

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

**ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION
DE FLUJO DE FLUIDOS**

T E S I S

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

ARMANDO MENDOZA CASTILLO

Junio de 1979



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.

CLAS TESIS 1979
LIBR M. t.
FECHA 226
ORIG
1



JURADO:

PRESIDENTE: PROF. ROBERTO ENRIQUEZ MENDOZA
VOCAL: PROF. CARLOS DOORMAN MONTERO
SECRETARIO: PROF. ENRIQUE BRAVO MEDINA
PRIMER SUPLENTE: PROF. CLAUDIO A. AGUILAR MARTÍNEZ
SEGUNDO SUPLENTE: PROF. CARLOS BAZAN VILLEGAS.

TEMA DESARROLLADO EN:

FISPO, S. A.
CALLE 3 - 1c
NAUCALPAN, EDO. DE MÉXICO.

TERMOINDUSTRIAS, S. A.
HENRY FORD 114
TLALNEPANTLA, EDO. DE MÉXICO.

SUSTENTANTE:

ARMANDO MENDOZA CASTILLO

ASESOR DEL TEMA:

ING. ROBERTO ENRIQUEZ MENDOZA

A MI MADRE

A LOS MÍOS CON AFECTO

Í N D I C E

- I. INTRODUCCIÓN
- II. GENERALIDADES SOBRE FLUJO DE FLUIDOS
- III. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES MEDIDORES
- IV. CONCLUSIONES
- V. BIBLIOGRAFÍA.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La razón de este trabajo, es la de presentar la información requerida para la selección y aplicación de algunos elementos primarios de flujo.

Puesto que no existe un manual que abarque a los diferentes elementos primarios de flujo, esta recopilación aspira a cubrir en parte esa carencia, y sea un apoyo al ingeniero instrumentista o al ingeniero de proceso cuando tengan la necesidad de seleccionar y aplicar un medidor de flujo, al estudiante de ingeniería relacionada con las ramas de los procesos químicos o susceptibles de automatizarse, al cual le dará un panorama más amplio que el que les pueda mostrar la información suministrada por los fabricantes que en su gran mayoría tiene una marcada tendencia comercial.

Los medidores aquí incluidos se seleccionaron en base a su aplicación en la industria química, petroquímica y del petróleo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, la Instrumentación ha evolucionado desde una serie de dispositivos desarrollados para resolver necesidades específicas de medición y control, hasta convertirse en una ciencia.

La expansión de la industria del petróleo, química, de papel dieron impulso a la Instrumentación, y por otro lado, este tipo de industria no puede hoy en día prescindir de la Instrumentación.

Las variables básicas en los procesos industriales son flujo, presión, nivel, temperatura y concentración; cada variable tiene sus propias características sin importar su aplicación, las cuales pueden prestarnos una gran ayuda para la selección de los criterios de control a establecer.

I.1 CARACTERISTICAS DE LAS VARIABLES FUNDAMENTALES

Una de las características principales que nos describen un proceso, es la constante de tiempo, la cual es una función de todas las cargas del sistema, condiciones de retraso de las propiedades físicas de las variables. En la siguiente figura se presentan algunas variables y en ella podemos observar que el flujo se encuentra como la variable más rápida, mientras que la temperatura y los análisis químicos, como las variables de constante de tiempo más grande.

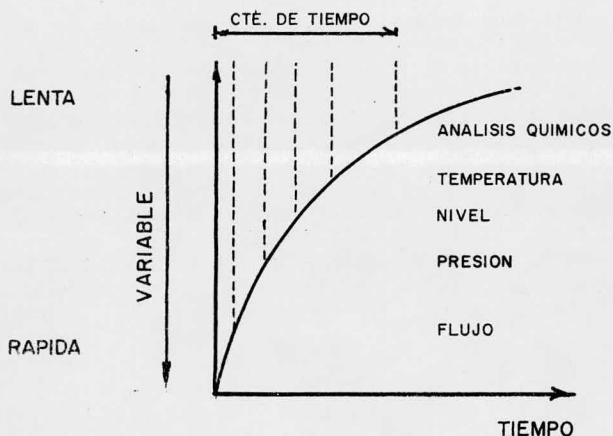


FIGURA 1

I.2 CAPACITANCIA

Es una característica que se relaciona con capacidad, la capacitancia es el cambio en la cantidad contenida por cambio unitario en una variable de referencia, se mide en unidades de la cantidad contenida dividida entre la variable de referencia. Por

ejemplo, la capacitancia en un nivel líquido es el cambio de volumen por unidad de cambio en altura.

$$C = \frac{dv}{dh} = \Delta$$

C = Capacitancia M³/M

dv= Cambio de volumen M³

dh= Cambio de altura M

Δ = Area del tanque en superficie de líquido M²

I.3 RESISTENCIA

Esta característica de los procesos es la de presentar una oposición al flujo de una variable. Se mide en unidades del cambio potencial requerido para producir un cambio unitario en el flujo. En todos los circuitos de control se presenta la resistencia y particularmente en procesos de temperatura. Varias unidades dimensionales de resistencia son:

FLUJO

M/L/MIN.

PRESION KG/CM²/KG/SEG.

I.4 TIEMPO MUERTO

El tiempo muerto puede ocurrir en cualquier variable donde el proceso se ve afectado por perturbaciones que no son detectadas inmediatamente por los sensores. Se mide en unidades de tiempo.

1.5 VARIABLE FLUJO

La importancia en el conocimiento de esta variable radica en la utilidad que nos brinda para efectuar el balance de materia procedimiento fundamental en todo proceso industrial. El flujo es una variable de proceso rápida, teniendo una capacitancia muy baja.

Es de gran importancia conocer qué tipo de fluido es el que se estará manejando, pues de esto depende el elemento primario a utilizar y material del elemento.

C A P I T U L O I I

GENERALIDADES SOBRE FLUJO DE FLUIDOS

FLUJO DE FLUIDOS

GENERALIDADES.-

II.1 DEFINICION DE FLUIDO

Fluido es aquella substancia que debido a su poca cohesión intermolecular carece de una forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene; y una segunda definición más rigurosa dice: En los fluidos, la deformación aumenta continuamente bajo la acción del esfuerzo cortante por pequeño que éste sea.

Los fluidos se clasifican en líquidos y gases.

Los líquidos a una presión y temperatura determinadas ocupan un volumen determinado. Introducido el líquido en un recipiente adopta la forma del mismo, pero llenando sólo el volumen que le corresponde. Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo la atmosférica, el líquido adopta una superficie libre plana, como la superficie de un lago o un cubo de agua.

Los gases a una presión y temperatura determinada tienen también un volumen determinado, pero puestos en libertad, se expanden hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene y no presentan superficie libre.

Resumiendo lo anterior, para los tres estados de la materia, tenemos: los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y volumen; los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen pero, no de forma; y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumen..

Por lo tanto, el comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías), pero no en conductos abiertos (canales) porque sólo los líquidos son capaces de crear una superficie libre.

II.2 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Peso específico

Peso específico es el peso por unidad de volumen y se representa por la letra γ

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

W = Peso en KG

V = Volumen M³

II.3 DENSIDAD ESPECIFICA O ABSOLUTA

La densidad es la masa por unidad de volumen y se representa por la letra ρ

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

Donde: $M = \text{Masa en } \frac{\text{KG SEG}^2}{\text{M}} \text{ ó UTM}$

$V = \text{Volumen } \text{M}^3$

II.4 DENSIDAD RELATIVA

La densidad relativa es la relación entre el peso o masa del cuerpo al peso o masa de un mismo volumen de agua destilada a la temperatura de 4°C. Esta relación es igual a la de los pesos específicos o a las densidades del cuerpo y del agua. Es evidente que la densidad relativa es adimensional.

II.5 VOLUMEN ESPECIFICO

El volumen específico es el recíproco del peso específico, es decir, el volumen que ocupa 1KG de peso de la substancia.

$$v = \frac{1}{\gamma}$$

Donde $\gamma = \frac{\text{KG}}{\text{M}^3}$

$$v = \frac{\text{M}^3}{\text{KG}}$$

II.6 COMPRESIBILIDAD

En los fluidos, lo mismo que en los sólidos, se verifica la ley fundamental de la elasticidad.

El esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria. En nuestro caso, el esfuerzo unitario considerado es el de compresión. ΔP

Entonces, la deformación unitaria es la deformación unitaria de volumen $\frac{\Delta v}{v}$ Por lo tanto, la ley anterior se traduce en la siguiente fórmula:

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

Donde:

ΔP - Esfuerzo unitario de compresión KG/M^2

v - Volumen específico M^3/KG

Δv - Incremento de volumen específico M^3/KG

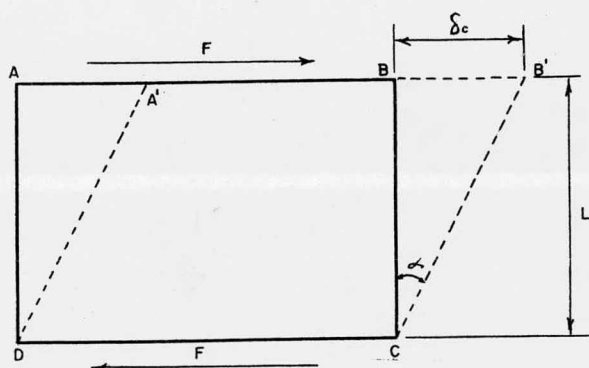
E - Módulo de elasticidad volumétrica K/M^2

El signo (-) en la fórmula, indica que a un incremento en la presión, corresponde un decremento de volumen. Por otro lado, al aumentar la temperatura y presión el coeficiente aumenta.

II.7 VISCOSIDAD DINAMICA

Un sólido puede soportar esfuerzos normales de compresión y de tracción. Un líquido puede soportar esfuerzos de compresión pero no de tracción. Los sólidos y fluidos pueden estar sometidos también a esfuerzos cortantes o esfuerzos tangenciales. En ellos, la fuerza es paralela al área sobre la que actúa. Todos los cuerpos se deforman bajo la acción de las fuerzas

tangenciales a que están sometidos. En los cuerpos elásticos, la deformación desaparece cuando deja de actuar la fuerza. En la deformación plástica subsiste la deformación, aunque desaparezca la fuerza deformadora. Supongamos un elemento ABCD de forma rectangular en un cuerpo sólido sujeto a un esfuerzo cortante. Si el elemento estuviera sometido a tracción, experimentaríamos un aumento de longitud; pero el elemento de la figura sujeto a un esfuerzo cortante, sufre un cambio de forma del rectángulo ABCD al paralelogramo A'B'CD.



II.8 PRINCIPIO DE TORRICELLI

Sea el depósito de la Fig. 3 de forma cualquiera que contiene un líquido, por ejemplo agua, y que tiene en la parte inferior un orificio O provisto de una tubería T que termina en una válvula V

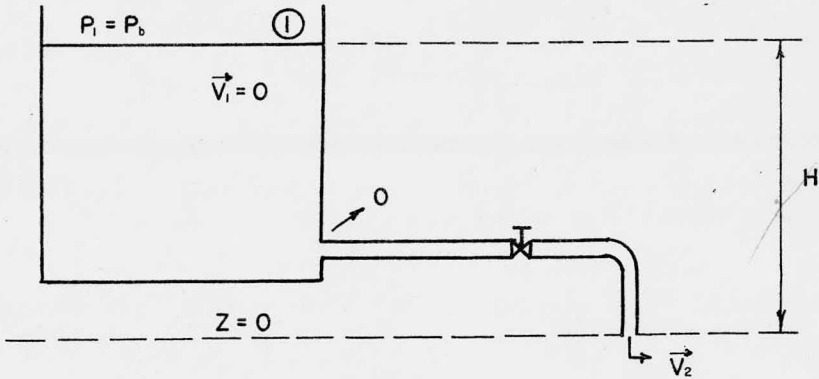


FIGURA 3

Debido a que el depósito entra una cantidad de fluido igual al que está saliendo la altura H se mantiene constante y la velocidad en el punto uno, será cero y la energía potencial será $Z = H$. Por otro lado, si despreciamos las pérdidas por fricción y aplicamos la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{\vec{V}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{\vec{V}_2^2}{2g}$$

$$P = \frac{G/CM^2}{\frac{G}{CM^3}} = \frac{G \text{ CM}^3}{G \text{ CM}^2} = \text{CM}$$

$\frac{P_1}{\gamma}$ = Presión estática en términos de columna de Lf., o energía de presión.

Z_1 = Energía potencial

$\frac{\vec{V}_2^2}{2g}$ = Energía cinética

O sea que en el punto uno la presión relativa es nula, o dicho de otra manera, la presión en este punto es la presión atmosférica y como es la misma en el punto dos

$$0 + H + 0 = 0 + 0 + \frac{\vec{v}_2^2}{2g}$$

De donde se concluye que la velocidad en este punto es independiente de la densidad y que esta velocidad es igual a la que adquiriría una partícula de fluido al caer libremente desde una altura H

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

Pero debido a que la ecuación anterior nos mostraría la velocidad teórica y que para efectos prácticos no nos serviría, existe la necesidad de introducir un factor C llamado coeficiente de descarga y el cual nos representa la eficiencia con la cual la energía de presión se convierte en energía de velocidad.

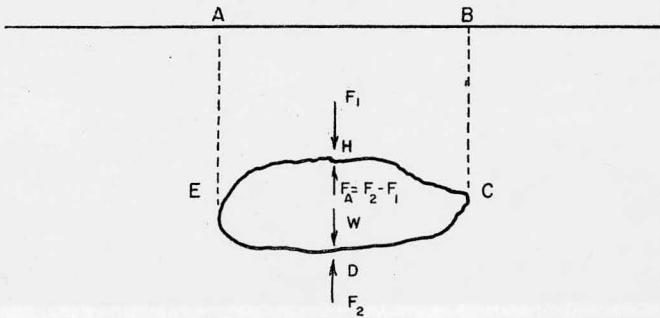
$$C = \frac{\text{Flujo Real}}{\text{Flujo Teórico}}$$

II.9 PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

En un cuerpo sumergido actúa sobre la cara superior la fuerza F_1 , igual al peso del líquido ABCHE, y sobre la cara inferior la fuerza F_2 , igual al peso del líquido representando en la figura por ABCDE, el cuerpo está sometido pues a un empuje ascendente que es la resultante de estas dos fuerzas:

$$F_A = F_2 - F_1$$

pero $F_2 - F_1$ es el peso de un volumen de líquido desalojado por el cuerpo al sumergirse, entonces el principio de Arquímedes se puede enunciar de la siguiente manera: "Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del líquido que desaloja".



Sobre el cuerpo sumergido EHCD, actúa también su peso o sea, la fuerza de la gravedad y se tiene lo siguiente:

1. Si W es mayor que F_A , el cuerpo se hunde totalmente.
2. Si W es menor que F_A , el cuerpo sale a la superficie hasta que el peso del fluido de un volumen igual al volumen sumergido iguale al peso .
3. Si $W = F_A$, el cuerpo se mantiene sumergido en la posición que se le deje.

CAPITULO III

CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES
MEDIDORES

III.1 MEDIDORES DE AREA VARIABLE Y PRESION DIFERENCIAL CONSTANTE.

Los rotámetros son conocidos desde 1868, cuando se otorgó la patente en Estados Unidos a Edmundo Chameroy, originario de París, Francia.

Antiguamente, los rotámetros que se utilizaban en América y Europa empleaban un flotador con unas incisiones en la periferia, las cuales le impartían un movimiento de rotación, el cual servía para estabilizar y centrar el flotador.

En su forma más elemental, el medidor de flujo de área variable consiste de dos partes esenciales.

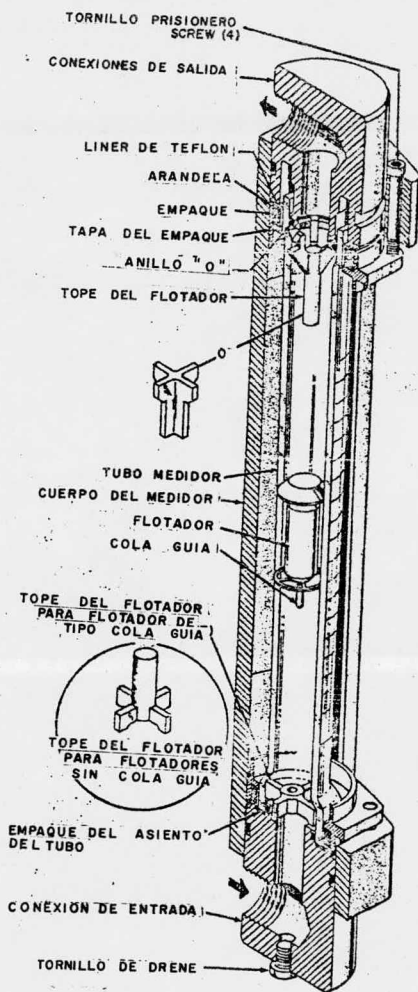
- A) Un tubo de vidrio de borosilicato con guías internas y una cierta conicidad para ser montado verticalmente en el arreglo de la tubería. El extremo con el diámetro mayor siempre estará localizado en la parte superior del arreglo. El material del tubo no siempre será necesariamente vidrio, sino, que puede ser un metal.
- B) Un flotador el cual es libre de moverse dentro del tubo guiado en el plano vertical.

El flujo dentro del rotámetro se establece de la parte inferior a la parte superior, cuando no exista flujo, el flotador

descansará en la parte inferior bloqueando casi totalmente la entrada del fluido. Al establecerse el flujo, el flotador se eleva momentáneamente debido al efecto de flotación,, pero debido a su peso o mayor densidad, tiende a descender ocasionando con esto una reducción del área anular o área de paso, la cual es el área libre que existe entre la pared del tubo y el flotador y esto trae como consecuencia una caída de presión dentro del rotámetro, que aumentará conforme disminuya el área de paso. El efecto de flotación y el aumento en la caída de presión continua hasta que se logra una condición en la que, la diferencia de presión a través del flotador (presión positiva) más el efecto de flotación son suficientes para vencer la presión ocasionada por el peso del flotador (presión negativa) dentro del caudal de flujo.

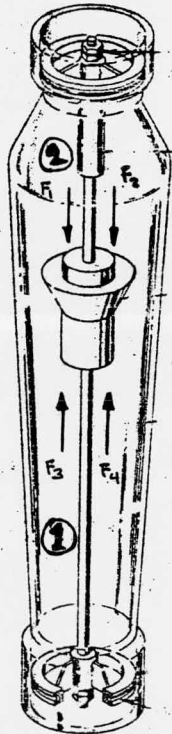
Con el movimiento del flotador hacia arriba, es decir al extremo de mayor diámetro, el área anular o área de paso se va incrementando gradualmente presentándose con esto, una reducción o disminución en la presión diferencial a través del flotador. Cuando se establece un flujo determinado, el flotador alcanzará su equilibrio dinámico, cualquier cambio en el flujo hará que el flotador cambie de posición, un aumento lo elevará y una disminución causará una caída.

Esta forma de comportamiento nos establece que a cada posición del flotados dentro del tubo, le corresponde un valor de flujo perfectamente determinado. Por lo tanto, un rotámetro es un medidor con características repetibles.



