LA TUBERIA : 3" a 60"

APLICACION : Para velocidades medias y altas

ACCESOS DE MONTAJE : En un solo lado de la tuberfa

CARACTERISTICAS : Reforzado con soporte de un solo lado de la tuberfa

ΔP MAX EN IN. DE H_2O : 1200 a 10

RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :

1320 a 48000

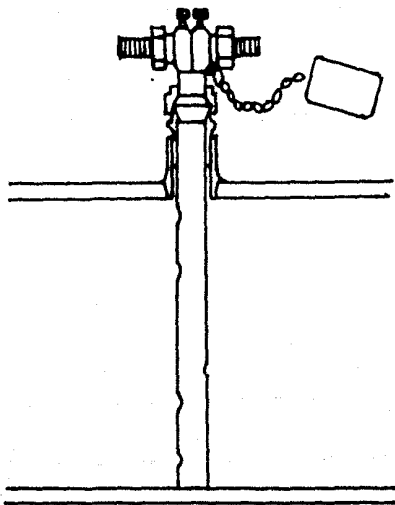
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR:

.75

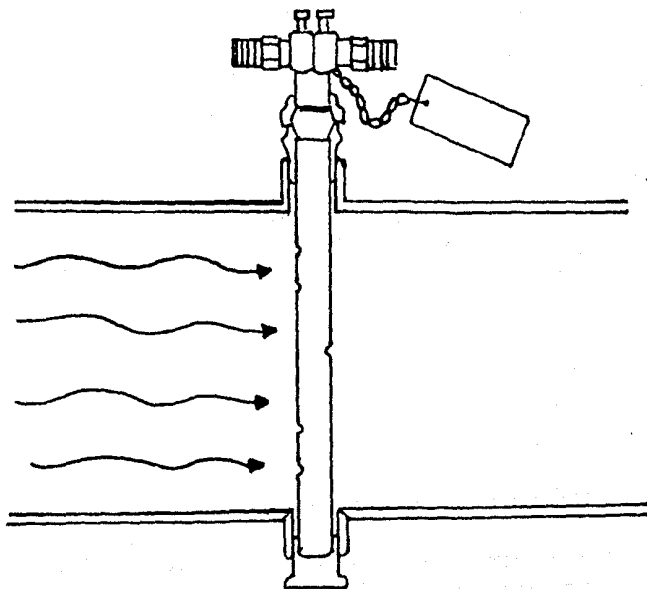
MATERIALES DE CONSTRUCCION:

316 ss, 304 ss, Monel, Hastelloy C y Titanio

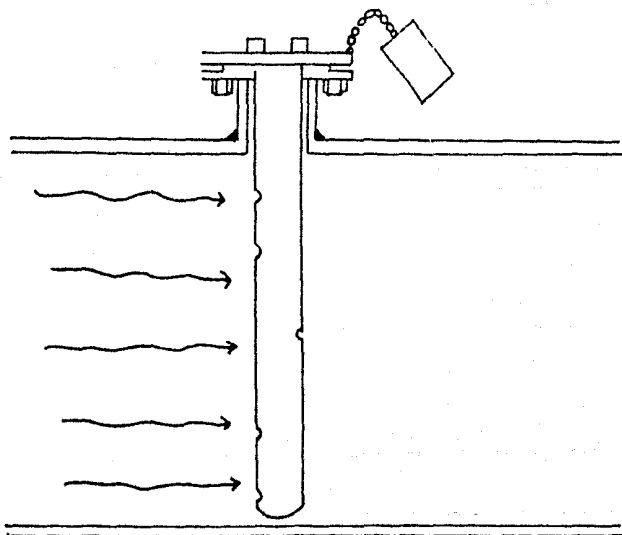
DIAGRAMA :



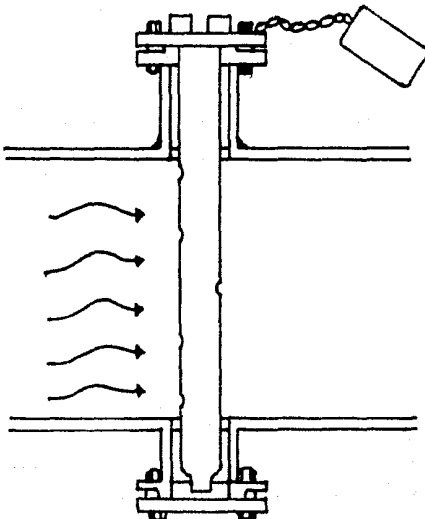
- DIAMETRO DE LA TUBERIA : 10" a 180"
APLICACION : Para velocidades medias y altas
ACCESOS DE MONTAJE : En ambos lados de la tubería
CARACTERISTICAS : Reforzado con soportes en ambos lados de la tubería porque las velocidades de flujo son mas altas
 ΔP MAX. EN IN DE H_2O : 1200 a 3
RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
5200 a 250000
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR:
76
MATERIALES DE CONSTRUCCION :
316 ss, 304 ss, Monel, Hastelloy C y Titanio
DIAGRAMA :



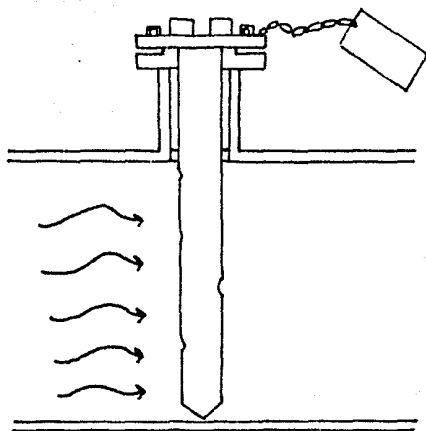
DIAMETRO DE LA TUBERIA : 12" a 500"
APLICACION : Para altas velocidades
ACCESOS DE MONTAJE : En un solo lado de la tuberfa
CARACTERISTICAS : Extrareforzado en un solo lado de la tuberfa
 ΔP MAX. EN IN. DE H_2O : 1400 a 1
RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
22000 a 1100000
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :
85
MATERIALES DE CONSTRUCCION :
316 ss, Monel, Hastelloy C y Titanio
DIAGRAMA :



- DIAMETRO DE LA TUBERIA : 36" a 500"
- APLICACION : Para altas velocidades
- ACCESOS DE MONTAJE : En ambos lados de la tuberfa
- CARACTERISTICAS : Extrareforzado con soporte en ambos lados -
de la tuberfa porque las velocidades de flu
jo son mas altas
- ΔP MAX. EN IN. DE H₂O : 800 a 4
- RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
156000 a 2200000
- TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :
86
- MATERIALES DE CONSTRUCCION :
316 ss, Monel, Hastelloy C y Titanio
- DIAGRAMA :



- DIAMETRO DE LA TUBERIA : 36" a 500"
- APLICACION : Para velocidades extra-altas
- ACCESOS DE MONTAJE : En un solo lado de la tubería
- CARACTERISTICAS : Medidor especial que se usa donde los límites estructurales de otros medidores son -- excedidos
- ΔP MAX. EN IN. DE H_2O : 450 a 2.5
- RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
116500 a 1250000
- TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :
95
- MATERIALES DE CONSTRUCCION :
316 ss, Monel, Hastelloy C y Titanio
- DIAGRAMA :



DIAMETRO DE LA TUBERIA : 60" a 500"

APLICACION : En velocidades extra-altas

ACCESOS DE MONTAJE : En ambos lados de la tuberfa

CARACTERISTICAS : Medidor especial que se aplica donde los lmites estructurales de otros medidores son excedidos

ΔP MAX. EN IN. DE H_2O : 800 a 10

RANGO DE FLUJO EN GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
450000 a 3500000

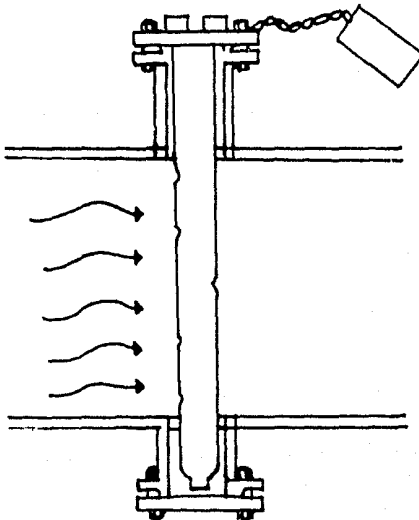
TIPO DE ANNUBAR ESTANDAR :

96

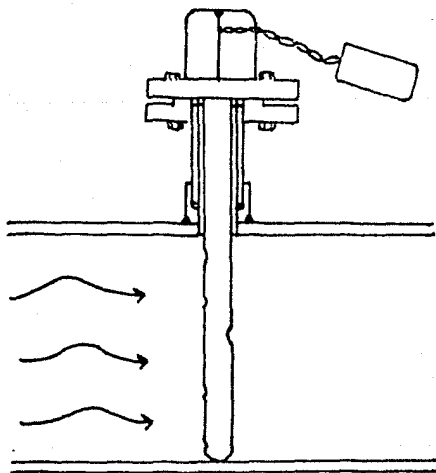
MATERIALES DE CONSTRUCCION :

316 ss, Monel, Hastelloy C y Titanio

DIAGRAMA :



- DIAMETRO DE LA TUBERIA : 6" a 40"
- APLICACION : Para temperaturas extremadamente altas o -
flujos muy corrosivos
- CARACTERISTICAS : Para medición de gases de combustión hasta
temperaturas de 2500°F
- ΔP MAX. EN IN. DE H₂O : 350 a 10
- RANGO DE FLUJO GPM CON REFERENCIA AL AGUA :
2800 a 16700
- MATERIALES DE CONSTRUCCION :
Cerámica
- DIAGRAMA :



d).- Limitaciones de aplicación para annubares

1) Los annubares no son recomendados para líquidos con viscosidades arriba de 10500 centistocks, tales como ceras y alquitranes.

2) Flujo de vapor que produzca una presión diferencial menor de 5 in. de agua, la inexactitud es causada por posibles diferencias en los niveles de condensado.




e).- Localización del annubar



La localización correcta del annubar en la tubería es importante, debido a perturbaciones en el flujo producidos por el equipo de tubería que puede afectar la exactitud de medición.

Localización recomendada del annubar 1* :

Diámetros corriente arriba

Diámetros corriente abajo

	Con veletas enderezadas		Sin veletas enderezadas	
			Dentro del plano	fuera del plano
 codo, te, etc.	6	7	9	3
 dos eles, etc, en el mismo plano	8	9	14	3
 dos eles, etc, en di- ferentes - planos	9	19	24	4

 cambio de tamaño de tuberfa 4*	8	8	8	3
 válvula de regulación 5*	9	24	24	4

1*.- Los valores presentados son los espacios recomendados en términos -- del diámetro interno de la tuberfa, en mediciones normales en la indus--- tria. Para laboratorio o trabajos de alta exactitud, se añade un 25% a -- los valores.

2*.- Los valores estan basados sobre las veletas enderezadoras hechas e - instaladas por las especificaciones de ASME.

3*.- Los valores estan basados en los ejes del elemento de prueba y midien dose a partir de la última curva hasta el medidor.

4*.- Incluye reductores y/o expansores.

5*.- Incluye válvulas de compuerta, globo y otras válvulas de estrangula miento que estan solo parcialmente abiertas. Si la válvula esta totalmen te abierta usar valores presentados para " cambio de tamaño de tuberfa ". Las válvulas de control deberán estar localizadas despues del elemento.

f).- Determinación de la presión diferencial

Cálculo de la ecuación de flujo:

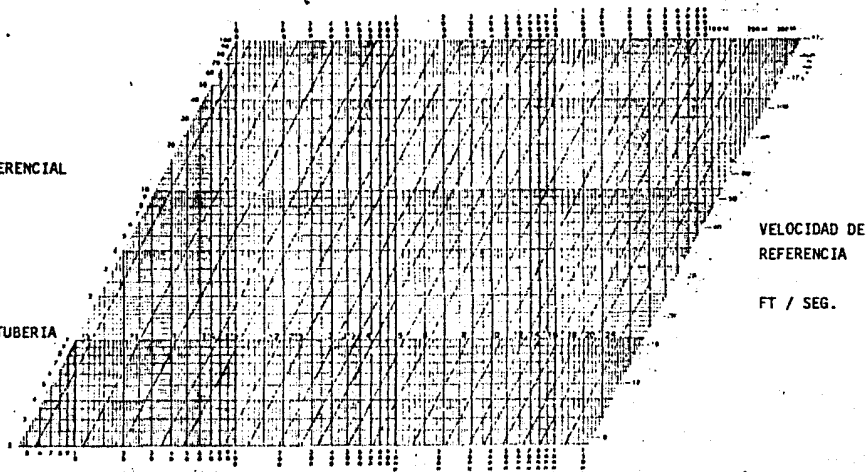
El annubar utiliza la ecuación clásica de balance de energia de Ber noulli para determinar la velocidad de flujo. La presión diferencial pro ducida por el annubar es consistente para un tamaño de tuberfa y condicio nes de flujo dado. Por lo tanto, únicamente el rango de operación del ins trumento o sistema de control necesita ser dimensionado. Esta caracteris tica reduce cálculo y tambien permite cambios futuros en la velocidad de flujo de un sistema sin la necesidad de redimensionar y cambiar de ele miento primario.

Una selección de los métodos de cálculo de flujo de acuerdo a la exac titud, requiere lo siguiente :

1.- Cartas de dimensionamiento rápido para agua o aire. Las figuras 26, - 27 y 28 nos pueden servir para esto.

PRESION DIFERENCIAL
IN. DE H₂O

* DIAM. DE TUBERIA



VELOCIDAD DE
REFERENCIA
FT / SEG.

PIES CUBICOS STANDAR / MINUTOS

FIG 26.- CARTA DE FLUJO DE GAS / AIRE A ALTA PRESION (CURVAS BASADAS EN CONDICIONES DE FLUIDO DE 110 PSIG, 70°F Y SPEC. GRAV. 1.0)

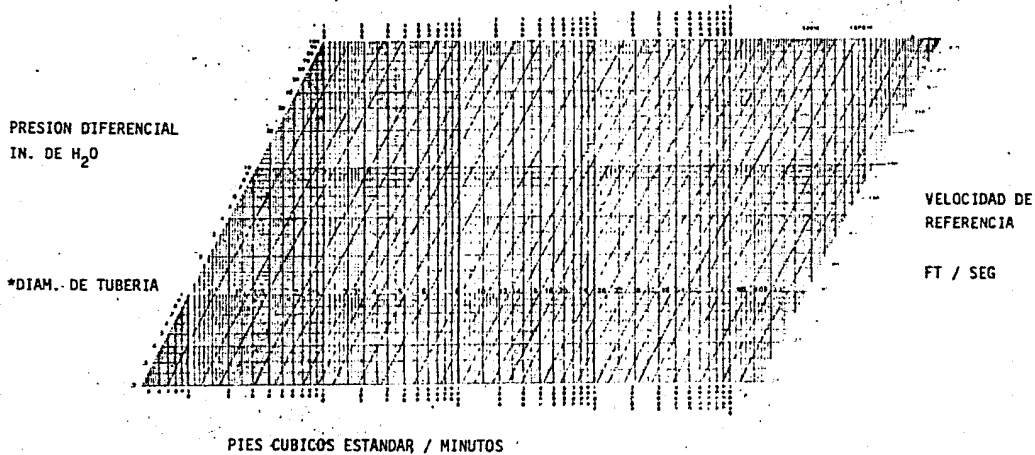
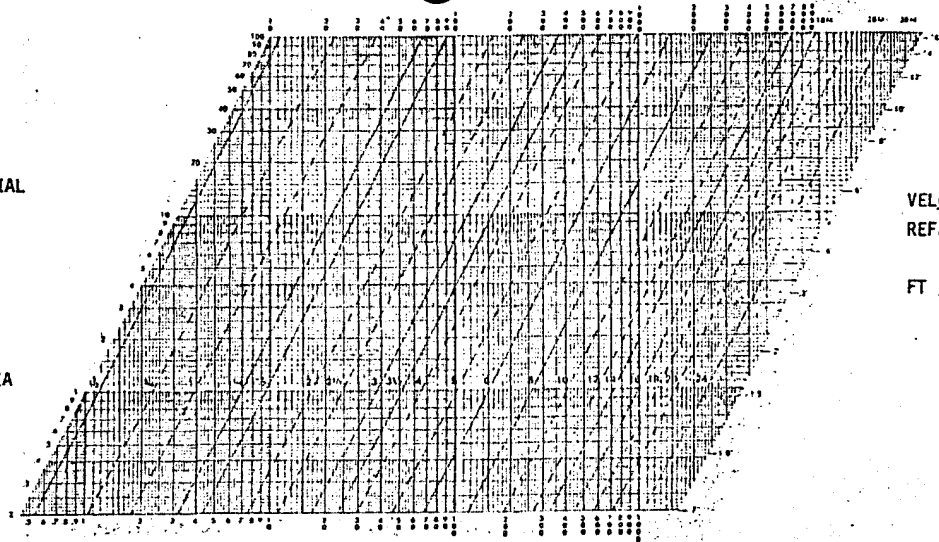


FIG 27.- CURVA DE FLUJO GAS / AIRE A BAJA PRESION (CURVAS BASADAS EN CONDICIONES DE FLUIDO DE 5' DE H₂O DE PRESION ESTADICA, 70°F Y GRAV. ESPEC. 1.0)

PRESION DIFERENCIAL
IN. DE H₂O

★ DIAM. DE TUBERIA



GALONES POR MINUTO

VELOCIDAD DE
REFERENCIA

FT / SEG

FIG 28 .- CARTA DE FLUJO DE AGUA

.- Ecuaciones estandar para la aplicación en la industria :

a.- Velocidad de flujo volumétrico

$$Q_n = S N D^2 (G_f)^{1/2} / G_i h_n^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (Q_n G_i / S N D^2 G_f^{1/2})^2 \quad \text{-----} \quad 19$$

b.- Velocidad de flujo másico líquido

$$W_n = S N D^2 (G_f)^{1/2} (h_n)^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (W_n / S N D^2 (G_f)^{1/2})^2 \quad \text{-----} \quad 20$$

c.- Velocidad de flujo volumétrico gaseoso a condiciones estandar *

$$Q_n = 7.9 S N D^2 (\gamma_f)^{1/2} / \gamma_i h_n^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (Q_n \gamma_i / 7.9 S N D^2 \gamma_f^{1/2})^2 \quad \text{-----} \quad 21$$

d.- Velocidad de flujo másico de gas o vapor

$$W_n = 0.127 S N D^2 (\gamma_f)^{1/2} (h_n)^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (W_n / 0.127 S N D^2 \gamma_f^{1/2})^2 \quad \text{-----} \quad 22$$

3.- Ecuaciones teóricas precisas : para requerimientos de exactitud mas al tos y trabajos de laboratorio son

a.- Velocidad de flujo volumétrico líquido

$$Q_n = S N D^2 F_o F_m F_p G_f^{1/2} / G_i h_n^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (Q_n G_i / S N D^2 F_o F_m F_p G_f^{1/2})^2 \quad \text{---} \quad 23$$

b.- Velocidad de flujo másico en líquidos

$$W_n = S N D^2 F_o F_p F_m (G_f)^{1/2} h_n^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (W_n / S N D^2 F_o F_m F_p G_f^{1/2})^2 \quad \text{---} \quad 24$$

c.- Velocidad de flujo volumétrico gaseoso a condiciones estandar *

$$Q_n = 7.897 S N D^2 F_o F_m V_o \gamma_f^{1/2} / \gamma_i h_n^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = Q_n \gamma_i / 7.897 S N D^2 F_o F_m V_o \gamma_f^{1/2} \quad \text{---} \quad 25$$

d.- Velocidad de flujo másico gas o vapor

$$W_n = 0.1266 S N D^2 F_o F_m V_o \gamma_f^{1/2} h_n^{1/2} \quad \text{ó} \quad h_n = (W_n / 0.1266 S N D^2 F_o F_m V_o \gamma_f^{1/2})^2 \quad \text{---} \quad 26$$

* Para determinar la velocidad de flujo a las condiciones del fluido igualar $\gamma_i = \gamma_f$

Si las velocidades de flujo son extremadamente altas o extremadamente bajas puede desearse cambiar el tamaño de tubería para la sección de medición. El cambio de diámetro en la sección de medición no afecta la exactitud si se provee de tubería recta suficiente antes y despues del medidor.

Nomenclatura :

- D = Diámetro interno de la tubería en in.
- F_a = Factor de compresión-expansión para el área interna de la tubería a la temperatura de operación. $F_a = 1.0$ entre 31°F a 106°F para tubería de acero.
- F_m = Factor de corrección manométrico. Es el valor para corregir la densidad y desplazamiento de una columna de fluido o un flotador en el instrumento de medición. No usar este factor si la escala del instrumento tiene factor de corrección corregido.
- F_p = Factor de corrección para la compresibilidad del líquido que fluye. Cuando es despreciable usar el valor de 1.0.
- G_f = Gravedad específica del líquido a la temperatura de operación comparada con la del agua a 60°F la cual es 1.0.
- G_i = Gravedad específica del líquido a 60°F comparada con la del agua a 60°F la cual es 1.0.
- h_n = Caída de presión del anubar.
- N = Una constante que incluye la aceleración de gravedad, área circular y constantes de conversión que dependen de las unidades escogidas para Q_n , W_n y h_n .
- Q_n = Velocidad de flujo volumétrico en unidades convenientes.

Q_n volumen	Factor N			
	h_n (unidades de presión diferencial)			
	in. de H_2O	in. de H_g	Kg/cm^2	PSI
GPM	5.667	20.88	112.5	29.84
GPH	340.0	1252.0	6750.0	1790.0
CFM	0.7576	2.791	15.04	3.99
CFH	45.46	167.5	902.5	239.4
LPM	21.45	79.02	425.8	113.0
W_n				
PPM	47.25	174.1	938.0	248.8
PPH	2835.0	10440.0	56280.0	14930.0

S = Coeficientes de descarga para el annubar, los valores para los tipos y tamaños del annubar son:

" S "		" S "		" S "	
Tamaño tubería	Tipo	Tamaño tubería	Tipo	Tamaño tubería	Tipo
	61,62, 71,72		73,74		75,76
1/2"	0.53	11/2"	0.72	Aabajo 10"	0.68
3/4"	0.60	2-2.5"	0.72	Arriba 10"	0.74
1"	0.62	3-6"	0.72		
11/4"	0.64	8"	0.73		
11/2"	0.67	10-12"	0.74	Tamaño tubería	Tipo
2"	0.69	14"	0.75		85,86
21/2"	0.71	16"	0.76	Todos los tamaños.	0.72
		18"	0.77		
		20"	0.78	Tamaño tubería	Tipo
		24"	0.79		95,96
				Todos los tamaños	0.71

* Estos valores de S son usados en las ecuaciones estandar para la industria.

V_a = Factor de compresión adiabática de un gas. Para velocidades abajo de 12000 ft/min, usar 1.0.

$$V_a = \left(\frac{k}{k-1} \frac{P_s}{P_t} - P_s \left[\left(\frac{P_t}{P_s} \right)^{k-1/k} - 1 \right] \right)^{1/2} \dots \dots \dots 27$$

k = Relación de calor específico o exponente isoentrópico. Los gases que siguen la ley de gas. perfecto (diatómicos), tienen k = 1.4 bajo condiciones normales.

P_s = Presión estática corriente arriba en unidades absolutas consistentes.

P_t = Presión total o de impacto en el elemento en unidades absolutas consistentes.

W_n = Velocidad de flujo másico en unidades convenientes (ver tabla de "N")

γ_f = Peso específico a condiciones de operación en lb/ft³ incluyendo compresibilidad.

$$\gamma_t = 14.7 + P_s \text{ (línea)} / 14.73 \times 520 / 460 + \text{Temp línea (}^\circ\text{F)} \times 28$$

γ_f = A la gravedad específica del gas a condiciones de operación.
 γ_i = Peso específico del gas en lb/ft³ a condiciones base.

g).- Conclusiones

El annubar no es recomendado para medir flujo a dos fases. Cada annubar se diseña para un tipo particular de tubería e instalación. Un annubar puede ser intercambiado entre diferentes tuberías si el tamaño e instalación son iguales. El mismo medidor puede ser usado para medir diferentes fluidos. Carece prácticamente de mantenimiento. Su uso tiene un efecto despreciable sobre la exactitud.

ROTAMETROS

a).- Generalidades

El rotámetro es un medidor de flujo del tipo de area variable. Este consiste de un tubo de medición que se adelgaza gradualmente dando una forma casi cónica y un flotador el cual se mueve libremente hacia arriba o hacia abajo dentro del tubo.

El tubo de medición esta montado verticalmente con el extremo mas angosto en el fondo. El fluido que se mide entra en el fondo del tubo y pasa alrededor del flotador hacia arriba y sale por la parte superior del tubo (fig. 29).

Cuando no hay flujo a través del rotámetro el flotador permanece en el fondo y tiene un diámetro aproximadamente igual al del tubo. Cuando el fluido entra en el tubo de medición el efecto de arrastre del fluido levanta el flotador, pero este tiene una mayor densidad que el fluido y por lo tanto el flotador no sube hasta el tope. Hay una pequeña abertura anular entre el flotador y el tubo. La caída de presión a través del flotador aumenta y levanta el flotador para incrementar el area entre el flotador y el tubo hasta que las fuerzas hidráulicas actúan sobre él, equilibrándose con su propio peso. El flotador se mueve hacia arriba o hacia abajo dentro del tubo en proporción a la velocidad del fluido y el area anular, -- entre el flotador y el tubo.

En rotámetros la restricción del area varfa en proporción a la velocidad de flujo, y la presión diferencial a través de la restricción permanece constante; en contraste con los medidores de restricción constante tales como la placa de orificio, venturi, que tienen una abertura fija y la presión diferencial a través de la restricción es proporcional al flujo.

Cada posición del flotador corresponde a una velocidad de flujo particular para un fluido de una misma densidad y viscosidad. Es necesario proveer al medidor de una escala de calibración o lectura sobre el tubo y la velocidad de flujo puede ser determinada por observación directa de la posición del flotador dentro del tubo de medición.

Los tubos metálicos de medición son usados en aplicaciones donde el vidrio no es satisfactorio. En este caso la posición del flotador debe -

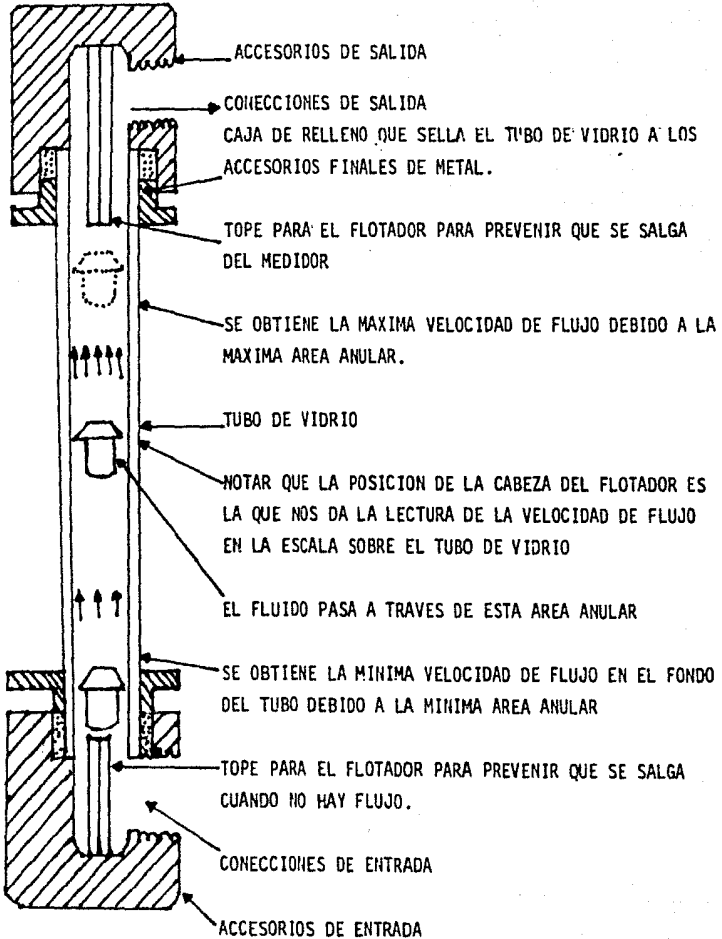


FIG 29.- ROTAMETRO DE TUBO DE VIDRIO

ser determinada directamente por técnicas eléctricas o magnéticas. El uso de técnicas indirectas para determinar la posición del flotador también - nos puede proporcionar una lectura visual directa. Los rotámetros de este tipo pueden transmitir señales eléctricas, magnéticas, pulso o pueden proporcionar funciones de control o registradores.

b).- Dimensionamiento

Para dimensionar un rotámetro se acostumbra convertir el flujo actual a flujo estandar. Para flujos líquidos es necesario calcular los galones por minuto de agua equivalentes. Para gases es necesario determinar los - pies cúbicos estandar por minuto de aire equivalentes. Las tablas de capacidad estan basadas sobre esos flujos estandar de GPM y SCFM a las condiciones de 14.7 PSIA y 70°F. Las tablas también estan basadas en el uso de flotadores de acero inoxidable.