III.11 DESARROLLO DE LA ECUACION BASICA DE FLUJO EN ROTAMETROS

Para efectuar el desarrollo de esta ecuación, es necesario apoyarse en el Principio de Arquímedes y el Principio de Torricelli. Suponiendo un flotador sumergido en cualquier líquido, éste se encuentra afectado por diferentes fuerzas tal y como se indica en la figura



FUERZAS ACTUANTES SOBRE UN FLOTADOR
SUMERGIDO EN UN FLUIDO

FIGURA 2

De la figura anterior, las fuerzas que actúan hacia abajo, serán:

$$F_1 \quad \text{Peso del flotador } W_f, \text{ pero } W_f = V_f \rho_f$$

$$F_1 = V_f \rho_f$$

$$F_2 \quad \text{Presión corriente abajo por área del flotador } A_f$$

$$F_2 = P_2 A_f$$

Fuerzas que actúan hacia arriba en el flotador:

$$F_3 \quad \text{Fuerza que es debida al Principio de Arquímedes}$$

$$F_3 = V_f \rho_l$$

$$F_4 \quad \text{Presión corriente arriba por área del flotador } A_f$$

$$F_4 = P_1 A_f$$

En el equilibrio:

$$(a) \quad F_1 + F_2 = F_3 + F_4$$

y substituyendo los valores de cada una de las fuerzas tenemos:

$$(b) \quad V_f \rho_f + P_2 A_f = V_f \rho_l + P_1 A_f$$

$$(c) \quad (V_f \rho_f + P_2 A_f) - (V_f \rho_l + P_1 A_f) = 0$$

$$(d) \quad V_f (\rho_f - \rho_l) - A_f (P_2 - P_1) = 0$$

$$(e) \quad V_f (\rho_f - \rho_l) = A_f (P_2 - P_1)$$

$$(f) \quad (P_2 - P_1) = \Delta P$$

$$(g) \quad \Delta P = \frac{V_f}{A_f} (\rho_f - \rho_l) \quad \delta \quad \Delta P = \text{CTE}$$

Aplicando el Principio de Torricelli para velocidad en un orificio:

$$(h) \quad v = C \sqrt{2hg}$$

y como sabemos que $Q = VA$.

$$(i) \quad \text{Tenemos } Q = CA_o \sqrt{2gh}$$

si $\rho_L h = \Delta P$ en términos de columna de líquido

$$(j) \quad \rho_L h = \frac{V_F}{A_F} (\rho_F - \rho_L) \quad h = \frac{V_F}{A_F} \frac{(\rho_F - \rho_L)}{\rho_L}$$

$$(k) \quad Q = CA_o \sqrt{2g \frac{V_F}{A_F} \frac{(\rho_F - \rho_L)}{\rho_L}}$$

$$(l) \quad Q = CA_o \sqrt{2g} \sqrt{\frac{V_F}{A_F} \frac{(\rho_F - \rho_L)}{\rho_L}}$$

El área del flotador será:

$$(m) \quad A_f = \frac{\pi D_f^2}{4}$$

El área del tubo será:

$$(n) \quad A_T = \frac{\pi D_T^2}{4}$$

Por lo tanto A_o ó Area libre es $A_T - A_f$, si por otro lado existe la característica del Taper que es la relación de D_T/D_f , y se representa con la letra α y esto es en otras palabras la conicidad del tubo y no puede ser mayor de 1.41, ya que arriba de este valor el área libre es mayor que el área de entrada y se presenta el fenómeno de cavitación o bailoteo en el flotador.

$$\alpha = \frac{D_T}{D_f} \quad D_T = \alpha D_f$$

$$(p) \quad A_o = \frac{\pi}{4} D_T^2 - \frac{\pi}{4} D_F^2$$

De la relación de Taper

$$D_T = \alpha D_F$$

$$(p_1) \quad A_o = \frac{\pi}{4} (D_T^2 - D_F^2) \quad o'$$

$$(p_2) \quad A_o = \frac{\pi}{4} (\alpha^2 D_F^2 - D_F^2)$$

$$(p_3) \quad A_o = \frac{\pi}{4} (\alpha^2 - 1) D_F^2$$

Regresando a la ecuación de gasto, tenemos que:

$$(q) \quad Q = C \frac{\pi}{4} (\alpha^2 - 1) D_F^2 \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{\frac{W_F}{\rho_F}}{\frac{\pi}{4} D_F^2} \left(\frac{\rho_F - \rho_L}{\rho_L} \right)}$$

Sacando $\frac{\pi}{4} D_F^2$ del radical queda la ecuación de la siguiente forma:

$$(r) \quad Q' = C \sqrt{\frac{\pi}{4}} D_F (\alpha^2 - 1) \sqrt{2g} \sqrt{\frac{W_F}{\rho_F} \left(\frac{\rho_F - \rho_L}{\rho_L} \right)}$$

(s) Si $\left[\frac{W_F \rho_F - W_F \rho_L}{\rho_F} \right]$ es el peso del flotador dentro del líquido y lo representamos por F y lo sustituimos en la ecuación

$$(t) \quad Q = C \sqrt{\frac{\pi}{4}} D_F (\alpha^2 - 1) \sqrt{2g} \sqrt{\frac{F}{\rho_L}}$$

Como los siguientes términos son constantes para ciertas condiciones, se pueden agrupar en un sólo término.

$$(u) \quad C \sqrt{\frac{\pi}{4}} D_f (\alpha^2 - 1) \sqrt{2g} = K$$

$$(v) \quad Q = K D_f \sqrt{\frac{F}{\rho_L}}$$

Si $W = Q \rho_L$ (gasto gravimétrico)

$$(x) \quad W = K D_f \sqrt{\frac{F}{\rho_L} \rho_L^2} \quad \text{y finalmente se llega a:}$$

$$(y) \quad W = K D_f \sqrt{F \rho_L}$$

De la ecuación anterior se pueden concluir los siguientes puntos:

1. Un rotámetro puede ser un medidor de gasto gravimétrico.
2. La lectura sobre la escala del mismo será del tipo lineal.
3. La densidad del fluido influye en una forma determinante en la medición, esto es, un fluido con variaciones de densidad no es recomendable de medir por un rotámetro.

III.12 CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LOS ROTAMETROS

En el desarrollo técnico de los rotámetros encontramos una característica fundamental sobre la cual descansa su principio de operación y es considerar un comportamiento casi lineal a Números Reynolds tan bajos como 1000, en el caso de flotadores estables a la viscosidad; y Números de Reynolds de 10,000 para

flotadores no estables a la viscosidad.

Para llegar a establecer esta característica, se propuso la siguiente relación:

$$N = \frac{\mu}{\sqrt{w_f \frac{(\rho_f - \rho) \rho}{\rho_f}}}$$

A este número N se le relacionó con el coeficiente K de la ecuación general de los rotámetros, de donde

$$K = \frac{w_f}{D_f \mu} N$$

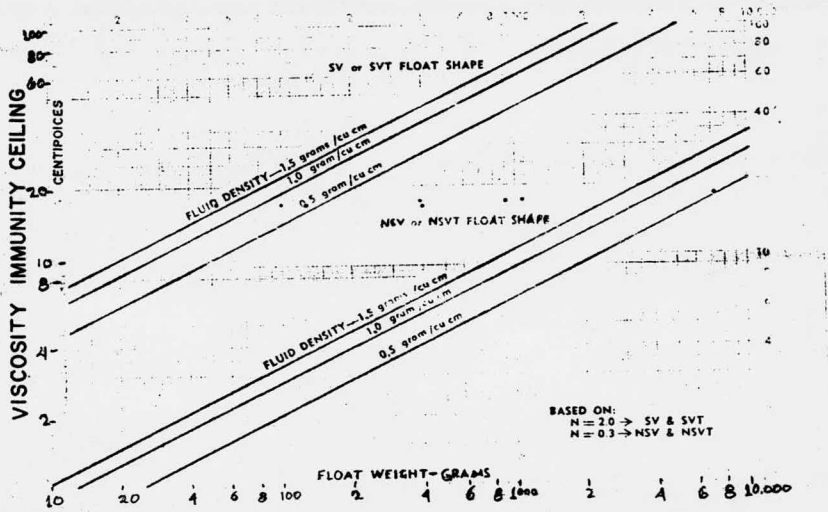
siendo N el número de influencia de viscosidad.

Existen gráficas de N vs Re para diferentes valores de D_T/D_f , con lo cual se obtiene la ventaja de hacer mediciones de flujo bastante pequeños.

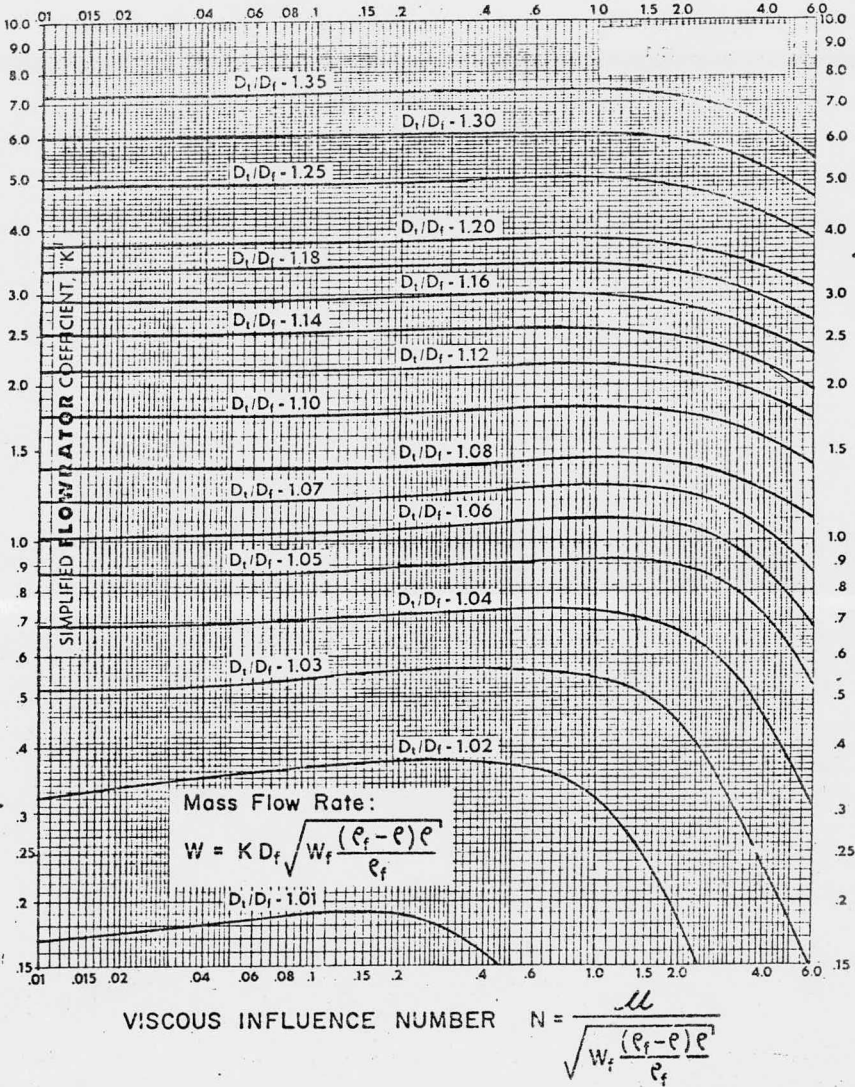
Existe otro término llamado VIC, el cual es la abreviatura de "Viscosity Immunity Ceiling" y que se puede traducir como: "Inmunidad Máxima a la Viscosidad". Este concepto de VIC, nos indica también cuanto es independiente un flotador a los efectos de la viscosidad, por lo tanto, un flotador SV tiene un VIC mayor que un flotador NSV.

Existen gráficas que relacionan peso del flotador, densidad del

fluido y VIC, siendo el valor del VIC el punto en el cual la curva de un flotador pierde su orientación horizontal.

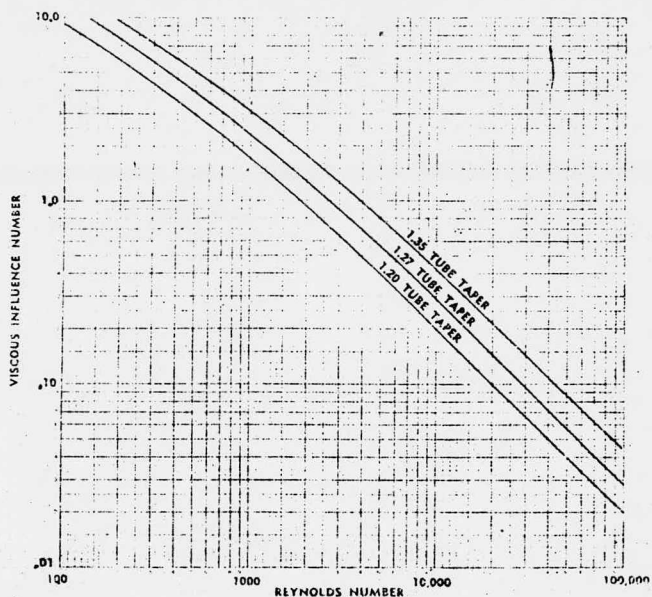


GRAFICA DE VIC -vs- PESO DEL FLOTADOR



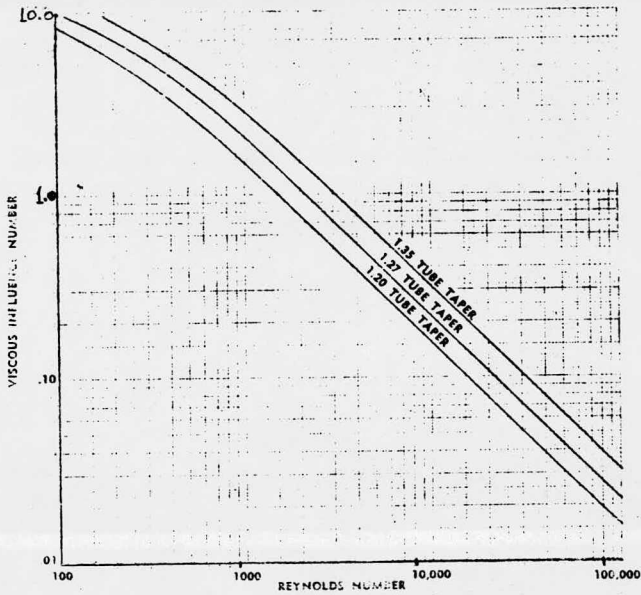
GRAFICA DE N vs K

El punto donde se pierde la característica recta se conoce como VIC



GRAFICA DE CORRELACION DE NUMERO DE REYNOLDS vs NUMERO DE INFLUENCIA DE VISCOSIDAD PARA FLOTADORES NSV.

En la gráfica arriba mostrada, se aprecia que el flotador de tipo NSV no se comporta en forma lineal a números de Re abajo de 10,000, como ya se mencionó anteriormente.



GRAFICA DE CORRELACION DE NUMERO DE
Re vs NUMERO DE INFLUENCIA DE VISCO-
SIDAD PARA FLOTADORES SV.

En esta gráfica podemos observar que las curvas son de forma lineal después del valor 1,000 para el número de Re. Esta característica nos permite la medición de flujos laminares.

III.13 TIPOS DE FLOTADORES

Como ya se mencionó anteriormente, existen dos tipos de flotadores SV y NSV.

Las características principales de los flotadores son:

1. Diseñados hidráulicamente
2. Son predecibles en su comportamiento.



FLOTADOR DE FORMA ESTABLE A LA VISCOSIDAD

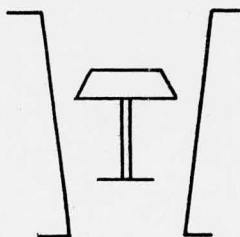
SV



FLOTADOR DE FORMA NO ESTABLE A LA VISCOSIDAD

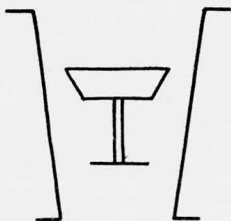
NSV

El flotador SV es el flotador más usado para fluidos con variaciones de viscosidad, las cuales producen pequeños cambios en el coeficiente de flujo K. El flotador SV en combinación con la pared del tubo, tiene un comportamiento similar a la placa de orificio.



FLOTADOR SV

Si invertimos la forma de este flotador, tendremos el flotador NSV, el cual en combinación con la pared del tubo se comporta como una tobera de flujo.



FLOTADOR NSV

Los flotadores NSV se usan principalmente en fluidos de baja viscosidad y sin variaciones en la misma. Por otro lado, para un mismo tamaño de tubo y flotador, el de tipo NSV, puede me-

dir una mayor cantidad de flujo que uno de tipo SV.

A partir de estos flotadores que se pueden llamar básicos. Existen otros, los cuales cumplen con funciones específicas.

FLOTADOR USV

Este flotador es usado cuando existe la necesidad de que el flotador sea lo más liviano posible para que la caída de presión dentro del rotámetro sea mínima. Este flotador tiene la siguiente forma:



FLOTADOR USV

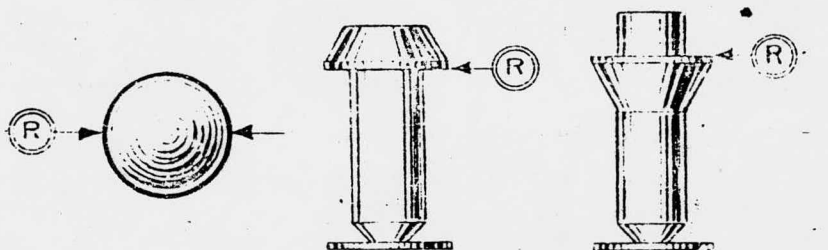
FLOTADORES SVT y NSVT

Estos flotadores son similares a los flotadores básicos, excepto que requieren una gufa para darles mayor estabilidad y se emplean en tubos con gufas.

III.14 LECTURA DE FLUJO

La lectura del flujo en un rotámetro se hace con relación a la altura que guarda el flotador dentro del tubo. Pero es necesario especificar qué parte del flotador nos indicará el flujo.

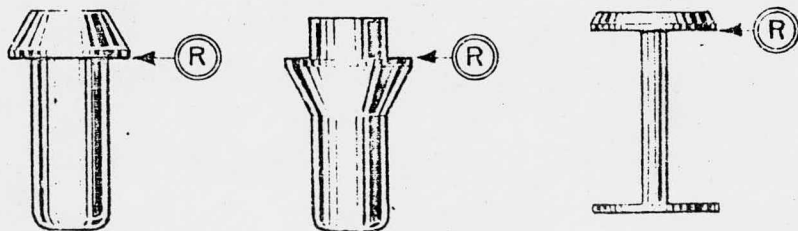
Las siguientes figuras nos muestran la parte del flotador en la cual debe hacerse la lectura.



BALL

BSVT

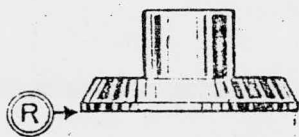
NSVT



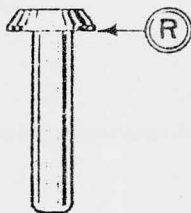
SVP - SVIP
PSV - PSVI

NSVP

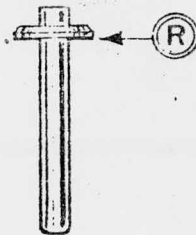
Punto de lectura de flujo en un rotámetro para diferentes formas de flotadores.



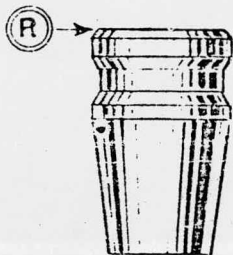
USVP



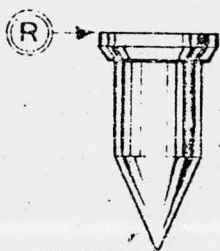
- FS -



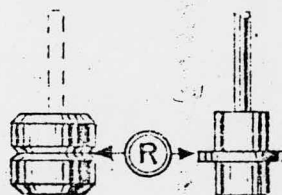
- FSI -



BL



FG-FL

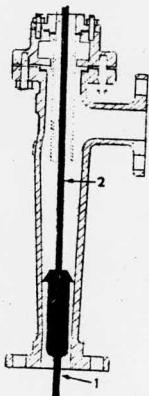


RG - RI

Puntos de lectura de flujo en un rotámetro para diferentes formas de flotadores.

III.15 FLOTADORES CON EXTENSION

Los flotadores con extensión son flotadores usados generalmente en combinación con tubos metálicos y su forma más común es la siguiente:



FLOTADOR CON EXTENSION

La parte sombreada sobre la extensión está magnetizada y el movimiento sobre el eje vertical del flotador es seguido por una horqueta provista, también, de un imán permanente, cuyo movimiento puede ser usado para diferentes funciones como son:

- Registro
- Integración
- Indicación
- Transmisión
- Indicación con alarmas.

Es posible usar flotadores con extensión en tubos de vidrio, aunque su uso está más reducido.

La extensión puede ser doble, es decir, tener dos zonas imantadas y usarse esta característica para tener indicación en campo y accionar un mecanismo de alarma.

III.16 MATERIAL DE LOS FLOTADORES

Debido a la importancia que tiene la uniformidad de peso y densidad en un flotador para que su comportamiento sea predecible, no es aconsejable usar para su elaboración materiales cerámicos, plásticos o metales porosos. El material más común para la elaboración de flotadores es el acero inoxidable 316, sin embargo, existe una gran variedad de materiales. La utilización de uno u otro material depende primeramente del tipo de fluido a manejar y de las condiciones de proceso.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Acero Inoxidable 316

Nickel

Hastelloy B y C

Monel

Alloy 20

Latón

MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA FLOTADORES ESFERICOS

Acero inoxidable 316

Vidrio

Zafiro

Tántalo

III.17 TUBOS DE MEDICION

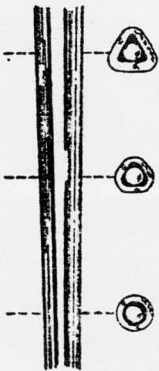
El tubo de medición en un rotámetro, es la segunda parte importante dentro de su construcción y existen tres formas básicas que son:

Tubo Guiado

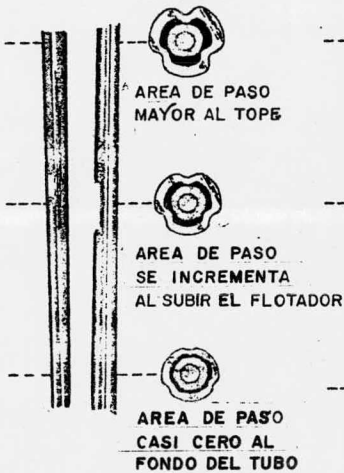
Tubo Plano

Tubo de tres partes

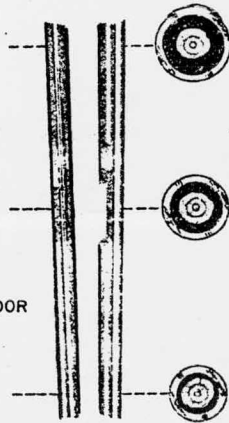
TUBO DE TRES PAREDES



TUBO GUIADO



TUBO PLANO



CARACTERISTICAS DE AREA DE FLUJO DENTRO DE LAS TRES
FORMAS DE FLUJO

TUBO GUIADO

El tubo guiado es un tubo generalmente de vidrio con tres guías inter-construídas sobre su cara interna. Estas guías tienen como objeto dar una estabilidad mayor al flotador, evitando el bai-

loteo o cavitación, lo cual facilita la lectura sobre la escala.

TUBO PLANO

El tubo plano es un tubo, el cual puede manejar un caudal de flujo mayor en un mismo tamaño que un tubo guiado. La estabilización del flotador dentro de este tipo de tubos se hace por medio de una guía que lleva integrada el flotador.

TUBO DE TRES PAREDES

Este tipo de tubos se usa principalmente para la medición de flujos muy pequeños y el tipo de flotador que utilizan es de forma esférica.

TIPOS DE TUBOS

Metálicos

Vidrio

Los tubos metálicos se utilizan cuando las condiciones de proceso, así como el tipo de fluido son bastante severas, por ejemplo, altas presiones, elevadas temperaturas, fluidos opacos.



ROTÁMETRO CON TUBO PLANO METÁLICO INDICADOR SOLAMENTE

TUBOS DE VIDRIO

Los tubos de vidrio se utilizan cuando las condiciones de proceso no rebasan los siguientes valores:

Temperatura 205°C

Presión 10.6K/CM² a 30.3 K/CM²

Fluido Translucido.

TAMAÑO DE TUBOS

Tubos Metálicos

12.7mm, 19.05mm, 38.1mm, 50.8mm. 76.2mm.

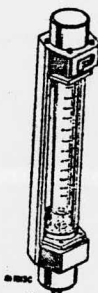
Tubos de vidrio de tres paredes

1.58mm, 3.175mm, 6.35mm.

Tubos de vidrio guiados

12.7mm, 19.05mm, 25.4mm, 38.1mm, 50.8mm.

Estas dimensiones están referidas a los tamaños comerciales de rotámetros.



ROTÁMETRO CON TUBO GUIADO DE VIDRIO INDICADOR

III.18 CONEXIONES

Las conexiones de un rotámetro pueden ser de tres tipos:

1. Roscadas
2. Bridadas
3. De Manguera.

Las conexiones roscadas se utilizan cuando las presiones a que estará sometido el rotámetro no exceden los $9\text{K}/\text{CM}^2$.

Las conexiones bridadas se utilizan cuando la presión en la línea llega a los $73\text{K}/\text{CM}^2$, y se fabrican en rangos de 10.5, 21 y $42\text{K}/\text{CM}^2$.

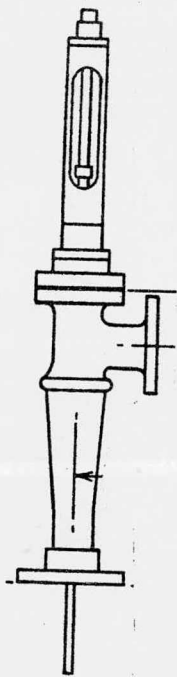
Las conexiones de manguera, se utilizan en procesos de laboratorio.

Los materiales de construcción de las conexiones son:

- Acero al carbón
- Acero inoxidable
- Nickel
- Hastelloy B y C
- Alloy 20
- Monel.

La utilización de cualquiera de ellos, está determinada por el tipo de fluido a manejar.

Ejemplos de rotámetros con las diferentes conexiones:



ROTÁMETRO CON CONEXIONES
BRIDADAS



ROTÁMETRO CON CONEXIONES
ROSCADAS

ORIENTACION DE LAS CONEXIONES:

Las conexiones en un rotámetro, no pueden estar orientadas en cualquier dirección, esto es, pueden ser:

- a) Horizontales
- b) Verticales
- c) En combinación horizontal - vertical.

Las conexiones horizontales se pueden rotar 360° para facilitar la instalación, y en caso de las combinaciones, la entrada del fluido puede ser horizontal y la salida vertical.

TAMAÑOS DE LAS CONEXIONES:

Conexiones Roscadas:

1.58mm 3.17mm 6.35mm 12.7mm 19.05mm 25.4mm 38.1mm 50.8mm

Conexiones Bridadas

25.4mm 38.1mm 50.8mm 76.2mm

En el caso de rotámetros con tubo de metal, existe la posibilidad de contar con la opción a caquetas de vapor, esta opción es aplicable cuando el fluido a manejar es susceptible a los cambios de temperatura y llegará a solidificar dentro del rotámetro. En estos rotámetros, las conexiones son de 50.8mm, 76.2mm, 101.6mm.

EMPAQUES Y JUNTAS

El material de construcción para los empaques y juntas de los rotámetros es muy importante, ya que de su resistencia a la corrosión, se determina en gran medida, la periodicidad del mantenimiento.

Los materiales en los cuales se fabrican son:

Neopreno

Durabla

Teflón.

CALIBRACION

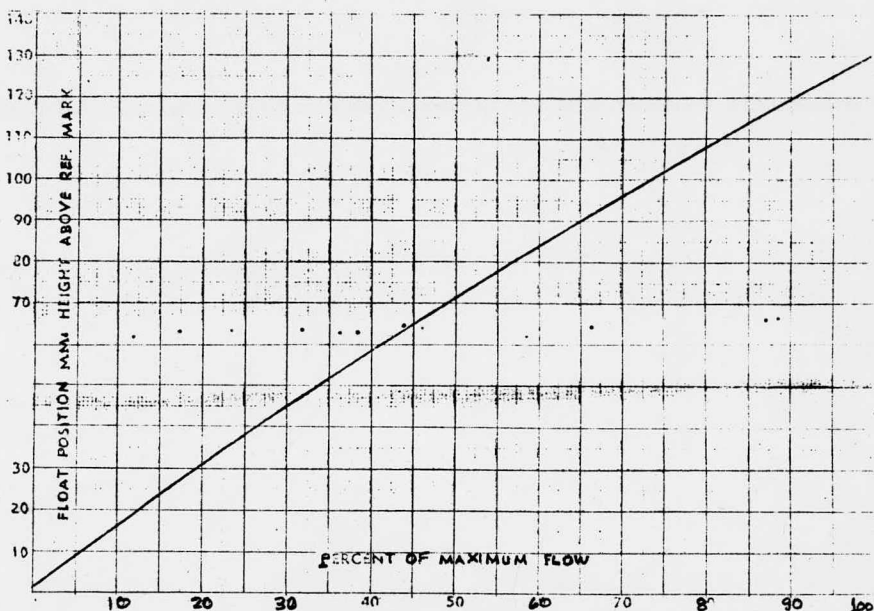
Los rotámetros para usos industriales son calibrados de fábrica a una exactitud de $\pm 2\%$ del flujo máximo y, como opción se pueden calibrar al $\pm 1\%$ del flujo máximo.

ESCALAS

La escala más comunmente usada es la de %, llevando el rotámetro una placa en la cual se especifica el tipo de fluido, condiciones de presión y temperatura, gravedad específica y flujo máximo al 100%.

Existen también escalas de lectura directa en unidades de volumen o masa.

El tipo de escala se puede considerar lineal, aunque presenta una ligera desviación a la línea recta como se puede apreciar en la siguiente gráfica.

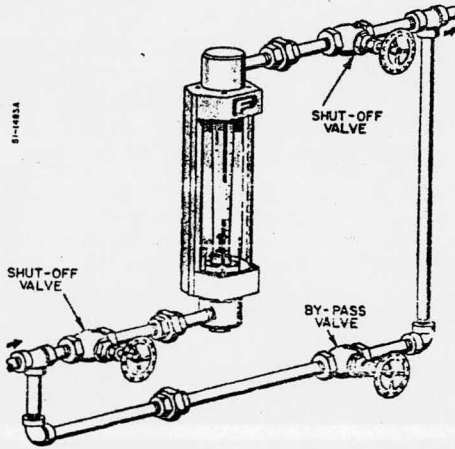


CURVA BÁSICA DE CALIBRACIÓN % DE FLUJO
VS. POSICIÓN DEL FLOTADOR

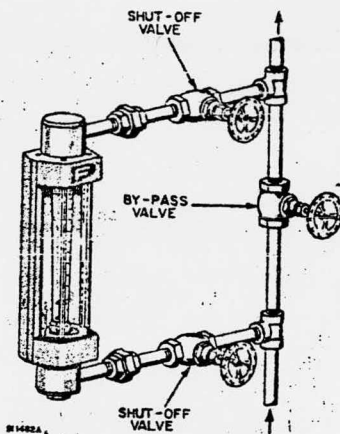
INSTALACION

La instalación de los rotámetros se hace directamente sobre la línea de proceso. En el caso de instalar un rotámetro en la misma línea donde se usen compresores o bombas recíprocantes, es necesario el uso de cámaras de amortiguamiento.

El rotámetro debe ser instalado verticalmente con la conexión de salida en la parte superior. En el caso de rotámetros con tubo de vidrio, el lugar debe ser lo suficientemente alumbrado para la fácil localización y lectura del flotador.



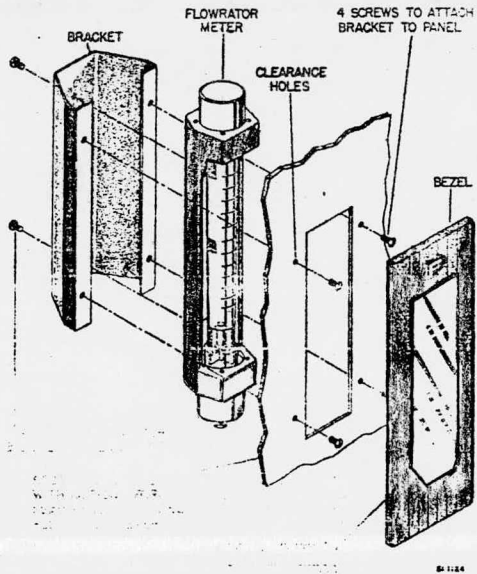
INSTALACIÓN DE ROTÁMETRO CUANDO LA LÍNEA DE PROCESO ESTA ORIENTADA HORIZONTALMENTE.



INSTALACIÓN DE ROTÁMETRO CUANDO LA LÍNEA DE PROCESO ESTÁ ORIENTADA VERTICALMENTE.

Cuando se instala un rotámetro, es necesario colocar un "by-pass" para permitir la operación de la línea de proceso cuando se le haga mantenimiento al medidor. Para el servicio de líquidos, el diámetro de la línea de proceso puede ser más grande una medida de tubería que el diámetro de la conexión del medidor, no ocurriendo lo mismo para el servicio de gases, en el cual se recomienda que el diámetro de la línea sea una medida de tubería más pequeña que el diámetro de la conexión del rotámetro. Además de que es necesaria la instalación de una válvula a la salida del mismo para causar una contra-presión que evite la cavitación del flotador.

Los rotámetros son, algunas veces, instalados al frente de tableros de control, siendo necesarios más accesorios.



MONTAJE DE ROTÁMETRO EN UN TABLERO DE CONTROL

III.20 MEDIDORES DE AREA CONSTANTE Y PRESION DIFERENCIAL VARIABLE

III. 21 INTRODUCCION

Este tipo de medidores es del tipo inferencial, ya que de su principio de medición se infiere el resultado final. El medidor de presión diferencial variable se identifica debido a que su elemento primario crea una diferencia o caída de presión que depende de la velocidad y densidad del fluido. Esta diferencia es medida por un segundo elemento llamado Secundario.

Muy diversos tipos de elementos primarios se han utilizado para producir la diferencia de presión, pero los más comunes son:

- a) Placa de orificio
- b) Tobera de flujo
- c) Tubo Venturi.

HISTORIA

Para darnos una idea de las aplicaciones que ha tenido este tipo de medidor, podemos mencionar que en la Antigua Roma se usaba para medir el consumo de agua en las casas, pero fue hasta el Siglo XVII que se empezaron a desarrollar las bases teóricas para el diseño de los medidores diferenciales modernos. A su efecto, concurren muchos investigadores, entre los cuales

Castelly y Torricelli condujeron al principio de que: El gasto (volumen o peso por unidad de tiempo) era igual a la velocidad por el área y que el flujo en una restricción, era función de la raíz cuadrada de la caída de presión producida.

El 12 de noviembre de 1732, Henry Pitot presentó su estudio llamado: "DESCRIPCION DE UN MECANISMO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DEL AGUA CORRIENTE Y LA VELOCIDAD EN RECIPIENTES". Poco más tarde, en 1738, Juan Bernoulli desarrolló su famoso teorema, en el cual se basan las ecuaciones hidráulicas para medidores diferenciales.

En 1797 Giovanni Batista Venturi publica el resultado de su trabajo sobre los principios básicos de medición en el tubo llamado Venturi y, a principios del Siglo XVIII, Geovani Poleni trabaja con éxito en los medidores de orificio. Por primera vez en el año de 1887, Clemens Herschel, haciendo uso del trabajo básico de Venturi, desarrolla la aplicación comercial del tubo Venturi probando ser éste un medio bastante práctico y económico para medir grandes volúmenes de flujo. Sin embargo como la ecuación desarrollada a partir de las leyes que sigue la medición de gases en este tubo y que son las de expansión adiabática, resultaban muy complicadas y poco prácticas para aplicarse más ampliamente a la medición comercial del gas, lo que trajo como consecuencia ciertas objeciones para su uso, aparte del hecho de que no existían medios más accesibles para la medición de grandes volúmenes de gas natural.

Esto condujo en el año de 1900 a la investigación de la aplicación de la Placa de Orificio como elemento de medición comercial; obteniéndose resultados más satisfactorios no solamente para gas, sino para muchas otras aplicaciones industriales.

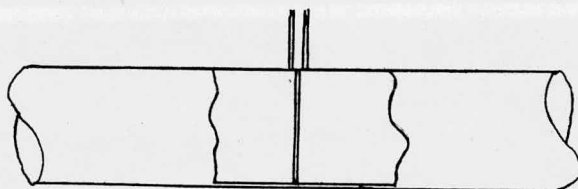
Por su importancia, dada la amplia aplicación industrial que ha encontrado el medidor de orificio, daremos una visión rápida de la forma en que fue desarrollado.

Thomas R. Weymouth de la United Natural Gas Company empezó en 1903 experimentando con la placa de orificio concéntrico, utilizando las tomas de presión en las bridas a una pulgada antes y una después de las caras de las placas, las cuales entre paréntesis, han llegado a ser las de uso predominante. Dentro de su estudio desarrolló coeficientes empíricos correlacionados con la relación del diámetro del orificio (d) al diámetro de la tubería (D) que fueron reemplazados más tarde por datos más exactos basados en los estudios de investigación de un programa de diez años y, cuyos resultados fueron publicados en 1935 por La American Gas Association (AGA).

En 1913 E.O. Hichstein publicó datos similares a los de Weymouth, pero con tomas de presión a $2 \frac{1}{2}$ diámetros antes y 8 diámetros después de la placa de orificio. Estos fueron también puestos al día en la publicación antes mencionada.

El Profesor Horace Judd, en 1916 presentó trabajos de medición con orificios usando tomas de presión llamadas de vena contracta, ya que una de las tomas, la de alta presión, se localiza a un diámetro antes de la placa y la de baja presión, en el punto de mínima presión. El Profesor Judd presentó también el primer uso de placas de orificio excéntricas y segmentales.

En Alemania y en general en Europa, se desarrolló el uso de las tomas de presión directamente en las caras de la placa y que se conocen como tomas de placa. Estas se muestran a continuación.



TOMAS DE PRESION EN PLACA

AVANCES RECIENTES

Entre los diseños más recientes en elementos primarios, se encuentran el tubo Venturi rectangular, el Venturi de conos truncados, la boquilla, tobera, el orificio excéntrico y el segmental, el orificio con perfiles especiales, el tubo Foster, el tubo Dall, los cuales se han desarrollado con el objeto de corregir o eliminar algunas incongruencias que se han presentado en los elementos primarios originales en ciertas mediciones. Sin embargo, siguen predominando en su uso los diseños iniciales.

III. 22 CONSIDERACIONES QUE DEBEN SER TOMADAS EN CUENTA EN LA SELECCION E INSTALACION DEL ELEMENTO PRIMARIO

A) PLACAS DE ORIFICIO:

Con las placas de orificio se produce la mayor pérdida de presión en comparación a la que otros elementos primarios más comunes. Así tenemos que, con las tomas de presión a 2.5 y 8 diámetros, antes y después de la placa, se está midiendo la pérdida total de presión. Sin recuperación posterior, según se muestra en la siguiente figura.

Con tomas de vena contracta, se mide la máxima diferencial posible con recuperación de presión posterior y con tomas en la brida, se mide una diferencial muy cerca de la máxima, con recuperación también de presión posterior.