Las ecuaciones necesarias para calcular aire o agua equivalente:

LIQUIDOS

Gasto volumétrico. GPM agua equivalente:

$$= \text{GPM} \cdot \rho_f \cdot 2.65 / ((\rho_f - \rho) \rho)^{1/2} \text{-----} 29$$

Gasto masa. GPM agua equivalente: $= (\text{Lbm}/\text{min}) 0.318 / ((\rho_f - \rho) \rho)^{1/2}$ -----30
GASES O VAPORES

Gasto volumétrico std. SCFM aire equivalente:

$$= (\text{SCFM}) (\rho_{g \text{ STD}}) 10.34 / (\rho_f (\rho_{g \text{ act}}))^{1/2} \text{-----} 31$$

Gasto masa SCFM aire equivalente: $= (\text{Lbm}/\text{min}) 10.34 / (\rho_f (\rho_{g \text{ act}}))^{1/2}$ ----- 32

Gasto volumétrico de operación. SCFM aire equivalente:

$$= (\text{ACFM}) (\rho_{g \text{ act}}) 10.34 / (\rho_f (\rho_{g \text{ act}}))^{1/2} \text{-----} 33$$

GPM = Máximo flujo de líquido a condiciones de medición

SCFM = Flujo máximo de gas referido a una condición base o estandar

ACFM = Máximo flujo de gas a condiciones de operación

ρ = Densidad del líquido fluyendo a las condiciones de medición en unidades de lb/ft³.

$\rho_{g\text{std}}$ = Densidad del gas a 14.7 PSIA, 70°F en lb/ft³

$\rho_{g\text{act}}$ = Densidad del gas a condiciones de medición en lb/ft³

Lbm/min = Flujo máximo a condiciones de operación

ρ_f = Densidad del flotador en g/cc

c).- Características

En el manejo de líquidos : Una gran variedad pueden ser manejados por el rotámetro. Hay una amplia elección del tubo, flotador, accesorios y empaques o materiales anillados que están disponibles para un servicio particular considerado. Se pueden medir líquidos metálicos tales como el mercurio y plomo líquido pero son metales más densos que el flotador de acero inoxidable por lo que el rotámetro es entonces invertido. En este caso el flujo va desde la parte superior al fondo. Cuando el medidor está lleno de líquido metálico pero no hay flujo, el flotador de acero inoxidable flota porque el líquido es más pesado y permanece en la entrada del medidor que está en la parte superior. Cuando hay flujo, las fuerzas del líquido hacen que el flotador sea arrastrado y toma una posición relacionada a la velocidad del flujo.

En el manejo de gases : El rotámetro es un medidor barato para la medición de flujo gaseoso. La caída de presión a través del medidor es esencialmente constante, baja, y generalmente menor que 1 PSIG. Diseños especiales pueden conseguirse para caídas de presión más bajas.

Rango : La posición del flotador en el tubo de medición varía linealmente con la velocidad de flujo. Esto es verdadero en el rango de 10:1. Los rotámetros pueden medir flujos directamente tan altos como 4000 GPM. Velocidades más altas de flujo pueden ser manejadas económicamente usando el rotámetro tipo by-pass. La capacidad del rotámetro puede ser variada por el cambio del flotador. Varias configuraciones de flotadores pueden encontrarse para capacidades más altas y generalmente permiten un cambio de 2:1 en capacidad. Usando el mismo dimensionamiento pero cambiando el tubo (cambio de escala) y el flotador, un brusco cambio en la capacidad es posible. Estos ajustes se toman en cuenta para un cambio en la velocidad de flujo o en la densidad del fluido.

Servicio con slurry : El rotámetro tiende a limpiarse por sí mismo. La velocidad del flujo y la libertad del flotador para moverse vertical-

mente facilita que el medidor se limpie por sí mismo de algunos materiales extraños. Los líquidos de materiales fibrosos son una de las excepciones y no deben medirse con rotámetros. Generalmente el tamaño de partícula, tipo de partícula ya sea fibrosa o granulada y su abrasividad, determinan la conveniencia del rotámetro para un servicio dado. También el porcentaje de sólidos en peso o en volumen y su densidad, tienen influencia en la selección del rotámetro para este servicio.

Efectos de la viscosidad : Los rotámetros son relativamente insensitivos a variaciones en la viscosidad. En rotámetros muy pequeños con flotadores de bola, el medidor responde al cambio del número de Reynolds el cual los hace sensitivos al cambio en la viscosidad y la densidad. No obstante, los tamaños mas grandes de rotámetros son menos sensitivos. La viscosidad en la entrada puede ser tan alta como 100 cp.

Flujo másico : El rotámetro también puede ser usado para la medición de flujo másico ya que el flotador responde a cambios en la densidad del fluido. Para una velocidad de flujo volumétrica fijada, la posición del flotador en el tubo de medición cambiará con la variación de densidad del fluido. El efecto de los cambios de densidad del fluido sobre la posición del flotador es una función de las densidades relativas del flotador y del fluido. Cuando la densidad del flotador se aproxima a la densidad del fluido, el efecto del cambio de densidad en el fluido se puede apreciar de una manera mejor. Si la densidad del flotador es el doble de la densidad del fluido entonces la compensación para el cambio de densidad del fluido es exacta y el rotámetro es un medidor de flujo másico. No obstante, la densidad del fluido varía normalmente y como la densidad del flotador no es ajustable para seguir estos cambios, un arreglo es necesario. La densidad del fluido es usada para establecer la densidad del flotador. Un cambio del 10% en la densidad del fluido desde un punto de referencia, causa únicamente 0.5% de inexactitud en la medición de flujo másico. El rotámetro para medición de flujo másico puede únicamente ser usado para fluidos de viscosidad baja tales como el jugo de caña, gasolina, turbosina y otros hidrocarburos ligeros.

Exactitud : Los rotámetros permiten una medición de flujo tan baja como 0.1 cc/min de agua o un flujo de gas equivalente. La habilidad para leer la escala es un factor muy importante en el funcionamiento del rotámetro. La exactitud con una escala lineal es de $\pm 2\%$ de la escala total. La precisión

de los rotámetros con escala logarítmica es tan alta que solo permiten 0.5% de error. Una escala logarítmica nos da una exactitud mas grande en lecturas bajas, donde pequeños errores sobre una escala lineal podrian resultar en errores relativamente grandes .

Efectos de la tubería : La configuración de la tubería no afecta la -- exactitud del rotámetro y puede ser instalado en cualquier lugar de la tubería.

Accesorios : El rotámetro es un medidor de flujo altamente desarrollado. Los medidores se encuentran con una amplia selección de alarmas, indicadores, totalizadores, transmisores, controladores y registradores. Prácticamente cualquier combinación de sistemas requeridos pueden ser manejados por los accesorios e instrumentos asociados con rotámetros.

d).- Tipos de rotámetros

Los rotámetros pueden clasificarse en los siguientes grupos :

Tipo purga.- Estos son tal vez los medidores de flujo mas ampliamente usados. Estos medidores tienen muchas formas las cuales son baratas y son -- mas usadas en la medición de flujo bajo. La mayoría de los medidores tipo -- purga son seleccionados para el manejo de gases inertes o líquidos a bajas-velocidades en donde estos flujos son usados como una purga por lo que entonces su exactitud no es crítica. Los medidores de este tipo se encuentran con válvula de control de aguja la cual es opcional. La fig 30 presenta un rotámetro tipo purga con válvula de control integral de aguja.

Rotámetro de uso general.- El rotámetro con tubo de vidrio es el mas--ampliamente usado. La fig. 31 presenta una sección transversal de un rotá--metro con las partes que consta generalmente.

El medidor es casi siempre para la indicación de flujo únicamente. Hay una gran variedad de materiales para la selección del flotador, empaques, -- anillos y accesorios para manejar la mayor parte de los flujos. Los únicos flujos que no pueden ser manejados son los que atacan al tubo de vidrio que se utiliza para la medición. Los rotámetros tambien estan limitados por la temperatura y presión debido al tubo de vidrio y por condiciones de segurí--dad.

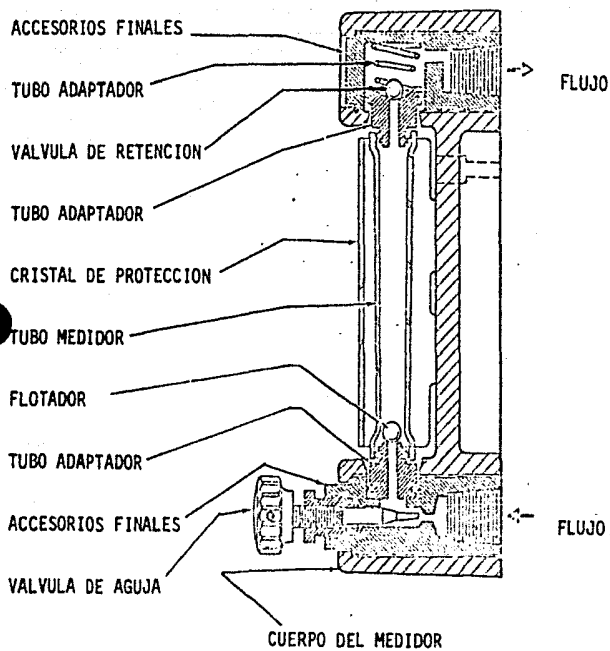


FIG 30.- ROTAMETRO DE PURGA CON VALVULA DE AGUJA

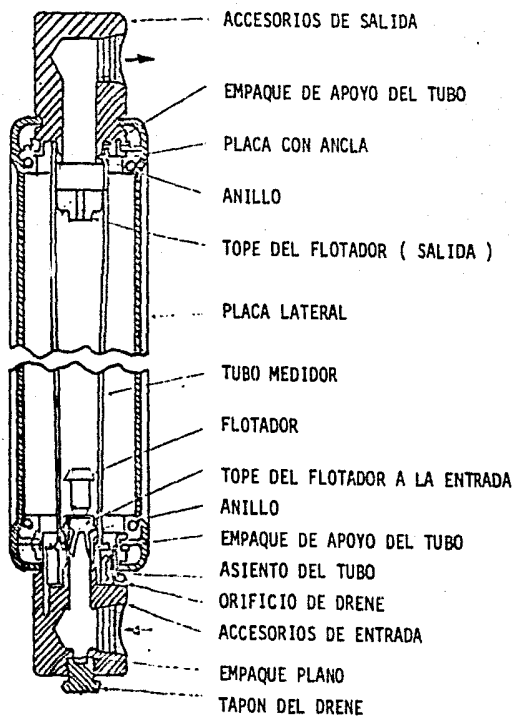


FIG 31.- ROTAMETRO DE USO GENERAL

Medidor metálico.- Estos medidores son usados cuando los medidores de uso general no pueden ser aplicados. Pueden ser usados a condiciones drásticas como por ejemplo a temperaturas arriba de 100°F y soluciones altamente alcalinas arriba del 20% de concentración, fluoruro, ácido hidrofúrico, - agua caliente, vapor, slurries, metales fundidos donde el vidrio no puede ser usado. Esta clasificación de medidores es usada donde la temperatura de operación y la presión excede los límites permitidos para el tubo de vidrio o generalmente donde la transmisión de señales electrónicas o neumáticas son necesarias. Un medidor de tubo metálico se muestra en la fig. 32.

Rotámetro tipo by-pass.- Este medidor es seleccionado por el bajo costo de medición a velocidades altas generalmente en tuberías de 2" o mas grandes. Está en paralelo con la placa de orificio sobre la línea principal, está dimensionado de tal manera que cuando en la placa de orificio haya la máxima caída de presión, el flotador del rotámetro estará en su posición máxima. El flujo a través del rotámetro es proporcional a la velocidad de flujo instantánea de la línea principal (fig. 33).

e).- Exactitud

Los rotámetros también pueden clasificarse en base a su exactitud de medición :

i .- Error de 4-10% de la escala total para todos los medidores de purga y los de tipo by-pass.

ii .- Error de 1-2% de la escala total para los rotámetros de uso general y los de tubo metálico en muchas aplicaciones industriales.

iii .- Error de 0.5-1% de la velocidad se utilizan para laboratorios, desarrollo y aplicaciones tipo prueba.

f).- Parámetros de diseño

Presión	: Hasta 350 PSIG para tubo de vidrio dependiendo del tamaño. 720 PSIG para tubos de metal y algunos diseños especiales hasta 6000 PSIG.
Temperatura	: Hasta 400 °F para tubos de vidrio y 1000 °F para algunos modelos de metal.

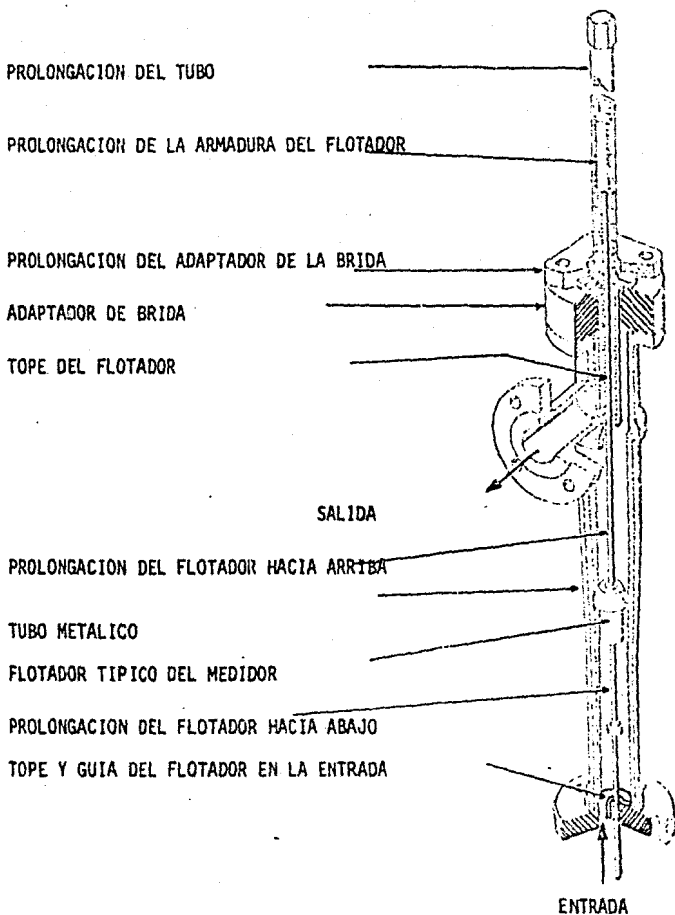


FIG 32.- ROTAMETRO DE TUBO METALICO

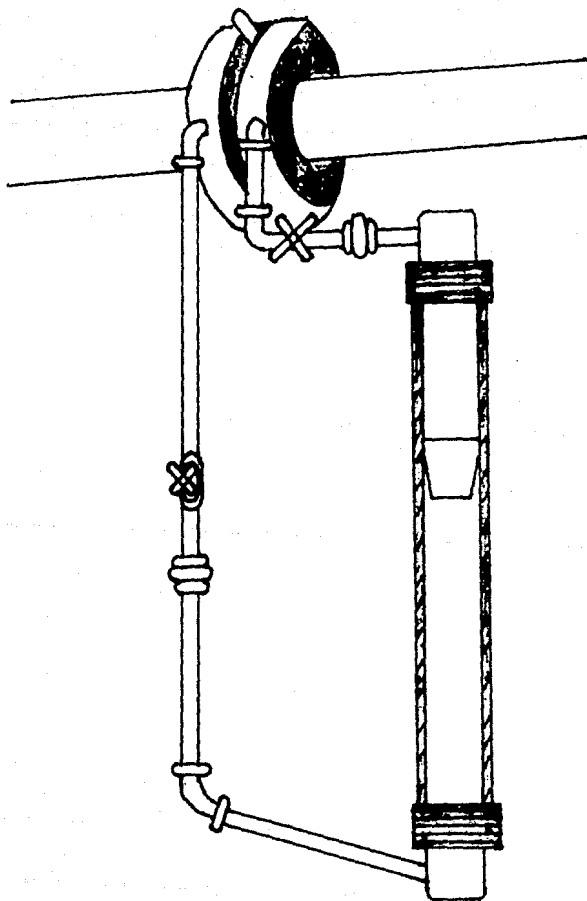


FIG 33.- ROTAMETRO ORIFICIO (MIDE GRANDES VELOCIDADES DE FLUJO)

- Fluidos a manejar : Líquidos, gases y vapores
- Rango de flujo : Desde 0.01 cc/min a 4000 GPM y 0.3 cc/min a 1300 SCFM.
- Exactitud : Desde $\pm 0.5\%$ de la velocidad a $\pm 10\%$ de la escala total dependiendo del tamaño, tipo y calibración.
- Materiales de construcción :
- Tubo.-Vidrio ,acero inoxidable,hastelloy, monel y alloy 20.
 - Flotador.-Latón, acero inoxidable, hastelloy, monel,alloy 20, níquel, - titanio, tántalo y de plásticos especiales.

MEDIDORES DE TURBINA

a) Generalidades

Los medidores de turbina suministran una señal exterior de frecuencia que varía linealmente con la velocidad de flujo volumétrico sobre rangos de flujo especificados con flujos de viscosidad cinemática dada.

La figura 34 es una representación de un corte transversal de un medidor de turbina típico. La figura 35 es una vista de las partes del medidor de turbina.

El fluido entra por el lado izquierdo pasando por el soporte del rotor. Este soporte hace dos funciones que son las de soportar el rotor y enderezar el flujo antes de que sea medido por el rotor. El fluido al pasar por el rotor es desviado con una velocidad angular que es proporcional a la velocidad lineal del fluido, por lo tanto a la velocidad de flujo volumétrico. La relación entre la velocidad del rotor y la velocidad de flujo volumétrico es lineal dentro de límites dados de velocidad de flujo y viscosidad de fluido. Dentro de estos límites la especificación de linealidad es $\pm 0.5\%$ de la velocidad.

El detector de la velocidad del rotor traduce esta a una señal de frecuencia equivalente. Los detectores de reluctancia variable son los más comúnmente usados. En este sistema el "casarón" del medidor no debe ser magnético, usualmente es de acero inoxidable. El rotor debe ser de un material permeable y ARMCO 17-4-PH y acero inoxidable serie 400.

El ensamble consiste de un pequeño imán permanente muy poderoso y un alambre espiral. El campo del imán es influenciado por el movimiento de las aspas del rotor, las cuales son de un material permeable. Como las aspas del rotor pasan a través del campo del imán proveen de una trayectoria más fácil para el campo y este se deforma con el movimiento a través del alambre espiral. El movimiento relativo entre el campo magnético y el espiral genera un voltaje de corriente alterna, la frecuencia del cual es proporcional a la velocidad de flujo. Otro camino establecido es que el medidor genera una frecuencia para una velocidad de flujo dada.

Esto establece:

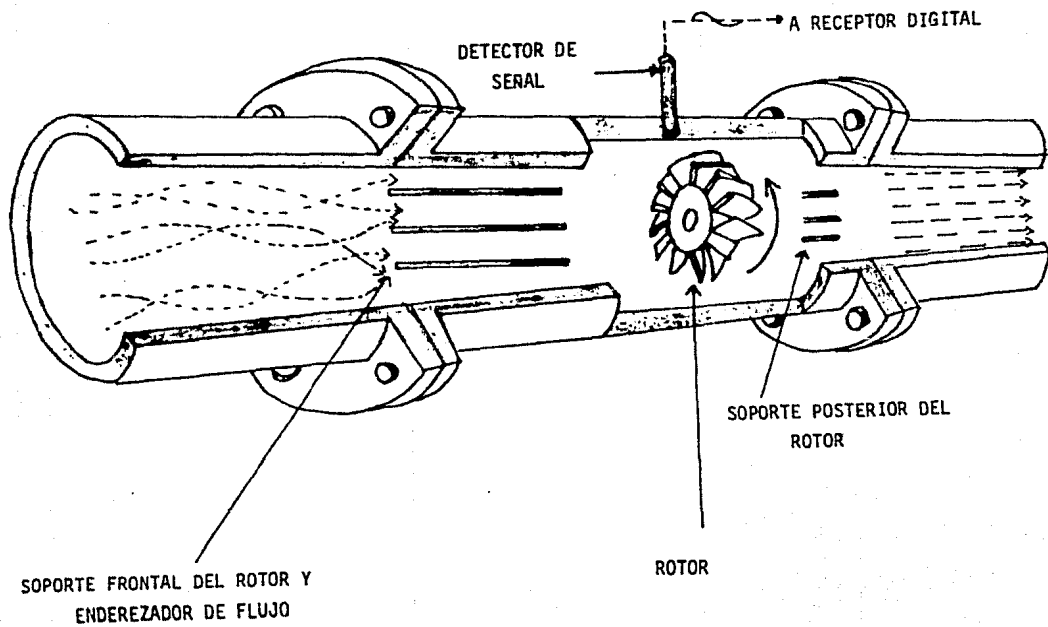


FIG 34.- CORTE TRANSVERSAL DE UN MEDIDOR DE TURBINA

$$\text{CICLOS POR TIEMPO} / \text{VOLUMEN POR TIEMPO} = \text{CICLOS} / \text{VOLUMEN} = k \text{ ---(37)}$$

Una característica del medidor de flujo de turbina, es desarrollar un número de pulsos conocidos precisamente para medir un volumen dado.

Los medidores de turbina son de funcionamiento efectivo para esto cada medidor debe ser calibrado individualmente para asegurar el funcionamiento de linealidad establecido, repetición y exactitud que exige el medidor. Para flujos mayores de 200 GPM los medidores son calibrados conforme a la - National Bureau Standards. Arriba de estos flujos generalmente la correlación se hace usando dos medidores en paralelo, para conseguir las mas altas capacidades y conservar la correlación de referencia estandar.

La figura 36 es una curva de calibración típica para un medidor de turbina que mide un fluido de baja viscosidad. La velocidad de flujo es graficada vs. el coeficiente del medidor, ciclos por unidad de volumen. Hay que notar que sobre el rango de flujo de 20 a 240 GPM la curva tiene una desviación de $\pm 0.5\%$. La linealidad del medidor es por lo tanto de $\pm 0.5\%$ de la velocidad dentro del rango de 20 a 240 GPM.

Un coeficiente promedio del medidor puede usarse \bar{K} . Nótese también, -- que si el medidor se usa únicamente dentro de una porción de su rango lineal la desviación puede ser menor de $\pm 0.5\%$ de la velocidad de flujo. Entre 80 y 240 GPM la linealidad es aproximadamente de $\pm 0.25\%$ de la velocidad. La - repeatibilidad en cualquier punto dado dentro del rango es menor de 0.1% de la velocidad y en una buena instalación puede ser de 0.02% .

Los medidores de flujo de turbina pueden ser usados con fluidos de viscosidades variantes. Como se puede ver en la figura 37 que es una curva típica de este tipo de funcionamiento. En la abscisa tenemos frecuencia/viscosidad, la cual es análoga al No. de Reynolds. El coeficiente del medidor lo encontramos en la ordenada de la gráfica. Otra vez el medidor es lineal dentro de $\pm 0.5\%$ de la velocidad en el rango de 30 - 800 $\frac{1}{\mu}$. Dentro de un rango de 15 - 30 $\frac{1}{\mu}$ el medidor es aproximadamente 1.5% de la velocidad en un funcionamiento no lineal. Sin embargo en un rango de operación no lineal son aplicadas las mismas relaciones de repeatibilidad y exactitud que para el - rango de operación lineal.

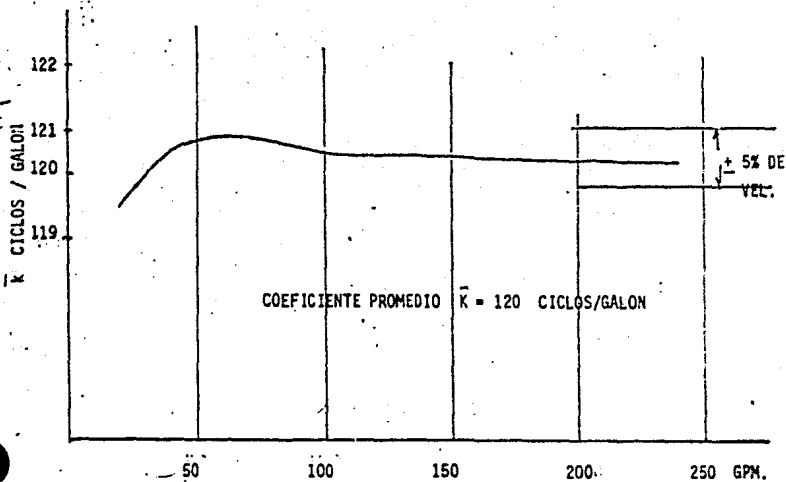
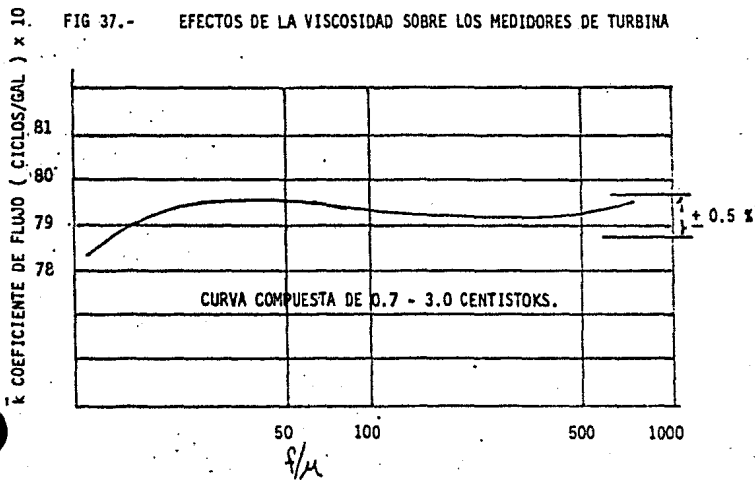


FIG 36.- MEDIDOR DE TURBINA. CURVA DE CALIBRACION PARA UNA UNIDAD DE 2"

FIG 37.- EFECTOS DE LA VISCOSIDAD SOBRE LOS MEDIDORES DE TURBINA



b).- Selección

Las razones para seleccionar un medidor de turbina para una medición son variadas y muchas dependen de la aplicación particular ó instalación.

- 1.- Rangos arriba de 150 : 1 son posibles en algunos tamaños.
- 2.- El funcionamiento incluye repeteabilidad, exactitud absoluta y linealidad.
- 3.- Retención de calibración.
- 4.- Información digital.
- 5.- Tamaño pequeño para una capacidad dada.
- 6.- Instalación simple.
- 7.- Facilidad de mantenimiento.

La mayoría de los medidores de turbina han sido seleccionados por el amplio rango de medición y una buena exactitud.

c).- Tipos de medidores de turbina

Los medidores de turbina pueden agruparse en cuatro categorías:

1.- Medidor de turbina de bajo flujo:

Generalmente estos medidores cubren rangos de operación de 0.001 a 2 - GPM. Estan específicamente diseñados para flujos bajos y pueden ser de tipo axial ó radial. La siguiente tabla nos da una tabulación de algunos medidores:

Medidor	Capacidad nominal GPM	Flujo mínimo GPM	Rango	ΔP PSIG
1	0.05	.004	12-1	10
2	0.25	.012	20-1	10
3	1.00	.050	20-1	15
4	2.00	.100	20-1	15

Los medidores tienen excelente repetibilidad generalmente mejor de -- 0.1% de la velocidad, generalmente no son lineales, una ΔP alta y un rango de 20-1 ó menor

2.- Medidor de turbina industrial

Diseñado específicamente para cumplir con los requerimientos en la industria, tienen una alta confiabilidad, mantenimiento mínimo, facilidad pa-

ra colocarlo en una tuberfa determinada, mínima caída de presión a un flujo máximo; alta capacidad y excelente rangeabilidad.

Algunos medidores industriales son diseñados para que se les pueda dar mantenimiento en el lugar donde se encuentran sin tener que volver a recalibrar, incluyendo sistemas de lubricación externa para mayor duración y minimizar el mantenimiento. La tabla siguiente es una tabulación de medidores de turbina industriales representativos:

Tamaño	Capacidad nominal GPM	Flujo mínimo GPM	Rango	ΔP
1/4"	6	0.77	8-1	5
3/8"	12	1.00	12-1	5
1/2"	18	1.60	12-1	5
3/4"	36	3.00	12-1	5
1"	60	3.60	16-1	4
1.5"	150	6.00	25-1	4
2"	240	12.00	20-1	5
3"	600	20.00	30-1	5
4"	1200	56.00	20-1	5
6"	2500	125.00	20-1	5
8"	4000	160.00	25-1	5

3.- Medidor de flujo de turbina tipo militar:

Este tipo de medidor esta diseñado específicamente para obtener una máxima rangeabilidad para un tamaño dado del medidor y de la tuberfa.

Los tamaños mas grandes de medidores en esta categoría generalmente siguen la configuración de los medidores industriales que son construídos con terminales en bridas para que den la velocidad deseable y operar a unas determinadas condiciones de presión y temperatura.

Los medidores de configuración militar son generalmente de una capacidad muy alta, tan alta como para medir 2000 Hz. El rango puede ser tan grande como 150-1 dependiendo del tamaño. Los sistemas de señal electrónica se usan para dar un rango extremo y por lo tanto un medidor podría usarse donde se requieren dos medidores. En la siguiente tabla se muestran los rangos representativos para un medidor de turbina tipo militar:

Máxima capacidad GPM	Mínimo flujo lineal GPM	Mínimo flujo de repetición GPM	Rango	P
5	0.5	0.10	50-1	8
10	0.5	0.10	100-1	8
15	0.5	0.15	100-1	9
25	1.0	0.25	100-1	9
50	2.0	0.50	100-1	9
150	2.0	1.00	150-1	9
225	3.0	1.5	150-1	9

4.- Medidores de turbina para usos especiales:

En esta categoría están incluidos flujos de gas, flujo másico, muestreo y modelos slurry.