La exacta localización de las tomas de presión antes de la placa carece relativamente de importancia, ya que la presión en esa sección es bastante constante en todas las relaciones de d/D comerciales. De $1/2 D$ antes de la placa en adelante, hasta la placa, la presión aumenta gradualmente en una magnitud considerable en relaciones d/D arriba de 0.5. Debajo de este valor, la diferencia de presiones es despreciable, pero si en la toma de alta presión la localización no es de mayor importancia, sí lo es en la de baja presión, ya que existe una región muy inestable después de la vena contracta, que deberá ser evitada y esta es la razón por la que se recomienda para tuberías menores de 2 pulgadas las tomas de placa. La estabilidad se restaura a 8 diámetros después de la placa, pero ya en este punto, las presiones son afectadas por una rugosidad anormal en la tubería.

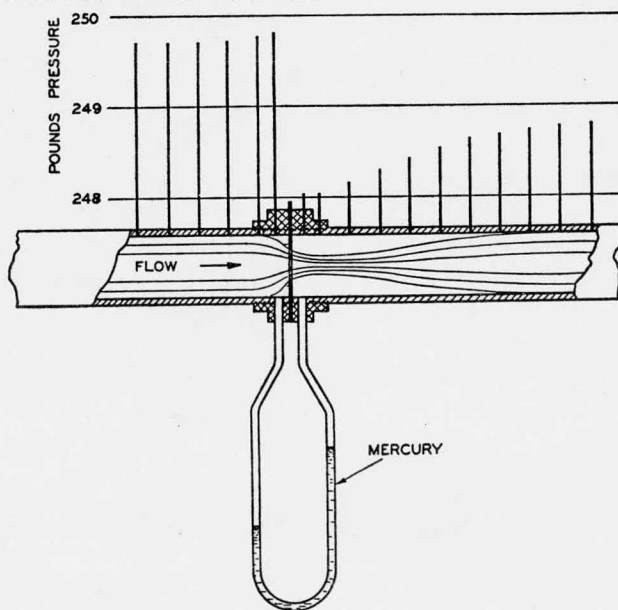


FIG.

PERDIDAS DE PRESIÓN POR UNA PLACA DE ORIFICIO

B) BOQUILLA O TOBERA:

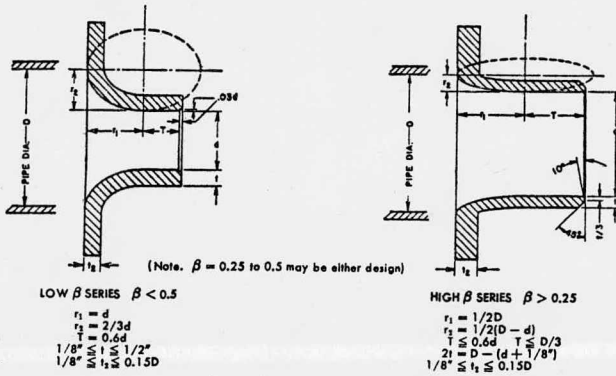
La utilización comercial de la tobera o boquilla para la medición de flujo es difícil de precisar, pero las referencias en el desarrollo del principio de operación de éstas, nos envían al siglo pasado.

La tobera de flujo al contrario de la placa de orificio, en lugar de tener un filo recto a la entrada del fluido, forma una gufa hacia la sección de la vena contracta. De esta manera, para la misma tubería y condiciones de flujo, se consigue un 60% más en capacidad que para una placa de orificio. Esto nos da la pauta para la aplicación de uno u otro elemento primario; por lo tanto, la tobera de flujo se utiliza cuando el orificio queda limitado en su capacidad o cuando se dispone de un tramo de tubería bastante corto. Los límites de presión y temperatura están arriba de 70K/CM^2 y 430°C . La relación d/D para la tobera es de 0.55 a 0.81.

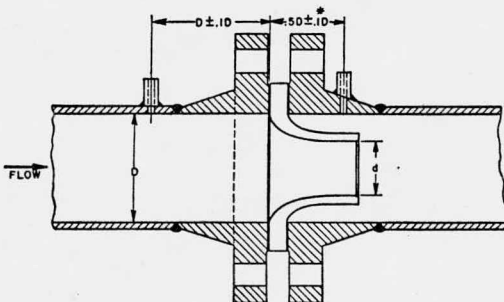
La forma de la tobera es adecuada, ya que es un cuarto de elipse, cuyo semi-eje mayor es de un medio del diámetro interior de la tubería y el semi-eje menor es un medio de la diferencia del diámetro interior de la tubería al diámetro de la garganta de la tobera, según la siguiente figura.

En líneas hasta de 3 pulgadas, cualquier variación en el diámetro de la tubería de acuerdo a los valores especificados, produce errores de importancia y estos errores pue-

den existir debido a que la tolerancia en la manufactura de estos tubos es de 15% en el diámetro interior. Cuando se quiere eliminar esto, deben usarse ensambles prefabricados de tubería-tobera. Estos ensambles ya traen las características de tubería recta antes y después del elemento primario, así como también las tomas de presión ya vienen hechas.



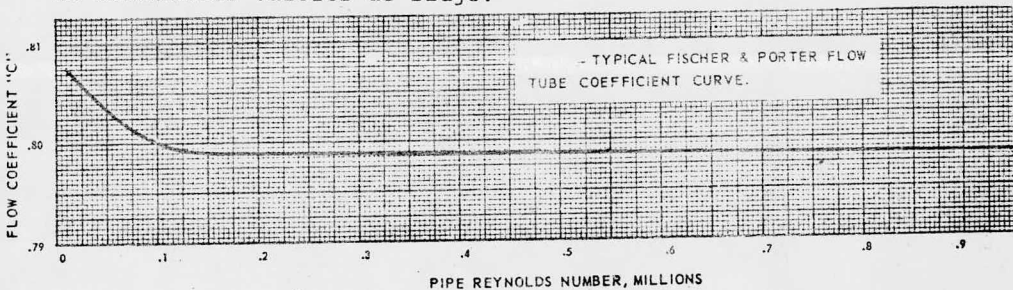
TOBERA DE RADIO LARGO



TOBERA CON TOMAS DE VENA CONTRACTA

III. 23 TUBO VENTURI

Este elemento primario comprende una entrada cónica, una garganta corta con la relación d/D apropiada y una larga sección cónica apropiada de descarga. El uso normal es para líquidos con materiales sólidos en suspensión, pero puede usarse en medición de aire o gases. Un uso bastante común es en la medición de aguas negras, donde los volúmenes son considerables y es importante la menor caída de presión. Estos medidores tienen un rango bastante amplio de operación, ya que su coeficiente de flujo se mantiene constante, aún a bajos valores del número de Reynolds. Con esto se asegura una gran exactitud del medidor en diferentes valores de flujo.

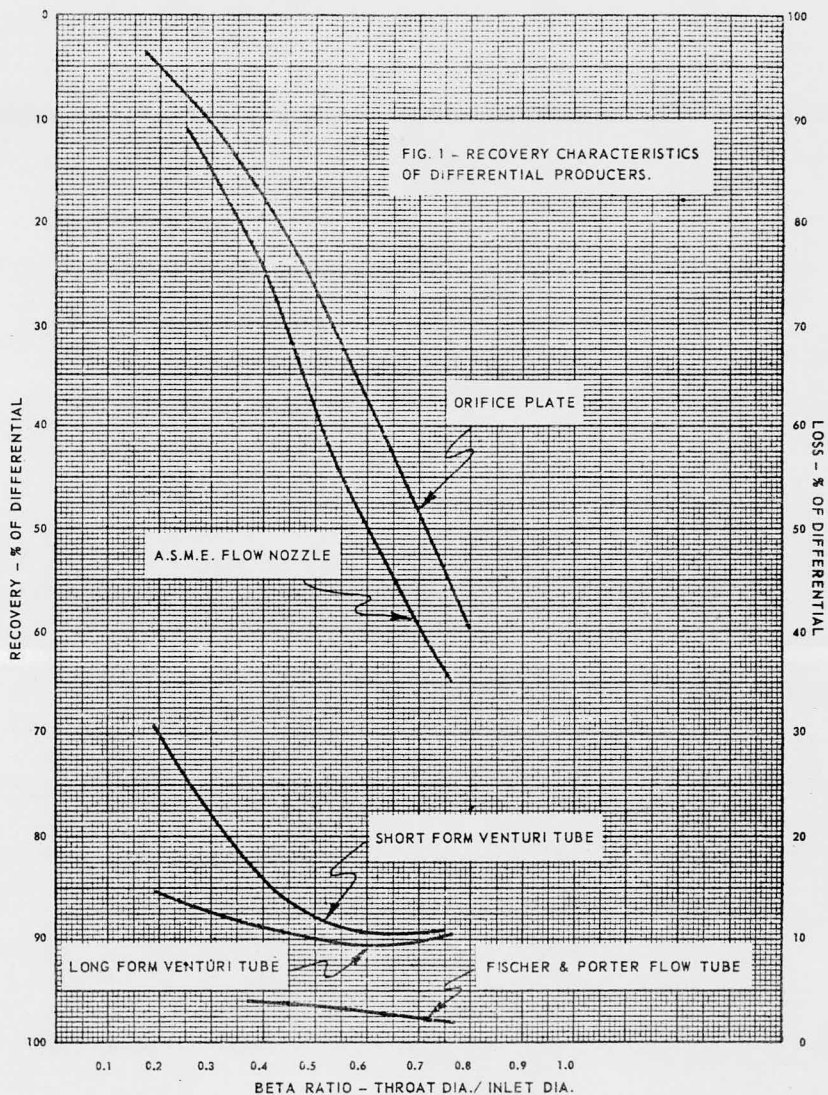


GRÁFICA DEL COEFICIENTE DE FLUJO
EN UN TUBO VENTURI

LIMITES DE OPERACION:

En temperatura hasta 93°C

Presión máxima 57K/CM2



GRÁFICA DE % DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA LOS DIFERENTES MEDIDORES

Fórmula simplificada para el cálculo de un tubo Venturi de acuerdo a Fischer & Porter Co.

$$1. \quad \text{GPM} \Big|_{\text{H}_2\text{O}} = \text{GPM} \sqrt{\text{SG}}$$

$$2. \quad \text{GPM} \Big|_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{SCFM} \times 0.0432}{Y} \sqrt{\text{SG} \times \frac{T}{P}}$$

$$3. \quad h = h_{\text{list}} \left(\frac{\text{GPM} \Big|_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{GPM List}} \right)$$

DONDE:

GPM : Es el flujo máximo de líquido de proceso.

SCFM : Es el flujo máximo de pies cúbicos por minuto a condiciones estándar de presión y temperatura de 14.7 y 70°F.

$\text{GPM} \Big|_{\text{H}_2\text{O}}$: Flujo de agua equivalente al máximo deseado.

GPM List: Flujo de agua enlistado en la tabla de capacidad adjunta.

SG : Densidad relativa del fluido de proceso.

- T Temperatura absoluta a condiciones de operación (460 + °F)
- P Presión absoluta a condiciones de operación (PSIG + 14.7)
- Y Factor de expansión del gas según figura adjunta.
- h Diferencial actual en pulgadas columna de agua para la capacidad deseada.
- h_{LIST} Diferencial listada en tabla de capacidad adjunta.

Nom. Pipe Size	Throat Dia. Inches	% Head Loss	CAPACITIES IN GALLONS OF WATER PER MINUTE*													
			Maximum Differential - Inches of Water													
			20	30	40	50	60	80	100	120	160	200	240	300	400	
4"	1.526	4.0	45.2	55.3	63.9	71.4	78.2	90.3	101	111	128	143	156	175	202	
	1.982	3.5	78.7	96.4	111	124	136	157	176	193	223	249	273	305	352	
	2.536	2.7	137	168	194	217	238	275	307	336	388	434	476	532	614	
	3.032	1.9	217	266	307	343	376	434	485	531	613	686	751	840	970	
6"	2.298	4.0	102	125	145	162	177	205	229	251	290	324	355	397	458	
	2.985	3.5	178	219	252	282	309	357	399	437	505	564	618	691	798	
	3.820	2.7	311	381	440	491	538	622	695	761	879	983	1080	1200	1390	
	4.566	1.9	492	602	696	778	852	984	1100	1210	1390	1560	1700	1910	2200	
8"	3.026	4.0	178	217	251	281	308	355	397	435	502	561	615	688	794	
	3.930	3.5	309	379	438	489	536	619	692	758	875	979	1070	1200	1380	
	5.030	2.7	537	657	759	849	930	1070	1200	1310	1520	1700	1860	2080	2400	
	6.012	1.9	854	1050	1210	1350	1480	1710	1910	2090	2420	2700	2960	3310	3820	
10"	3.802	4.0	281	344	397	444	486	562	628	688	794	888	973	1090	1260	
	4.938	3.5	487	597	689	771	844	975	1090	1190	1380	1540	1690	1890	2180	
	6.320	2.7	850	1040	1200	1340	1470	1700	1900	2080	2400	2690	2940	3290	3800	
	7.554	1.9	1350	1650	1910	2140	2340	2700	3020	3310	3820	4270	4680	5230	6040	
12"	4.554	4.0	403	493	570	637	698	806	901	987	1140	1270	1400	1560	1800	
	5.914	3.5	702	860	993	1110	1220	1400	1570	1720	1990	2220	2430	2720	3140	
	7.570	2.7	1220	1500	1730	1930	2110	2440	2730	2990	3450	3860	4230	4730	5460	
	9.048	1.9	1960	2400	2770	3100	3390	3920	4380	4800	5540	6190	6790	7590	8760	
14"	5.030	4.0	492	602	696	778	852	984	1100	1210	1390	1560	1700	1910	2200	
	6.455	3.5	832	1020	1180	1320	1440	1660	1860	2040	2350	2630	2880	3220	3720	
	8.457	2.7	1520	1870	2160	2410	2640	3050	3410	3740	4310	4820	5280	5910	6820	
	9.921	1.9	2330	2850	3290	3680	4030	4650	5200	5700	6580	7350	8060	9010	10400	
16"	5.703	4.0	631	772	892	997	1090	1260	1410	1540	1780	1990	2180	2440	2820	
	7.554	3.5	1140	1400	1610	1800	1980	2280	2550	2790	3230	3610	3950	4420	5100	
	9.381	2.7	1850	2270	2620	2930	3210	3700	4140	4540	5240	5850	6410	7170	8280	
	11.331	1.9	3030	3710	4290	4800	5250	6060	6780	7430	8580	9590	10500	11700	13600	
18"	6.455	4.0	805	986	1140	1270	1390	1610	1800	1970	2280	2550	2790	3120	3600	
	8.457	3.5	1430	1750	2020	2260	2480	2860	3200	3510	4050	4530	4960	5540	6400	
	10.680	2.7	2410	2950	3410	3810	4180	4820	5390	5900	6820	7620	8350	9340	10800	
	12.766	1.9	3850	4720	5450	6090	6670	7700	8610	9430	10900	12200	13300	14900	17200	
20"	7.146	4.0	993	1220	1400	1570	1720	1990	2220	2430	2810	3140	3440	3850	4440	
	9.381	3.5	1760	2160	2490	2790	3050	3520	3940	4320	4980	5570	6100	6820	7880	
	11.880	2.7	2990	3660	4220	4720	5170	5970	6680	7320	8450	9450	10300	11600	13400	
	14.200	1.9	4790	5860	6770	7570	8290	9570	10700	11700	13500	15100	16600	18500	21400	
24"	8.457	4.0	1380	1690	1950	2180	2390	2760	3090	3380	3910	4370	4790	5350	6180	
	11.331	3.5	2560	3130	3620	4040	4430	5120	5720	6270	7240	8090	8860	9910	11400	
	14.200	2.7	4240	5190	6000	6700	7340	8480	9480	10400	12000	13400	14700	16400	19000	
	17.117	1.9	6840	8380	9680	10800	11900	13700	15300	16800	19400	21600	23700	26500	30600	

*BASED ON SCHEDULE 40 PIPE

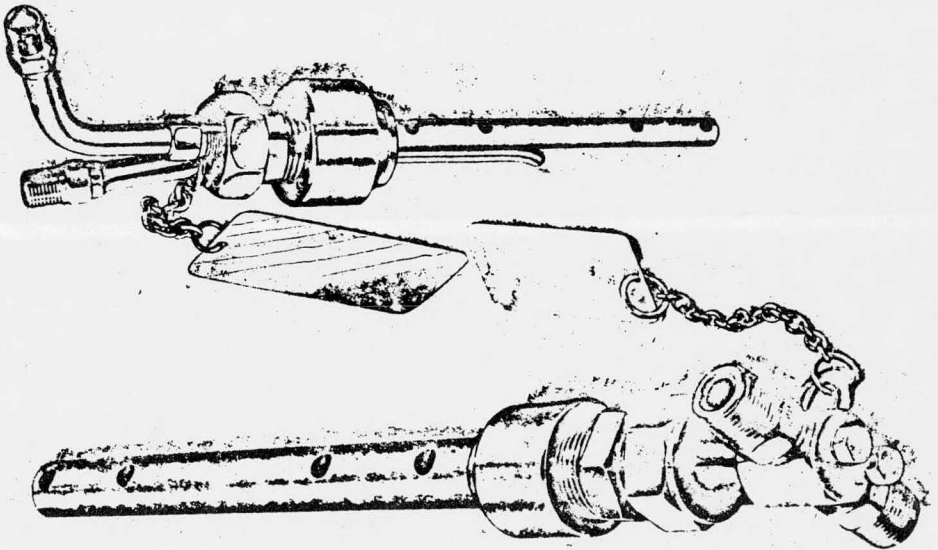
TABLA DE CAPACIDADES MEDIDORES TIPO VENTURI

MEDIDOR DE FLUJO TIPO ANNUBAR

Este medidor de flujo es del tipo de área constante presión diferencial variable. Su funcionamiento y principio de operación es similar al del tipo pitot, ya que transmite una señal de presión diferencial a partir de la velocidad del fluido.

CONSTRUCCION

El medidor annubar consta de dos tubos uno de los cuales contiene en su interior otro, este primer tubo consta de 4 barrenos localizados a diferentes distancias, el tubo interior con una pequeña curva, tal como se muestra en la siguiente figura

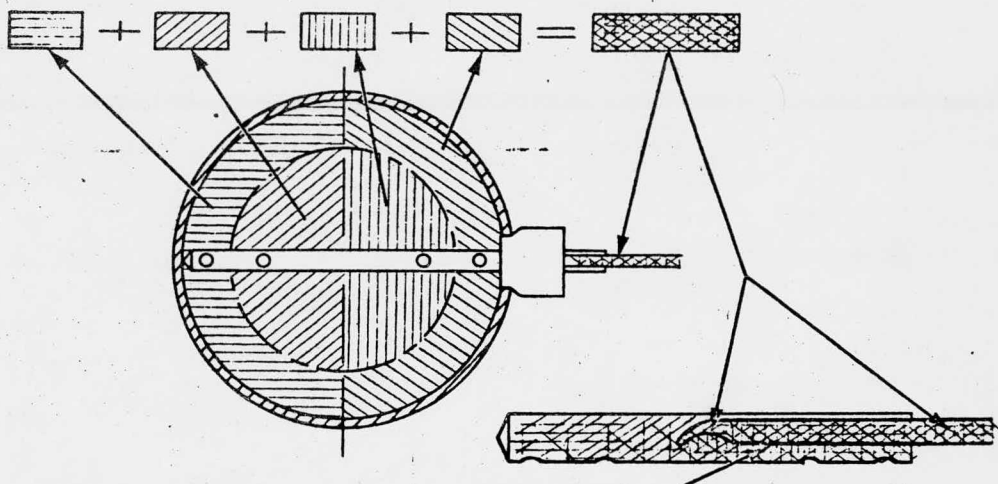


El segundo tubo es de menor diámetro y sin barrenos. Los materiales de construcción son variados como acero inoxidable - Hastelloy C, Monel, Titanium.