Flujo de gas : En muchos casos los medidores de turbina para líquidos se usan para la medición de flujo gaseoso, se debe tener cuidado especial en la selección de los cojinetes y generalmente en el peso del rotor que debe ser el mínimo para que la velocidad del rotor sea alta y dé el máximo rango. Se cuenta con diseños mas grandes para medir gas natural y otros.

Flujo másico: Hay configuraciones que usan rotores con las aspas de diferente ángulo. Los dos rotores girarán a diferentes velocidades angulares, pero están conectadas por un miembro de torsión el cual los mantiene a una rotación axial limitada de uno con otro mientras siguen rotando. Una medición del ángulo de desplazamiento es proporcional a la velocidad de flujo másico. Este medidor tiene un rango mas corto y menos acertado que el medidor de turbina tipo volumétrico.

Para muestreo: Este tipo de turbina es usado para mediciones económicas de flujo en tamaños grandes y usa un pequeño rotor para medir la velocidad del flujo en un punto predeterminado en el tubo. Esta velocidad medida debe ser representativa de la velocidad promedio del fluido en el tubo grande para una medición válida de flujo. La exactitud de medición y el rango son menores que los de los medidores de turbina convencionales.

Slurries : Este consiste de una flecha de carburo de tungsteno, cojinetes de casquillo y rotor para medir slurries y corrientes que llevan partículas abrasivas. El rango de operación y exactitud son un poco menores que los medidores de turbina convencionales.

d).- Sistema de señal

Una amplia selección de detectores y amplificadores están disponibles para la traducción y acondicionamiento de la señal del medidor de turbina. Los componentes para un sistema particular son seleccionados en base a un rango de flujo, la distancia al receptor, tipo de receptor, temperatura --- ambiente y del fluido, amplitud de la señal exterior y requerimientos para pruebas de explosión y seguridad intrínseca.

Dos tipos de detectores son de uso común; el de reluctancia variable --- también conocido como magnético, el cual genera y provee una señal de 1 milivolt de corriente alterna, la cual puede ser usada por indicadores mas modernos, totalizadores y otros receptores. Los modelos pueden ser usados con temperaturas tan altas como 700°F y para aplicaciones criogénicas incluyendo hidrógeno líquido a - 423°F. El detector tipo electrónico es generalmente seleccionado para mejorar el funcionamiento de la parte baja del medidor por eliminación de las interferencias magnéticas asociadas con el detector tipo reluctancia variable. El sistema electrónico es generalmente seleccionado para usarse solamente a temperaturas de fluido entre - 300°F y 450°F, requiere de potencia externa. Generalmente no tienen ventajas hidráulicas --- para tamaños mayores de 4" y por lo tanto son usados casi exclusivamente en tamaños hasta 4" o más pequeños.

Los preamplificadores para sistemas de reluctancia variable y electrónico pueden ser remotamente localizadas desde el medidor o localizados en --- cajas directamente sobre el detector. Los preamplificadores de doble alambre (señal y potencia en el mismo par), son usados y proveen señales de --- nivel constante en el rango de voltaje para eliminar problemas de ruidos --- que dan una falsa lectura.

c).- Aplicaciones

La siguiente información es esencial para seleccionar de acuerdo a su aplicación un medidor de turbina:

1.- El fluido de proceso deberá estar definido por nombre o sus propiedades completamente definidas. Anotar si la corriente de flujo trae algunos productos químicos como impurezas. Estos datos son esenciales para selec

cionar apropiadamente los cojinetes.

2.- La viscosidad del fluido dentro del rango de temperatura de operación debe ser definida.

3.- El rango lineal necesario.

4.- Los extremos de temperatura y presión a los cuales el medidor será operado.

5.- Las conexiones del proceso.

6.- Sistemas de transmisión de señal.

7.- El tipo de totalizador, indicador de velocidad de flujo y otros receptores que sean usados.

Los medidores de turbina son seleccionados de tal forma que la capacidad del medidor esté entre 30 - 50% arriba de la velocidad de flujo máxima esperada. El medidor opera por debajo del máximo con resultados mas confiables. La caída de presión es mas baja, varía con el cuadrado de la velocidad de flujo y por tanto operando el medidor de flujo al 70% de su capacidad, significa que la caída de presión es el 50% de la que habría si se opera a la velocidad de flujo máxima. Por lo tanto es posible un costo de bombeo mas económico. El rango mas grande de los medidores de turbina hace posible esta razonable aproximación.

El fluido particular que va a ser medido determina la selección de los cojinetes para el servicio. La definición completa del líquido, incluyendo - contaminantes, residuos químicos y sólidos en la corriente, asegurarán que los cojinetes sean seleccionados correctamente. Muchos fabricantes ofrecen cojinetes de bolas o de casquillo.

Los cojinetes de balines son seleccionados para dar un buen funcionamiento y máxima durabilidad, que dependen de la limpieza del fluido, el cual debe ser compatible con el acero inoxidable 440 que es usado en los cojinetes. Cuando el fluido es sucio, no es compatible con el acero 440 y no tiene propiedades lubricantes, entonces se utilizan cojinetes de casquillo. Los cojinetes de balines tienen retenedores metálicos para minimizar la fricción entre los balines, manteniendolos en posición correcta. Otros retenedores de materiales no metálicos como teflón reforzado para aplicaciones criogénicas y fenólicos para aplicaciones especiales.

Los cojinetes de casquillo son generalmente de materiales no metálicos tales como teflón no reforzado, carbón reforzado, grafito y cerámica, los -

de carburo de tungsteno son también ofrecidos por muchos fabricantes, ofrecen una amplia aplicación en los medidores de turbina para líquidos no lubricantes, corrientes ligeramente sucias y líquidos que podrían atacar a los cojinetes de balines.

f).- Uso de los medidores de turbina

La habilidad para obtener la máxima capacidad del medidor de turbina depende de muchos factores. Algunos medidores de turbina pueden ser instalados en cualquier posición en el sistema de tubería sin conocimiento anterior de la calibración original. Sin embargo algunos diseños deberán ser instalados en orientaciones predeterminadas para asegurar un máximo funcionamiento. Una instalación típica del medidor de turbina, excepto diseños específicos para servicios slurries llevan un colador antes de la entrada del medidor como se presenta en la figura 38.

Para asegurar que en el medidor de flujo sólo halla fase líquida; y evitar así la posible cavitación y/o flasheo dentro del medidor, se recomienda que la presión del fluido después del medidor sea por lo menos de 10 PSI -- mas grande que la presión de vapor del fluido medido. La figura 39 muestra el perfil de presión en un medidor de turbina típico. Hay alguna recuperación de presión en el medidor, esto es bueno conocerlo para encontrar la -- presión del fluido después del medidor y checar que sea por lo menos 10 PSI mayor que la presión de vapor del líquido a la temperatura mas alta de operación. La figura 40 muestra una gráfica para encontrar la caída de presión esperada en el medidor cuando fluye agua y una ecuación para corregir cuando se mide otro fluido con diferente viscosidad y densidad.

g).- Receptores y accesorios

La señal exterior de un medidor de turbina es una frecuencia proporcional a la velocidad de flujo volumétrico. Por lo tanto cada pulso generado por el medidor de turbina es equivalente a un volumen medido de líquido. -- Generalmente, la información de los medidores de turbina es guardada por un instrumento tipo totalizador. Para que la totalización sea válida, el valor

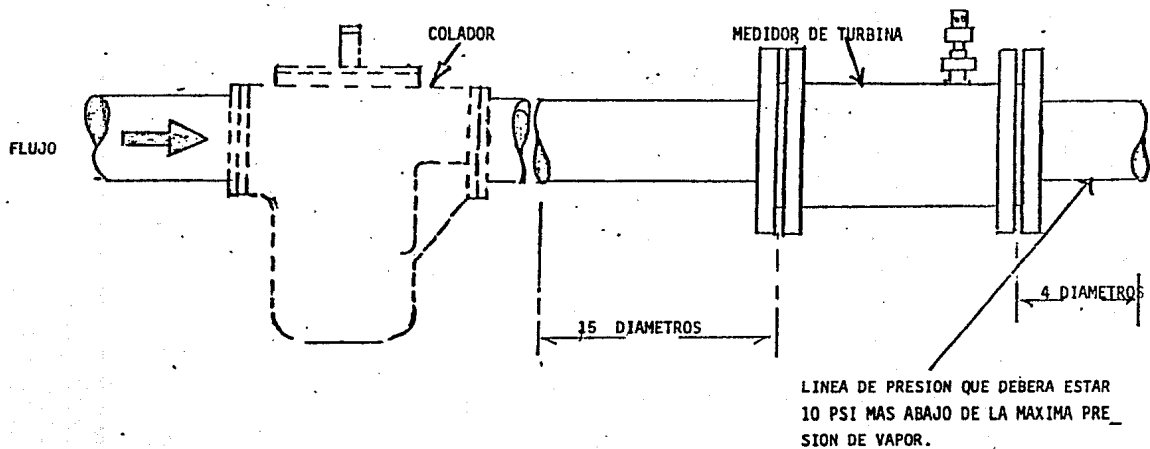


FIG 38.- INSTALACION DEL MEDIDOR DE TURBINA

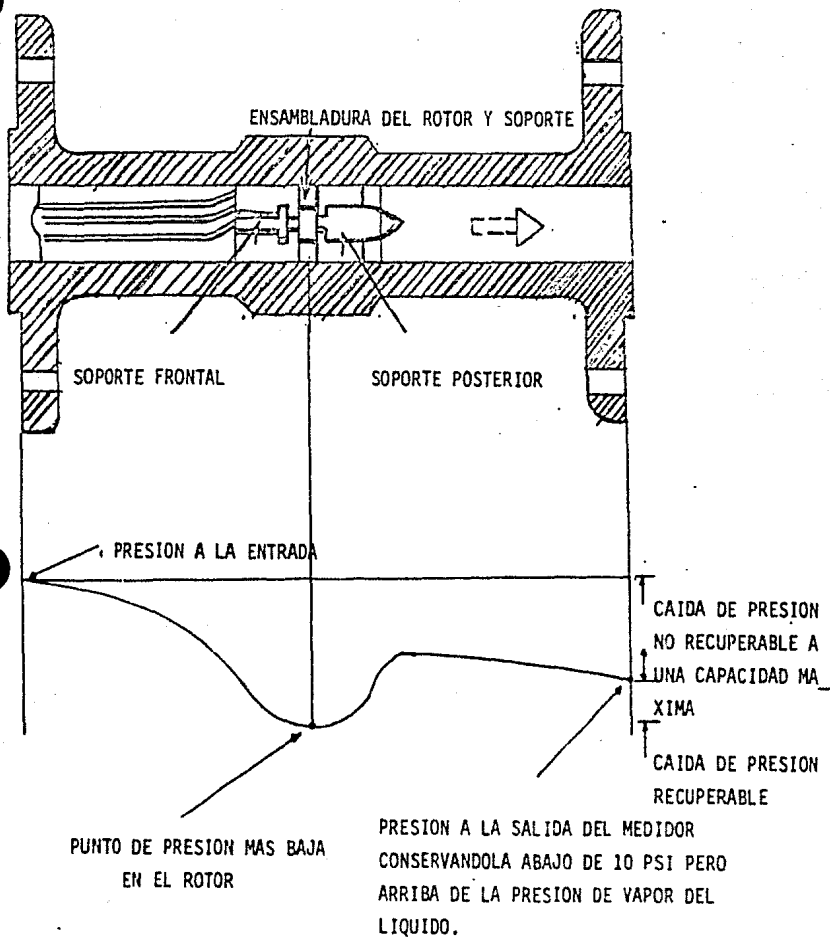


FIG 39.- PERFIL DE LA PRESION EN UN MEDIDOR DE TURBINA

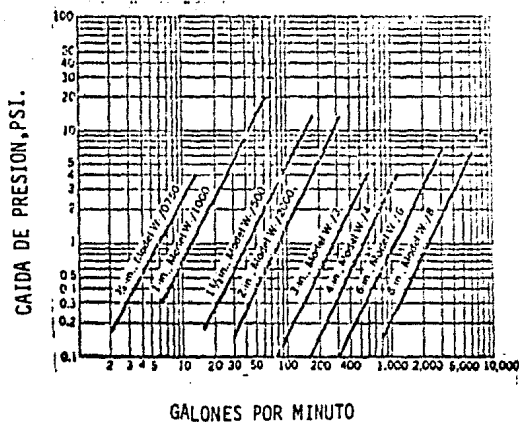


FIG 40.- VALORES DE CAIDA DE PRESION A DIFERENTES VELOCIDADES DE FLUJO DE AGUA, CAUSADOS POR MEDIDORES DE TURBINA. FABRICADOS POR C-E EN VAL-CO.

FORMULA PARA ESTIMAR LA CAIDA DE PRESION DE UN LIQUIDO QUE NO SEA AGUA:

$$\Delta P = \mu^{0.25} (\text{sp.gr})^{0.75} \Delta P_w$$

DONDE:

ΔP = CAIDA DE PRESION DEL LIQUIDO EN PSI

μ = VISCOSIDAD DEL LIQUIDO EN cp

sp.gr = GRAVEDAD ESPECIFICA DEL LIQUIDO

ΔP_w = CAIDA DE PRESION PARA EL AGUA

de cada pulso debe ser esencialmente constante y por lo tanto los medidores de turbina son lineales solamente dentro de una parte de su rango de operación. En estos casos, se usa un monitor para verificar que el medidor opere dentro de su rango lineal de operación.

Los totalizadores son de dos configuraciones. Una configuración simplemente totaliza los pulsos o hace un escalamiento necesario (factorizando la información de frecuencia de tal manera que cada pulso es igual a una unidad de volumen o parte decimal de un volumen) y totaliza en unidades de lectura directa. Una segunda configuración no solo registra sino también predetermina el número de conteos o unidades de volumen proporcionales a un tamaño de lote dado y provee una señal que indica el término de un lote. Algunas unidades también incluyen etapas múltiples de lote (batch) para prevenir las funciones de agotamiento en las cuales la medición de flujo se hace a velocidades más bajas que las velocidades a las que se mide todo el fluido antes de llegar al punto de agotamiento. Los totalizadores de lote dan una señal exterior para abrir una válvula de control a una posición dada, para controlar la velocidad volumétrica y en un punto predeterminado del lote hay un indicador que transmite la señal a la válvula para reducir un poco la velocidad de flujo la cual es mantenida hasta que se termina el lote.

Los totalizadores junto con los batch y el de escalamiento lógico, pueden incluir convertidores frecuencia-corriente, información exterior para - contadores remotos, proveer información para compensación de variación en - temperatura o presión e indicación de velocidad de flujo.

La indicación de velocidad de flujo puede hacerse digitalmente o en forma análoga. La indicación digital de la velocidad de flujo es usada para -- pruebas y trabajos en laboratorio y rara vez en aplicaciones industriales. Los contadores digitales con tiempo base ajustable dan una lectura de velocidad de flujo como frecuencia o en unidades de lectura directa (tal como GPM) dependiendo del tiempo base establecido. Los convertidores frecuencia-corriente son usados como accesorios o junto con un miliamperímetro.

h).- Instalación apropiada

Una instalación apropiada es indispensable si esperamos que la exactitud y repeatibilidad se mantengan constantes. Requiere una tubería recta del

medidor de por lo menos 15-20 diámetros de tubería antes del medidor y 10 diámetros de tubería recta después del medidor.

Algún cambio en el diámetro interior de la tubería, reducción, válvula o codo colocados a 15 diámetros o menos antes del medidor provocarán turbulencia lo cual dará lecturas altas en el medidor. Estas longitudes pueden acortarse igual que en el caso de la placa de orificio, si se coloca un enderezador de flujo en el frente del medidor. Si es necesario limpiar el medidor con vapor y no podemos cerrar el flujo, usaremos un by-pass. La fig.41 muestra una instalación típica de todos los requerimientos.

Objetos ajenos como tuercas o pernos y aún herramientas que algunas veces hay en las tuberías cuando válvulas o bombas han tenido mantenimiento o han sido removidas, un gran filtro malla instalado antes del medidor prevendrá que tales objetos dañen al medidor o que pasen a través de él.

Las señales de bajo voltaje generadas por un medidor de turbina (50 mv a 10 V) deben transmitirse por un cable doble conductor bien recubierto, - el cual será instalado dentro de un conducto para protegerlo de daños físicos o deterioro del aislamiento. Este cable no debe colocarse junto con otros alambres usados para control o potencia eléctrica .

La temperatura en un recipiente no es necesariamente la misma que en la tubería que sale del recipiente a causa de muchos posibles factores (aislamiento del tanque, mezclado, agitación, etc.) por lo tanto debe colocarse un termómetro cerca del medidor para medir la temperatura del fluido.

Estas decisiones deben hacerse de todas maneras para instalar un monitor permanente de temperatura, dependerán de los cambios en viscosidad y concentración causados por los cambios de temperatura.

1).-Errores de operación

Una buena instalación en un proceso bien controlado no siempre rinde la exactitud esperada debido a que el uso dado al medidor depende del operador. El debe estar enterado de las limitaciones y de las consecuencias que ello acarrea.

Para eliminar probabilidades de error pueden instalarse alarmas de alto y bajo límite, válvulas check o válvulas automáticas; revisar los procedimientos de operación y tener los siguientes puntos en mente:

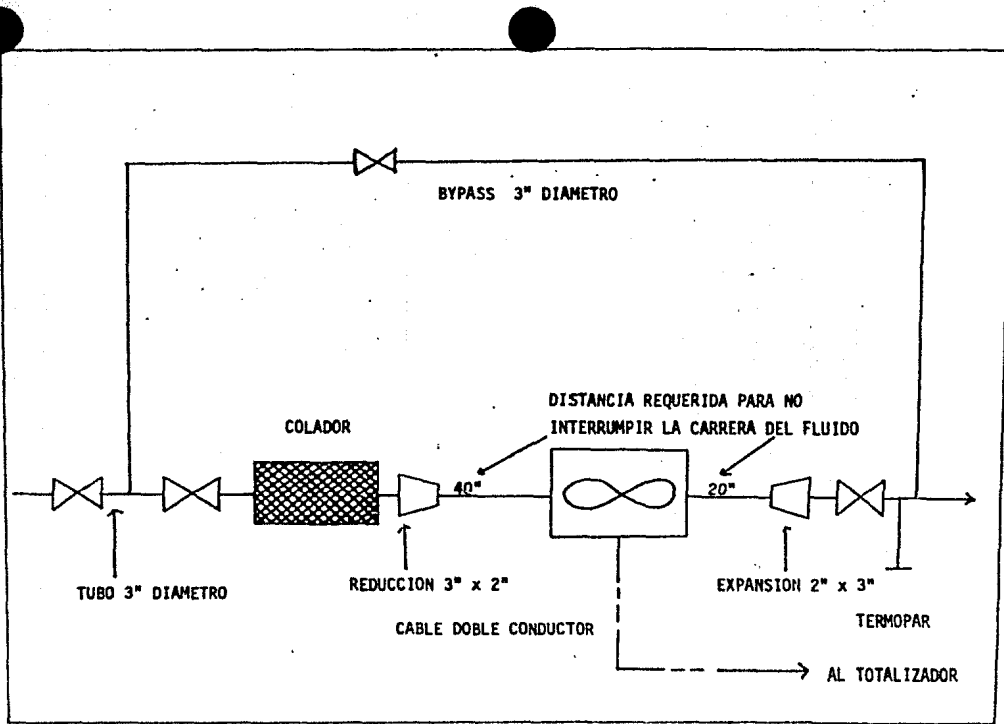


FIG 41.- DETALLES DE INSTALACION PARA UN MEDIDOR DE TURBINA DE 2" DE DIAMETRO REQUERIDO PARA UNA INSTALACION CON TUBERIA DE 3".

Si se permite que el vapor pase a través del medidor; los cojinetes -- serán dañados y el medidor dará lecturas mas bajas que las debidas.

Si la válvula del by-pass está abierta o hay una fuga, las lecturas -- del medidor serán mas bajas que las del flujo real.

Si algunas condiciones se presentan que puedan causar un flujo inverso a través de la línea , ello podría ocasionar que el medidor registre el mismo flujo dos o tres veces. Esto ocurre si el medidor esta colocado en un ni vel mas bajo en la línea, si un tanque se derrama o si el sistema es ventea do para compensar la presión alta.

j).- Parámetros de diseño

Presión : Hasta 3000 PSIG

Temperatura : Desde -450 °F a 500 °F

Materiales de construcción : Acero inoxidable

Fluidos que maneja : Líquidos limpios y en diseños especiales, gas.

Rango de flujo : 0.001 - 40000 GPM

Exactitud : ± 0.25% de la velocidad

CANALES Y VERTEDEROS

a).- Generalidades

Los canales, vertederos y medidores similares, desarrollarán una diferencia de nivel que es usada para medir la velocidad de flujo. Su principal aplicación es la medición del agua incluyendo irrigación, sistemas de desagüe, aguas negras e instalaciones similares donde el flujo es manejado en canales abiertos o en tuberías y conductos que generalmente no están completamente llenos con el líquido.

b).- Características

Las características de medición de los canales y vertederos pueden ser establecidas a partir de las dimensiones físicas sin necesidad de calibrar el flujo. Las derivaciones teóricas están basadas en datos de prueba que cubren un amplio rango de operación. Esto es de gran importancia en aplicaciones para flujo de 10000 GPM o más, donde la calibración de flujo podría resultar difícil y cara. Las mediciones en vertederos de millones de galones por día son comunes.

Para vertederos rectangulares, trapezoidales y canales parshall; el flujo es aproximadamente proporcional a $3/2$ de potencia de la diferencia de nivel medida. Para vertederos de hendidura en V el flujo es proporcional a $5/2$ de la potencia. Esto resulta en un rango amplio de medición de flujo en un dispositivo simple de 75 a 1 para vertederos rectangulares, trapezoidales y para canales parshall. Arriba de 500 a 1 para vertederos de hendidura en V resulta en una relación directa entre la diferencia de nivel y el volumen actual de flujo sin corrección para la densidad del líquido.

c).-Vertederos

Los vertederos tienen una abertura en la parte superior de un dique -- que atraviesa el canal por el cual fluye el líquido que va a ser medido como se ve en la figura 42. La abertura puede ser rectangular (fig. 43), trapezoidal (fig. 44) o de hendidura en V (fig. 45) .

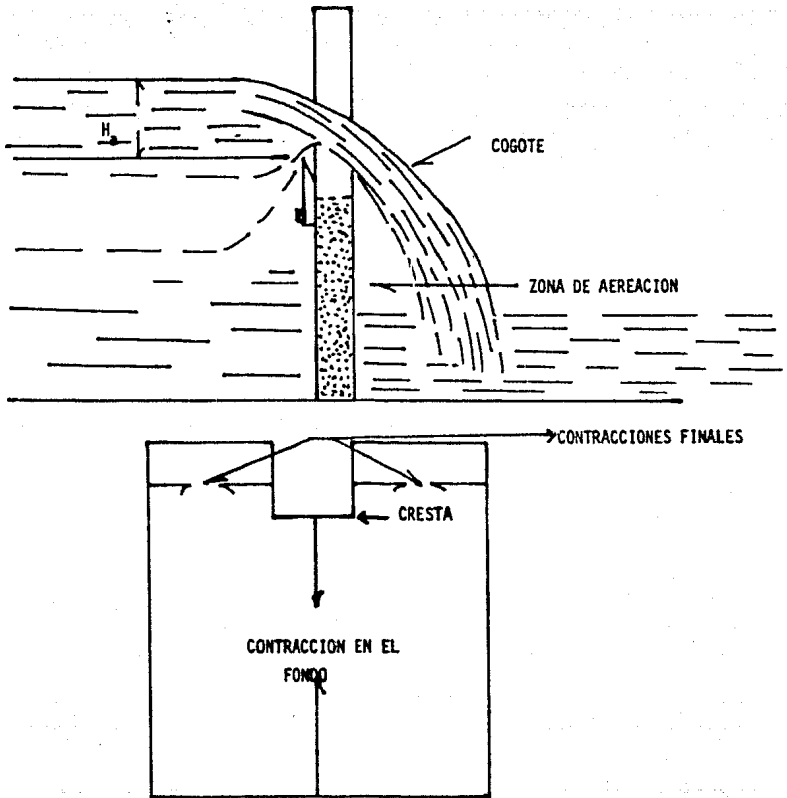


FIG.- 42 FLUJO EN UN VERTEDERO

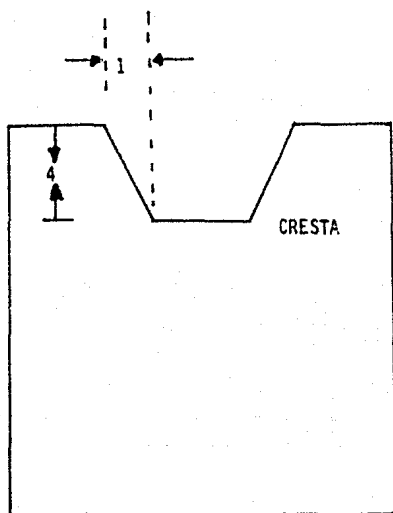


FIG 44.- VERTEDERO CIPPOLETTI

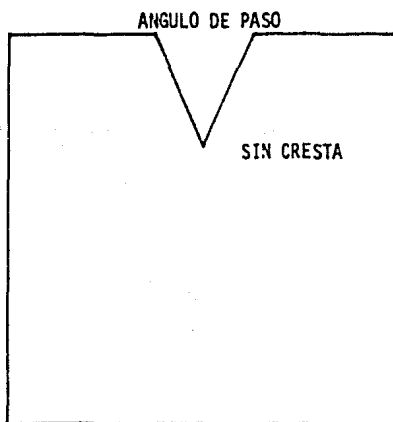


FIG 45.- VERTEDERO CON HENDIDURA EN " V "

El caso especial de un vertedero trapezoidal con una pendiente de 1-4 es conocido como un vertedero Cippoletti; esta forma induce a simplificar los cálculos de flujo. Los vertederos de hendidura en V tienen un ángulo - que va de 30°- 90°, dependiendo de la capacidad de flujo que se requiera.

La diferencia de nivel es medida en la alberca a una distancia adecuada corriente arriba del vertedero comparada con la cresta horizontal de un vertedero rectangular o trapezoidal, o en el punto bajo de la hendidura en V del vertedero. Diferencias de nivel menores de 0.1 ft. para mediciones mínimas de flujo o mas de 0.1 ft. para un flujo máximo, es de lo que generalmente se dispone. Una diferencia de nivel de hasta 1.25 ft. puede ser tolerada bajo condiciones muy favorables. Estos límites se pueden encontrar fácilmente con un diseño práctico de una hendidura en V de 30° que medirá flujo mínimos de 1 GPM mientras que para un valor máximo un vertedero rectangular o trapezoidal esta limitado solamente por la longitud de la cresta.

Los vertederos en hendidura en V son usados para los flujos mas pequeños y tienen un coeficiente constante desde 3 - 300 GPM con un flujo proporcional a la cabeza elevada a 5/2. El coeficiente se incrementa bruscamente en un 2% para flujos abajo de un GPM y cambia relativamente poco para flujo arriba de 500 GPM. Esto sucede para hendidura de 30°. Una hendidura arriba de 90° no es recomendada. Los vertederos rectangulares y Cippoletti son usados para flujos mas grandes. Un vertedero rectangular con una cresta de 2 ft. de longitud desarrolla una diferencial de 0.2 ft. para 250 GPM. y 1 ft. para 2700 GPM.; para éstos vertederos el flujo es directamente proporcional a la longitud de la cresta y a la cabeza elevada a 3/2.

El muro del vertedero puede ser un dique en un canal natural o en una caja del vertedero como se ve en la fig. 46. El recipiente localizado antes del vertedero debe ser suficiente para que la velocidad del fluido antes del medidor no exceda 1/3 de ft/seg. La amplitud y profundidad antes del vertedero deberá ser suficiente para que los efectos de la pared del fondo y laterales sean despreciables en el modelo de flujo. Es importante que el nivel de líquido después del muro sea inferior al claro para que el fluido que pase a través del claro tenga posteriormente una caída libre. El corte del muro puede ser de forma ya sea aguda o recta. Es común biselar el muro del lado posterior del corte con un ángulo de 45° y con un filo de 1/32 --

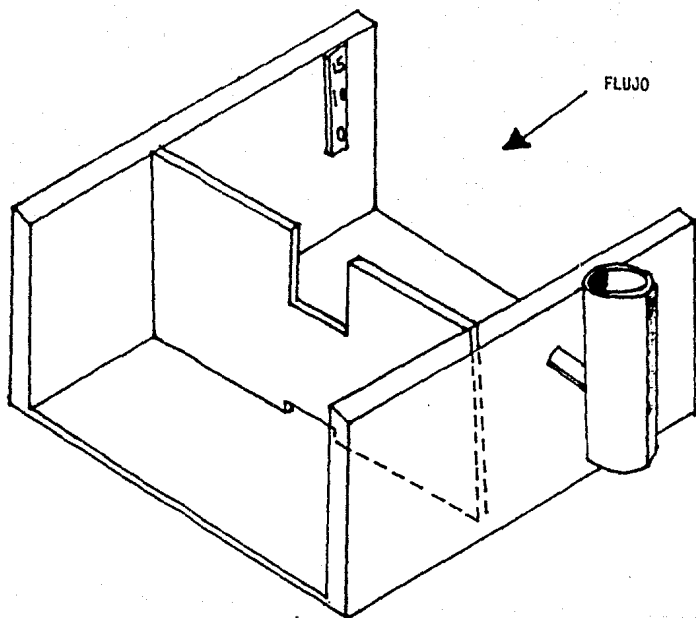


FIG 46

ESTRUCTURA DEL VERTEDERO

del corte . Para rectangulares y Cippoletti debe ser cuidadosamente biselada la cresta.

d).- Exactitud

Son suficientemente exactos para sus requerimientos. Tienen un error - de $\pm 2\%$ cuando se ha hecho una buena instalación en base al elemento primario.

e).- Cálculos

Las siguientes ecuaciones establecen las relaciones entre el flujo y la diferencial medida tomando en cuenta todas las consideraciones de instalación y operación mencionadas anteriormente.