OPERACION

El medidor de flujo se coloca dentro de la corriente del fluido y los 4 barrenos del primer tubo abarcan cuatro diferentes

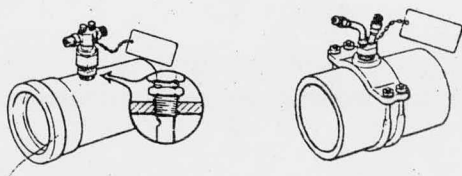
segmentos de áreas anulares, como se muestra en la figura,

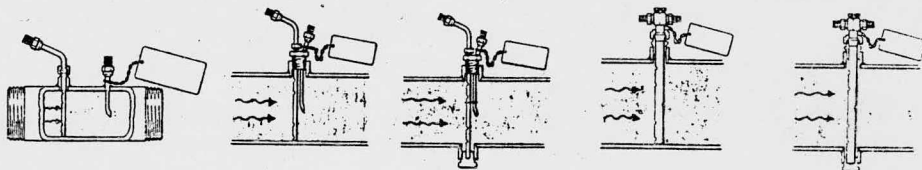


La razón de esto, es transmitir al tubo dentro de el mismo una señal de velocidad de flujo lo mas representativa posible. El segundo tubo tiene como función transmitir una señal de presión estática del fluido, esto es, el primer tubo transmite una presión de impacto equivalente a la energía cinética del fluido - más la presión estática, el segundo tubo transmite solamente la presión estática; si ahora estas señales se contraponen, el resultado neto sera la presión de impacto, la cual se mide como una diferencial de presión.

INSTALACION

Directamente en la corriente del fluido, con conexiones roscadas





DIFERENTES TIPOS DE CONEXION

Es necesario considerar tramos de tubería recta antes y después del elemento primario.

TAMAÑOS Y CAPACIDADES

Presión diferencial máxima en medidores comerciales 6350 mm columna de agua.

Tamaños desde 12.7mm hasta 610mm

Rangos de medición de 3 a 75.000 Lpm

METODO DE CALCULO

Si partimos de la fórmula

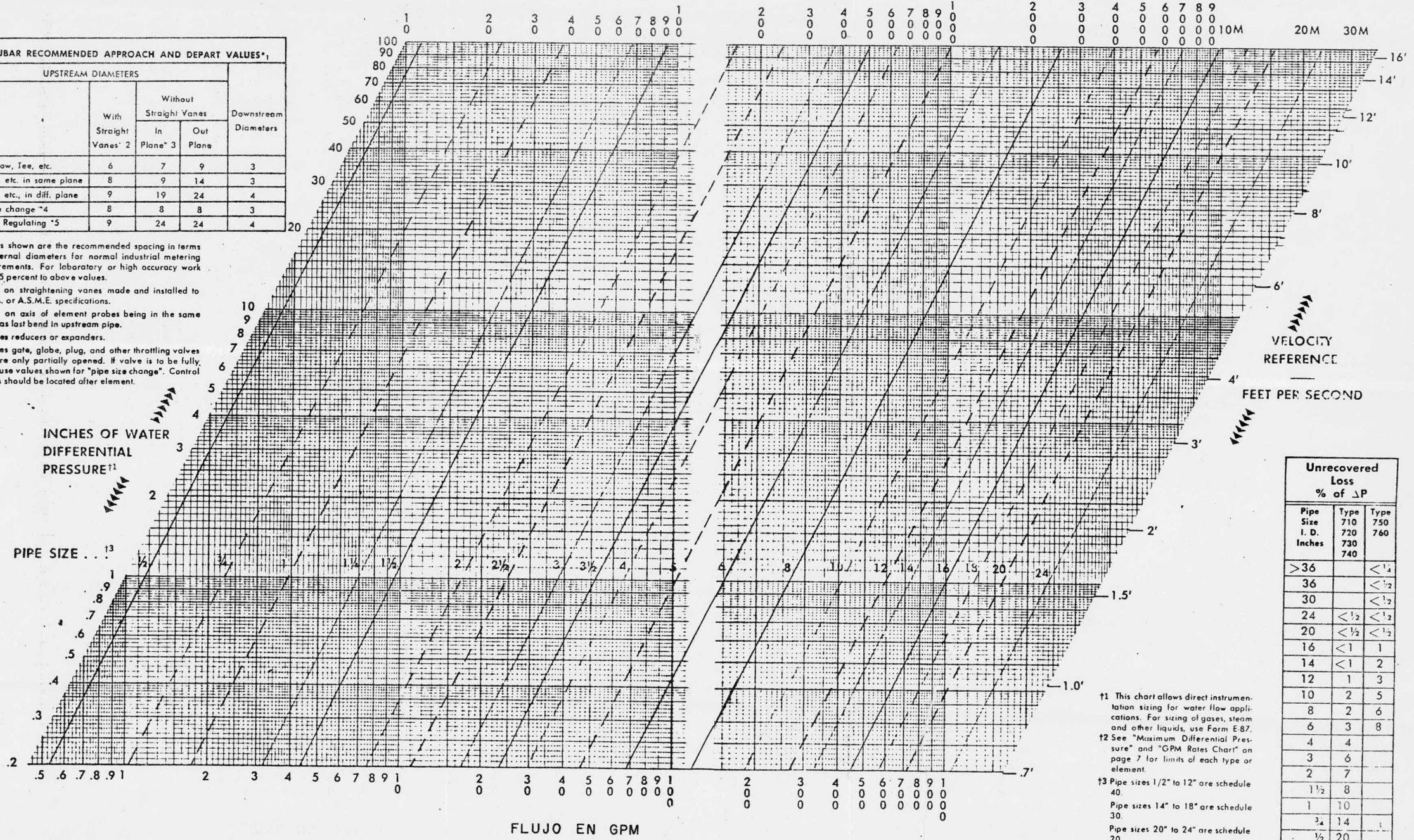
$$v_1 = C_D \sqrt{2gc \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)}$$

se podrá calcular la velocidad cinética y conocida el área de paso podremos calcular el gasto masa. Por otro lado los fabricantes suministran gráficas para determinar el tamaño del medidor de las cuales se anexa un ejemplo. Esta gráfica puede usarse en combinación con la ecuación anterior suponiendo un coeficiente de corrección C_D de 0.7, este factor se determinó por medio de cálculos.

Quick Size Chart

ANNUBAR RECOMMENDED APPROACH AND DEPART VALUES*1				
UPSTREAM DIAMETERS	Without Straight Vanes			Downstream Diameters
	With Straight Vanes* 2	In Plane* 3	Out Plane	
One Elbow, Tee, etc.	6	7	9	3
Two Ells, etc. in same plane	8	9	14	3
Two Ells, etc. in diff. plane	9	19	24	4
Pipe size change *4	8	8	8	3
Valve - Regulating *5	9	24	24	4

- *1. Values shown are the recommended spacing in terms of internal diameters for normal industrial metering requirements. For laboratory or high accuracy work add 25 percent to above values.
- *2. Based on straightening vanes made and installed to A.G.A. or A.S.M.E. specifications.
- *3. Based on axis of element probes being in the same plane as last bend in upstream pipe.
- *4. Includes reducers or expanders.
- *5. Includes gate, globe, plug, and other throttling valves that are only partially opened. If valve is to be fully open use values shown for "pipe size change". Control valves should be located after element.



Unrecovered Loss % of ΔP		
Pipe Size I. D. Inches	Type 710 720 730 740	Type 750 760
> 36		< 1/4
36		< 1/2
30		< 1/2
24	< 1/2	< 1/2
20	< 1/2	< 1/2
16	< 1	1
14	< 1	2
12	1	3
10	2	5
8	2	6
6	3	8
4	4	
3	6	
2	7	
1 1/2	8	
1	10	
3/4	14	
1/2	20	

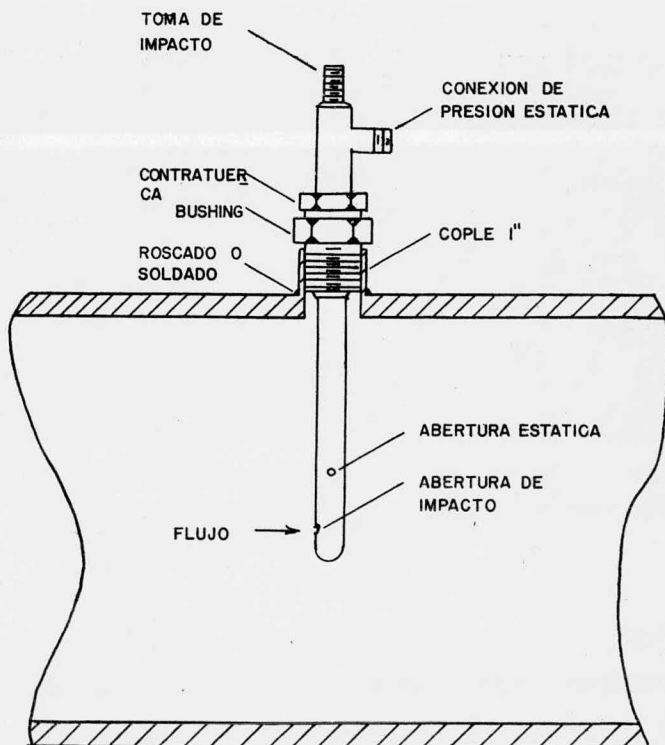
¹¹ This chart allows direct instrumentation sizing for water flow applications. For sizing of gases, steam and other liquids, use Form E-87.
¹² See "Maximum Differential Pressure" and "GPM Rates Chart" on page 7 for limits of each type or element.
¹³ Pipe sizes 1/2" to 12" are schedule 40.
 Pipe sizes 14" to 18" are schedule 30.
 Pipe sizes 20" to 24" are schedule 20.

TUBO PITOT

El tubo Pitot es un elemento primario de medición de flujo de área constante y presión diferencial variable, el cual consta de dos tomas de presión. Una llamada de impacto y otra de presión estática.

OPERACION

El tubo Pitot se coloca dentro de la corriente, orientando la toma de impacto corriente arriba, esta toma es la suma de la presión estática del fluido y la energía cinética o velocidad del fluido. La toma de presión estática se localiza en un ángulo recto con relación al paso del flujo.



La operación del tubo Pitot se basa en las siguientes fórmulas:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2gc} = z_2 + \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2gc}$$

Donde:

$z_1 = z_2$ = Elevación de la tubería

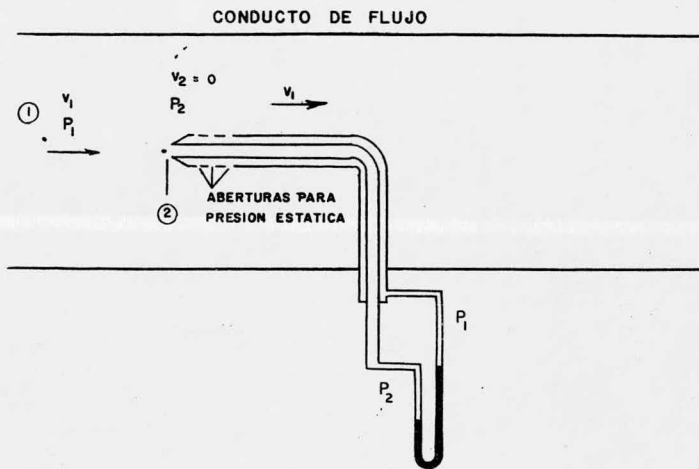
P_1 = Presión en el punto uno

P_2 = Presión en el punto dos

V_1 = Velocidad en el punto uno

V_2 = Velocidad en el punto dos

$\rho_1 = \rho_2$ = Densidad del fluido.



AGRUPANDO TERMINOS

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2gc} = 0$$

Considerando la velocidad en el punto dos igual a cero, tenemos que:

$$\frac{V_i^2}{2gc} = -\frac{\Delta P}{\rho}$$

y despejando v_i

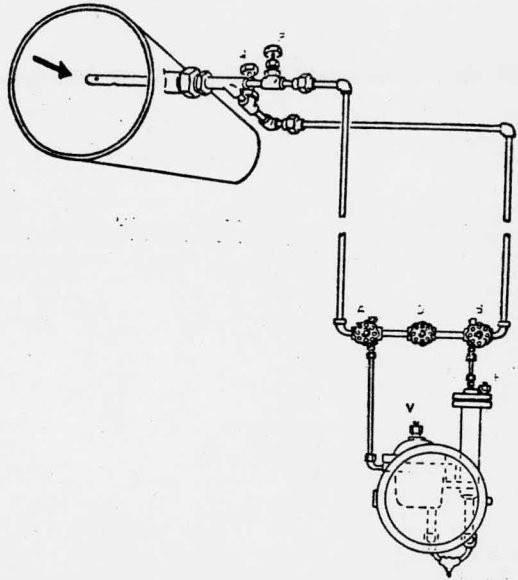
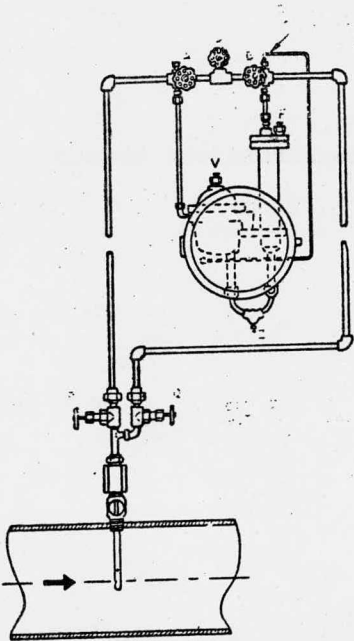
$$V_i = \sqrt{2gc \left(-\frac{\Delta P}{\rho}\right)}$$

Si agregamos un coeficiente de descarga para medir velocidad real la ecuación final sera:

$$V_i = C_p \sqrt{2gc \left(-\frac{\Delta P}{\rho}\right)}$$

El coeficiente C_p , generalmente es igual a la unidad para un tubo Pitot bien diseñado.

La utilización de este medidor no es recomendable para gases y líquidos sucios.



INSTALACION TIPICA PARA UN MEDIDOR DE FLUJO TIPO TUBO PITOT

III. 24 SELECCION DEL ELEMENTO PRIMARIO

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

1. Las características físicas del fluido, así si el fluido a medir es más o menos viscoso, lleva o no substancias en suspensión, si es un gas, líquido o vapor, estos serían factores determinantes en una decisión..
2. Los gastos mínimos, normales y máximos. Estos nos dan los límites entre los cuales podemos hacer la selección, ya que tenemos condiciones en que los gastos mínimos o máximos a medir nos limitan y obligan a tal o cual elemento primario.
3. La presión estática. La selección del rango diferencial está basada principalmente en la presión estática del sistema. Elementos primarios que trabajen convenientemente con diferenciales a presión pequeña, son en muchos casos factores que determinan la selección.
4. Dimensión de la tubería. Existen límites en los diámetros de las tuberías que nos impiden el uso de ciertos elementos primarios.
5. Pérdidas de presión permisible en el sistema. Generalmente-

se debe 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 produzcan caídas de presión mínimas.

Como ayuda a la selección del elemento primario más conveniente para una aplicación particular, la descripción de cada tipo dada a continuación es precedida por una recomendación general que concierne a su uso.

III. 24.1 PLACAS DE ORIFICIO

La placa de perforación concéntrica, de perfiles en ángulo recto, es el elemento primario de más uso en la industria actualmente. A menos de que las características del fluido y las condiciones de flujo nos indiquen otro tipo como el más adecuado, deberá usarse de preferencia la placa de orificio. Esta es taladrada a una exactitud dentro de los límites de $1/20$ de 1%.

Requisitos a que debe ajustarse la placa de orificio a fin de poder hacer uso de los coeficientes publicados que caen dentro de las tolerancias permitidas. El orificio debe llenar las siguientes especificaciones.

- a) El espesor de la sección cilíndrica, no debe exceder ninguno de los siguientes límites:

$$\frac{d}{8} , \frac{D}{50} \text{ o } \frac{(D-d)}{8}$$

Si el espesor, por la rigidez requerida debe ser mayor de estos límites, entonces las caras del orificio deberán ser biceladas a un ángulo no menor de 45° del eje de la tubería, o en su defecto, ser rebajadas en la zona del orificio hasta los límites especificados.

- b) El filo que da la cara al flujo corriente arriba, debe ser en ángulo recto. Cualquier redondeo en el filo no deberá exceder de 0.025% del diámetro del orificio para asegurar una exactitud en la medición dentro del 0.1%.
- c) La cara corriente arriba debe estar tan pulida como comercialmente sea posible.
- d) La porción de la placa que se extiende dentro de la tubería deberá ser plana dentro de una tolerancia de 0.01% por pulgada de radio.
- e) La placa de orificio debe centrarse en la tubería de manera tal que la excentricidad sea menor de 3% del diámetro de la tubería.

La gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición es que, debido a la

pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere para su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo; además de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontarse y que, se consigue con ella un alto grado de exactitud.

Desventajas en el uso de la placa de orificio.

- a) No conviene su uso en la medición de vapores que arrastren condensados. En tales casos es necesario perforar la placa en la parte inferior con un taladro de ± 2.38 mm.
- b) Es inadecuada en la medición de fluidos con sólidos en suspensión.
- c) El comportamiento en su uso en fluidos viscosos es errático, pues la placa se calcula para una temperatura y viscosidad dadas. Si hay cambios en la temperatura, la medición resulta incorrecta.
- d) La placa de orificio produce las mayores pérdidas de presión en comparación con los otros elementos primarios.

III.24.2 BOQUILLAS O TOBERAS

La tobera se recomienda si el líquido por medir contiene cantidades moderadas de sólidos en suspensión, o siempre que:

$$\frac{W}{D^2 \sqrt{wh}} > 140$$



EN DONDE:

W = Gsto en lbs/hr

D = Diámetro interno de la tubería en pulgadas

w = Densidad del fluido en lbs/F³

h = ΔP en pulgadas columna de agua.

TOBERAS

Las toberas son maquinadas individualmente a las dimensiones exactas necesarias para los requerimientos de flujo de la aplicación en particular. Al igual que la placa de orificio puede ser suminsitrada en la clase de material que se necesite. Una forma modificada de la boquilla es frecuentemente usada en vez del tubo Venturi para la medición de flujo de fluidos con cantidades moderadas de materia en suspensión.

III.24.3 TUBO VENTURI

El tubo Venturi se recomienda principalmente donde se requiere el máximo de exactitud en la medición de fluidos altamente viscosos y cuando las circunstancias obligan a mantener una mínima caída de presión, por lo que justifiquen el alto costo que significa la inversión original.

En un principio, el Venturi se recomendaba para la medición de fluidos con sólidos en suspensión, pero al igual que las boquillas, esta aplicación ha encontrado objeción en la práctica y ha dejado de utilizarse para tal fin.

III.24.4 TUBO PITOT

El tubo pitot se recomienda solamente en donde una medición no muy exacta es requerida, siempre y cuando el fluido esté limpio, la línea tenga gran diámetro y la velocidad sea alta.

Existen tipos fijos y ajustables; en estos últimos, la inmersión dentro de la tubería puede ser variada para obtener lecturas desde el centro de ésta.

III.24.5 TUBOS DALL

El tubo Dall se recomienda para la medición de fluidos limpios gases o líquidos en donde se desean mínimas pérdidas de presión.

III.25 SELECCION DE LAS TOMAS DE PRESION.

Como ya se había mencionado, existen tres tipos o formas de colocar las tomas de presión y su designación va de acuerdo con su localización.

- a) Tomas de brida
- b) Tomas de tubería
- c) Tomas de vena contracta.

a) Tomas de brida: Estas tomas están localizadas en las bridas a una pulgada antes y una pulgada después de las caras de la placa de orificio. Actualmente es el tipo de toma más utilizado debido, principalmente, a que puede obtenerse ya maquinada, evitándose con esto mucho trabajo de manufactura e instalación. Vienen provistas de un tornillo (Jack screw) que facilita el quitar o colocar la placa de orificio con fines de mantenimiento.

Debido a que estas tomas de bridas están simétricamente localizadas, no se requiere tener un cuidado excesivo en su instalación, permitiendo además con esta localización, el medir flujos que pueden ser invertidos.

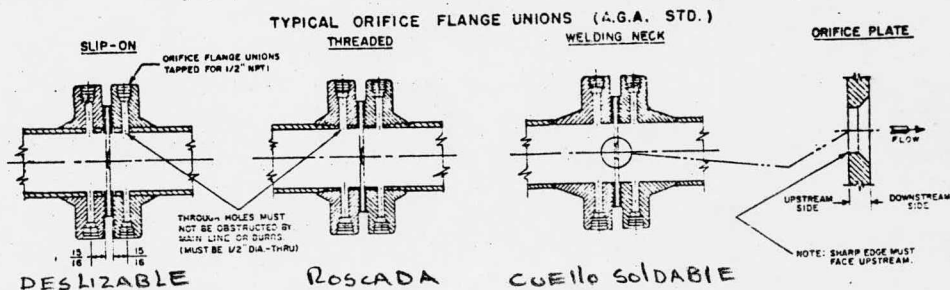
Existen en el mercado cuatro clases de bridas para orificio:

Bridas Roscadas : Como su nombre lo dice, son bridas para ser adaptadas a la tubería por medio de rosca.

Bridas Tipo Slip-on, o Deslizables: Estas bridas se deslizan alrededor de la tubería, procediendo a soldarse posteriormente.

Bridas Tipo Welding Neck o Cuello Soldable: Estas bridas llevan un tramo de tubería integral que sirve para ser soldada a cuello con el resto de la tubería.

Bridas de Unión con Anillo: Son de diseño especial para que se les pueda adaptar un anillo portaplaca. También soldan a cuello



DIFERENTES TIPOS DE BRIDAS

USOS:

La brida roscada ha tenido cierto uso por lo accesible que resulta montarla en tuberías roscadas. Sin embargo, su uso se encuentra limitado a diámetros pequeños por la dificultad existente de hacer roscas a tuberías grandes.

Por otro lado, presentan el inconveniente de que después de roscadas, generalmente hay que cortar la tubería que sobre más allá de las caras de la brida.

Brida tipo slip-on o deslizable: Esta brida es comunmente la más usada, pues no se requiere hacer ningún corte a la tubería, ya que puede ser acoplada al raz con las caras de la brida.

Brida welding neck o cuello soldable: El uso de estas bridas se recomienda para flujos a alta presión. Existe en su aplicación cierta dificultad en alinear las bridas a las tuberías al ser soldadas.

Bridas de unión con anillo: Estas son utilizadas en donde las presiones o los líquidos a medir impiden el uso de empaques apropiados para hacer una junta hermética.

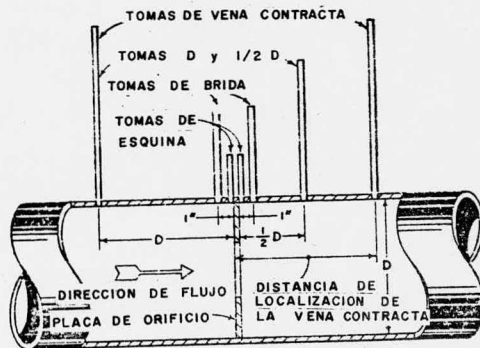
Las tomas de brida no son recomendables para tuberías menores de 50.8mm \varnothing , en donde la toma de baja presión se encuentra localizada en una región de flujo inestable en la curva de recuperación de presión. Este hecho se presenta cuando existen

altos valores en la relación d/D , o sea, cuando los coeficientes standard no pueden ser aplicados. En tales casos, deben usarse las llamadas tomas de placa, las cuales se localizan directamente en las caras de la placa. Otra razón por la que podría no recomendarse la aplicación de las tomas de brida, es cuando existen ya bridas standard que se desean aprovechar.

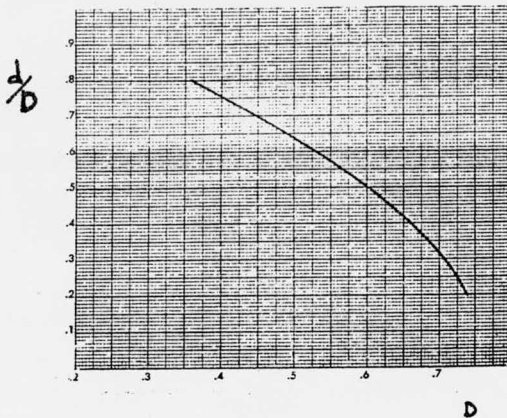
Cuando se esté obligado a utilizar tomas de brida para diámetros menores de 50.8mm, el sistema de medición deberá ser calibrado individualmente.

TOMAS DE TUBERIA

Estas tomas están localizadas 2.5 diámetros antes y 8 diámetros después de la placa de orificio.



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS DIFERENTES
TOMAS DE PRESIÓN.



DIÁMETROS DE TUBERÍA A LA CUAL
SE COLOCARÁ LA TOMA DE VENA
CONTRACTA.

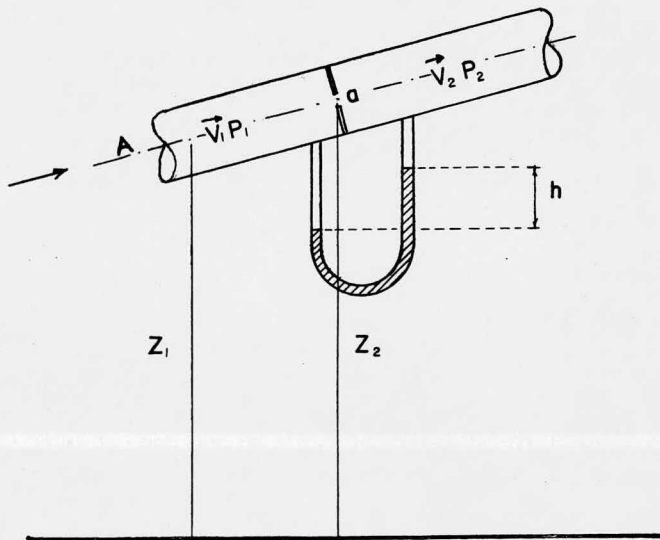
TOMAS DE VENA CONTRACTA

La toma de alta presión se coloca un diámetro antes del orificio y en la zona de vena contracta la toma de baja. Esta última se acostumbra localizarla $1/2$ diámetro después de la placa. Este tipo de tomas son recomendables para la medición de vapor.

III. 26 FUNDAMENTOS EN LA TEORIA DE LOS MEDIDORES DE PRESION VARIABLE Y AREA CONSTANTE

Si suponemos que un fluido está fluyendo a través de una tubería inclinada, tal como se muestra en la siguiente figura,

la relación entre la presión diferencial y la velocidad, puede ser derivada del Teorema de Bernoulli. Así para fluidos ideales incomprensibles, tendremos:



DESARROLLO DE LA ECUACION PARA ORIFICIOS

$$(1) \quad Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{\vec{V}_1^2}{2gc} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{\vec{V}_2^2}{2gc}$$

EN DONDE:

Z = Elevación de la tubería

ρ = Densidad del fluido

\vec{V} = Velocidad promedio del fluido

P = Presión estática absoluta

g = Aceleración debido a la gravedad, siendo los sub-índices dos (2) para los factores corriente abajo con respecto a la posición de la placa.

La toma de baja presión la localizamos en la vena contracta, o sea en donde el fluido es restringido a una mínima área que es también el punto de menor presión estática.

$$(2) \quad \frac{V_2^2 - V_1^2}{2gc} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} = h$$

En donde h es la columna hidrostática efectiva. Esto se demuestra dimensionalmente como:

$$(3) \quad \frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{g/cm^2}{g/cm^3} = cm$$

Ahora si se supone que:

$$V_1 = V_2 \frac{a}{A}$$

Basado lo anterior en la ley de la conservación de la materia y aplicando a una partícula de fluido en donde:

a = Area de la restricción

A = Area de la tubería

La ecuación 2 se reduce a:

$$(4) \quad \vec{V}_2^2 = \frac{2gch}{1 - \frac{a^2}{A^2}} = \frac{2gch}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}$$

$$(5) \quad \vec{V}_2 = \sqrt{\frac{2gch}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}}$$

Sin embargo, los requerimientos comerciales necesitan, usualmente, que el flujo sea expresado en unidades de volumen o peso, mas bien que en unidades de velocidad. Por lo que, para hacer esta conversión se supone que el área a la cual la velocidad es \vec{V}_2 , es el área de la restricción del elemento primario.

$$(6) \quad q_T = \vec{V}_2 \cdot a = a \sqrt{\frac{2gch}{1 - \beta^4}}$$

DONDE:

q_T = Gasto teórico en volumen

β = Relación de diámetros d/D

En términos de peso, el gasto sería:

$$(7) \quad W_T = q_T \cdot \rho = a \cdot \rho \sqrt{\frac{2gch}{1 - \beta^4}}$$

DONDE:

W_T = Gasto teórico en peso.

A fin de corregir las ecuaciones para q_T y W_T de los gastos teóricos a los reales, basados en datos experimentales, un factor de corrección es incorporado en la ecuación en la forma siguiente:

$$(8) \quad C = \frac{\text{Gasto real}}{\text{Gasto teórico}} = \frac{q}{q_T} = \frac{W}{W_T}$$

Donde C = Coeficiente de descarga.

Además ya que C y d/D son constantes, para un conjunto de condiciones dadas, pueden ser combinadas así:

$$K = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

Substituyendo K en las ecuaciones (6) y (7), tendremos finalmente que:

$$(9) \quad q = K a \sqrt{2 g_c h}$$

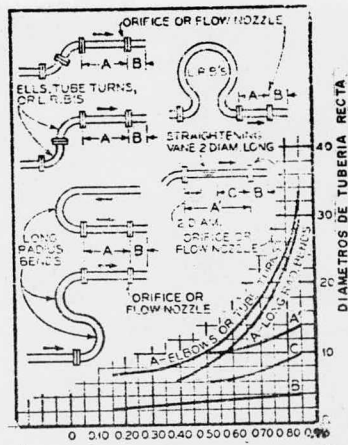
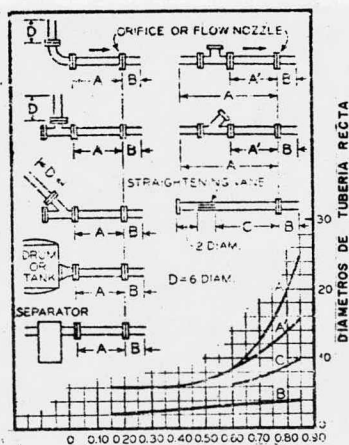
$$(10) \quad W = K a \rho \sqrt{2 g_c h}$$

Estas ecuaciones (9) y (10), son aplicadas básicamente para cualquier tipo de restricción; pero están limitadas a fluidos incomprensibles. En el desarrollo de las ecuaciones de trabajo de aplicación comercial para medidores diferenciales se re-

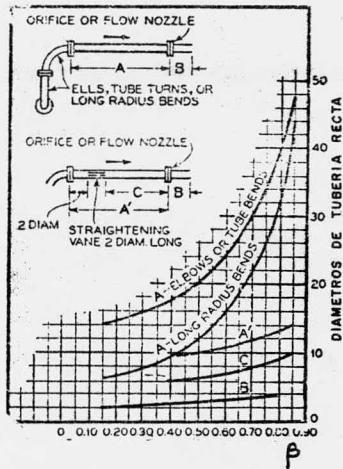
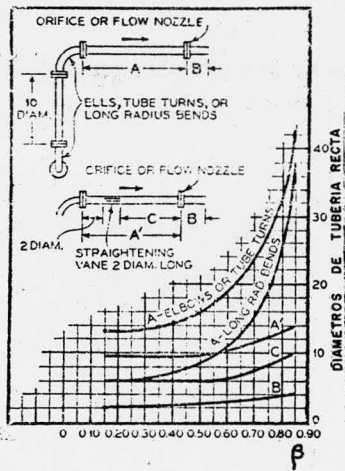
quieren factores de corrección adicionales.

III.27 CONDICIONES QUE DEBERAN CUBRIR LAS INSTALACIONES DE ELEMENTOS PRIMARIOS

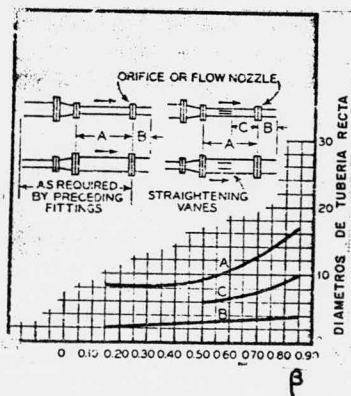
El elemento primario debe ser precedido y continuado por secciones rectas de tuberías, que permitan restaurar la distribución normal de la velocidad. Una comparación entre las diferentes normas para encontrar la sección recta recomendada muestra grandes discrepancias, mismas que deben ser esperadas de un fenómeno de naturaleza tan errática el mejor juicio para los ingenieros que examinan los datos disponibles en las longitudes de tubería requeridas para una medición satisfactoria están presentados en las siguientes figuras.



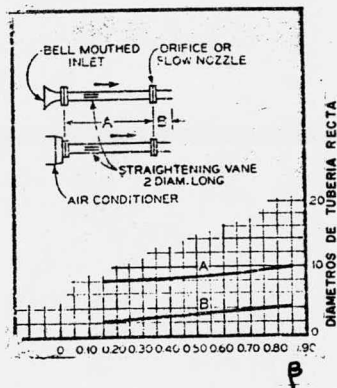
GRAFICAS PARA ORIFICIOS Y TOBERAS LOCALIZADOS
EN EL MISMO PLANO



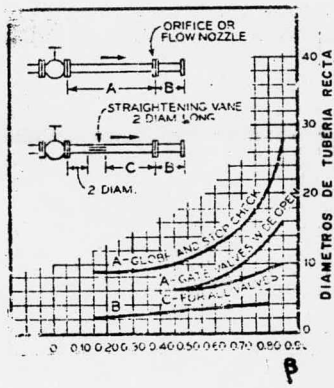
GRAFICAS PARA PLACAS DE ORIFICIO Y TOBERAS DE FLUJO CON ACCESORIOS EN DIFERENTES PLANOS.



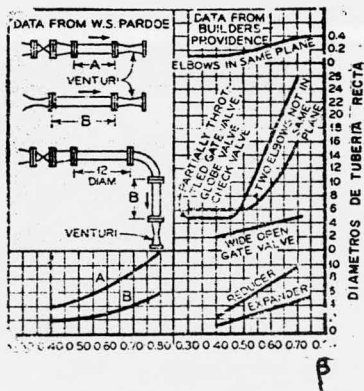
GRAFICA PARA ORIFICIOS Y TOBERAS DE FLUJO CON REDUCCIONES Y EXPANSIONES



GRAFICA PARA ORIFICIO Y TOBERA EN TANQUES ATMOSFERICOS.



GRAFICA PARA VALVULAS



GRAFICA PARA TUBOS VENTURI

En estas gráficas se relacionan las secciones rectas requeridas con la relación d/D tomando en cuenta el tipo de accesorio que le precede.

Debido a que la longitud requerida para restaurar la distribución normal en la velocidad es función del Número de Reynolds, los fluidos de baja viscosidad y condiciones que requieren diferenciales de presión anormalmente altas, deben ser tratados con especial precaución.

ALINEADORES DE FLUJO

La mayoría de los errores principales en la medición de fluidos, se deben a los vórtices y remolinos que se producen. Estos pueden ser eliminados en forma efectiva con la instalación de alineadores de flujo entre el punto de turbulencia y el elemento primario. El alineador de flujo consiste en un número de pasajes paralelos de pequeña sección transversal, instalado dentro de la misma tubería, paralelo a las líneas de flujo.

Un tipo común de alineador consiste de un conjunto de pequeños tubos soldados unos con otros. Otro tipo está compuesto por varias planchas rectangulares, soldadas en forma radial.

- A) Para una máxima eficiencia, ningún pasaje a través del enderezador deberá ser mayor de $1/16$ del área del interior de la tubería.

- B) Deberán existir cuando menos cuatro pasajes a través de cualquier diámetro.
- C) La longitud del pasaje deberá ser, cuando menos, diez veces la máxima dimensión transversal de dicho pasaje.

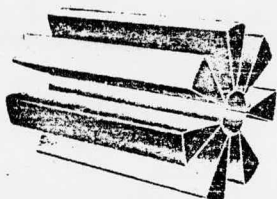
PRECAUCIONES:

Debido a su relativa fragilidad, no deben localizarse demasiado cerca de los puntos más severos de turbulencia, siendo inadecuado el uso de estos en líneas de vapor a alta velocidad.

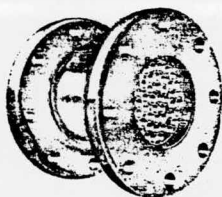
Si el alineador de flujo se encuentra demasiado cerca del elemento primario, el perfil de la curva de distribución de velocidades se aplanará lo suficiente como para producir lecturas ligeramente altas. Sin embargo, este error es mínimo comparado con los que se eliminan por su uso.

En las siguientes hojas se presentan los detalles de fabricación, así como hojas de cálculo usadas en las compañías de ingeniería y hojas de especificaciones, todas ellas relacionadas con la placa de orificio.