Para un vertedero con hendidura en V :

$$Q = 2.48 \tan \theta / 20H^{2.5} \dots\dots\dots 35$$

Para un vertedero con claro rectangular :

$$Q = 3.33 (L - 0.2H) H^{1.5} \dots\dots\dots 36$$

Para un vertedero con claro Cippoletti :

$$Q = 3.367 LH^{1.5} \dots\dots\dots 37$$

Donde :

Q = Velocidad de flujo ft^3/seg .

θ = Angulo de la hendidura

H = Diferencia de nivel en ft de líquido fluyente

L = Longitud de cresta en ft

Nota : La diferencial es medida entre el nivel antes del muro y la cresta para un vertedero rectangular o Cippoletti, o en la parte inferior de la V para este tipo de vertedero.

f).- Canales

Parshall

Desarrollado por R.L.Parshall en la estación experimental del colegio de agricultura de Colorado en cooperación con la división de irrigación -- del departamento de agricultura de USA. Este elemento primario es un canal tipo venturi (fig. 47). Las pérdidas de nivel son de aproximadamente de $1/4$ de las que tienen los vertederos para la misma capacidad. En este medidor no tenemos que eliminar la velocidad del fluido antes del medidor -- como en el caso de los vertederos. Las altas velocidades en el sistema -- tienden a eliminar depósitos de lodo, fango u otros desechos sólidos los -- cuales pueden acumularse y alterar la medición. No hay cortes afilados, -- espacios de aire libre, pocas dimensiones críticas. El medidor puede construirse con materiales de la localidad y su calibración esta basada sobre sus dimensiones físicas. Existen medidores con amplitud de garganta desde 3 " hasta 40 ft con una capacidad de 13-900 000 GPM.

Este tipo de medidor no da una exactitud muy buena, sin embargo requiere de poco mantenimiento y dan buena repeatibilidad. [a exactitud que nos da es la adecuada para usos de irrigación, drenaje y agua.

El nivel después del medidor no tiene efectos sobre la medición aún -- cuando el nivel del líquido corriente abajo alcance el 70% del nivel que se encuentra antes de la garganta en la sección de conversión (fig. 47). Ambos niveles estan referidos a la sección del piso del canal. Para canales menores de 1 ft de amplitud, la relación de niveles tiene un máximo de 60%. Esta es la forma de medición mas preferida y usada.

Cuando las condiciones de operación (diferencial disponible, velocidad de flujo máximo, vertedero, tamaño de vertedero, etc.) son tales que el nivel del líquido corriente abajo excede el 70% del nivel corriente arriba aparece la operación con sumersión. La medición puede obtenerse con un nivel corriente abajo tan grande como el nivel corriente arriba. Sin embargo esto requiere un factor de corrección basado en los niveles corriente arriba y -- corriente abajo en los cálculos de flujo. La exactitud disminuye y no se usa equipo estandar para lectura exterior directa.

Las ecuaciones simplificadas basadas en la medición simple antes de la garganta son las siguientes:

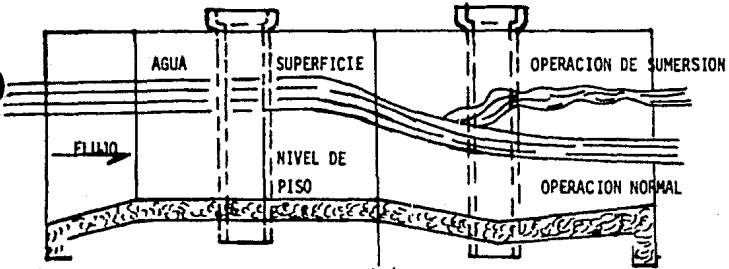
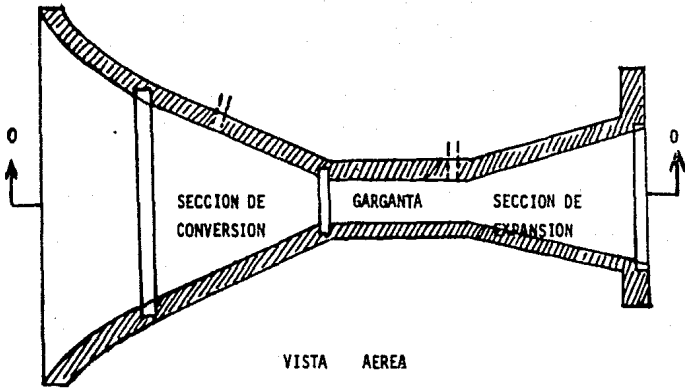


FIG 47.-

CANAL TIPO PARSHAL

L = 1/4 ft	$Q = 3.97 L H^{1.547}$	38
L = 1/2 ft	$Q = 4.12 L H^{1.58}$	39
L = 3/4 ft	$Q = 4.10 L H^{1.53}$	40
L = 1 a 8 ft	$Q = 4.00 L (H^{1.522} + L^{0.026})$	41
L = 8 o' mas	$Q = (2.5 + 3.69H) H^{1.6}$	42

Donde:

L = Amplitud de garganta en ft

Q = Velocidad de flujo volumétrico en ft³/seg

H = Diferencial de nivel

La diferencial es medida en un punto designado de la sección de conversión corriente arriba referido al nivel del piso de ésta sección .

MEDIDORES DE FLUJO TIPO MOMENTO ANGULAR

En muchos procesos industriales el fluido es vendido en base peso. --- Similarmente los que usan combustibles en máquinas aereas deben saber la ve locidad masa de consumo de combustible. Una familia de medidores de flujo - que puede medir flujo masa directamente opera bajo el principio del momen-- tum angular de un cuerpo y su relación a la torque. Varios métodos de empleo de esta relación se han usado para diseñar y construir mediores de flujo ma sa. Actualmente solo el medidor de flujo masa del tipo impulsor turbina, ha encontrado una considerable aceptación comercial y sus caracterfsticas es-- tan resumidas mas adelante.

a).- Teoría

El principio del momentum angular puede describirse mejor refiriendose al movimiento angular de la segunda ley de Newton y la definición de momen-- tum angular:

La segunda ley de Newton del movimiento angular establece :

$$\tau = I\alpha \quad \dots \quad 43$$

y define que

$$H = I\omega \quad \dots \quad 44$$

pero por definición

$$I = mr^2 \quad \dots \quad 45$$

sustituyendo la ec. 45 en la ec. 43 y 44

$$\tau = mr^2\alpha \quad \dots \quad 46$$

$$H = mr^2\omega \quad \dots \quad 47$$

COMO

$$\omega = \omega/t \quad \dots \quad 48$$

sustituyendo la ec. 48 en la ec. 46

$$\tau = (m/t)(r^2\omega) \quad 49$$

despejando

$$m/t = \tau / r^2\omega \quad 50$$

dividiendo ambos lados de la ec. 47 por t queda

$$H/t = \tau \quad 50'$$

Donde:

H = Momentum angular en lbf-ft-s

I = Momentum de inercia en lbf-ft²

ω = Velocidad angular en rad/s

α = Aceleración angular en rad/s²

τ = Torque en ft-lbf

r = Radio de giro en ft

m = Masa en lbm

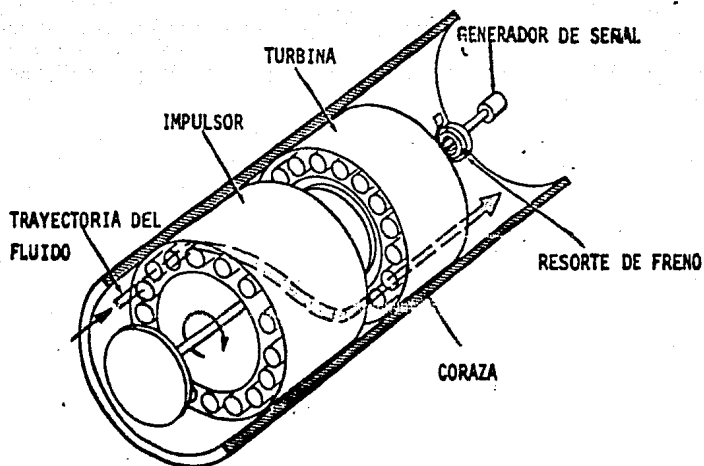
t = Tiempo en segundos

En la ecuación 50 el torque esta en unidades de fuerza, entonces el la do derecho de la ec. 50 debe multiplicarse por 32.2 ft/seg² para obtener -- una ecuación dimensionalmente correcta. Por lo tanto donde r^2 es una cons-- tante para algun sistema dado, el flujo masa de un fluido puede determinarse si un momento angular se introduce en la corriente del fluido y las medicio nes se hacen de la torque producida y de la velocidad angular del fluido.

Medidor de flujo masa tipo impulsor turbina

Este medidor de flujo usa dos elementos de rotación en la corriente de flujo, un impulsor y una turbina como se ve en la fig. 43, ambos elementos contienen canales a través de los cuales fluye el fluido. El impulsor es ma nejado a una velocidad constante por un motor síncrono a través de un cople magnético e imparte una velocidad angular al fluido a medida que este fluye por el medidor. La turbina localizada enseguida del impulsor absorbe todo - el momento angular del fluido y entonces recibe una torque proporcional al momento angular.

La turbina esta refrenada por un resorte el cual se deflecta un ángulo proporcional a la torque ejercida sobre el resorte por el fluido, dando asi



- FIG. 48 MEDIDOR DE FLUJO MASA TIPO IMPULSOR TURBINA

una medida de flujo de masa.

Medidor de flujo "clutch histéresis " de torque constante

Otra versión de medidor de flujo masa basada en el principio de momento angular elimina la necesidad de medir la torque, impartiendo una torque constante a la corriente del fluido. La relación entre el flujo masa y la torque como se derivó previamente es:

$$m/t = \tau/r^2\omega \quad 52$$

$$m/t = k/\omega \quad 53$$

Por lo tanto si la torque se hace constante y r^2 es constante para un sistema dado queda expresada como la ec. 53. Esta relación es traducida en un medidor de flujo masa como sigue: se coloca un motor síncrono en el centro de la armazón del medidor, este motor esta acoplado magnéticamente a un impulsor a través del cual se permite pasar al fluido para ser medido. La junta magnética entre el motor y el impulsor estan acoplados por medio de un clutch-histéresis, el cual transmite una torque constante del motor al impulsor. Así una medición de la velocidad rotacional del impulsor es inversamente proporcional al gasto masa.

Medidor de flujo masa de doble turbina

Otra aproximación para medir el flujo masa usando el mismo principio básico de momento angular y que se mide por medio de torque, ha sido usado en el medidor de flujo masa doble turbina. En este instrumento se montan dos turbinas sobre una misma flecha, como en la fig. 49. Las turbinas son conectadas juntas sobre un mismo miembro de torsión calibrado. Un resorte receptor tipo reluctancia es montado por encima de cada una de las turbinas y estas se diseñan de tal forma que se genera un pulso bien marcado en cada uno de los receptores por cada una de las turbinas correspondientes y para cada revolución de la doble turbina.

Cada turbina se diseña con diferente ángulo de aspa, de tal forma que halla tendencia a que cada una de las turbinas gire a diferente velocidad angular. Sin embargo como las dos turbinas estan restringidas y juntas por el miembro de torsión, las dos turbinas giran al unísono con una velocidad promedio y se desarrolla un cambio de ángulo de fase entre las dos turbinas.

El ángulo es una función directa del momento angular del fluido. Como mostramos previamente el momento angular se puede medir por la torque y el momento angular es una función del flujo masa. En la armazón de la doble turbina, las turbinas no están sostenidas por un resorte, pero el miembro de torsión tiene una velocidad de torsión bien definida (ft-lbf/rad). Por lo tanto el ángulo desarrollado entre las dos turbinas es una función directa de la torcedura o torque ejercida por el sistema, que a su vez es proporcional al gasto masa.

Medidor de flujo masa tipo coriolis

El medidor de flujo tipo coriolis (fig. 50) consiste de una rueda impulsora tipo bomba centrífuga y una rueda con aspas sensibles la que actúa como una turbina para extraer el momento angular impartido al fluido por el impulsor. La rueda sensible (turbina) está contenida junto con el impulsor y a esto se atribuye que halla al final un estiramiento calibrado; la combinación se maneja a una velocidad conocida y constante. La potencia aplicada al impulsor es justamente la requerida para vencer las fricciones dentro del sistema.

La torque medida es la requerida para dar a la corriente de fluido una aceleración de coriolis y esta dada por la expresión:

$$\tau = \omega (R_2^2 - R_1^2) m \dot{m} \quad 54$$

Donde: R_1 y R_2 son el radio interior y exterior en ft.

Medidor giroscópico de flujo masa

Otro medidor de flujo masa que funciona bajo el principio del momento angular es el medidor giroscópico. Este consiste de un tubo con una sección en forma de círculo o cuadrado como en la fig. 51. Un motor introduce una vibración oscilante a una velocidad angular constante en los ejes A. Cuando el fluido pasa a través de este, un movimiento es producido en los ejes B y se mide mediante la deflexión de un elemento sensible. Esta deflexión es directamente proporcional al flujo masa.

Este medidor puede manejar slurries dentro de rangos de temperatura -- y presión medios pero su uso industrial es limitado debido a su alto costo y capacidad para manejar velocidades de flujo bajas.

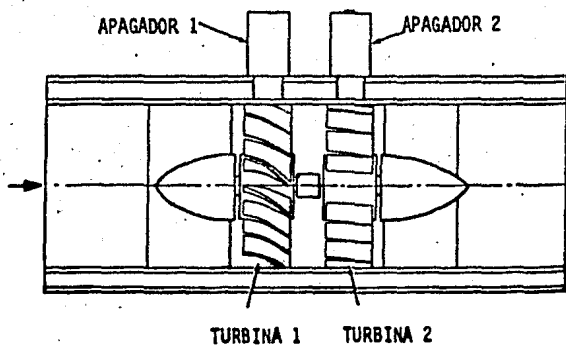


FIG. 49 MEDIDOR DE DOBLE TURBINA

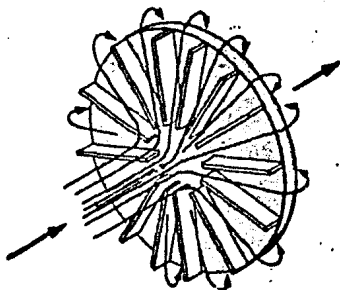


FIG. 50 MEDIDOR DE FLUJO TIPO CORIOLIS

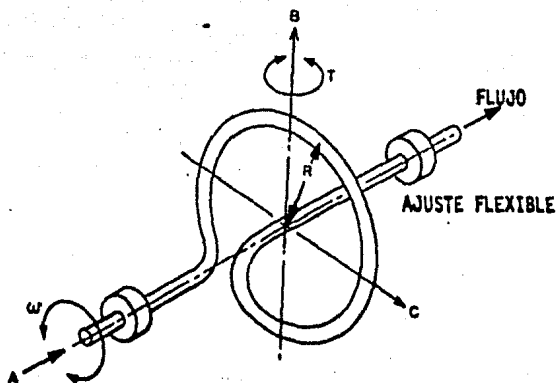


FIG. 51 MEDIDOR GIROSCOPICO DE FLUJO MASA

b).- Parámetros de diseño**Presión: 1500 PSIG****Temperatura: 165 °F****Materiales de construcción: acero al carbón
acero inoxidable
aluminio
fierro dulce****Rango de flujo: Líquido --- 500000 lb/hr****Gas --- 250 a 50000 lb/hr****Exactitud: 0.5 - 1.0% escala total.**

MEDIDORES DE FLUJO TERMICO

a).- Generalidades

Los medidores de flujo térmicos pueden dividirse en dos categorías :

1.- Los medidores de flujo que miden el aumento en temperatura de un fluido después de que una cierta cantidad de calor que le ha sido añadida. Estos son llamados medidores de flujo tipo transferencia de calor.

2.- Los medidores de flujo que miden el efecto del fluido sobre un cuerpo caliente. Estos instrumentos son algunas veces llamados de alambre caliente o medidores de flujo termopares.

Ambos medidores de flujo pueden ser utilizados para la medición en términos de masa y son muy usados en servicios de gas.

b).- Medidores tipo transferencia de calor

La teoría de los medidores de flujo con transferencia de calor están basados en las ecuaciones de calor específico:

$$Q = W C_p (T_2 - T_1) \quad \dots \quad 55$$

Donde:

Q = Calor transferido en BTU/hr

W = Velocidad de flujo masa en Lb/hr

C_p = Calor específico del fluido BTU/Lb °F

T₁ = Temperatura del fluido antes de que el calor le sea transferido, en °F.

T₂ = Temperatura del fluido después de que el calor se le ha transferido, en °F.

Despejando W :

$$W = Q / C_p (T_2 - T_1) \quad \dots \quad 56$$

Un simple medidor de flujo basado en esta teoría puede construirse en la planta y se presenta esquemáticamente en la fig. 52 . El calor es añadido a la corriente del fluido con un calentador de inmersión eléctrico. Este calentador transfiere el calor al fluido y es medido por un watt-metro. T₁ y T₂ son medidas con termómetros o termocoples. Una vez que conocemos -

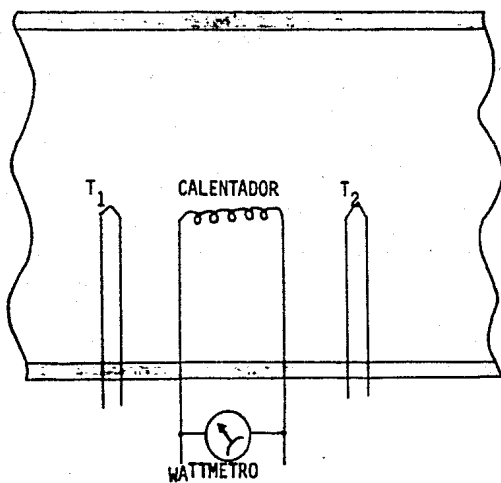


FIG 52 .- MEDIDOR DE FLUJO CON TRANSFERENCIA DE CALOR

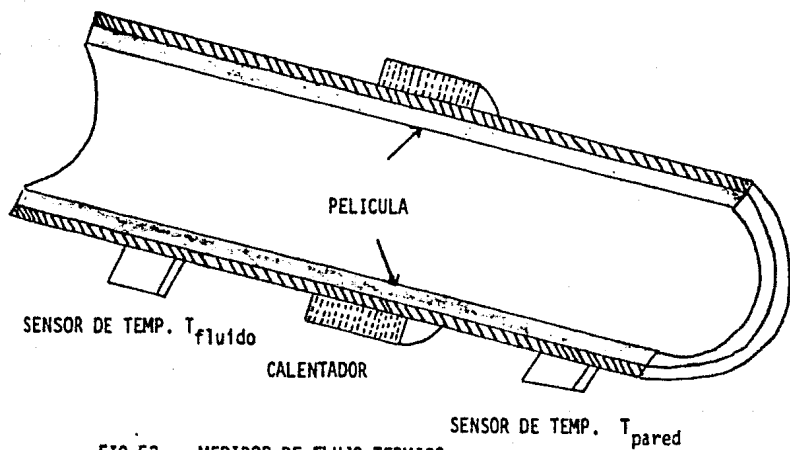


FIG 53.- MEDIDOR DE FLUJO TERMICO

y otro para flujo turbulento:

$$h_{tur} = \frac{0.023 K^{0.6} C_p^{0.4} W^{0.8}}{D^{1.8} \mu^{0.4}} \quad \dots \quad 58$$

$$h_{lam} = \frac{1.75 K^{0.67} C_p^{0.33} W^{0.33}}{D L^{0.33}} \quad \dots \quad 59$$

Donde:

K = Conductividad térmica del fluido en BTU/ hr. ft °F

C_p = Calor específico del fluido en BTU/lbm °F

D = Diámetro de la tubería en ft

L = Longitud calentada en ft

μ = Viscosidad absoluta en lbf/ hr ft²

W = Velocidad de flujo en lbm/hr

Usando las condiciones de flujo turbulento como ejemplo resolvemos las ecuaciones 57 y 58 para h y W:

$$h = \frac{Q}{A (T_{par} - T_{fluido})} \quad \dots \quad 60$$

$$W^{0.8} = \frac{h Q D^{1.8} \mu^{0.4}}{0.23 K^{0.6} C_p^{0.4}} \quad \dots \quad 61$$

Sustituyendo la 60 en la 61

$$W^{0.8} = \frac{Q D^{1.8} \mu^{0.4}}{0.024 K^{0.6} C_p^{0.4} A (T_p - T_f)} \quad \dots \quad 62$$

Para cualquier fluido, μ , K, y C_p permanecerán constantes sobre un cierto rango de temperatura. D y A son constantes para cualquier medidor de flujo dado y Q puede ser mantenida constante. Haciendo todas estas constantes igual a X, encontramos que:

$$W^{0.8} = \frac{X}{T_p - T_f} \quad \dots \quad 63$$

El sensor de temperatura corriente abajo esta localizado cerca del calentador en tal forma que mide la temperatura de la pared. El sensor de temperatura corriente arriba esta localizado donde la temperatura de la pared y del fluido estan en equilibrio una con otra. Así, la velocidad de flujo es obtenida por la medición de ΔT , conociendo la geometría del medidor de flujo, la conductividad térmica y la viscosidad del

fluido y manteniendo la potencia del calentador constante. Este tipo de medidor puede también ser operado manteniendo la ΔT constante y midiendo la potencia del calentador que es requerido. Cuando se construye o se usa un medidor de flujo basado en los principios de transferencia de calor, el ingeniero de instrumentos debe ser cuidadoso y estar seguro que el calor es transferido y el fluido está fluyendo de acuerdo a los mecanismos para lo cual está usando varias ecuaciones.

Es recomendable que este tipo de instrumento sea calibrado por el fabricante o por el usuario, bajo las condiciones más cercanas a las que se va a trabajar.

c).- Medidor de alambre caliente

El principio de operación sobre el cual los medidores de flujo de este tipo están basados es como sigue:

Dos termopiles son conectados en serie para formar una termopila. Esta termopila es calentada pasando corriente alterna a través de ella, un tercer termopile es colocado en la corriente directa fuera del circuito de la termopila. La corriente alterna no pasa a través de este termopile y por lo tanto no calienta eléctricamente. Este ensamble es colocado en la corriente del fluido (comúnmente gas). El gas enfriará la termopila calentada por convección. Ya que la potencia de la corriente alterna en la termopila es mantenida constante, la termopila logrará un equilibrio de temperatura y producirá una fuerza electromotriz que será una función de la temperatura del gas, velocidad, densidad, calor específico y conductividad térmica. El tercer termopile alcanzará la temperatura del gas, generando una fuerza electromotriz que es proporcional a la temperatura del gas y cancela el efecto de la temperatura sobre señales externas de la termopila calentada. Un esquema de este medidor de flujo se presenta en la figura 54 donde A y B son los termopiles calentados y C el no calentado. La señal exterior (voltaje) de este instrumento está dada por la siguiente ecuación:

$$e = C / [2(\pi K C_p \rho d v)^{1/2} + K] \quad \dots \quad 64$$

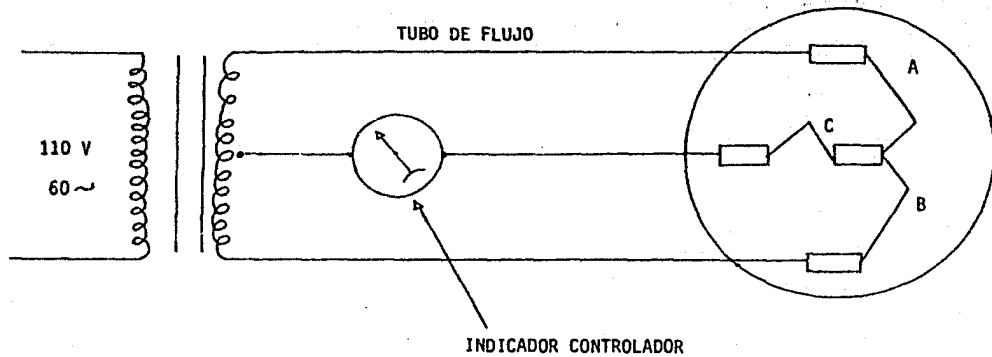


FIG 54.- SENSOR DE FLUJO DE ALAMBRE CALIENTE

Donde:

e = Voltaje generado

C = Constante del instrumento

K = Conductividad térmica del fluido en BTU/ hr ft °F

C_p = Calor específico del fluido en BTU/ lb °F

d = Diámetro del alambre del termocople calentado en ft

v = Velocidad del fluido en ft/ hr

ρ = Densidad del fluido en lb/ ft³

Un análisis mas detallado de esta ecuación se presenta una vez que el instrumento ha sido calibrado para un cierto gas, cualquier cambio en la temperatura del gas tendrá un efecto despreciable sobre las propiedades del gas y por lo tanto en la señal exterior. Por ejemplo, observemos las propiedades del aire sobre un amplio rango de temperatura y como se aplica la ecuación 64:

T	K	C _p	ρ	(K C _p ρ) ^{1/2}
70	0.015	0.243	0.0753	0.0165
500	0.0246	0.245	0.0416	0.0159
1000	0.0359	0.263	0.0274	0.0161

Ya que K (en el denominador) es muy pequeño, mientras el término (K C_p ρ)^{1/2} permanece constante sobre un amplio rango de temperatura; este tipo de instrumento puede ser utilizado para la medición de flujo másico de gases.

Los medidores de flujo térmicos son capaces de medir flujo desde - 0.5 cc/min a 40 000 lb/ hr como máximo ya sea de gases o líquidos. son - contruidos de materiales resistentes a la abrasión y corrosión con acero inoxidable, vidrio, teflón, etc. Tienen un rango de temperatura de - diseño hasta 450°F y mas alto requiere diseño especial. Las caídas de - presión son despreciables y tienen una presión de diseño hasta 1 200 PSIG, presiones mas altas requieren diseños especiales. La exactitud es de ± 2%.

MEDIDOR ULTRASONICO

a).- Generalidades

El medidor de flujo ultrasónico es un medidor de flujo para volumen líquido, que usa el principio de la propagación de energía ultrasónica a través de la corriente líquida, para determinar la cantidad de volumen -- que fluye. El medidor de flujo ultrasónico está diseñado para mediciones de agua cruda, tratada y muchos tipos de flujos industriales. Este instrumento también se fabrica para mediciones de canal abierto.

En aplicaciones de conducción cerrada, el instrumento y su equipo -- asociado se instala sin interrumpir el servicio, para lo cual se fijan -- dos probadores (sensores) ultrasónicos al exterior de las tuberías metálicas o de los muros. Los sensores están a prueba de corrosión de efectos abrasivos y de taponamientos. En cualquier caso, el medidor de flujo no -- presenta obstrucción alguna.

Para mediciones en canal abierto los sensores pueden instalarse al -- ras en " nichos " practicados en la pared del muro o montados directamente a la pared interior del muro. Se prefiere la primera forma, porque de ese modo no se crean obstrucciones que impidan el flujo o que formen acumulaciones de arenas o lodos.

El medidor ultrasónico puede efectuar mediciones exactas de flujos -- líquidos en tuberías de 30 cm. de diámetro o mayores. El medidor es completamente digital en su operación con una exactitud de $\pm 2\%$ del valor medido sobre un rango de 8:1. Además, si cambian los requerimientos de flujo, los factores de medición pueden ser cambiados electrónicamente, evitando así la instalación de un nuevo medidor o la necesidad de hacer modificaciones mecánicas.

El método usado en el medidor ultrasónico para lograr la medición de la cantidad de flujo, resulta en una calibración mezclada, independiente de las propiedades del fluido, tales como la velocidad sónica, temperatura del fluido y su densidad.

Condiciones de turbidez tan elevada como 5000 PPM, pueden ser toleradas sin mayor efecto en las mediciones.

Los datos de salida consisten en una señal de corriente, proporcional

al rango o cantidad de flujo y a un pulso de señal utilizable para cuantificación o totalización remota.

El medidor de flujo ultrasónico se compone de dos secciones: los probadores (sensores) que se montan sobre la tubería y el equipo de medición electrónico.