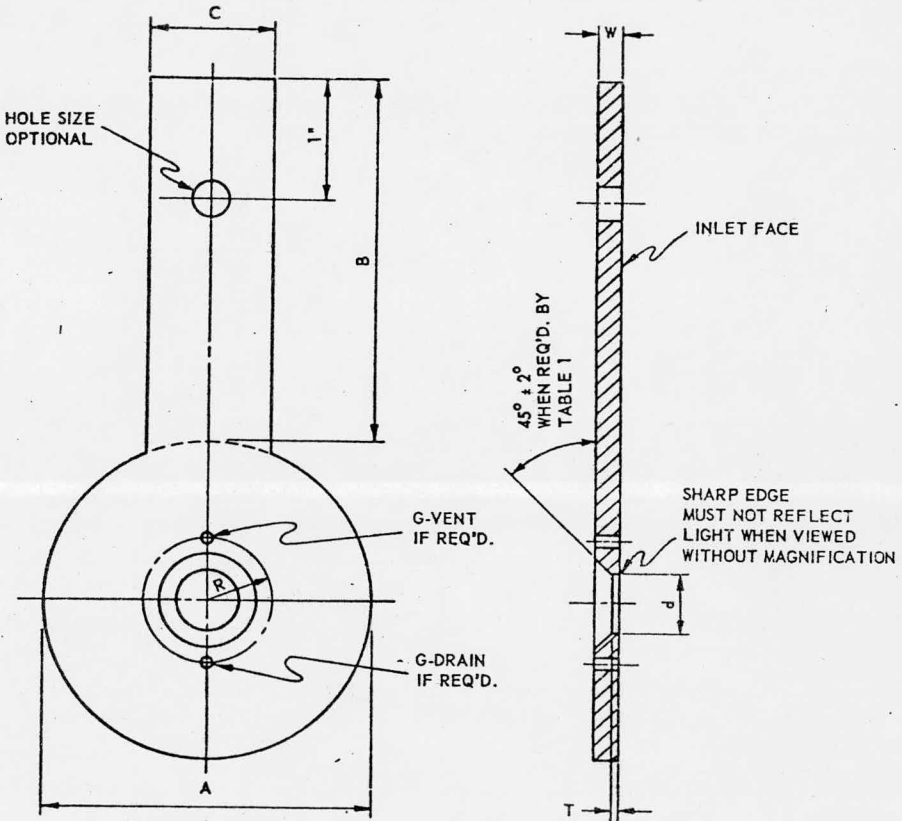
2



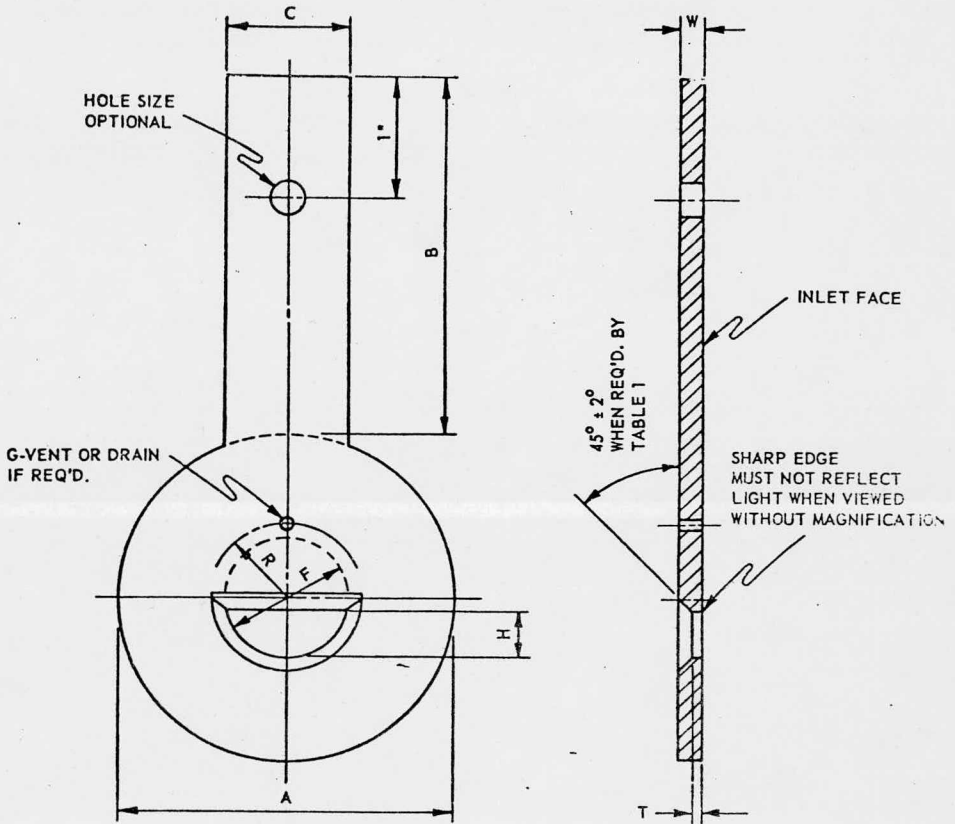
ALINEADOR DE FLUJO DE PALETAS



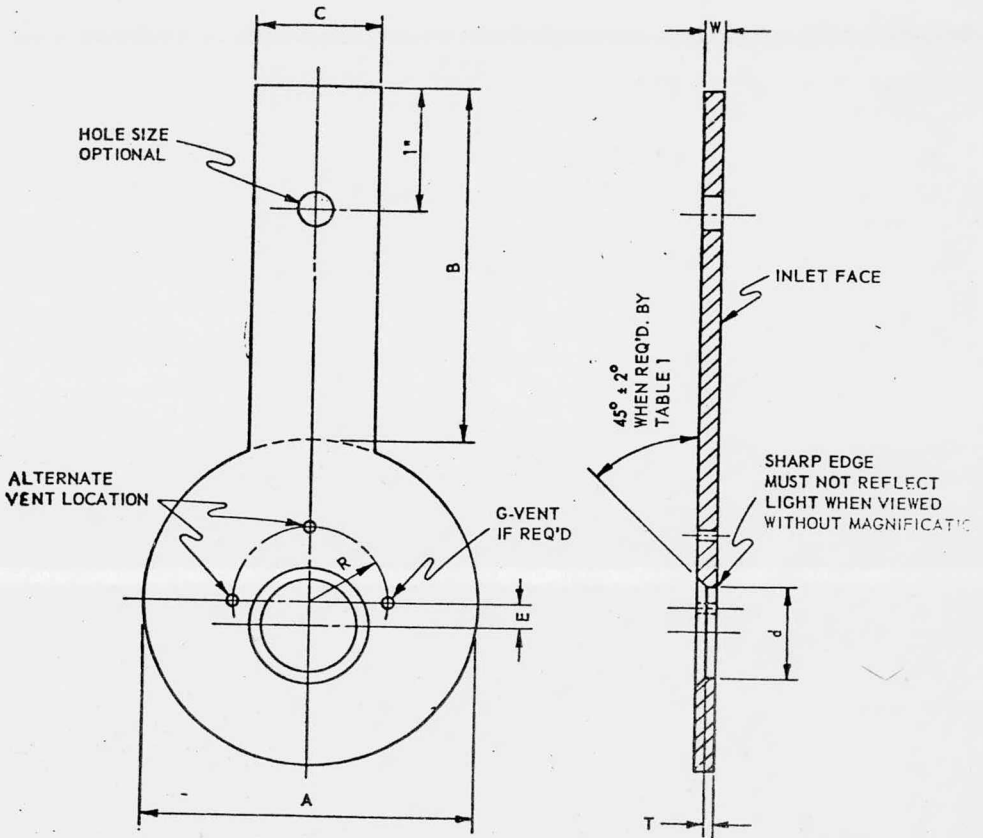
ALINEADOR DE FLUJO DE TUBOS



PLACA DE ORIFICIO CONCÉNTRICA.- DETALLES DE FABRICACIÓN EN TABLAS I Y II.



PLACA DE ORIFICIO SEGMENTAL
 DETALLES DE FABRICACIÓN EN TABLAS I Y II



PLACA DE ORIFICIO EXCÉNTRICA
 DETALLES DE FABRICACIÓN EN TABLAS I Y II.

TABLE I

Nom. Pipe Size Inches	"A" Inches $\pm 1/64$							"B" Inches $+1 -0$			C INCHES $\pm 1/64$	E Notes 1 & 2 INCHES ± 0.004	F Notes 1,6 INCHES	R Notes 1,3 INCHES $+0.000 -1/16$	T Note 4 INCHES $+0.000 -0.010$	W Note 5 INCHES	Nom. Pipe Size Locks
	25 lb.	125 lb. 150 lb.	250 lb. 300 lb.	400 lb.	600 lb.	900 lb.	1500 lb.	2500 lb.	25 TO 900 lb.	1500 lb.							
1		2-5/8	2-7/8	3-7/8	2-7/8	3-1/8	3-1/8	3-3/8							0.020		1
1-1/4		3	3-1/4	3-1/4	3-1/4	3-1/2	3-1/2	4-1/8							0.025	Minimum	1-1/4
1-1/2		3-3/8	3-3/4	3-3/4	3-3/4	3-7/8	3-7/8	4-5/8							0.030	0.115	1-1/2
2		4-1/8	4-3/8	4-3/8	4-3/8	5-5/8	5-5/8	5-3/4	3	3						Nominal 0.125	2
2-1/2		4-7/8	5-1/8	5-1/8	5-1/8	6-1/2	6-1/2	6-5/8								1/32	2-1/2
3		5-3/8	5-7/8	5-7/8	5-7/8	6-5/8	6-7/8	7-3/4									3
3-1/2		6-3/8	6-1/2	6-3/8	6-3/8												3-1/2
4	6-7/8	6-7/8	7-1/8	7	7-5/8	8-1/8	8-1/4	9-1/4	3	3-1/2	1				1/16	Maximum 0.130	4
5	7-7/8	7-3/4	8-1/2	8-3/8	9-1/2	9-3/4	10	11									5
6	8-7/8	8-3/4	9-7/8	9-3/4	10-1/2	11-3/8	11-1/8	12-1/2	3-1/2							Minimum 0.115	6
8	11-1/8	11	12-1/8	12	12-5/8	14-1/8	13-7/8	15-1/4		4						Nominal 0.125	8
10	13-5/8	13-3/8	14-1/4	14-1/8	15-3/4	17-1/8	17-1/8	18-3/4								Maximum 0.135	10
12	16-3/8	16-1/8	16-5/8	16-1/2	18	19-5/8	20-1/2	21-5/8	4	5							12
14	18	17-3/4	19-1/8														14
16	20-1/2	20-1/4	21-1/4														16
18	22	21-5/8	23-1/2						3-1/2		1-1/2						18
20	24-1/4	23-7/8	25-3/4														20
24	28-3/4	28-1/4	30-1/2														24

NOTES:

- "D" is published Inside Diameter of Pipe.
- "d" is the diameter of the eccentric bore.
- See Table II for "G".
- Values Given Are For d/D Ratios (Beta) of 0.25 to 0.70 Inclusive. For other values of d/D, T Shall Not Exceed the Smallest of:
 - d/8
 - D/50
 - (D-d)/8
- Extreme combinations of temperature, pressure, and high differentials can require plate thicker than those shown.
- See Table III For Tolerances.

T A B L A I I

"d" Inches	"G" Max. Diameter Inches	"d" Inches	"G" Max. Diameter Inches
Less Than 1.000	Not Used	8.376 - 9.250	5/16
1.000 - 3.500	3/32	9.251 - 10.000	11/32
3.501 - 4.125	1/8	10.001 - 10.875	3/8
4.126 - 5.000	5/32	10.876 - 11.625	13/32
5.001 - 6.000	3/16	11.626 - 12.500	7/16
6.001 - 6.750	7/32	12.501 - 13.250	15/32
6.751 - 7.500	1/4	13.251 and larger	1/2
7.501 - 8.375	9/32		

T A B L A I I I

"d", "F" or "H" Inches	Max. Tolerance Plus or Minus Inches	"d", "F" or "H" Inches	Max. Tolerance Plus or Minus Inches
Less than 0.2500	0.0003	1.0001 - 1.2500	0.0014
0.2500 - 0.3750	0.0005	1.2501 - 1.5000	0.0017
0.3751 - 0.5000	0.0006	1.5001 - 1.7500	0.0020
0.5001 - 0.6250	0.0008	1.7501 - 5.0000	0.0025
0.6251 - 0.7500	0.0009	Over 5.0000	0.0005 per in.
0.7501 - 0.8750	0.0010		of diameter
0.8751 - 1.0000	0.0012		

A) LIQUIDO

$$Q = 5.67 SD^2 \left(\frac{1}{\sqrt{G}} \right) \sqrt{hw}$$

Q= _____ (GPM) FLUJO MAX. EN LA ESC. GENERALMENTE 1.2
DE Q max.

D= _____ DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA (PULGADAS)

G= _____ DENSIDAD DEL FLUIDO A CONDICIONES DEL FLUIDO
COMPARADA CON AGUA A 60°F

hw= _____ PRESION DIFERENCIAL EN PULGADAS DE COLUMNA
DE AGUA

S= _____ COEFICIENTE DE FLUJO (TABLA 12,13,14 SPINK)
FUNCION DE B

CLIENTE	CALCULO DE ELEMENTO PRIMARIO DE FLUJO LIQUIDO	
FECHA		PROY. No.
APROBO	REVISIONES	CALCULO
APROBO		HOJA No. DE

HOJA DE CALCULO

CALCULO DE PLACA DE ORIFICIO-GAS

102.

INSTRUMENTO No. _____	SERVICIO _____
No DE LINEA _____	_____
TAMAÑO DE LINEA _____ CEDULA _____	FLUIDO _____

CONDICIONES DE OPERACION	MEDIDOR
FLUJO NORMAL _____	TIPO DE MANOMETRO _____
FLUJO MAXIMO DE LA ESCALA _____ Q_m	ESCALA DE GRAFICA _____
UNIDADES _____	RANGO EN PULG H_2O (SECO) _____ h_m
GRAV. ESP. 60° _____ G	RANGO DE PRESION DE PLUMA PSIA _____ p_m
TEMPERATURA (°F + 460) _____ T_b	SELLO DEL FLUIDO _____
PRESION PSIA (BASE) _____ p_b	GRAV. ESP. 60° F _____ G

CONDICIONES DE OPERACION	PLACA DE ORIFICIO Y BRIDAS
TEMP. DE FLUJO (°F + 460) _____ T_f	MATERIAL DE LA PLACA _____
VISCOSIDAD CPS _____	TIPO DE TOMA _____
PRESION PSIG _____	DIAM. INT. TUB. (PULG.) _____ D
PRESION PSIA _____ p_f	DIAM. INT. ORIFICIO _____ d
	$\beta = d/D =$ _____
FACTOR DE GRAFICA = $C =$ _____	FLUJO = $C \times$ FLUJO DE GRAFICA \times PRES. ESTAT. DE PLUMA

CALCULO

METODO DE "PRINCIPIOS Y PRACTICA DE MEDIDOR DE FLUJO EN INGENIERIA"
NOVENA EDICION POR L.K. SPINK PUBLICADA POR LA CIA. FOXBORO NOMENCLATURA EN PAG. 548

$t =$ _____ Pg. 491	$F_m =$ _____ Pg. 473, 157
$F_{bp} =$ _____ Pg. 500	$F_{ff} =$ _____ Pg. 454
$F_{fb} =$ _____ Pg. 454	$F_g =$ _____ Pg. 455
$h/p =$ BASADO SOBRE h y p_f DE OPERACION	$F_{pv} =$ _____ Pg. 458, 464
$\sqrt{h_w} =$ _____ Pg. 507	$F_a =$ _____ Pg. 166
$\sqrt{P_f} =$ _____ Pg. 508	$Y =$ _____ Pg. 442
$* F_r = 1 + \frac{b}{\sqrt{h p_f}} =$ _____ Pg. 422 (PARA b)	

CON PRESION DE PLUMA USE: $\sqrt{h_m p_m} = \sqrt{\quad}$
PARA OTROS GASES DIF. DEL GAS NAT. REFIERASE A PAG. 40

SIN PRESION DE PLUMA USE: $\sqrt{h_m p_f} = \sqrt{\quad}$

COEFICIENTE EXACTO	BARRENO DE ORIFICIO CONOCIDO
$D^2 =$ _____ Pg. 155	$F_b =$ _____ Pg. 422, 436
$K(\beta)^2 = \frac{Q_m}{338.171 F_{pb} F_{fb} F_{ff} F_g F_{pv} F_a F_m \sqrt{h_m p_m} D^2}$	$Q_m = F_b F_r Y F_{pb} F_{fb} F_g F_{pv} F_a F_m \sqrt{h_m p_f} F_{ff}$ _____ Pg. 428
$K_o(\beta^1) =$ _____	$Q_m =$ _____
$K_o \beta^2 = \frac{K_o(\beta^1)^2}{F_r Y}$	
$K_o \beta^2 =$ _____ $d/D =$ _____ Pg. 442	
$d =$ _____	

NO. FECHA _____ REVISION _____ PPA - CH - PROD. APS. 3 NO. FECHA _____ REVISION _____ PPA - CH - APS. - APRD
1 2 1

CLIENTE _____	ESPECIFICACIONES _____	REV. _____
PLANTA _____	ESP- IN - 30 _____	
LOCALIZ. _____	HOJA DE _____	
	OBRA _____	

C) GASES

$$Q = 338.17 S_0^2 \sqrt{\frac{T}{G}} \sqrt{\frac{520}{460+T}} \sqrt{P} \sqrt{hw}$$

Q= _____ (SCFH) (60°F y 14.73PSIA) FLUJO MAX. EN LA
ESC. GENERALMENTE 1.2 DE Q. MAX.

D= _____ (PULGADAS) DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA

G= _____ DENSIDAD RELATIVA AL AIRE AMBOS EN CONDICIONES
DE OPERACION (RELACION DE PESOS MOLECULARES)

T= _____ (OF) TEMPERATURA DEL FLUIDO EN OPERACION

P= _____ (PSIA) PRESION ESTATICA DEL FLUIDO EN OPERACION;

hw= _____ (PULGADAS DE AGUA CAIDA DE PRESION ALTRAVES
DEL ELEMENTO PRIMARIO A FLUJO MAX. EN LA ESCALA.

S= _____ COEFICIENTE DE FLUJO (TABLA 12,13,14 SPINK)
FUNCION DE B Y ELEMENTO PRIMARIO.

CLIENTE	CALCULO DE ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICION GASES	
FECHA		PROY. No.
APROBO	REVISIONES	CALCULO
APROBO		HOJA No. DE

CALCULO DE LA PLACA DE ORIFICIO—VAPOR

104.

INSTRUMENTO No. _____	SERVICIO _____
LINEA No. _____	_____
TAMAÑO DE LINEA _____ CEDULA _____	FLUIDO _____

CONDICIONES DE OPERACION	MEDIDOR
FLUJO NORMAL _____ Wh	TIPO DE MANOMETRO _____
FLUJO MAXIMO DE LA ESCALA _____ Wm	ESCALA DE GRAFICA _____
UNIDADES (LBS/HR.) _____	RANGO EN H ₂ O (SECO) _____ hm
CALIDAD _____	RANGO DE PRESION DE PLUMA PSIA _____
PRESION PSIG _____	SELLO DEL FLUIDO _____
PRESION PSIA _____ Pf	GRAVEDAD ESPECIFICA 60°F _____
TEMP. DE FLUJO = (°F + 460) = _____ Tf	CONEX. TAMAÑO Y PRESION _____
SOBRE CAL. _____ °F	CORRIENTE ARRIBA _____ CORRIENTE ABAJO _____

PLACA DE ORIFICIO	BRIDAS
MATERIAL DE LA PLACA _____	TIPO DE PLUMA _____
DIAM. INT. TUBO (PULG.) _____ D	DIAM. INT. ORIFICIO (PULG.) _____ d
$\beta = d/D$ _____	
FACTOR DE GRAFICA = C = _____	FLUJO = C x FLUJO x PRESION ESTATICA

CALCULO

METODO DE "PRINCIPIOS Y PRACTICA DE MEDIDOR DE FLUJO
FN INGENIERIA"
NOVENA EDICION POR L.K. SPINK PUBLICADA POR LA CIA. FOXBORO
NOMENCLATURA EN PAGINA 548

$F_m =$ _____ Pg. 157	$F_s =$ _____ Pg. 196-261
$F_o =$ _____ Pg. 156	$Y_s =$ _____ Pg. 355-366
$C_{s1} =$ _____ Pg. 371	$\sqrt{h_m} =$ _____ Pg. 166
$\sqrt{y_1} =$ _____ Pg. 333-345	$h_w = \frac{\Delta P \text{ DE OPERACION}}{\text{PRESION DE OPERACION}}$

USANDO EL COEF. CONOCIDO ENCONTRAR d

$D^2 =$ _____ Pg. 165

$S_1 = \frac{W_m}{359 D^2 F_o F_m \sqrt{y_1} \sqrt{h_m}}$ Pg. 332

$S_1 =$ _____

$S = \frac{S_1}{F_o Y} =$ _____

$\frac{d}{D} = \beta =$ _____

$d = D\beta =$ _____ Pg. 167-179

USANDO EL DIAM. INT. DEL ORIF. CONOC. ENC. Wm

$W_m = (C_1 F_o F_m F_o Y) \sqrt{y_1} \sqrt{h_m}$ Pg. 332

$W_m =$ _____

No. REYNOLDS = $\frac{6.32 \times W_m}{D \times \mu}$

$\mu =$ VISCOSIDAD EN CENTIPOISES

NO. _____	FECHA _____	REVISION _____	POR _____	CH. _____	APROBADO _____	3	NO. _____	FECHA _____	REVISION _____	POR _____	CH. _____	APROBADO _____	2
-----------	-------------	----------------	-----------	-----------	----------------	---	-----------	-------------	----------------	-----------	-----------	----------------	---

CLIENTE _____	ESPECIFICACIONES _____	REV _____
PLANTA _____	ESP. IN - 28 _____	
LOCALIZ. _____	HOJA DE _____	
	OBRA _____	

B) VAPORES

$$W = 359 S D^2 \sqrt{P} \sqrt{hw}$$

W= _____ FLUJO MAXIMO EN LA ESC. GENERALMENTE 1.2
DE Q MAX. EN LB/HR.