Probadores (sensores) ultrasónicos:

Para la medición de la cantidad de flujo, se fijan en posiciones -- exactamente predeterminadas dos probadores ultrasónicos, uno de ellos corriente arriba del otro, en forma como se muestra en la figura 55.

Cada uno de los probadores consiste de un cristal de material piezoeléctrico, encapsulado dentro de un marco de acero inoxidable. Se agrega un cable coaxial, formando un conjunto utilizable en operaciones sumergidas si así lo requiere su aplicación. El marco se fija con un montaje de retención a la tubería.

Cada caja del sensor mide 12.5 x 15 x 17.5 cm y es de acero inoxidable con los herrajes necesarios para retención fabricados también con acero inoxidable.

La cara del sensor, a través del cual se transmite y se recibe la -- energía ultrasónica, se fija a la tubería con un adhesivo epóxico. Este adhesivo es semi-duro, a prueba de agua y presenta excelentes propiedades de transmisión sónica.

Los dos probadores y sus marcos de retención pesan juntos 16 kg.

Equipo electrónico :

La unidad electrónica que trabaja en conjunto con los probadores ultrasónicos, esta resguardado en un gabinete de acero a prueba de agua y apropiado para montarse en muro. El equipo electrónico todo en estado sólido, esta montado en una charola embisagrada. La charola contiene todas las fuentes de energía, reguladores y el ensamble para la retención de las tablillas de circuitos impresos electrónicos, detalle que facilita su intercambio y mantenimientos correctivos o preventivos.

La energía eléctrica va conectada a través de una regleta de terminales ubicada en la parte posterior del gabinete. El interruptor general y el fusible están incluidos en la unidad. Las señales eléctricas de cuantificación (totalización) de flujo y la cantidad de flujo van a una segunda regleta ubicada también en la parte posterior del gabinete.

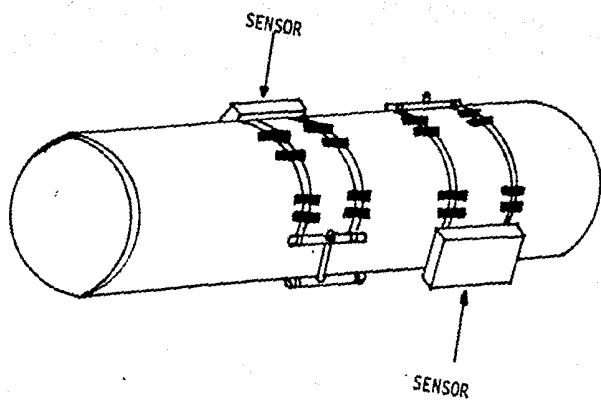


Figura 55. Probadores ultrasónicos

Los cables coaxiales, los sensores y el equipo electrónico van conectados a través de conectores electrónicos especiales, en la parte posterior también.

b).- Operación

Probadores sónicos y transmisión:

La energía sónica se transmite por ondas de compresión que viajan a través del fluido a una velocidad conocida como velocidad sónica del fluido. Si el fluido que es el medio portador del sonido, también está en movimiento, la aparente velocidad sónica del fluido es diferente de la verdadera velocidad sónica por la velocidad del material en movimiento.

Los probadores están contruidos de un material piezoeléctrico cuyas dimensiones mecánicas pueden ser alteradas por la aplicación de una señal eléctrica. Un largo pulso de voltaje, proveniente de la unidad eléctrica es aplicado a uno de los cristales de los sensores ultrasónicos. El cristal responde a este pulso cambiando sus dimensiones mecánicas expandiéndose y contrayéndose alternativamente, generando de este modo un pulso de energía ultrasónica. Como el material del cristal se mantiene en estrecho contacto con la pared del tubo, este disturbio sónico viaja del grosor del tubo y penetra dentro del fluido. La combinación del cristal del sensor está contruido a manera de formar un haz de energía sónica, de 6 -- grados de anchura. El haz de energía sónica continúa a través del fluido, impacta en la pared opuesta del tubo, viaja a través de dicha pared y golpea al segundo de los probadores sónicos. En el segundo probador ultrasónico, el efecto piezoeléctrico es invertido, esta vez produciendo una señal eléctrica originada por el disturbio mecánico recibido. Esta señal eléctrica significando la recepción de un pulso de energía sónica, es entonces alimentada, a través del cable coaxial hacia la unidad electrónica.

En el medidor de flujo ultrasónico los dos probadores están estrechamente igualados en sus características piezoeléctricas. Como resultado de ello, se comportan como transceptores en su funcionamiento, es decir ambos pueden transmitir y recibir pulsos sónicos. En esta característica está la clave para la medición de la velocidad del fluido.

El principio de energía de rebote:

Cada pulso sónico recibido por el segundo probador, dispara a su vez, otro pulso a través de la corriente del fluido, en una forma que puede entenderse como acción-reflejada, respuesta-reflejada ó energía de rebote. El número de dichos pulsos originados en el periodo de un segundo es llamado la frecuencia de rebote.

El tiempo de propagación de cada pulso sónico entre probador y probador esta en función de la distancia entre los dos probadores y de la velocidad aparente del sonido propagado por el fluido entre los probadores. - Esta velocidad sónica aparente es dependiente a su vez de la velocidad sónica verdadera en el fluido, de la velocidad del movimiento del fluido, - del fluido y del ángulo formado entre la dirección del movimiento del fluido y la dirección del pulso sónico. Como se puede ver en la figura 56 la relación del ángulo para transmisión corriente arriba y transmisión corriente abajo en una tubería.

El periodo de tiempo requerido para la transmisión en dirección corriente arriba es:

$$t = L / C - v_f \cos \theta \quad 65$$

$$f = C - v_f \cos \theta / L \quad 66$$

donde: f = Frecuencia de rebote corriente arriba

C = Es la velocidad sónica verdadera

L = Distancia entre los probadores

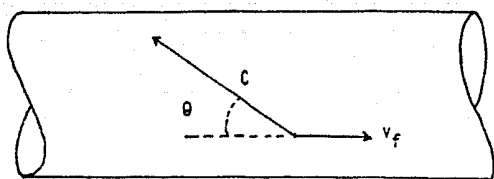
v_f = Velocidad del fluido cruzando el haz sónico

θ = Angulo de barrido a través de la corriente del fluido

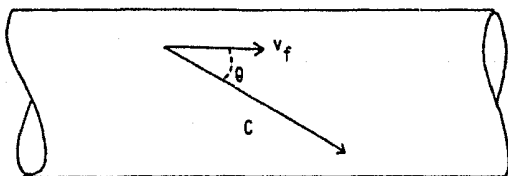
Cuando los pulsos son transmitidos en la dirección corriente arriba, el movimiento de cada pulso es frenado y retardado por la influencia del fluido en movimiento, por tal motivo el tiempo de propagación es retardado y su correspondiente frecuencia de rebote es:

$$t = L / C + v_f \cos \theta \quad 67$$

$$f = C + v_f \cos \theta / L \quad 68$$



TRANSMISION CORRIENTE ARRIBA



TRANSMISION CORRIENTE ABAJO

Figura 56. Localización del ángulo

Cuando los pulsos son transmitidos corriente abajo, su movimiento se suma a la velocidad de la corriente, por lo tanto el tiempo de propagación disminuye y la frecuencia de rebote se incrementa.

La información de la velocidad de flujo esta contenida en la diferencia de estas dos frecuencias y es extractada electrónicamente.

c).- Cálculo de la cantidad de flujo

El cálculo de la cantidad de flujo, se lleva a cabo en forma automática en la unidad electrónica. Esta unidad esta diseñada para intercambiar secuencialmente las funciones de transmisión y de recepción de los dos - probadores ultrasónicos. Por un corto periodo de tiempo la dirección de - la transmisión es corriente abajo. Esto es seguido por un periodo, igual en tiempo, de transmisión corriente arriba. En cada caso la frecuencia - particular de rebote, es incrementada por una multiplicación de frecuen - cia, para lograr mejor resolución y contada sobre un intervalo preciso, - con el fin de obtener una medida exacta de la frecuencia de rebote. El nú mero de conteos a que se llega en cada caso es como sigue:

$$N_{\downarrow} = Mf_{tc} = MCf_c/L + Mvf \cos\theta \, tc/L \quad 69$$

$$N_{\uparrow} = Mf_{up} \, tc / L - Mvf \cos\theta \, tc/L \quad 70$$

Donde :

N_{\downarrow} = Número de conteos corriente abajo

N_{\uparrow} = Número de conteos corriente arriba

t_c = Periodo de conteo

M = Constante de multiplicación de la frecuencia

La diferencia entre las dos magnitudes de conteo proporciona la rela ción de calibración básica en el medidor de flujo ultrasónico.

Partiendo de :

$$N = N_{\downarrow} - N_{\uparrow} \quad 71$$

Sustituyendo

$$N = MC \text{tc}/L + Mvf \cos \Theta \text{tc}/L - MC \text{tc}/L + Mvf \cos \Theta \text{tc}/L \dots 72$$

Despejando

$$N = 2 Mvf \cos \Theta \text{tc}/L \dots 73$$

Por otra parte ya que $v_f = Q_f / A$

Donde :

Q_f = Cantidad de volúmen de flujo

A = Area de la sección del tubo

Por lo tanto la ecuación de calibración es

$$N = 2M \cos \Theta \text{tc}/A \quad Q_f \dots 74$$

Es importante notar que la velocidad sónica del fluido C , no aparece en la ecuación de calibración. Esto se debe a que C varía con la temperatura del fluido, con la densidad y con el contenido de sólidos. De cualquier modo, C no debe aparecer en dicha ecuación si la ejecución de la medición va a estar exenta de tales errores. La ecuación de calibración contiene únicamente constantes dependientes del área del tubo, longitud del trayecto, ángulo del haz, la constante de multiplicación y el período de conteo todo lo cual está contenido, ya sea por las dimensiones físicas de la instalación o de los efectos electrónicos. Estos efectos son digitales y por lo tanto no son susceptibles a impulsos debidos a pequeños cambios en las características de sus componentes eléctricos.

d).- Factores que afectan la linealidad

El medidor de flujo ultrasónico está diseñado para medir fluidos en tuberías de grandes diámetros. Cuando se aplica el medidor de flujo ultrasónico a una situación de flujo específica, ciertos factores deberán tomarse en cuenta para determinar la operación.

Número de Reynolds :

En la ecuación de calibración número 74, la cantidad numérica que permaneció en el contador está directamente relacionada con la velocidad de flujo. La velocidad específica preferida es el promedio de la velocidad del fluido, dentro del haz sónico. Este promedio de velocidad es algo diferente que la verdadera velocidad promedio en toda la corriente.

La relación entre la velocidad promedio medida en el haz sónico y la velocidad promedio verdadera en la corriente del fluido, se muestra en la figura 57, para desarrollo completo de perfiles de flujo dentro de los fluidos.

En la región laminar, la relación entre la velocidad promedio verdadera y la velocidad promedio del haz, es constante en valor a 1.33. Para altos números de Reynolds la relación muestra únicamente pequeños cambios sobre amplios rangos de números de Reynolds y por consecuencia en la proporción de flujo.

Condiciones de instalación :

La relación entre la velocidad promedio verdadera y la velocidad promedio del haz está bien definida para el caso de desarrollo completo de perfiles de flujo. El uso de múltiples juegos de probadores sónicos para interpretar perfiles de velocidad no ideales es ventajoso y puede llevarse a cabo. Un solo juego de probadores es generalmente suficiente si el sitio de prueba puede seleccionarse satisfaciendo el siguiente criterio:

- 1.- La condición preferente de instalación es con 10 diámetros de tubería recta corriente arriba y 5 diámetros corriente abajo.
- 2.- Que no haya válvula de control de flujo o de expansión en 30 diámetros corriente arriba y 5 diámetros corriente abajo.
- 3.- La distancia desde una bomba deberá ser mayor de 50 diámetros, restando 10 diámetros en este requisito, por cada curva a 90°.
- 4.- Se ha comprobado que los enderezadores de flujo son efectivos para la ejecución de mediciones exitosas, cuando las condiciones de las tuberías no son ideales.

Estos criterios deberán tomarse como un ideal. Muchas instalaciones han sido hechas en forma adecuada, en situaciones donde no se cumplan uno o mas requisitos, se pueden obtener no obstante, resultados magníficos. De cualquier manera, estos requerimientos deberán tomarse como una guía, ya

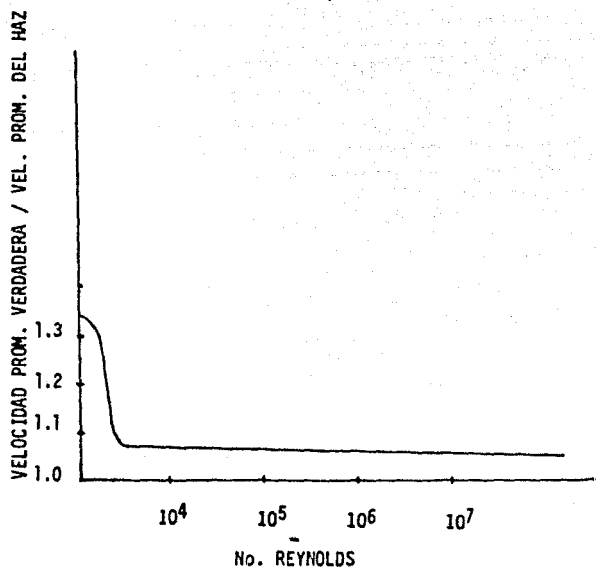


Figura 57. Relación de velocidades

que demasiado descuido en ellos, puede ser causa de mediciones inexactas en sistemas de una sola vía.

Operación bidireccional :

El medidor de flujo ultrasónico esta construido para operación bidireccional. Bajo condiciones reversibles de dirección de flujo, el medidor ultrasónico capta la condición invertida, selecciona la totalización, ya sea directa o invertida, para propósitos de adición y proporciona un contacto interruptor para indicar la dirección a través de un indicador apropiado que se proporciona al comprador. La señal de rango de flujo análoga indica la cantidad de flujo en cualquier dirección.

e).- Especificaciones

- * 115 volts C.A, 60 c/s 3 amp.
- * Exactitud $\pm 1\%$ escala total
- * A prueba de agua
- * Montaje en muro
- * Rango de temperatura de 30 a 100°F
- * Longitud del cable probador : hasta 330 m.

f).- Conclusiones

- * Fácil instalación en tubería nueva o ya existente
- * Ningún contacto con la corriente del fluido
- * Una unidad de control electrónico para todos los tamaños de tubería.
- * No contiene partes móviles
- * Capacidad bidireccional
- * Fácil mantenimiento
- * Capacidad en telemetría
- * Completamente digital
- * Tubo lleno o parcialmente lleno

MEDIDORES DE FLUJO LAMINAR

a).- Generalidades

Los medidores de flujo laminar son llamados frecuentemente medidores capilares debido a que son construídos con pequeños tubos capilares. Hay dos razones para esto : los cálculos clásicos para flujo laminar se han en el uso de tubos de sección transversal circular y los tubos de pequeño diámetro son usados. El flujo laminar sin embargo, también se obtiene por el uso de otras secciones transversales.

Muchos medidores de flujo laminar que pueden comprarse comercialmente no están construídos con tubos capilares. Esto nos recuerda que un medidor de flujo laminar consiste de dos componentes, un elemento de flujo laminar y un elemento medidor de presión diferencial. El elemento de flujo laminar da en teoría una relación lineal entre la caída de presión medida a través del medidor y la velocidad de flujo a través del mismo.

Los medidores de flujo laminar, son muy útiles cuando hay que medir velocidades de flujo bajas. Son similares a los medidores de diferencial de presión, debido a una caída de presión a través de una restricción. Sin embargo, mientras el principio de la placa de orificio y tubo venturi se basa en el teorema de Bernoulli, la teoría de los medidores de flujo laminar se deriva del número de Reynolds y la ley de Poiseuille para flujo laminar. Estos dos conceptos son descritos brevemente más adelante. Para derivaciones más rigurosas es necesario conocer bien la mecánica de fluidos.

b).- Teoría

Número de Reynolds : es el que caracteriza el flujo de fluidos en ductos y tuberías.

$$Re = 6.31 W / d \mu \quad \dots \dots \dots 75$$

Donde :

R_e = Número de Reynolds

W = Velocidad masa, lb/hr

d = Diámetro interior del tubo, in

μ = Viscosidad del fluido en cps

El número de Reynolds es adimensional si se usan las unidades apropiadas. Si obtenemos un número de Reynolds menor de 2000 esta condición es llamada flujo laminar o viscoso. Si el número de Reynolds es mayor de 10 000 obtenemos lo que se conoce como flujo turbulento y si se encuentra en la región de 2 000 a 10 000 se encuentra en la zona de transición.

Ley de Poiseville : Poiseville derivó la siguiente ecuación la cual es útil para la región de flujo laminar.

$$\Delta P = 3.4 \times 10^{-5} \mu L W / d^4 \quad 76$$

Donde :

ΔP = Caída de presión, lb_f/in^2

L = Longitud del tubo, ft

ρ = Densidad del fluido, lb/ft^3

Podemos resumir los parámetros de diseño y requerimientos operacionales de los elementos de flujo laminar. La combinación de velocidad de flujo, diámetro interior, deben dar un número de Reynolds menor de 2 000. La velocidad de flujo será entonces proporcional a la caída de presión de acuerdo a la ley de Poiseville. También se tienen que hacer varias, pequeñas pero significantes correcciones a la ecuación de Poiseville. Para cálculos de diseño preliminar, la ecuación es suficientemente acertada.

c).- Parámetros de diseño

Presión : Hasta 3 000 PSIG

Temperatura : 300°F ó mas

Fluidos que maneja : Líquidos y gases

Rango de flujo : 0.0001 a 1000 scfm
0.0001 a 20 GPM

Exactitud : 1 a 2% de la escala total

Materiales de construcción :

Acero inoxidable y aluminio

MEDIDORES MAGNETICOS

a).- Generalidades

Los medidores magnéticos se basan en la ley de inducción de Faraday para hacer una medición de flujo. Esta ley establece que el movimiento - relativo a ángulos rectos entre un conductor y un campo magnético desarrollarán un voltaje en el conductor. El voltaje inducido es proporcional a la velocidad relativa del conductor y el campo magnético.

Los medidores magnéticos mas comunes son una forma modificada de los generadores de corriente alterna. En los medidores magnéticos el fluido - deberá tener alguna conductividad mínima y actuar como el conductor (fig. 58).

El fluido es el conductor el cual tiene una longitud equivalente al diámetro interior del medidor de flujo (D).

El fluido conductor se mueve con una velocidad promedio (V) a través del campo magnético (B). El voltaje (E) inducido en el conductor es proporcional a la velocidad de flujo volumétrico. C es una constante de calibración del medidor. El voltaje está definido como:

$$E = BDV / C$$

El campo magnético generado está en un plano el cual es mutuamente perpendicular a los ejes del cuerpo del medidor y al plano de los electrodos. La velocidad del fluido está sobre el eje longitudinal del medidor, por lo tanto el voltaje inducido dentro del fluido es mutuamente perpendicular a ambos, es decir a la velocidad del fluido y al campo magnético, el voltaje es generado a lo largo de los ejes de los electrodos del medidor.

El fluido puede considerarse como una serie de conductores moviéndose a través del campo magnético. Un incremento en la velocidad de flujo resultará en un aumento mayor en la velocidad relativa entre el conductor y el campo magnético y un valor instantáneo mas grande de voltaje será generado .

El voltaje instantáneo generado en los electrodos representa la velocidad promedio del fluido del perfil de flujo en el plano de los electrodos en un instante dado. Cada incremento de fluido dentro del plano

PERFIL DE VELOCIDAD TURBULENTO

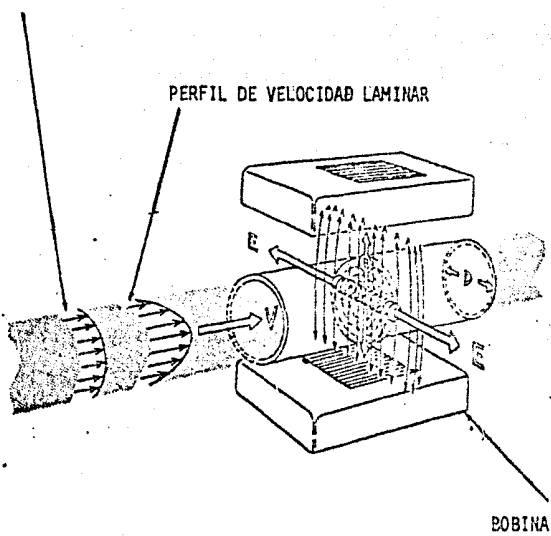


FIG.- 58 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN MEDIDOR MAGNETICO

desarrolla un voltaje proporcional a su velocidad, la suma de los cuales es igual a la velocidad promedio del conductor. La señal externa del medidor es igual a la velocidad de flujo volumétrico promedio continuo, sin importar el perfil de flujo; siempre y cuando el número de Reynolds este dentro de la región laminar o turbulenta. Por lo tanto, los medidores magnéticos son independientes del cambio de viscosidad. Es absolutamente esencial que el medidor este completamente lleno, para no obtener lecturas erróneas. La figura 59 muestra un corte del medidor magnético.

El medidor magnético esta construido de un tubo no magnético por el cual fluye el líquido, el que debe tener un nivel mínimo de conductividad. Los alrededores del tubo de medición son bobinas ensambladas y núcleos, los cuales cuando la corriente eléctrica es aplicada producen un campo magnético a través del espacio lleno del tubo de medición.

El fluido que va a través del tubo es el conductor y como el conductor se mueve a través del campo magnético, se genera un voltaje proporcional a la velocidad de flujo volumétrico. El voltaje generado es mutuamente perpendicular al campo magnético y a la dirección del líquido.

Los medidores magnéticos no son afectados por cambios en la densidad, viscosidad, turbulencia del líquido o por variaciones en la tubería.

La forma corta del medidor magnético es un nuevo diseño, el cual es mucho mas corto en longitud y por lo tanto mucho menos pesado que los primeros diseños. La figura 60 es una nueva vista de un corte del medidor magnético de forma corta. En los diseños de forma corta, las bobinas estan localizadas dentro del cuerpo del medidor. El cuerpo del medidor es de un material magnético y hace la función de un núcleo de fierro, requerido como un componente separador en los diseños anteriores. Colocando los núcleos magnéticos dentro del cuerpo del medidor se reduce el tamaño requerido y resulta en un consumo menor de corriente. Los principios de operación son los mismos de los medidores que ya hemos visto. La figura 61 es un nomograma para capacidades del medidor magnético.

Generalmente cualquier fluido que pueda conducir una corriente eléctrica puede ser medido por un medidor magnético. Si la conductividad del fluido es de 20 micromhos/cm o mayor cualquiera de los medidores magnéticos puede usarse.

Hay sistemas especiales los cuales miden flujo de fluido con conduc-

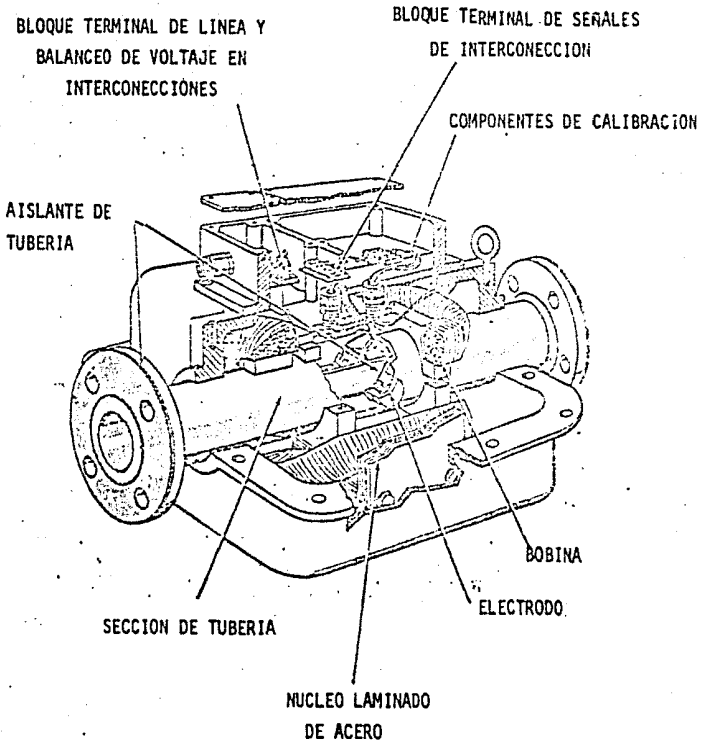
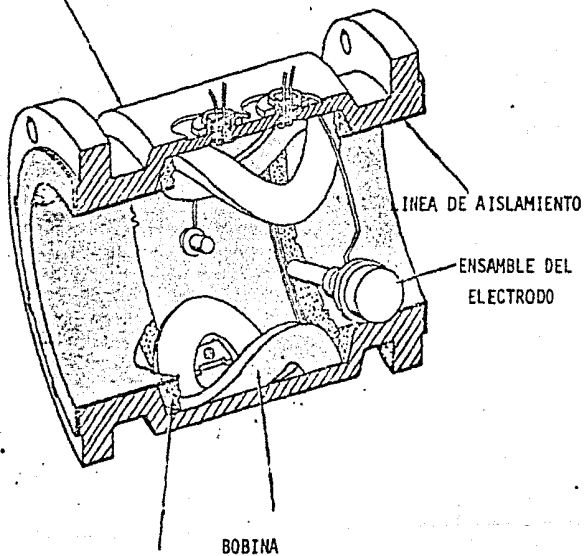


FIG.- 59 CORTE DE UN MEDIDOR MAGNETICO

MEDIDOR CON CORAZA
DE ACERO



INEA DE AISLAMIENTO

ENSAMBLE DEL
ELECTRODO

BOBINA

ARCILLA

FIG 60.- FORMA CORTA DEL MEDIDOR MAGNETICO

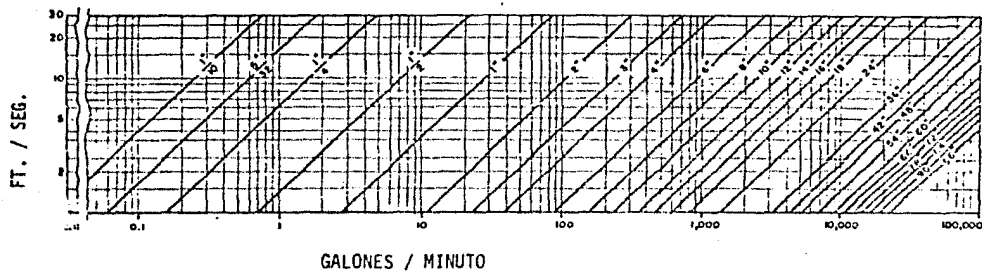


FIG 61.- GRAFICA DE CAPACIDADES PARA EL MEDIDOR MAGNETICO

tividades tan bajas como 0.1 micromhos.

Para valores mayores que el mínimo de conductividad medible; el medidor no es afectado por cambios en la conductividad, pero el efecto de la temperatura de operación del fluido sobre la conductividad debe ser considerado.

La mayoría de los fluidos tienen coeficientes de conductividad positivo con el aumento de la temperatura.

Ciertos fluidos pueden hacerse suficientemente no conductivos a temperaturas tan bajas como para no dar una medición acertada. El mismo fluido puede medirse a temperaturas más altas o ambientales con óptimos resultados. La posibilidad de una característica adversa a la conductividad -- temperatura debe ser investigada antes de intentar medir un fluido.

Ni la viscosidad ni la consistencia tienen un efecto sobre el funcionamiento del medidor. La señal desarrollada por el medidor magnético es la suma de los incrementos de voltaje a través de toda el área entre los electrodos y será una medida promedio de la velocidad actual del fluido.

El medidor magnético es un medidor bidireccional. El exterior del -- medidor es el mismo sin depender de la dirección del flujo.

El medidor está midiendo directamente la velocidad del fluido, y por lo tanto el área de sección transversal completa del tubo debe estar llena. No deberán medirse líquidos con burbujas porque las burbujas de gas en el líquido serán medidas como líquido y la medición de flujo será errónea.

El medidor magnético desarrolla una señal de voltaje en el rango de microvolts; por lo tanto la instalación apropiada con toma a tierra es -- indispensable para asegurar la medición apropiada del fluido. Las recomendaciones del fabricante son el resultado de una amplia experiencia y son las técnicas apropiadas de tierra necesarias para la operación del medidor. El fabricante recomienda usar un cable de interconexión protegido para interconectar el medidor y el instrumento receptor. Este cable de interconexión nunca debe tener uniones.

Los medidores de flujo magnéticos tienen muchas ventajas incluyendo:

- 1.- Mide fluidos difíciles como aquellos muy corrosivos y slurries -- abrasivos.
- 2.- No hay obstrucción al flujo
- 3.- La caída de presión es igual a la producida por la sección recta

de la tuberfa de igual longitud.

- 4.- No necesita ningún arreglo especial la tuberfa.
- 5.- Es de fácil manejo para flujo bidireccional.

b).- Receptores y accesorios

La señal del medidor magnético es un voltaje de corriente alterna proporcional a la velocidad de flujo volumétrico, el receptor mas comunmente usado es un potenciómetro de corriente alterna de balanceo propio específicamente diseñado para usarse con medidores magnéticos, Esos receptores ofrecen muchas opciones y accesorios que incluyen:

- 1.- Registrador y/o indicador
- 2.- Alarmas
- 3.- Controladores integrales
- 4.- Transmisión (neumática, eléctrica, etc.)
- 5.- Totalizadores

Los convertidores están disponibles como elementos separados o integrados con el medidor para convertir la señal de corriente alterna a corriente directa para usarse con sistemas de control electrónico convencional. Algunos convertidores ofrecen señales de pulso y señales neumáticas también como señales de corriente directa.

Los totalizadores de alta exactitud están también disponibles, los cuales dan una totalización de $\pm 0.5\%$ de velocidad dentro de los rangos de flujo dados.

c).- Otros tipos de medidores magnéticos

Para aguas de drenaje:

Sistemas especiales están disponibles para la medición de aguas de drenaje y están diseñados para prevenir la acumulación y carbonización de lodos sobre los electrodos del medidor.

Tales sistemas usan un principio de calentamiento propio para mantener la temperatura del cuerpo del medidor a un nivel el cual prevenga la acumulación de lodos y grasas.

De electrodo limpio :

Ciertos fluidos tienden a cubrir el interior del medidor con depósitos que forman un aislamiento eléctrico. Si tales depósitos ocurren en la región de los electrodos, el medidor será aislado del fluido y no registrará ninguna señal. En tales casos la limpieza de los electrodos es esencial para mantener el medidor en operación. Existen métodos eléctricos, mecánicos y ultrasónicos para el limpiado de los electrodos. Algunos métodos requieren interrupciones de la señal durante la operación de limpiado.

Slurry permeable:

Se dispone de sistemas especiales para medir slurries que contienen sólidos permeables tales como óxidos magnéticos y sulfuros magnéticos. Se deben añadir circuitos compensadores para los cambios de señal inducida por la presencia de materiales permeables en el slurry.

Tipo másico :

Hay sistemas de medición del flujo másico usando un medidor de flujo magnético junto con un calibrador de densidad de radiaciones gama. Un sistema típico se muestra en la figura 62.

La señal desarrollada por el medidor magnético relaciona el flujo volumétrico y la señal del calibrador, dando una señal proporcional a la densidad del fluido. Las dos señales son multiplicadas y una señal exterior, proporcional a la velocidad de flujo gravimétrico se obtienen por totalización, registro o control.

Tipo pitot :

Es un medidor magnético que muestra la velocidad de flujo en tubos de sección transversal rectangular, circular o irregular. Un diseño típico se muestra en la figura 63. Un medidor magnético pequeño es suspendido en la corriente de flujo. Las bobinas están completamente encapsuladas dentro de un material protector; por lo tanto el medidor magnético puede sumergirse dentro del líquido a medir. Una longitud corta del cuerpo del medidor y la configuración de la línea de corriente se diseñan para minimizar la diferencia de velocidad de flujo a través del medidor y la velocidad del fluido que está pasando por los demás puntos entre el medidor y la pared del tubo. La medición de la velocidad de flujo a través del medi

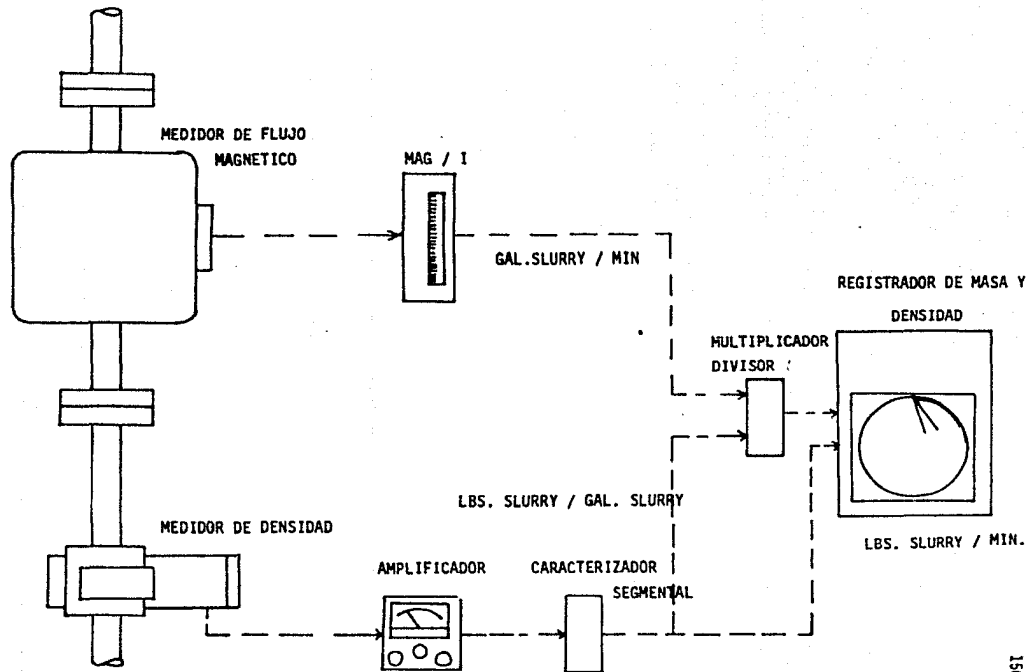


FIG 62 .- MEDIDOR MAGNETICO DE FLUJO PARA MEDICION DE FLUJO MASA

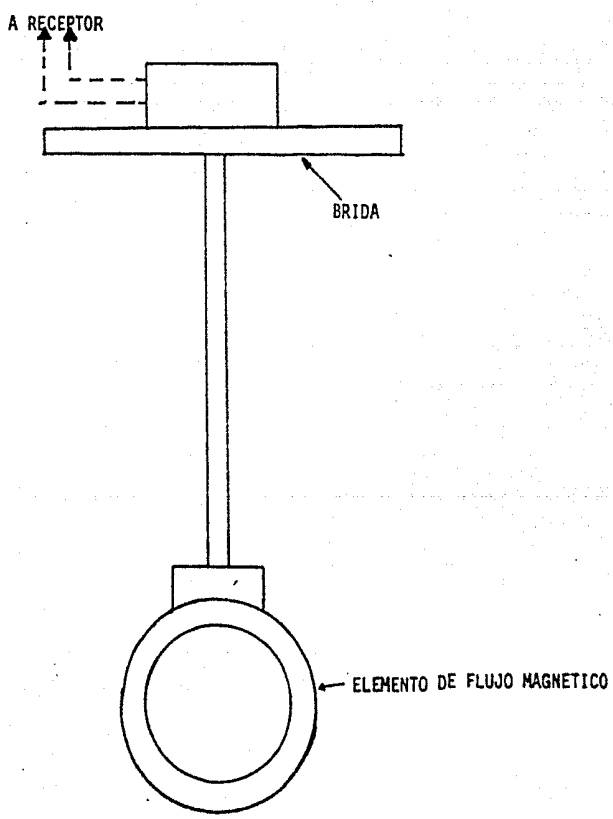


FIG 63.- MEDIDOR MAGNETICO TIPO PITOT

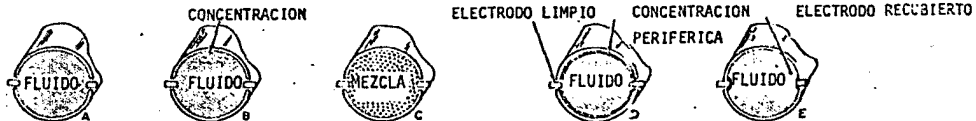


FIG 64.- EFECTOS DE LAS CONDICIONES DEL FLUIDO SOBRE LA EXACTITUD

CONDICIONES DEL FLUIDO	NATURALEZA	VELOCIDAD RELATIVA	TUBERIA	REF.	VELOCIDAD DE FLUJO	
					MEZCLA	FLUIDO SOLO
HOMOGENEO	CONDUCTIVO	MISMA	LLENA	A		EXACTO
	EQNC. NO COND.		1/2 LL.	B		ALTA
CON PARTICULAS DISPERSADAS - UNIFORMEMENTE	NO CONDUCTIVO	MISMA	LLENO	C	EXACTA	ALTA
	CONDUCTIVO	MISMA	LLENO	C	EXACTA	
	MAGNETICAS	MISMA	LLENO	C	ALTA	
CON PARTICULAS NO DISPERSADAS UNIFORMEMENTE	NO CONDUCTIVOS	MISMA	LLENO	B	EXACTA	ALTA
	MUY CONDUCTIVO	MISMA	LLENO	B	PARCIALMENTE COMPENSADA. ERRORES NO PREDESCIBLES.	
	MAGNETICOS	MISMA	LLENO	B	ALTA	
CON SOLIDOS PIS_ TRIBUIDOS PERIFERICAMENTE. ELECTRODO LIMPIO .	NO CONDUCTIVO	ESTATICA	LLENO	D		ALTA
	MISMO	ESTATICA	LLENO	D		EXACTA
	MAS QUE EL FLUIDO	ESTATICA	LLENO	D		BAJA
ELECTRODO DE PELICULA NO CONDUCTIVO.			LLENO	E		BAJA

dor es representativa de la velocidad del fluido en el tubo. La repeatabilidad del sistema es de 0.25 a 0.5% de la escala total.

Para altas presiones:

Hay diseños especiales de medidores magnéticos para servicios de alta presión hasta de 2500 PSIG.

Tipo corriente directa :

Los medidores magnéticos descritos hasta ahora han sido todos de corriente alterna. Hay un medidor magnético de corriente directa y está diseñado para manejar metales líquidos como sodio y potasio.

Los medidores magnéticos miden la cantidad total de fluido que pasa en la corriente. El medidor, entonces no diferenciará entre la cantidad de líquido y cantidad de gas entrantes; o en caso de un slurry no diferenciará cantidad de líquido de los sólidos. Si la proporción de una mezcla líquida es importante para el control del proceso, entonces deberá hacerse una medición separada de la concentración del medio deseado y deberán hacerse las correcciones apropiadas a la señal exterior del medidor magnético.

La tabla 64 ilustra varias mediciones y condiciones de fluido, de la cual puede encontrarse y proveer un análisis cualitativo de los efectos de estas condiciones sobre la señal exterior del medidor.

d).- Parámetros de diseño

Presión: Máximo 275 PSIG

Temperatura: Máximo 360°F

Fluidos a manejar: líquidos incluyendo slurries

Rango de flujo: 0.01 a 100 000 GPM

Materiales de construcción:

carcasa: fibra de vidrio, neopreno, poliuretano, hule, teflón.

electrodos: alloy 20, hastelloy C, platino, acero inoxidable, tantalito y titanio.

Tamaño del medidor: 0.1" a 96"

Exactitud: Desde + 0.5% de la velocidad hasta 2% de la escala total.

SWIRLMETER

a).- Generalidades

Los swirlmeters estan basados en el principio de un remolino. No requiere de partes móviles para hacer la medición y esta ocurre cuando un fluido rotando entra a un espacio alargado en el medidor.

La figura 65 muestra una construcción general de este medidor. El fluido entra al medidor por la izquierda y su rotación es causada al pasar a través de la hélice que es fija. El centro de rotación del fluido está sobre la misma línea central del cuerpo del medidor. El fluido entra girando a la porción central del cuerpo del medidor. Cuando el fluido rotante entra en el área alargada del medidor, el centro de rotación del fluido abandona la trayectoria axial de la línea central del medidor y toma una trayectoria helicoidal. La frecuencia de rotación es proporcional a la velocidad de flujo volumétrico y es detectada por el sensor.

El inicio del remolino es una región de mayor velocidad al resto del perfil del fluido. El sensor es un termistor que detecta el cambio de velocidad. La frecuencia con la cual el cambio de velocidad esta ocurriendo es proporcional a la velocidad de flujo. El termistor mide el cambio en temperatura como resultado del incremento de un enfriamiento debido al aumento de la velocidad en la región de paso. La resistencia del termistor varía con la temperatura de tal forma que pasando de la región de mas alta velocidad, la resistencia sufre un cambio. El termistor tiene una corriente constante aplicada a este, así el cambio de resistencia es detectado como un cambio de voltaje, el cual es subsecuentemente amplificado y filtrado.

Justo antes de la salida del medidor el fluido pasa a través del enderezador de flujo. Este accesorio esta puesto con la intención de aislar la porción de medición del medidor de los efectos de la tubería corriente abajo, porque podría regresarse el fluido en dirección opuesta y así impedir el desarrollo del remolino.

Los circuitos eléctricos para el amplificador, el filtro y el detector de señal pueden operarse en un rango de frecuencia de 10 a 1000 Hz; por lo tanto el rango total de operación del medidor es de 100 a 1. El --

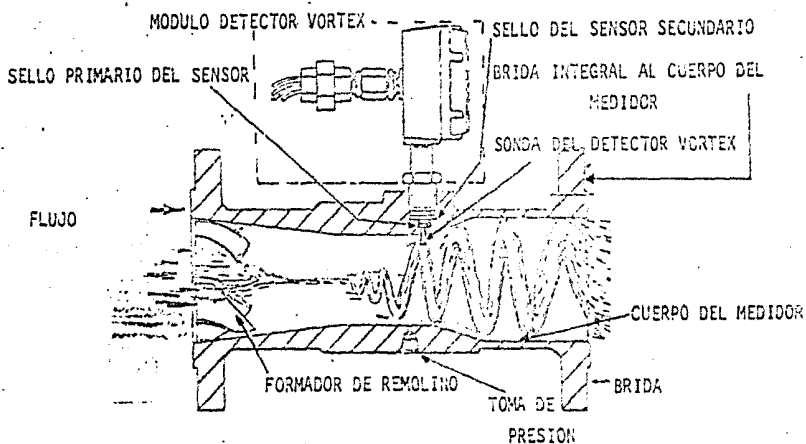


FIG 65 .- MEDIDOR SWIRLMETER

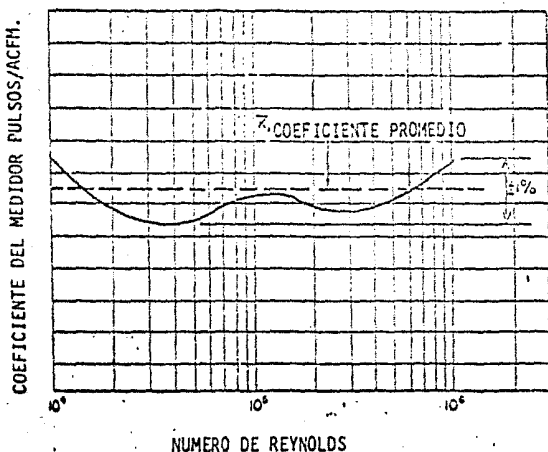


FIG 66.- COEFICIENTE VS. No. DE REYNOLDS.

comportamiento del medidor puede ser lineal dentro de todo el rango de tal forma que dependiendo de las condiciones de operación, el medidor tiene un rango potencial de 100:1.

El medidor con el detector y el amplificador montados integralmente puede ser localizados a media milla del acondicionador de señal el cual está asociado con el suministro de potencia. El detector amplificador incluye la fuente de corriente constante para el termistor y la primera etapa de amplificación de señal. La amplificación y el filtro subsecuente están incluidos en el acondicionador de señal, junto con el suministrador de potencia.

Estos medidores se usan para áreas peligrosas. Para este diseño se modifican los transformadores y se adicionan barreras resistentes a los límites de los niveles de energía para áreas peligrosas, con el fin de -- que si existiera una combinación de fallas eléctricas y mecánicas, no puedan dar un nivel de energía demasiado alto para causar ignición.

En la figura 66 se observa una curva que nos da información sobre el comportamiento típico de un swirlmeter.

El límite de flujo mínimo es determinado por la viscosidad y ocurre a un número de Reynolds de 10 000. El límite máximo es determinado por la compresibilidad del gas y ocurre a un número de Mach de 0.12. Por lo tanto es posible que el swirlmeter sea lineal sobre el rango de operación -- 100 : 1. Dentro del rango lineal el error del medidor es de $\pm 1\%$. Dentro de los límites de linealidad, los cambios de las propiedades de un gas no afectan el funcionamiento del medidor.

El coeficiente del swirlmeter es un número de pulsos generados por ACF medidos. La variación del coeficiente dentro de los límites de linealidad es de $\pm 1\%$ de la velocidad.

El swirlmeter es volumétrico. Cuando la presión o temperatura varía será necesario para compensar estas variables leer en SCF (14.7 PSIA y 60°F).

La figura 67 presenta un sistema de compensación típico.

La frecuencia detectada del swirlmeter es convertida a una señal y la temperatura y presión son transmitidas como señales análogas. El multiplicador divisor efectúa los cálculos necesarios y nos da los SCF medidos.

Para pequeñas variaciones en la presión y/o temperatura, sistemas de

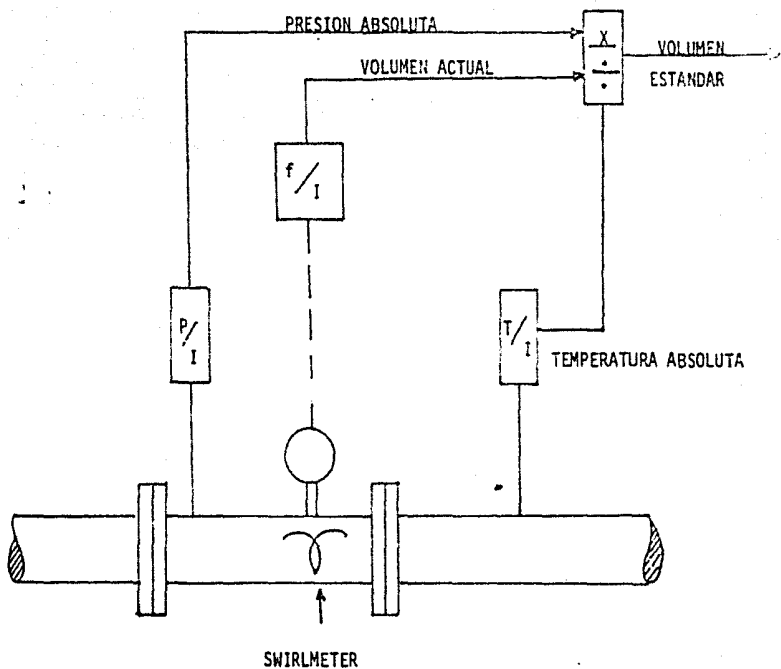


FIG 67 .- COMPENSACION DE PRESION Y TEMPERATURA DE SWIRLMETERS.

compensación digital están disponibles para mayor exactitud. Para límites de densidad, densímetros de gas pueden ser usados para mediciones directas de densidad, mejor que hacer determinaciones de ella por medio de mediciones de temperatura y presión.

La onda cuadrática de salida del swirlmeter puede ser totalizada, indicada o convertida a una señal análoga y equivalente para registrar y controlar. Los mismos indicadores, totalizadores y accesorios utilizados en el medidor de turbina pueden ser usados en el swirlmeter.

Las capacidades para el medidor están dadas en la figura 68. El swirlmeter no tiene partes móviles, la ausencia de éstas nos da un aumento grande en el período de mantenimiento, puede ser usado sobre 125°F, debe calibrarse y estas calibraciones son en aire sobre el número de Reynolds, rango para el cual el medidor será usado. La repetibilidad es de $\pm 0.25\%$ de la velocidad y linealidad, dentro de los límites especificados de $\pm 1\%$ de la velocidad.

El gas a medir con el swirlmeter debe ser compatible con el acero inoxidable y no debe corroer el vidrio del termistor porque de lo contrario no podría usarse.

b).- Parámetros de diseño

Presión : Hasta 2000 PSIG

Temperatura : -100°F a 350°F

Fluidos a manejar : Gases

Rango de flujo : 0.1 a 3000 ACFM

Tamaño del medidor : 1" a 6"

Exactitud : $\pm 0.75\%$ de la velocidad

Rangoabilidad : 100 : 1

CAPACIDADES DEL SWIRLMETER		
TAMARO	RANGO EN ACFM	CAIDA DE PRESION
1"	0.14 - 14	
2"	1.1 - 110	
3"	3.7 - 370	10 veces cabeza velocidad
4"	8.4 - 840	
5"	29 - 2900	$= 10 \frac{pv^2}{2g}$

Figura 68. TABLA DE CAPACIDADES

MEDIDORES DE FLUJO SOLIDO

La mayoría de las mediciones de velocidad de flujo en sólidos se hacen comunmente en base a su peso utilizando alimentadores gravimétricos o sensores de peso.

a).- Medidores de flujo volumétricos para sólidos

El impulsor de hélice con desplazamiento positivo provee una medición de flujo volumétrico, pero ha sido usado en sólidos de tamaño uniforme, tales como municiones, si se requiere una exactitud razonable. Este tipo de instrumento es similar al medidor de flujo tipo turbina o hélice usado para mediciones de flujo volumétrico líquido. En el medidor de flujo sólido una aspa helicoidal se usa en lugar de una turbina. La rotación del aspa, es manejada por el flujo de material granular, un cable flexible transmite la rotación a un mecanismo contable montado en la parte exterior del ducto o tubería (figura 69). Este contador puede ser mecánico montado directamente en la tubería, o un transmisor neumático o eléctrico tal que la velocidad de flujo y/o flujo total sea registrado en un lugar remoto. En el transmisor, el movimiento rotatorio producido por un motor síncrono se opone al movimiento del cable flexible. Este balanceo de movimientos es utilizado para fijar la posición de la leva la cual determina la señal exterior del transmisor.

El aspa es normalmente instalada en posición vertical y sus superficies de apoyo estan protegidas con una purga de aire. Por lo tanto para obtener mediciones de flujo sólido exactas, el instrumento debe ser calibrado con el material para el cual se utilizará.

Esta unidad es capaz de detectar flujo volumétrico de sólidos con $\pm 3\%$ de error sobre la escala total, si la velocidad de flujo esta entre el 10 y el 100% de la velocidad de diseño.

b).- Medidores de flujo masa para servicio sólido

La corriente sólida entra al acelerador del medidor por gravedad (figura 70). El acelerador es manejado por un motor eléctrico a velocidad constante. Como la corriente de flujo es acelerada, esta causa una torque sobre

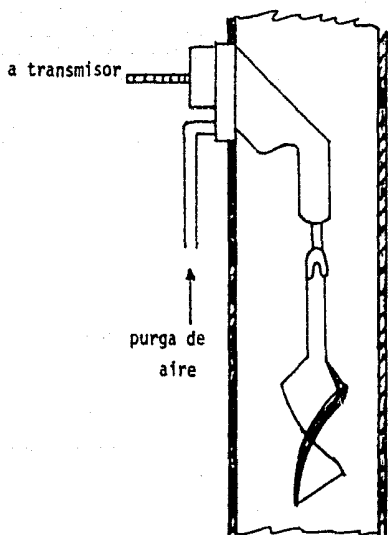


Fig. 69 Detector volumétrico de flujo sólido

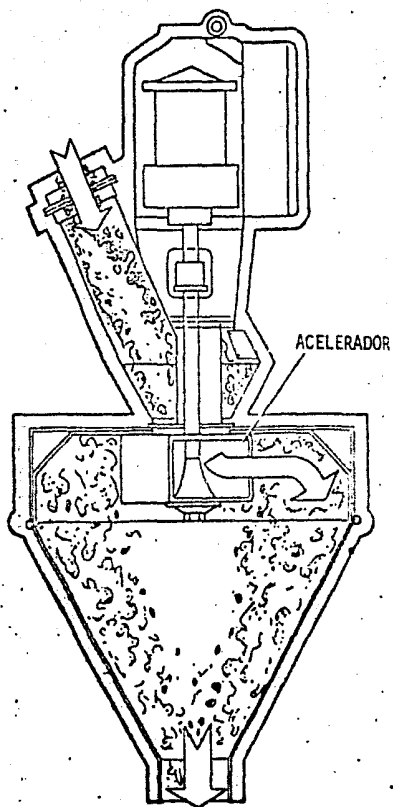


FIG 70.- MEDIDOR DE FLUJO PARA SOLIDOS

el motor. El cambio de torque es medido por un traductor de torque. La señal de transmisión neumática amplificada es entonces directamente proporcional a la velocidad de flujo masa de los sólidos.

Este medidor de flujo tiene un error de $\pm 0.5\%$ y puede detectar la velocidad de flujo dentro de un rango de 25:1.

La unidad es diseñada para usarse dentro de un amplio rango de materiales incluyendo polvo, granulos, bolitas y sólidos irregulares tambien como slurries.

c) Parámetros de diseño

Presión	: Atmosferica
Temperatura	: Hasta 350°F
Rango de flujo	: 25 a 100 000 Lb/hr
Exactitud	: ± 0.5 a $\pm 3\%$ de la escala total
Materiales de construcción:	

Acero al carbón, acero inoxidable, varios plásticos y hules como recubrimiento.

MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA LIQUIDOS

Los medidores de desplazamiento positivo dividen el líquido en volúmenes conocidos, basados en las dimensiones físicas del medidor, contándolos o totalizándolos. Estos medidores son mecánicos ya que con una o mas partes móviles localizadas sobre la corriente de flujo separan físicamente al fluido en incrementos. La energía para mover estas partes es proporcionada por la corriente misma de flujo y se traduce en pérdidas de presión entre la entrada y salida del medidor. La exactitud en general en estos medidores depende de la minimización de los espacios entre las partes móviles y estacionarias del medidor.

a).- Medidor de disco

Este medidor se utiliza ampliamente para servicio de agua residencial. La parte móvil de este medidor consiste de un balín ajustado a un disco radial y a un eje axial (fig. 71). Esta parte se encaja y divide en cuatro espacios la cámara; dos por encima del disco del lado de la entrada y dos abajo del disco del lado de la salida. Como el líquido procura fluir a través del medidor, la caída de presión desde la entrada a la salida causa que el disco se bambolee y para cada uno de los ciclos desplaza un volumen igual al volumen de la cámara de medición menos el volumen del disco y la bola. El extremo del eje axial se mueve en forma circular a una leva que esta conectada a un tren de engranes y al registrador-totalizador. Este medidor tiene una exactitud de ± 1 a 2 %. El medidor es construido para tuberías pequeñas, su máxima capacidad es de alrededor de 150 GPM.

b).- Medidor de aspa rotatoria

Este medidor tiene aspas con muelle y resortes tensados que incrementan el sello del líquido (fig. 72). Entre el rotor montado excentricamente y la envolvente se transporta el fluido desde la entrada hasta la salida, donde es descargado debido a la disminución de volumen. Este tipo de medidor es el que mas ampliamente se usa en la industria petrolera y es --

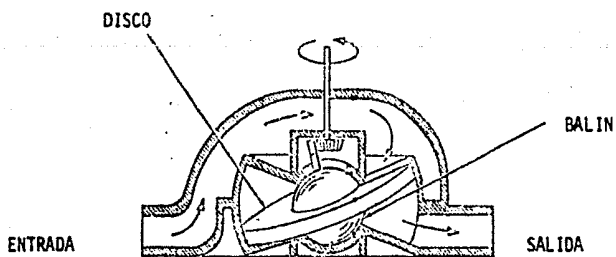
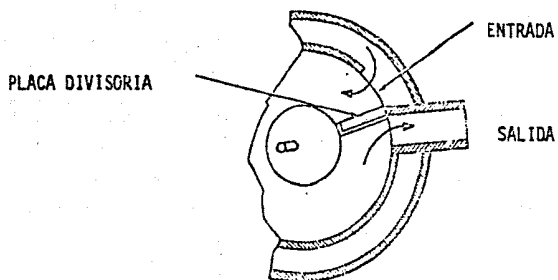


FIG 71.- MEDIDOR DE DISCO

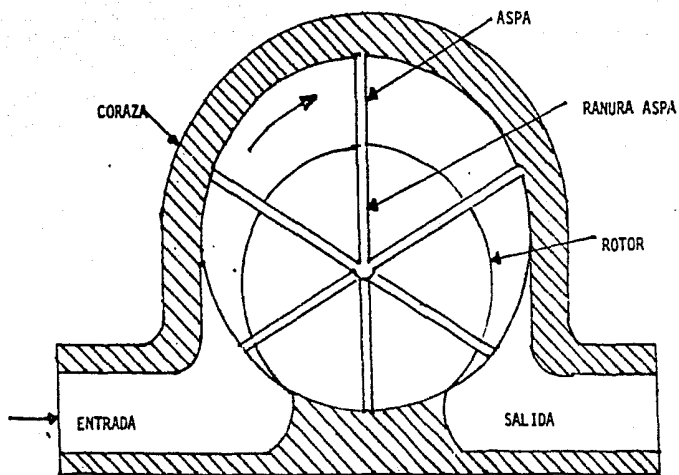


FIG 72 .- MEDIDOR DE ASPA ROTATORIA

aplicado en la medición de servicios tales como gasolina y crudo con capacidad hasta de 17500 GPM. La exactitud de $\pm 0.1\%$ es normal y $\pm 0.05\%$ ha sido lograda en medidores mas grandes.

Este instrumento es construido de diversos materiales y puede ser usado para servicios de temperatura y presión elevada. Los límites máximos permitidos son de aproximadamente de 350 °F y 1000 PSIG.

Otro diseño rotatorio se observa en la figura 73. Un diafragma rotatorio opera en relación de tiempo con dos rotores de desplazamiento a la mitad de su velocidad.

c).- Medidores de pistón oscilatorio

La parte móvil de este medidor consiste de un cilindro ranurado que oscila alrededor de un puente divisor que separa la entrada de la salida. Los rayos estan conectados al eje del cilindro mediante un perno. Como el cilindro gira alrededor del puente el perno hace una rotación por ciclo - (fig. 74). Esta rotación es transmitida al tren de engranes y registrada a través de un diafragma. El medidor además de usarse para medición de agua de consumo doméstico tiene la ventaja de manejar líquidos limpios, viscosos, corrosivos, etc. La exactitud es de $\pm 1\%$. El medidor se usa para tuberías de diámetro interior de 2" o menores . Su costo depende del tamaño y materiales de construcción.

d).- Medidor de pistón reciprocante

Es el mas antiguo de los medidores de desplazamiento positivo. Este medidor esta disponible en muchas formas: Medidor multipistón, medidor de pistón de doble acción, medidor de válvula rotatoria y medidor de válvula de deslizamiento horizontal. La fig. 75 muestra un esquema de una variedad de éste medidor.

Una manivela actuada por el movimiento reciprocante de los pistones maneja el registrador. Estos medidores son ampliamente usados en la industria petrolera y alcanzan una exactitud de $\pm 0.2\%$.

Otra versión de éste medidor se muestra en la figura 76. El líquido entra al cilindro por la izquierda forzando al pistón a bajar a través de

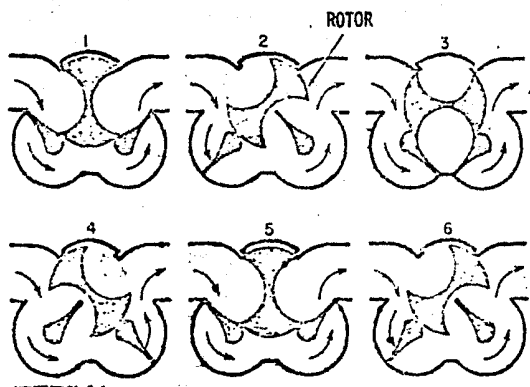
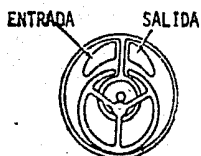


FIG 73.- DIAFRAGMA ROTATORIO



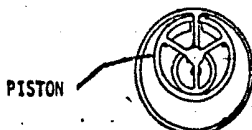
POSICION 1



POSICION 2



POSICION 3



POSICION 4

FIG. 74 MEDIDOR DE PISTON OSCILATORIO.

172

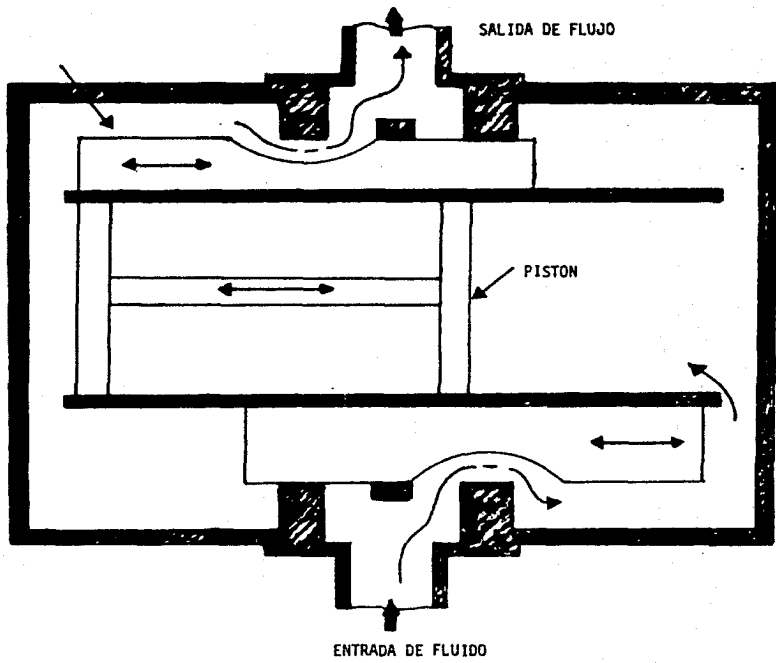


FIG 75.- MEDIDOR DE PISTON RECIPROCANTE

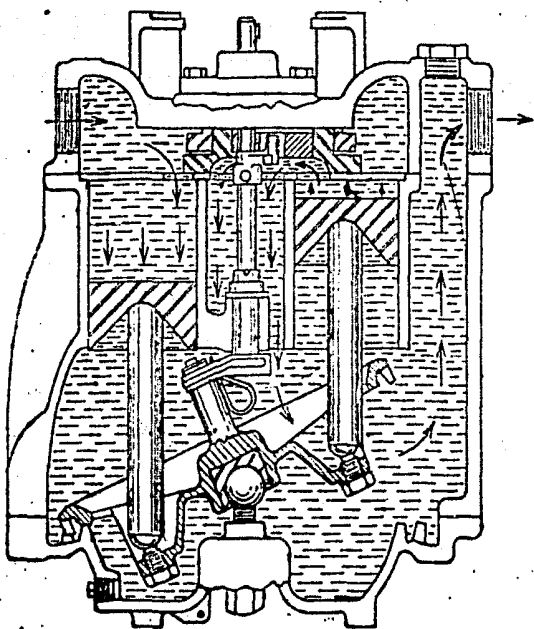


FIG. 76 MEDIDOR DE PISTON RECIPROCANTE CON DOS PISTONES OPUESTOS.

la palanca de acción de la placa de control. El pistón de la derecha es - forzado a subir descargando líquido a través del pórtilo que queda abierto hacia la parte inferior de la válvula, baja por el centro del medidor y sale por la descarga del medidor.

e).- Medidor de lóbulos rotatorios

En este medidor de lóbulos impulsadores, los cuales están engranados juntos para mantener una posición relativamente fija, rotan en direcciones opuestas dentro de la cámara (fig. 77). Cada revolución desplaza un volumen fijo. Un registrador está acoplado a uno de los impulsores. Están hechos normalmente para un servicio en tuberías de 2 a 24" y su rango máximo de capacidades varía de 8 a 17500 GPM. Existe una nueva forma de este tipo de medidor de dos rotores engranados en forma de óvalo en lugar de los rotores lobulados.

A bajas velocidades de flujo la exactitud debida a desplazamientos muertos es sustancial. El concepto anterior en este diseño es que si no hay presión diferencial a través del medidor no habrá fuerza directora para causar el deslizamiento. La eliminación de la presión diferencial a través del medidor se hace detectando las presiones corriente arriba y corriente abajo del medidor ajustando automáticamente un motor, el cual varía la velocidad del rotor manejado tal que las presiones antes y después del medidor son las mismas.

Estos medidores aumentan su exactitud a flujos más altos donde las mermas por deslizamiento decrecen y operarán con gran exactitud, con una tolerancia de $\pm 0.1\%$ dentro de un rango limitado. Estos medidores son de materiales que pueden usarse para servicio corrosivo. Su rango de capacidades varía de 1 a 1600 GPM.

f).- Conclusiones

Los medidores de desplazamiento positivo son los instrumentos más ampliamente usados para medir flujo volumétrico cuando hay compra-venta de un material líquido. Como resultado, hay una gran variedad de medidores que cubren un amplio campo de requerimientos. Su simplicidad, buena exac-

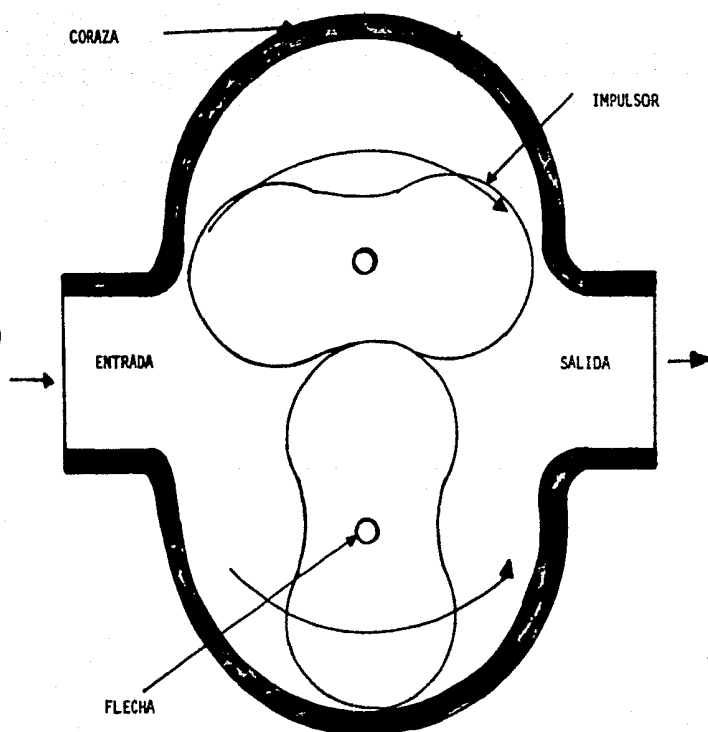


FIG 77.- MEDIDOR DE LOBULOS ROTATORIOS

titud, bajo costo y disponibilidad garantizan su consideración primaria - cuando se va a seleccionar un medidor volumétrico.

Estos medidores son especialmente útiles cuando el fluido a medirse esta libre de partículas sólidas. Un ejemplo típico es la medición de agua a casas, fábricas, oficinas, etc. La selección, instalación, prueba y mantenimiento de medidores para desplazamiento de agua han sido estandarizados por la A.W.W.A. El uso de las partes móviles introduce la mayor fuente de error a través de la vida del mismo. El error debido a fugas se incrementa con los fluidos de viscosidad mas baja pero permanece relativamente constante con el tiempo para el rango que se ha calibrado. En grandes rangos de un medidor los efectos de la temperatura deben considerarse sobre la densidad y viscosidad del fluido.

Los accesorios estandar disponibles incluyen : filtros, medios para liberar aire y para remover los vapores que entren con la corriente al medidor, válvulas automáticas para cortar o continuar un lote, compensadores de temperatura, generadores de pulso para totalización remota e impresores manuales y automáticos. Además de la lectura digital exterior para el medidor tipo totalizador tambien puede proveerse la indicación de velocidad de flujo pero no es económico considerando la naturaleza del diseño involucrado.

Los medidores de desplazamiento positivo son exactos con tolerancias bien definidas (usualmente menores al 2%) sobre un rango de flujo de -- 20 : 1 y tiene caídas de presión relativamente bajas. Es un excelente medidor para procesamiento batch, mezclado o sistemas donde miden cantidades actuales de líquido.

Estos medidores son simples y de fácil mantenimiento. No requieren de instrumentos especiales de calibración o de un equipo de personal especialmente entrenado.

Tiene como desventajas el trabajo costoso para un maquinado preciso de sus partes para tener las mínimas fugas de líquido de lo cual depende su exactitud. Además los líquidos deben ser limpios; un rápido deterioro destruye la exactitud del medidor. El tamaño de partícula contaminante -- debe ser menor de 100 micras. Por lo tanto estos medidores no son adaptables a medición de slurries. Las partes móviles requieren mantenimiento a intervalos frecuentes y donde se miden líquidos corrosivos puede resultar altamente costoso.

g).- Parámetros de diseño

Presión: 300 PSIG

Temperatura: Hasta 400 °F

Materiales de construcción : Bronce, acero inoxidable, acero al carbón, aluminio, momel y hastelloy.

Rango de flujo: 0.01 GPM a 20 000 GPM.

BOMBAS

a).- Generalidades

Una bomba medidora de flujo es una bomba de desplazamiento positivo que provee al fluido de proceso una velocidad predecible y exacta. Normalmente el diseño, aplicación, especificación y usos de las bombas concierne a los ingenieros mecánicos y diseñadores de maquinaria. Las bombas de medición no obstante son usadas para medir velocidad de flujo y en muchos casos hay elementos de control final en una caseta de instrumentación. Por lo tanto el ingeniero en instrumentación debe estar familiarizado con sus operaciones y aplicaciones.

Una gran variedad de bombas controladoras de volúmen están disponibles comercialmente. Muchas de estas bombas están diseñadas para resolver las necesidades de una aplicación en particular tales como añadir hipoclorito de sodio a una piscina o proveer agentes químicos a un cromatógrafo por lo que cada industria tiene sus propios tipos de bombas medidoras y pueden clasificarlas según su aplicación. Un camino mejor para clasificar las es por su modo básico de operación. Alguna bomba de desplazamiento positivo debido a su forma volumétrica de transferir el fluido puede usarse como bomba medidora y en la práctica y estas bombas que no tienen o solamente tienen poco espacio libre interno o externo pueden proveer la precisión y exactitud que normalmente requiere una bomba medidora. Estas bombas son las peristálticas, de pistón recíprocante y de diafragma.

b).- Bombas peristálticas

En la bomba peristáltica el fluido es movido hacia delante prensando progresivamente un tubo flexible desde la entrada hasta la descarga. Este tubo puede hacerse de un material que posea suficiente resiliencia para recuperar su forma original inmediatamente después de la compresión. Hay una variedad de métodos empleados para el prensado del tubo para producir una velocidad de flujo. Algunos de estos son:

- 1.- Rodillos que se conectan a un cuerpo rotatorio que prensa al tubo contra una pared circular, fig 78.

2.- Una leya de dedos operados sucesivamente presan al tubo sobre una superficie plana, fig. 79.

Un tubo de plástico provee un volumen fijo, es de fácil mantenimiento y reemplazo. Debe recordarse que el tubo es solamente un componente de la bomba que esta en contacto con el fluido. Usualmente se encuentra que un material plástico es lo mejor para cuando se manejan fluidos corrosivos y abrasivos. Sin embargo el uso del tubo de plástico tiene sus limitaciones en cuanto a la capacidad de la bomba peristáltica. Normalmente estas bombas manejan solo bajas velocidades de flujo y bajas diferencias de presión.

La bomba peristáltica ha encontrado gran aceptación en campos médicos y biomédicos donde altas exactitudes, bajas velocidades de flujo y esterilización del fluido son requeridas. La velocidad de flujo puede ajustarse cambiando la velocidad del mecanismo de prensado. La potencia se provee por un motor eléctrico. Los motores deben ser a prueba de explosión

Los parámetros de diseño son:

Presión : 20 PSIG como máximo

Temperatura : - 70 a 600 °F

Rango de flujo : 0.005 cc / min a 250 GPH.

Materiales de construcción : Neopreno y silicón.

Exactitud: $\pm 1/10$ de la velocidad

c).- Bombas de pistón

La bomba de pistón emplea un pistón el cual se mueve con un movimiento recíprocante dentro de una cámara. Un volumen fijo de líquido es liberado por cada carrera. La velocidad de flujo es una función del diámetro del pistón, longitud de la cámara y velocidad del pistón. Las válvulas de retención localizadas en la bomba a la entrada y a la descarga se requieren para evitar que el fluido se regrese. Un esquema de una bomba típica de pistón se muestra en la fig. 80. El pistón produce una presión en una sola dirección por lo que el flujo producido es pulsante. Si las características de flujo pulsante son indeseables, se instalará un tanque acumulador a la descarga de la bomba. Otro método para reducir la pulsación es usar una bomba que emplea una combinación de mas de una cámara/pistón en

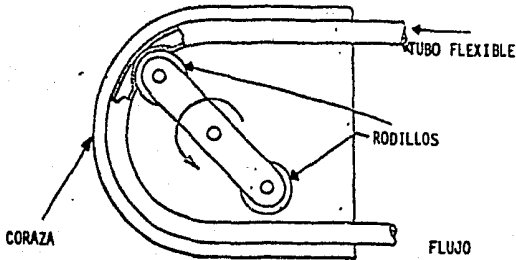


FIG 78.- BOMBA PERISTALTICA CON RODILLOS

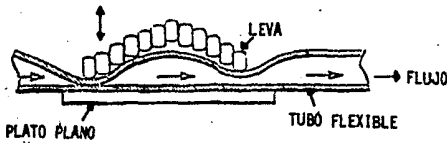


FIG 79.- BOMBA PERISTALTICA DE LEVA

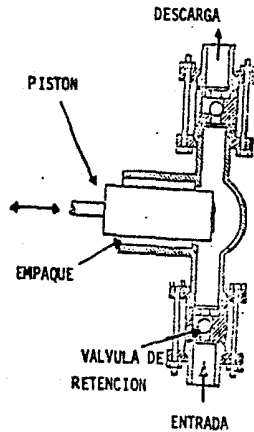


FIG 80.- ESQUEMA DE UNA BOMBA DE PISTON

paralelo. Comercialmente existen bombas que tienen tantos como cuatro cilindros. Estas bombas multipistón son llamadas bombas duplex (dos pistones), triplex (tres pistones), etc.

Los materiales de construcción de los componentes de una bomba de -- pistón deben seleccionarse con cuidado; los cilindros, pistones, empaques de los pistones, cuerpo de la válvula, están en íntimo contacto con el - fluido de proceso.

La principal desventaja de las bombas de pistón respecto al servicio de medición es que en éstas bombas ocurren fugas en los empaques del pistón y asiento de la válvula, los cuales disminuyen la exactitud y precisión. Sin embargo en muchos casos la capacidad de las bombas de pistón para dar altas diferencias de presión o grandes velocidades de flujo, provoca el problema de las fugas. Las fugas de las válvulas de retención se minimizan usando dos válvulas en serie tanto en la succión como en la descarga de la bomba.

El control de la velocidad de flujo en bombas de pistón se realiza - variando la longitud de carrera del pistón por medio de la alteración en la excentricidad de la manivela del pistón. En muchas bombas esto puede - hacerse sin parar la operación de la unidad. Otro método algunas veces -- usado para alterar la velocidad de flujo es cambiar la duración de la carrera por medio de períodos muertos variables.

Las bombas de pistón son manejadas normalmente por motores eléctricos aunque también se dispone de los manejados por aire. Una derivación interesante de la bomba de pistón que puede usarse si se requieren presiones y velocidades de flujo extremadamente altas es la llamada bomba de " pistónazo " simple no recíproca.

Los parámetros de diseño son :

Presión : 100000 PSIG máxima.

Temperatura : 1000 °F como máximo

Rango de flujo : 0.1 a 17000 GPH

Materiales de construcción : Acero al carbón, acero inoxidable, hastelloy y plásticos

Exactitud : ± 0.5 a ± 1% de la velocidad

d).- Bombas de diafragma

Las bombas de diafragma usan una membrana flexible para transmitir una fuerza pulsante al fluido bombeado sin permitir fugas externas tales como ocurrían en los empaques de las bombas de pistón. El diafragma puede hacerse de teflón, neopreno o de metal flexible. El diafragma puede ser movido directamente por un pistón como en una bomba de pistón recíprocante, fig. 81. Este tipo puede emplear también fuelles en lugar de diafragma y generalmente tiene una presión límite de aproximadamente 125 PSIG. Mas comunmente el diafragma es impulsado por aceite hidráulico de una bomba de pistón recíprocante, fig. 82. La presión del diafragma es balanceada hidráulicamente y con ayuda de placas de soporte, opera en una baja magnitud controlada de deflexión. Así el límite de endurecimiento del material del diafragma no se excede, permitiéndole una larga vida. Para mejor seguridad contra fugas de líquido, se puede proveer de un doble diafragma. Los materiales expuestos al fluido bombeado, diafragma, paredes internas del medidor y válvulas deben ser seleccionadas cuidadosamente para la aplicación.

Así como la bomba de pistón el flujo es pulsante pero se puede lograr que este parezca continuo usando múltiples diafragmas en paralelo y/o usando un recipiente a la descarga. Las fugas en la válvula de retención representan un problema tanto para la bomba de diafragma como para la bomba de pistón. La velocidad de pulsación del fluido puede variarse ajustando la longitud de carrera de la bomba de pistón, alterando la excentricidad de la manivela o duración de un pulso del diafragma convirtiendo una porción de cada pulso en movimiento muerto por medios hidráulicos o mecánicos.

Los parámetros de diseños son:

Presión : Máximo 1500 PSIG con diafragma de plástico.

Máximo 45000 PSIG con diafragma metálico

Temperatura: Máximo 400 °F

Rango de flujo: 50 a 2500 GPH

Exactitud : ± 0.5 a $\pm 1\%$ de la velocidad

Materiales de construcción : Polietileno, teflón y varios metales .

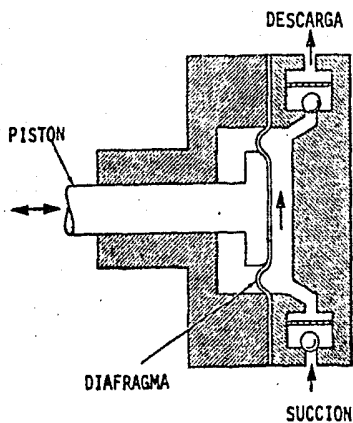


FIG. 81.- BOMBA DE DIAFRAGMA DE MANEJO DIRECTO

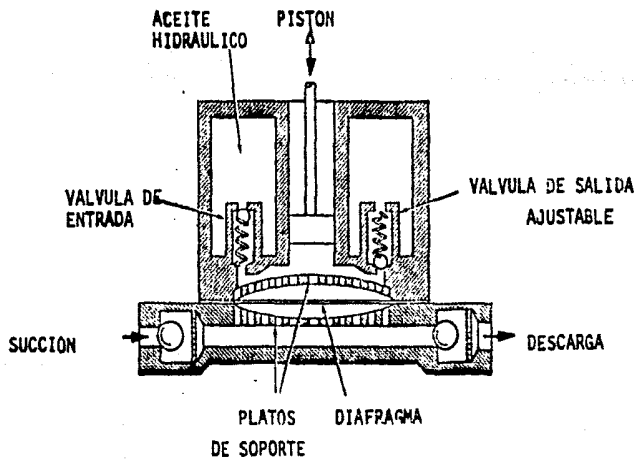


FIG. 82.- BOMBA DE DIAFRAGMA MANEJADA CON ACEITE.

e).- Bombas de proporcionamiento

A veces es necesario mezclar múltiples fluidos a una determinada proporción dependiendo de la velocidad de flujo, dando mayor uso a las bombas de proporcionamiento.

Como una aplicación de los impulsores de dedos o de cadena de una peristáltica de placa plana, muchos tubos de la misma medida o de varias medidas (hasta 23") pueden ponerse en paralelo para proporcionar un --- flujo por cada tubo esto permite una proporción de líquidos para bombearse independientemente de la velocidad de bombeo como de la velocidad del motor.

f).- Conclusiones

Cada medidor tipo bomba discutido tiene su aplicación particular. Las bombas de pistón se usan para transmitir altas presiones al fluido. Ellas requieren de válvulas de retención y generalmente dan flujos pulsantes que pueden ser amortiguados por varios métodos. Las bombas de diafragma se -- usan en un rango de presión media. La membrana sirve como transmisor de - movimiento a la vez que separa el medio que proporciona fuerza mecánica ó hidráulica del fluido en proceso. Las bombas rotatorias proporcionan una pulsación libre, velocidades de flujo altas y son convenientes para servi- cios de altas viscosidades. Su exactitud es función de la fugas que pueda haber entre los empaques. Esto generalmente da bajas precisiones, por lo tanto las bombas rotatorias no son consideradas elementos de medición. -- Las bombas peristálticas son muy exactas, pueden manejar flujos extremada- mente pequeños, son semi primarios y no requieren de cierre hermético o - válvulas de retención.

Si el ingeniero de instrumentos es responsable en la operación y man- tenimiento de una bomba de medición, puede hacer que ésta difiera mucho - de otros medidores de flujo en muchos aspectos. Por ejemplo el motor de - la bomba debe ser lubricado periódicamente, debe usar un sistema de con- trol el cual haga imposible que la bomba opere sin líquido y la tuberfa - de entrada debe diseñarse.

MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA GASES

a).- Generalidades

La historia de los medidores de desplazamiento positivo para gases - es la industria del combustible y su necesidad de una exactitud confiable, larga vida y bajo costo del medidor. Los primeros medidores fueron medidores de desplazamiento de agua, los que aparecieron a principios del siglo XVIII, este medidor (Fig 83) tenía dificultades obvias, en invierno se congelaba y en verano se evaporaba, durante todo el año se corroía el medidor. Sin embargo esto fue fundamentalmente un elemento sólido y hoy es usado para calibración estandar mediante el cual son calibrados todos los otros medidores.

En 1844 el primer medidor tipo seco fue introducido. Este fué un simple fuelle como medidor, se usó una piel de carnero como fuelle produciendo un flujo intermitente.

Para alcanzar un flujo constante se desarrollaron varias formas de medidores multifuelles incluyendo unos con seis y siete fuelles y usando válvulas rotatorias para controlar el desplazamiento. A través de los años varios tipos de medidores de desplazamiento positivo para líquidos han acabado usándose para medir flujo gaseoso. Sin embargo debido a su habilidad para resolver las necesidades de la industria de combustible gaseoso, dos tipos de medidores comunmente dominan el campo. Ellos son : el medidor de fuelle de tres o cuatro cámaras y el medidor de lóbulos impulsores.

El medidor de desplazamiento positivo divide el flujo de gas en incrementos de volumen conocido (basados en las dimensiones físicas del medidor) y los cuenta. Mediante el uso de eslabones mecánicos apropiados y/o sistemas de engranes este conteo es totalizado. Las unidades comunes son en ft^3 .

La energía para mover los componentes mecánicos que poco a poco dividen el flujo es extraída del mismo flujo de gas, esto se muestra como una pérdida entre la entrada y salida del medidor.

b).- Medidor tipo campana

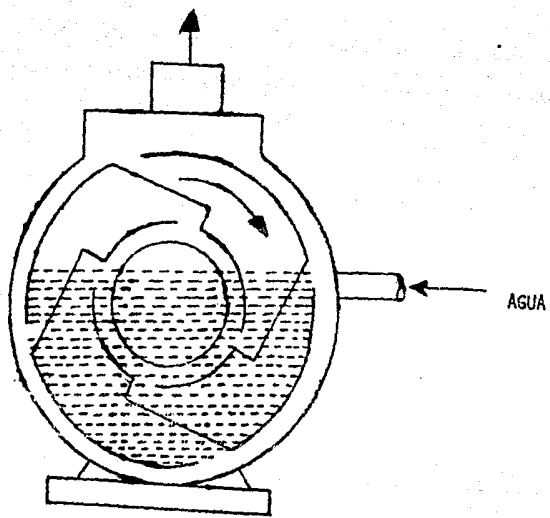


FIG 83.- MEDIDOR DE DEZPLAZAMIENTO DE AGUA

Este es un medidor de laboratorio usado por los fabricantes de medidores, como un estándar primario mediante el cual son calibrados sus --- otros medidores. Este no se puede usar para medir flujo continuo.

El medidor consiste de un tanque anular (Fig 84) cuya sección central está cerrada herméticamente al flujo de aire, excepto al tubo de entrada. El volumen anular se llena con aceite o agua lo que actúa como sello. La campana es un tanque abierto en el fondo y con un domo cerrado es contrabalanceado por tres contrapesos igualmente espaciados. Esos pesos pueden variarse para alterar la presión dentro de la cámara. Para compensar los incrementos por el desplazamiento de la campana cuando ésta desciende en el líquido, un sistema de manivela se usa para mantener automáticamente la presión constante del gas haciendo que éste salga de la campana. Gufas y otros accesorios se proveen para asegurar un movimiento pa- rejo de la campana y eliminar todos los errores posibles.

El medidor a probarse se conecta a un medidor de campana la cual está en posición levantada al ras del líquido. La campana es sumergida en el tanque anular desplazando un volumen conocido de aire a través del medidor a probar. Los ajustes y calibraciones se hacen necesarios para alcanzar la exactitud deseada teniendo errores hasta de $\pm 0.1 \%$.

c).- Medidor de fuelles (cuatro cámaras)

El medidor de tres o cuatro cámaras es usado por los vendedores de gas para poder surtirlo a residencias y comercios. La sección de medición consiste de dos cámaras herméticamente cerradas, pero flexibles; tiene un disco metálico rígido y los fuelles hechos de un elastómero denso y flexible que son colocados uno a cada lado (Fig. 85) . Las cuatro cámaras son conectadas a la entrada y salida del medidor por medio de tubos apropiados el flujo gaseoso que entra y sale por las cuatro cámaras es controlado por válvulas corredizas, las cuales son manejadas con un mecanismo de manivelas y eslabón que a su vez están conectados al disco rígido de la cámara. El desplazamiento de las cámaras es ajustado para dar un flujo igual y continuo de gas. El mecanismo de manivelas se conecta también a un tren de engranes para registrar y totalizar el volumen de flujo a través del medidor. Los medidores pequeños son graduados usualmente a una caída de presión de 0.5 in. de agua (0.25 PSIG a 60°F.) a su velocidad de flujo .

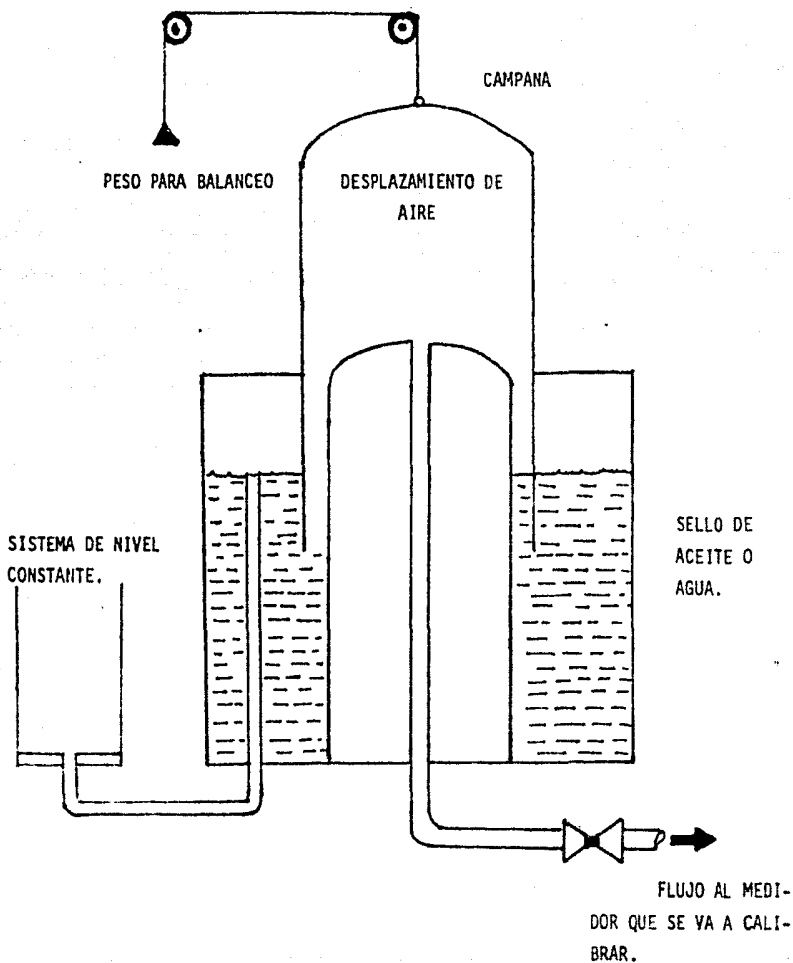


FIG 84.- MEDIDOR PROBADOR TIPO CAMPANA

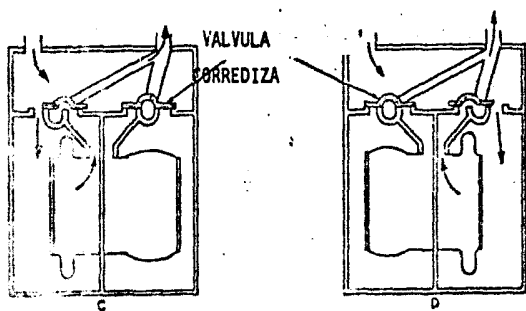
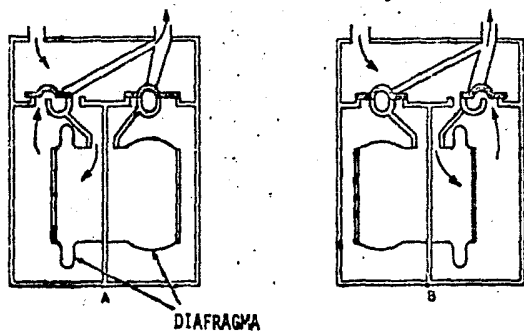


FIG. 95.- MEDIDOR DE CUATRO CAMARAS.

Donde los medidores son usualmente ajustados a los requerimientos del gas ellos están graduados para un gas de gravedad específica de 0.6 a 0.65. Para determinar su capacidad a una caída de presión de 0.5 in. de agua a -- 60°F. cuando se usa para otros gases puede hacerse la siguiente corrección:

$$q_n = q_c (SG_c / SG_n)^{1/2} \quad \dots \quad 79$$

Donde: SG_c = Gravedad específica del gas para el cual el medidor está calibrado.

SG_n = Gravedad específica para el cual se va a usar el medidor.

q_n = Velocidad de flujo volumétrico del medidor para un nuevo gas. (ft³/hr.).

q_c = Velocidad de flujo volumétrico del medidor con gas calibrador. (ft³/hr.).

La exactitud de un medidor por el cambio de un gas a otro no es afectado. Las correcciones del medidor basadas en las leyes de Boyle y Charles deben hacerse cuando el medidor opera a otras condiciones.

d).- Exactitud

La exactitud del medidor tipo fuelles tiene una tolerancia de $\pm 0.5\%$ del flujo. El uso es la primera causa del error en estos medidores tal -- que su exactitud total es una función del flujo a través del medidor. La experiencia indica que para el medidor doméstico estandar (175 SCFH) las exactitudes se obtendrán para flujos totales hasta de 10^7 ft³ y para períodos mayores de cinco años.

Posibilidades de error:

Los errores de temperatura y presión son los mas controlables y pueden compensarse; por mediciones apropiadas de estos parámetros a la entrada y salida del medidor.

Los errores incontrolables son los debidos primeramente al uso del medidor y al desgaste del mecanismo de válvulas corredizas, a los empaques y a los fuelles que al final terminan con fugas. Ambas de estas condiciones resultan en lecturas bajas de flujo. El polvo causado por el uso y vapores que se condensan en el medidor también causarán lecturas bajas.

Notas de aplicación:

Estos medidores se usan para gases secos y limpios que no reaccionen

químicamente con los materiales usados en la construcción del medidor. -- Serfa bueno evaluar dichos efectos sobre fuelles elastoméricos.

Ventajas: incluyen alta exactitud a bajo costo para largos periodos de tiempo (medidos en años). También el amplio rango de presiones y capacidades de flujo y la disponibilidad de lectura, constituyen una ventaja mayor para el diseñador.

Desventajas: no pueden manejar gases húmedos o sucios, el uso de las partes mecánicas; la temperatura máxima del fluido manejado es solo hasta cerca de 200°F, la dificultad y costo para dar información de velocidad de flujo. También desde que estos medidores son cerrados herméticamente no se pueden reajustar por el usuario. Sin embargo esto no es un problema serio porque los rearrreglos pueden hacerse frecuentemente para el gas que se va a medir, reparando y calibrando el medidor.

e).- Diseño de impulsores lobulados

Este medidor se usa cuando se requiere un medidor de desplazamiento positivo que maneje volúmenes altos. Para caídas de presión menores de -- 0.25 PSI estos medidores tienen capacidades hasta de 100000 SCFH. Sin embargo debido a los espacios libres que hay entre los rotores y la carcaza su exactitud a flujos bajos disminuye rápidamente. En general no se usan para velocidades menores al 10% de la velocidad de flujo. Desde el 10% al 100% de la velocidad de flujo estos medidores mantendrán constante la exactitud con una tolerancia de $\pm 1\%$.

El medidor de impulsores lobulados es extremadamente sensible al polvo y requerirá un filtro antes del medidor. El mantenimiento es necesario para asegurar el nivel de aceite en los cojinetes y evitar depósitos de - aceite en el medidor. Esto posteriormente se traduce en una caída de presión a través del medidor.

El error es usualmente el resultado del uso o el aumento de pivots - depositados que resulta en un incremento de fugas y por lo tanto el medidor dará lecturas bajas.

Los comentarios hechos para el medidor de fuelles también se aplican a este medidor, sin embargo este medidor debido a su tamaño y producción limitada se encontrará que es relativamente mas caro que el mas pequeño -

de los medidores de cuatro fuelles.

f).- Parámetros de diseño

Prestión: Generalmente bajas presiones

Temperatura: hasta 200°F

Materiales de construcción : Aluminio, acero, elastómero sintético

Rango de flujo: 0 a 150000 SCFH

CAPITULO V

DATOS PARA LA REQUISICION DE EQUIPO

Para garantizar un medidor es necesario llenar unas formas que contie_nen datos especfficos de éste y del fluido. Debido a la gran variedad de - medidores que existen, expondremos algunos de ellos.

Rotámetro

- 1.- Número de modelo
- 2.- Dimensiones de la tuberfa
- 3.- Materiales de construcción: Flotador, accesorios finales, empaques, - empaques de la tuerca de compresión, anillos-O, topes del flotador y - juntas de asiento para el tubo.
- 4.- Tipo de escala
- 5.- Exactitud deseada
- 6.- Accesorios
- 7.- Condiciones de operación: Fluido a medir, máxima velocidad de flujo, - densidad del fluido y viscosidad.
- 8.- Caída de presión permitida
- 9.- Temperatura de operación y temperatura máxima
- 10.-Presión de operación y presión máxima

Tubo venturi

- 1.- Número de modelo
- 2.- Tamaño nominal del medidor
- 3.- Material de la garganta
- 4.- Diámetro interior de la tuberfa
- 5.- Velocidad máxima de flujo
- 6.- Fluido a manejar
- 7.- Diferencial máxima o pérdida de presión permitida
- 8.- Presión y temperatura de operación
- 9.- Observaciones

Turbina

- 1.- Número de modelo
- 2.- Dimensiones de la línea
- 3.- Conexiones de acabado
- 4.- Datos del flujo:
 - a).- Velocidad de flujo mínima y máxima
 - b).- Líquido a manejar
 - c).- Densidad o gravedad específica
 - d).- Viscosidad a una temperatura establecida (varia -
ción de viscosidad a las condiciones de operación)
 - e).- Presión mínima y máxima
 - f).- Temperatura mínima y máxima

Magnético

- 1.- Dimensiones del medidor
- 2.- Material de la línea
- 3.- Material del electrodo
- 4.- Conexiones de acabado
- 5.- Condiciones de operación:
 - a).- Líquido a medir
 - b).- Datos sobre partículas abrasivas si existen
 - c).- Velocidad de flujo máximo
 - d).- Conductividad del líquido
 - e).- Presión de operación y presión máxima
 - f).- Temperatura de operación y temperatura -
máxima (para el fluido y el ambiente)
 - g).- Especificar si la operación es sumergida
 - h).- Especificar receptor

Annubar

- 1.- Tipo de fluido y estado físico
- 2.- Velocidad de flujo máxima, normal y mínima
- 3.- Diámetro interno de la tubería o tamaño nominal de la tubería y su número de cédula.
- 4.- Presión de operación en PSIG
- 5.- Temperatura de operación en °F
- 6.- Presión barométrica o elevación en PSIA
- 7.- Accesorios y conexiones finales
- 8.- Materiales de construcción
 - Datos adicionales para flujo líquido
 - 1.- Gravedad específica a condiciones estándar y de operación
 - 2.- Viscosidad a condiciones de operación
 - Datos adicionales para flujo gaseoso
 - 1.- Densidad o gravedad específica a condiciones estándar
 - 2.- Factor de compresibilidad
 - Datos adicionales para vapor
 - 1.- Cantidad de sobrecalentamiento a la temperatura de operación o el porcentaje de mezcla.

Swirlmeter

- 1.- Dimensiones
- 2.- Número de modelo
- 3.- Rango de flujo normal en ft³/min.
- 4.- Tipo de gas o descripción completa como:
 - a).- Peso molecular
 - b).- Densidad
 - c).- Viscosidad a condiciones estándar y de operación
 - d).- Relación de calores específicos y otros que ayuden a la identificación del fluido.
- 5.- Presión y temperatura de operación
- 6.- Temperatura extrema del ambiente
- 7.- Requerimientos de compensación (presión y/o temperatura)

CAPITULO VI

SELECCION DE MEDIDORES DE FLUJO PARA LA RESOLUCION DE PROBLEMAS ESPECIFICOS

a).- Gufa para la selección del primario

En la selección del elemento primario mas conveniente para cada caso particular, es necesario tener siempre presente las siguientes consideraciones:

- 1.- Las características físicas del fluido: Así si el fluido a medir es mas o menos viscoso, tiene o no sustancias en suspensión, es un gas, líquido o vapor, estos señalan factores determinantes en una decisión.
- 2.- Los gastos mínimos, normales y máximos nos dan los límites entre los cuales podemos hacer la selección, ya que tenemos condiciones en que los gastos nos limitan y obligan a usar tal o cual medidor.
- 3.- La presión estática: La selección del rango diferencial esta basado principalmente en la presión estática del sistema. Elementos primarios que trabajan convenientemente con diferenciales de presión pequeñas son en muchos de los casos factores determinantes para una selección.
- 4.- Las dimensiones de la tubería: Veremos que existen límites en los diámetros de las tuberías que nos impiden usar ciertos elementos primarios.
- 5.- Las pérdidas de presión permisibles en el sistema: Generalmente se deben ajustar las pérdidas de presión producidas por el elemento primario a un valor especificado, que no se debe exceder. Esto conduce en algunos casos a la selección de elementos primarios que nos den caídas de presión mínimas.

A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE
ORIGEN**

TIPO DE MEDIDOR	APLICABLE PARA DETECTAR FLUJO DE :						SENSOR DE FLUJO INUSICO-DIRECTO	DETECTOR DE FLUJO VOLUMETRICO	SENSOR DE VELOCIDAD DE FLUJO	TOTALIZADOR INMERSIBLE	INDICADOR DIRECTO	TRANSMISOR DISPONIBLE	CAPACIDAD LITRAL	RANGABILIDAD	TUBERIA RECTA REQUERIDA A/D	EXACTITUD EN % • DE LA ESCALA TOTAL •• DE LA VELOCIDAD	RANGO DE FLUJO • GPM •• SCFH •• ACTH • LB/HR
	Liquidos	Vapores	Liquidos	Viscosos	Slurries	Gases											
PLACA DE ORIFICIO	A	L	-	A	-	-	A	A	-	-	A	RC	3 : 1	20/5	1/4-2 *	1x10 ⁻³ a 6x10 ⁴ *	
TUBO VENTURI	A	L	L	A	-	-	A	A	-	-	A	RC	3 : 1	20/5	1/4-3 *	6x10 ⁻³ a 6x10 ⁴ ** 1.0 a 6x10 ⁴ * y **	
TUBO DE BAJA PERDIDA DE PRESION	A	L	-	A	-	-	A	A	-	-	A	RC	4 : 1	20/5	0.75 **	3x10 ² a 1.13x10 ⁵ ** 1.6x10 ² a 6.15x10 ⁵ ** 1.0 a 6.0 x10 ⁵ * y **	
TOLERA	A	L	L	A	-	-	A	A	-	-	A	RC	3 : 1	20/5	1/4-3 *	1x10 ⁻² a 6x10 ⁴ ** 1x10 ⁻² a 6x10 ⁴ **	
MEDIDOR DE CODO	A	L	L	A	-	-	A	A	-	-	A	RC	3 : 1	25/10	5-10 *	5x10 ¹ a 6x10 ⁴ ** 1x10 ² a 6x10 ⁴ **	
TUBO PITOT	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	RC	3 : 1	40/10	2-5 *	5x10 ¹ a 6x10 ⁴ ** 1x10 ² a 6x10 ⁴ **	
TUBO PITOT VENTURI	A	L	-	A	-	-	A	A	-	-	A	RC					
ANUBAR	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	RC Cena	24/4	0.55-2.4**	20 a 3.5x10 ⁶ *		
LAHINAR	A	L	L	A	-	-	A	A	-	-	A	A	10 : 1	15/5	1-2 *	10 a 1.2x10 ⁶ ** 1x10 ⁻⁴ a 2.0x10 ⁶ **	
ROTAMETRO	A	L	L	A	-	-	A	A	-	A	A	A	10 : 1	-	1/2-2 *	1x10 ⁻⁶ a 1000 *	
TURBINA	A	L	-	L	-	-	A	A	-	-	A	A	20 : 1	15/4	1/4 **	4x10 ⁻⁶ a 4000 ** 1x10 ⁻⁵ a 1300 ** 1x10 ⁻³ a 4x10 ⁴ **	
CAJALES Y VERTEDEROS	A	L	L	-	-	-	A	A	-	-	A	CD	100:1	-	2-5 *	1 a 6x10 ⁴ *	
MOMENTUM ANGULAR	A	L	L	A	-	A	-	A	CD	CD	A	A	12 : 1	5/3	1/2-1 *	0.1 a 2000 *	
TERNICO	A	L	L	A	-	A	-	A	-	-	A	A	20:1	5/3	1-2 *	60 a 1x10 ⁴ ** 3x10 ⁻⁴ a 70 *	
DESPLAZAMIENTO DE LIQUIDOS	A	L	-	-	-	-	A	-	A	A	CD	A	20:1	-	1/4-1 **	2x10 ⁻⁵ a 1x10 ⁴ ** 2x10 ⁻⁴ a 2x10 ⁴ *	
DESPLAZAMIENTO DE GASES	-	-	-	A	-	-	A	-	A	A	CD	A	20:1	-	1/2-1 *	0.1 a 2500 **	
BOMBAS MEDIDORAS	A	A	A	-	-	-	A	-	A	-	CD	A	20 : 1	-	0.1-1 **	1x10 ⁻⁶ a 300 *	
ULTRASONICO	A	L	L	-	-	-	A	A	-	-	A	A	10 : 1	5/3	2 *	sobre diseño	
MAGNETICO	A	A	A	-	-	-	A	A	-	-	A	A	20 : 1	-	1/2-1 *	9x10 ⁻³ a 1x10 ⁵ *	
SWIRLMETER	L	L	L	A	-	-	A	A	-	-	A	A	100:1	10/0	1/2-1 **	0.1 a 3000 *	
FLUJO SOLIDO	-	CD	CD	-	A	CD	CD	A	A	CD	A	A	20 : 1	5/3	1/2-3 *	25 a 1x10 ⁵ *	

A/D = ANTES/DESPUES

L = LIMITADO

RC = RAIZ CUADRADA

CD = CIERTOS DISEÑOS A = APLICABLE

Se requiere la selección de un medidor de flujo para una línea de alimentación de benceno, la cual se encuentra horizontal y tiene 1" de diámetro nominal con cédula 80. Las condiciones de operación son las siguientes :

Flujo mínimo: 6.0 GPM

Flujo normal : 18.0 GPM

Flujo máximo : 58.0 GPM

Temperatura de operación : 100°F

Presión de entrada : 319 PSIG

Gravedad específica : 0.862

Viscosidad : 0.51 cps

Densidad : 28.5 API

Peso molecular : 78.1

Exactitud requerida : ± 0.25 % de la velocidad

Conclusiones

En base a los datos especificados, se encuentra que hay dos tipos de medidores que nos servirían:

El medidor de turbina, se utilizaría si el proceso no requiere cuantificación del flujo.

El medidor de desplazamiento positivo de líquido tipo pistón recíproco cuantificador, se utilizaría en el caso que se requiera medir volúmenes constantes de líquido.

El uso de uno u otro dependerá de las necesidades que se presenten.

Medidores útiles de acuerdo al fluido	Rango de flujo 6.0 - 58 GPM	Rangabilidad 9:1	Exactitud 0.25 % de la vel.	Otras razones	Medidor aplicable
---------------------------------------	--------------------------------	---------------------	--------------------------------	---------------	-------------------

Placa de orificio	A	NA			
Tubo venturi	A	NA			
Medidor de codo	NA				
Tubo pitot	NA				
Annubar	NA				
Rotámetro	A	A	NA		
Turbina	A	A	A		A
Canales y vertederos	A	A	NA		
Momentum angular	A	A	NA		
Térmicos	A	A	NA		
Ultrasónicos	NA				
Flujo laminar	NA				
Magnético	A	A	NA		
Desplazamiento de líquido	A	A	A		A
Bombas medidoras (Peristálticas)	A	A	A	presión de entrada alta	NA

A = Aplicable NA = No aplicable

En la línea 3523 de una planta de proceso en PELEX fluye un gas con las siguientes características:

Flujo máximo: 3.5×10^6 SCFH

Flujo normal: 2.9×10^6 SCFH

Flujo mínimo: 2.4×10^6 SCFH

Diámetro de la tubería: 8"

Presión de operación: 910 PSIG

Temperatura de operación: 173°C

Viscosidad: 0.011 cps

Factor de compresión: 1.025

C_p/C_v : 1.4

ΔP máxima: 100 in de H_2O

Gravedad específica: 9.34

Conclusiones

Debido al flujo tan grande a manejar el único medidor adecuado será el anubar ya que los otros medidores quedan limitados para el flujo máximo - que tenemos.

Se desea seleccionar un medidor de flujo que manejará aire a las siguientes condiciones:

Diámetro de tubería : 1.5"

Flujo máximo : 11988 SCFH

Flujo normal : 5711 SCFH

Flujo mínimo : 4200 SCFH

Peso molecular : 29

Presión de operación : 100 PSIG

Temperatura de operación : 68°F

P máxima : 100 in. de H₂O

Conclusiones:

Los medidores seleccionados son el swirlmeter y el annubar. El utilizar uno u otro medidor dependerá del costo, la disponibilidad, adaptación al sistema, etc.

Medidores útiles de acuerdo al fluido	Rango de flujo 4200 - 11988 SCFH	Rangoabilidad 3:1	Exactitud + 2% de la vel.	Otras razones	Medidor aplicable
---------------------------------------	--	----------------------	---------------------------------	---------------	-------------------

Placa de orificio	A	A	NA		
Tubo venturi	A	A	NA		
Tubo de baja pérdida de presión	NA				
Medidor de codo	NA				
Tubo pitot	NA				
Annubar	A	A	A	-	A
Rotámetro	A	A	NA		
Momentum angular	A	A	NA		
Térmico	A	A	NA	T ambiente	
Flujo laminar	A	A	NA	flujo turbulento	
Swirlmeter	A	A	A	-	A
Desplazamiento de gases	A	A	NA		

A = Aplicable NA = No aplicable

En la línea de alimentación a un reactor donde se fabrica oxícloruro de cobre se necesita agua con las siguientes condiciones:

Flujo máximo : 60 GPM

Flujo normal : 47 GPM

Flujo mínimo : 40 GPM

Temperatura de operación : 105°F

Presión de operación : 150 PSIG

Viscosidad a temperatura de operación : 0.7 cps.

Gravedad específica : 0.958

Se está trabajando con una placa de orificio concéntrica. La exactitud deseada es de $\pm 1\%$ de la escala total. La tubería es de 2" de diámetro y la ΔP max. es de 100 in de H_2O .

Se quiere saber si el medidor es el adecuado.

Conclusiones :

Todos los medidores que además de la placa de orificio cumplen con las condiciones del problema se indican en la hoja de selección. El no haberlos utilizado depende del seleccionador que haya investigado el medidor y lo haya elegido por costo, o tal vez por fácil mantenimiento, o quizá por disponibilidad en el mercado.

La placa de orificio es un medidor adecuado para el servicio, pero debemos mencionar al rotámetro por las ventajas que presenta en cuanto a su bajo costo, fácil disponibilidad, lectura directa, no requiere longitudes de tramo recto antes y después del medidor, casi no requiere mantenimiento, y prácticamente no tiene caída de presión.

Medidores útiles de acuerdo al fluido	Rango de flujo 40 - 60 GPM	Rangoabilidad 1.5 : 1	Exactitud ± 1% escala total	Otras razones	Medidor aplicable
---------------------------------------	-------------------------------	--------------------------	-----------------------------------	---------------	-------------------

Placa de orificio	A	A	A	-	A
Tubo venturi	A	A	A	-	A
Medidor de codo	NA				
Tubo pitot	NA				
Annubar	A	A	A	-	A
Rotámetro	A	A	A	-	A
Turbina	A	A	A	-	A
Canales y vertederos	A	A	NA	existe tubería	
Momentum angular	A	A	A	-	A
Térmicos	NA				
Ultrasónicos	NA			tubería pequeña	
Flujo laminar	NA				
Magnético	A	A	A	-	A
Desplazamiento de líquido	A	A	A	-	A
Bombas medidoras	A	A	A	-	A

A = Aplicable NA = No aplicable

Se necesita transportar agua por medio de un canal de 5 mts. de ancho por 2 mts. de profundidad, para surtir una zona de riego. Se ha calculado que con 45000 GPM se puede irrigar toda la zona. El agua proviene de un río con una temperatura de 25°C. Para conocer la cantidad de agua que pasa de bemos utilizar un medidor adecuado bajo las siguientes condiciones:

Flujo normal : 45000 GPM

Flujo máximo : 50000 GPM

Temperatura : 25°C

Presión de operación : 1 atm.

Exactitud : \pm 2% de la escala total

Conclusiones :

Por tratarse de un canal abierto los medidores adecuados son un vertedero o un canal. Este problema es un ejemplo típico del uso de estos medidores. Si la cantidad de arena que arrastra el flujo es muy grande, utilizaríamos un medidor tipo canal que no presenta el problema de acumulación como lo tendría un vertedero.

En una planta ya establecida se ocupa un medidor de flujo laminar para medir un gasto máximo de 50 lb/hr. Las características del fluido son :

Viscosidad : 6 cps

Densidad : 51.5 lb/ft³

Temperatura de operación : 70°C

Las dimensiones del medidor son : 3/8" de diámetro exterior y un espesor de pared de 0.12" de acero inoxidable 316, así como un medidor de presión diferencial 0-1 PSI. Se requiere comprobar si este medidor está bien seleccionado.

Conclusiones :

Calculamos el número de Reynolds para saber el modelo de flujo; de los datos obtenemos un R_e de 390, lo cual nos indica que tenemos un flujo laminar, por lo que el medidor nos medirá acertadamente el flujo.

En el diseño de una planta productora de oxígeno se requiere medir el flujo de éste en un punto donde se dispone de sólo 15 diámetros de tubería recta horizontal para la instalación de un medidor. Los siguientes datos - son las condiciones y propiedades del fluido:

Diámetro de la tubería : 1"

Flujo máximo : 14 ACFM

Flujo normal : 4 ACFM

Flujo mínimo : 0.7 ACFM

Peso molecular : 32

Densidad (a temperatura de operación) : 0.0892 lb/ft³

Temperatura de operación : 50°F

Presión de operación : 20 PSIG

Temperatura extrema : 70°F

Δ P max. permitida : 0.21 PSI

Exactitud: ± 0.75 % de la velocidad

Conclusiones :

En base a las condiciones y propiedades del fluido llegamos a la conclusión que los tipos de medidores mas viables son:

- a).- Swirlmeter, que tiene la característica de no tener partes móviles, mínimo mantenimiento y flujo continuo.
- b).- Medidor de desplazamiento positivo de gases, tiene algunas partes móviles que se desgastan con el uso disminuyendo la exactitud. Su costo comparado con el swirlmeter es mas bajo.

Medidores útiles de acuerdo al fluido	Rango de flujo 0.7 - 14 ACFM	Rangoabilidad 20:1	Exactitud ± 0.75% de la vel.	Otras razones	Medidor aplicable
---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------	------------------------------------	---------------	-------------------

Placa de orificio	A	NA			
Tubo venturi	NA				
Tubo de baja pérdida de presión	NA				
Medidor de codo	NA				
Tubo pitot	NA				
Annubar	NA				
Rotámetro	A	NA			
Momentum angular	NA				
Térmico	A	A	NA	T ambiente	
Flujo laminar	A	NA			
Swirlmeter	A	A	A	-	A
Desplazamiento de gases	A	A	A	-	A

A = Aplicable NA = No aplicable

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Consideramos que el presente trabajo es de utilidad para toda aquella persona que este interesada en saber que tipo de medidor puede usar en un proceso dado o bien, para consulta de un medidor de flujo en particular.

Con la experiencia adquirida durante el desarrollo de este trabajo, - nos dimos cuenta de la importancia que tiene una buena selección del medidor para evitarse posteriormente problemas durante su uso. También observamos una gran variedad de medidores no comunes que nos dan mejores resultados en ciertos casos, que los normalmente conocidos.

El tema presentado en esta tesis es de interés ya que en la actualidad aún se siguen investigando medidores que den mejores resultados en casos - especiales y consideramos que para obtener un buen criterio se necesita - compenetrarse suficientemente en las operaciones teórico prácticas.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

- Bela G. Liptak : Instrument Engineers' Handbook. Vol.I, Chilton Book Co.
- Spink L. K. : Principles and Practice of Flowmeter Engineering, Foxboro Mass. 1967.
- Perry, Robert H : Chemical Engineers' Handbook. 5^a Edición
- Foust, Alan S : Principles of Unit Operations. John Wiley and Sons, inc. New York.
- McCabe and Smith : Unit Operations of Chemical Engineering. Mc Graw-Hill Book Co.
- H.F. Rase y M.H. Barrow : Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso CECSA.
- Kern, Donald Q : Procesos de Transferencia de Calor. CECSA.
- Sears, Francis W. y Zemansky, Mark W : Física General. Ed. Aguilar.
- Petróleos Mexicanos : Instalación de Medidores de Flujo de Presión Diferencial. Norma 3.270.01, 2^a Edición. 1975.
- Gaged Meter, Inc : Boletín Técnico de Medidor de Flujo Ultrasónico , número UF - 100& 110. Tulsa, Oklahoma.
- Brooks Instrument Division, Emerson Electric Co. : A Brief Guide to the Brooks' Product Line. Boletín SP- 110.
- Ellison Instrument Div : Boletines del Annubar

John Yard : Low-Flow Measurement. Chem. Engineering. April 15, 1974.

Fischer and Porter : Measurement and Transmission. Boletín informativo.

Cortelyou, J. T. : Flow Metering. Revista Gas, Junio 1970.

W. S. Corcoran and Jesse Honeywell : Practical methods for Measuring Flows
Chem. Engineering, Julio 7, 1975.

B. G. Liptak, Crawford & Russell : Flow Metering Accuracy. Instrumentation
Technology. July 1971.

Arthur W. Trent : Metering with Gear Pumps. Chem. Eng. Febrero 20, 1975.

Donald Lynn May : Accurate Flow Measurements with Turbine Meters. Chem. eng.
Marzo 8, 1971

Especif. Gral K- 202 I H P : Instalación de Instrumentos y Dispositivos
Junio 27, 1973.