D= _____ (PULGADAS) DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA

ρ = _____ LB/FT³ DENSIDAD DE VAPOR A CONDICIONES DE
OPERACION.

hw= _____ EN PULGADAS EN COLUMNA DE AGUA CAIDA DE PRESION
EN ELEMENTO PRIMARIO A FLUJO MAX. EN LA ESCALA

S= _____ COEFICIENTE DE FLUJO (TABLA 12,13,14 SPINK)
FUNCION DE B Y ELEMENTO PRIMARIO.

CLIENTE	CALCULO DE ELEMENTO PRIMARIO DE FLUJO VAPORES	
FECHA		PROY. No.
APROBO	REVISIONES	CALCULO
APROBO		HOJA No. DE

HOJA DE ESPECIFICACIONES

ORIFICE PLATES & FLANGES

106.

ACQUISITION NO.	VENDOR	MODEL NO.
ORIFICE PLATE		ORIFICE FLANGE
1 CONCENTRIC: <input checked="" type="checkbox"/> OTHER	7 TAPS: FLANGE <input type="checkbox"/> PIPE <input type="checkbox"/> OTHER	<i>No</i>
2 MAKE TO ASME STANDARD <input checked="" type="checkbox"/> OTHER	8 RATING & FACING	
3 PLATE MATERIAL: 316 S.S. <input checked="" type="checkbox"/> OTHER	9 TYPE: WELD NECK <input type="checkbox"/> OTHER	
4 RTJ RING MAT'L & TYPE	10 MAT'L: STEEL <input type="checkbox"/> OTHER	
5 BORE MAXIMUM RATE <input checked="" type="checkbox"/> NEAREST 1/8" <input type="checkbox"/>	11 TAP SIZE 1/2" NPT <input type="checkbox"/> OTHER	
6 STAMP TO ISA STANDARD <input checked="" type="checkbox"/> OTHER	12 FLANGES BY MAT'L: CONT'L <input type="checkbox"/>	

12 TAG NUMBER	1-FF-140		
14 ITEM NUMBER	✓		
15 SERVICE	ACI 100 C.I.C.H. -5L110 U2-2A		
16 LINE SIZE NO. & SPEC.	N/A-LEEC		
SERVICE CONDITIONS			
17 FLUID	VAPOR DE ACIDO CLORHIDRICO		
18 FLOW UNITS	Kg/VORA		
19 MAX. FLOW OPER. BASE	586.75		
20 NORM. FLOW OPER. BASE	348.10		
21 PRESS. (PSIA) OPER. BASE	13.0		
22 TEMPERATURE °F OPER. BASE	158.0		
23 S.G. @ 60° F & BASE PRESSURE	0.694		
24 S.G. @ FLOWING CONDITIONS	0.0895		
25 SUPERCOMP. FACTOR @ O.P.			
26 VAPOR, GAS MOL. WT.	27.03		
27 VISCOSITY CP @ F.T.			
28 STEAM QUAL. SUPERHEAT °F	VAPOR 176		
29 WEEP HOLE REQUIRED			
30 VISCOSITY CORRECTION (F _v)			
31 EXPANSION FACTOR (F _p)			
32 DENSITY (lb./FT ³) OPER. BASE	0.061		
33 COMPRESSIBILITY OPER. BASE			
34 Cp/Cv			
35 SPECIFIC VOLUME (FT ³ /lb.)			
MEASURING STATION DATA			
36 ACTUAL ORIFICE I.D. INS.			
37 LINE FLANGE I.D. INS.			
38 SEAL S.G. @ 60° F			
39 MANOMETER TYPE			
40 DIFF. RANGE INS. H ₂ O DRY			
41 STATIC RANGE PSIA			
42 CHART OR SCALE RANGE			
43 CHART MULTIPLIER (C)			
44 BETA RATIO d/D			
45 MANOMETER CORRECTION (F _m)			
46 FLOW EQUALS			
47 LINE: SIZE SCHED.			

NOTES:

- VOLUME RATES OF FLOW ARE EXPRESSED AT 60° F FOR LIQUIDS AND ON BASE CONDITIONS FOR GASES AND VAPORS.
- VENTS AND DRAINS (WEEP HOLES) WHEN SPECIFIED SHALL CONFORM TO §20 (1) OF THE ASME "FLOW MEASUREMENT" CHAPT. 4, PTC 19.5.4-1959
- "F" EQUALS FLOW PEN READING; "P" EQUALS STATIC PRESSURE PEN READING.

DATE	TIME	REVISION	BY	EX	APPROV.	DATE	REVISION	BY	EX	APPROV.
CUSTOMER						DRAWING NUMBER		REV.		
PLANT						SPEC.				
LOCATION						SHEET		OF		
						JOB				

TABLE 12
 S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS,
 OR CORNER TAPS

$$S = 0.598\beta^2 + 0.01\beta^3 + 0.00001947\beta^4 (10\beta)^{4.425}$$

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.080	.003832	.000097	.114	.007787	.000137	.148	.01313	.00018
.081	.003929	.000098	.115	.007924	.000139	.149	.01331	.00018
.082	.004027	.000098	.116	.008063	.000140	.150	.01349	.00018
.083	.004125	.000100	.117	.008203	.000141	.151	.01367	.00018
.084	.004225	.000102	.118	.008344	.000142	.152	.01385	.00019
.085	.004327	.000102	.119	.008486	.000143	.153	.01404	.00018
.086	.004429	.000104	.120	.008629	.000145	.154	.01422	.00019
.087	.004533	.000105	.121	.008774	.000145	.155	.01441	.00018
.088	.004638	.000106	.122	.008919	.000147	.156	.01459	.00019
.089	.004744	.000107	.123	.009066	.000149	.157	.01478	.00019
.090	.004851	.000109	.124	.009215	.000149	.158	.01497	.00019
.091	.004960	.000109	.125	.009364	.000151	.159	.01516	.00019
.092	.005069	.000111	.126	.009515	.000151	.160	.01535	.00020
.093	.005180	.000112	.127	.009666	.000154	.161	.01555	.00020
.094	.005292	.000114	.128	.009820	.000154	.162	.01575	.00020
.095	.005406	.000114	.129	.009974	.000156	.163	.01595	.00020
.096	.005520	.000116	.130	.01013	.00016	.164	.01615	.00020
.097	.005636	.000117	.131	.01029	.00015	.165	.01635	.00019
.098	.005753	.000118	.132	.01044	.00016	.166	.01654	.00020
.099	.005871	.000119	.133	.01060	.00016	.167	.01674	.00020
.100	.005990	.000121	.134	.01076	.00016	.168	.01694	.00020
.101	.006111	.000121	.135	.01092	.00017	.169	.01714	.00020
.102	.006232	.000123	.136	.01109	.00016	.170	.01734	.00021
.103	.006355	.000124	.137	.01125	.00017	.171	.01755	.00021
.104	.006479	.000126	.138	.01142	.00016	.172	.01776	.00021
.105	.006605	.000126	.139	.01158	.00017	.173	.01797	.00021
.106	.006731	.000128	.140	.01175	.00017	.174	.01818	.00021
.107	.006859	.000129	.141	.01192	.00017	.175	.01839	.00021
.108	.006988	.000130	.142	.01209	.00017	.176	.01860	.00021
.109	.007118	.000131	.143	.01226	.00018	.177	.01881	.00021
.110	.007249	.000133	.144	.01244	.00017	.178	.01902	.00021
.111	.007382	.000134	.145	.01261	.00017	.179	.01923	.00021
.112	.007516	.000135	.146	.01278	.00017	.180	.01944	.00022
.113	.007651	.000136	.147	.01295	.00018	.181	.01966	.00023
.114	.007787		.148	.01313		.182	.01989	

TABLE 12 (cont.)

S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS, OR CORNER TAPS

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.182	.01989	.00022	.219	.02882	.00026	.256	.03945	.00031
.183	.02011	.00022	.220	.02908	.00027	.257	.03976	.00031
.184	.02033	.00023	.221	.02935	.00027	.258	.04007	.00031
.185	.02056	.00023	.222	.02962	.00028	.259	.04038	.00031
.186	.02078	.00022	.223	.02990	.00027	.260	.04069	.00031
.187	.02100	.00022	.224	.03017	.00027	.261	.04101	.00032
.188	.02122	.00023	.225	.03044	.00027	.262	.04133	.00032
.189	.02145	.00022	.226	.03071	.00027	.263	.04166	.00033
.190	.02167	.00023	.227	.03098	.00027	.264	.04198	.00032
.191	.02190	.00024	.228	.03125	.00028	.265	.04230	.00032
.192	.02214	.00023	.229	.03153	.00027	.266	.04262	.00032
.193	.02237	.00024	.230	.03180	.00028	.267	.04294	.00032
.194	.02261	.00023	.231	.03208	.00029	.268	.04326	.00032
.195	.02284	.00024	.232	.03237	.00028	.269	.04358	.00033
.196	.02308	.00023	.233	.03265	.00028	.270	.04391	.00033
.197	.02331	.00024	.234	.03293	.00029	.271	.04424	.00033
.198	.02355	.00023	.235	.03322	.00028	.272	.04457	.00034
.199	.02378	.00024	.236	.03350	.00029	.273	.04491	.00033
.200	.02402	.00024	.237	.03379	.00028	.274	.04524	.00034
.201	.02426	.00025	.238	.03407	.00028	.275	.04558	.00033
.202	.02451	.00025	.239	.03435	.00029	.276	.04591	.00034
.203	.02476	.00024	.240	.03464	.00029	.277	.04625	.00033
.204	.02500	.00025	.241	.03493	.00030	.278	.04658	.00034
.205	.02525	.00025	.242	.03523	.00030	.279	.04691	.00034
.206	.02550	.00025	.243	.03553	.00029	.280	.04725	.00034
.207	.02575	.00024	.244	.03582	.00030	.281	.04759	.00035
.208	.02599	.00025	.245	.03612	.00030	.282	.04794	.00035
.209	.02624	.00025	.246	.03642	.00029	.283	.04829	.00035
.210	.02649	.00026	.247	.03671	.00030	.284	.04864	.00034
.211	.02675	.00026	.248	.03701	.00029	.285	.04898	.00035
.212	.02701	.00026	.249	.03730	.00030	.286	.04933	.00035
.213	.02727	.00025	.250	.03760	.00031	.287	.04968	.00034
.214	.02752	.00026	.251	.03791	.00031	.288	.05002	.00035
.215	.02778	.00026	.252	.03822	.00031	.289	.05037	.00035
.216	.02804	.00026	.253	.03853	.00031	.290	.05072	.00036
.217	.02830	.00026	.254	.03884	.00031	.291	.05108	.00036
.218	.02856	.00026	.255	.03915	.00030	.292	.05144	.00036
.219	.02882		.256	.03945		.293	.05180	

TABLE 12 (cont.)

S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS, OR CORNER TAPS

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.293	.05180	.00036	.330	.06590	.00041	.367	.08188	.00045
.294	.05216	.00036	.331	.06631	.00042	.368	.08233	.00046
.295	.05252	.00036	.332	.06673	.00041	.369	.08279	.00045
.296	.05288	.00036	.333	.06714	.00041	.370	.08324	.00047
.297	.05324	.00036	.334	.06755	.00041	.371	.08371	.00047
.298	.05360	.00036	.335	.06796	.00042	.372	.08418	.00047
.299	.05396	.00036	.336	.06838	.00041	.373	.08465	.00047
.300	.05432	.00037	.337	.06879	.00041	.374	.08512	.00047
.301	.05469	.00037	.338	.06920	.00042	.375	.08559	.00047
.302	.05506	.00038	.339	.06962	.00041	.376	.08606	.00047
.303	.05544	.00037	.340	.07003	.00042	.377	.08653	.00047
.304	.05581	.00037	.341	.07045	.00043	.378	.08700	.00046
.305	.05618	.00037	.342	.07088	.00043	.379	.08746	.00047
.306	.05655	.00038	.343	.07131	.00042	.380	.08793	.00049
.307	.05693	.00037	.344	.07173	.00043	.381	.08842	.00048
.308	.05730	.00037	.345	.07216	.00043	.382	.08890	.00048
.309	.05767	.00038	.346	.07259	.00042	.383	.08938	.00049
.310	.05805	.00038	.347	.07301	.00042	.384	.08987	.00048
.311	.05843	.00039	.348	.07343	.00043	.385	.09035	.00049
.312	.05882	.00038	.349	.07386	.00043	.386	.09084	.00048
.313	.05920	.00039	.350	.07429	.00044	.387	.09132	.00049
.314	.05959	.00038	.351	.07473	.00044	.388	.09181	.00048
.315	.05998	.00038	.352	.07517	.00045	.389	.09229	.00048
.316	.06036	.00039	.353	.07562	.00044	.390	.09277	.00050
.317	.06075	.00038	.354	.07606	.00044	.391	.09327	.00050
.318	.06113	.00039	.355	.07650	.00044	.392	.09377	.00050
.319	.06152	.00039	.356	.07694	.00044	.393	.09427	.00049
.320	.06191	.00040	.357	.07738	.00044	.394	.09476	.00050
.321	.06231	.00039	.358	.07782	.00044	.395	.09526	.00050
.322	.06270	.00040	.359	.07826	.00044	.396	.09576	.00050
.323	.06310	.00040	.360	.07870	.00045	.397	.09626	.00050
.324	.06350	.00040	.361	.07915	.00046	.398	.09676	.00050
.325	.06390	.00040	.362	.07961	.00045	.399	.09726	.00050
.326	.06430	.00040	.363	.08006	.00046	.400	.09776	.00051
.327	.06470	.00040	.364	.08052	.00045	.401	.09827	.00051
.328	.06510	.00040	.365	.08097	.00046	.402	.09878	.00052
.329	.06550	.00040	.366	.08143	.00045	.403	.09930	.00051
.330	.06590		.367	.08188		.404	.09981	

TABLE 12 (cont.)
S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS, OR CORNER TAPS

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.404	.09981	.0005	.441	.1198	.0006	.478	.1422	.0007
.405	.1003	.0005	.442	.1204	.0006	.479	.1429	.0006
.406	.1008	.0006	.443	.1210	.0006	.480	.1435	.0007
.407	.1014	.0005	.444	.1216	.0005	.481	.1442	.0006
.408	.1019	.0005	.445	.1221	.0006	.482	.1448	.0007
.409	.1024	.0005	.446	.1227	.0006	.483	.1455	.0006
.410	.1029	.0005	.447	.1233	.0006	.484	.1461	.0007
.411	.1034	.0006	.448	.1239	.0006	.485	.1468	.0006
.412	.1040	.0005	.449	.1245	.0006	.486	.1474	.0007
.413	.1045	.0005	.450	.1251	.0005	.487	.1481	.0006
.414	.1050	.0005	.451	.1256	.0007	.488	.1487	.0007
.415	.1055	.0006	.452	.1263	.0006	.489	.1494	.0006
.416	.1061	.0005	.453	.1269	.0006	.490	.1500	.0007
.417	.1066	.0005	.454	.1275	.0005	.491	.1507	.0007
.418	.1071	.0006	.455	.1280	.0006	.492	.1514	.0007
.419	.1077	.0005	.456	.1286	.0006	.493	.1521	.0006
.420	.1082	.0005	.457	.1292	.0006	.494	.1527	.0007
.421	.1087	.0006	.458	.1298	.0006	.495	.1534	.0007
.422	.1093	.0005	.459	.1304	.0006	.496	.1541	.0007
.423	.1098	.0006	.460	.1310	.0006	.497	.1548	.0006
.424	.1104	.0005	.461	.1316	.0007	.498	.1554	.0007
.425	.1109	.0006	.462	.1323	.0006	.499	.1561	.0007
.426	.1115	.0005	.463	.1329	.0006	.500	.1568	.0007
.427	.1120	.0006	.464	.1335	.0006	.501	.1575	.0007
.428	.1126	.0005	.465	.1341	.0006	.502	.1582	.0007
.429	.1131	.0006	.466	.1347	.0006	.503	.1589	.0006
.430	.1137	.0005	.467	.1353	.0007	.504	.1595	.0007
.431	.1142	.0006	.468	.1360	.0006	.505	.1602	.0007
.432	.1148	.0005	.469	.1366	.0006	.506	.1609	.0007
.433	.1153	.0006	.470	.1372	.0006	.507	.1616	.0007
.434	.1159	.0005	.471	.1378	.0006	.508	.1623	.0007
.435	.1164	.0006	.472	.1384	.0007	.509	.1630	.0007
.436	.1170	.0006	.473	.1391	.0006	.510	.1637	.0007
.437	.1176	.0005	.474	.1397	.0007	.511	.1644	.0007
.438	.1181	.0006	.475	.1404	.0006	.512	.1651	.0007
.439	.1187	.0005	.476	.1410	.0006	.513	.1658	.0008
.440	.1192	.0006	.477	.1416	.0006	.514	.1666	.0007
.441	.1198		.478	.1422		.515	.1673	

TABLE 12 (cont.)

S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS, OR CORNER TAPS

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.515	.1673	.0007	.552	.1953	.0008	.589	.2268	.0009
.516	.1680	.0007	.553	.1961	.0008	.590	.2277	.0009
.517	.1687	.0007	.554	.1969	.0008	.591	.2286	.0009
.518	.1694	.0007	.555	.1977	.0008	.592	.2295	.0009
.519	.1701	.0007	.556	.1985	.0008	.593	.2304	.0010
.520	.1709	.0008	.557	.1993	.0008	.594	.2314	.0009
.521	.1716	.0007	.558	.2002	.0009	.595	.2323	.0009
.522	.1723	.0007	.559	.2010	.0008	.596	.2332	.0009
.523	.1731	.0008	.560	.2018	.0008	.597	.2341	.0009
.524	.1738	.0007	.561	.2026	.0008	.598	.2350	.0010
.525	.1745	.0007	.562	.2034	.0008	.599	.2360	.0009
.526	.1753	.0008	.563	.2043	.0009	.600	.2369	.0009
.527	.1760	.0007	.564	.2051	.0008	.601	.2378	.0010
.528	.1768	.0008	.565	.2060	.0009	.602	.2388	.0009
.529	.1775	.0007	.566	.2068	.0008	.603	.2397	.0010
.530	.1782	.0007	.567	.2076	.0008	.604	.2407	.0010
.531	.1790	.0008	.568	.2085	.0009	.605	.2417	.0009
.532	.1797	.0007	.569	.2093	.0008	.606	.2426	.0010
.533	.1805	.0008	.570	.2101	.0008	.607	.2436	.0009
.534	.1813	.0008	.571	.2110	.0009	.608	.2445	.0010
.535	.1820	.0007	.572	.2119	.0009	.609	.2455	.0009
.536	.1828	.0008	.573	.2127	.0008	.610	.2464	.0010
.537	.1836	.0008	.574	.2136	.0009	.611	.2474	.0010
.538	.1843	.0007	.575	.2144	.0008	.612	.2484	.0010
.539	.1851	.0008	.576	.2153	.0009	.613	.2494	.0010
.540	.1858	.0007	.577	.2162	.0009	.614	.2504	.0009
.541	.1866	.0008	.578	.2170	.0008	.615	.2513	.0010
.542	.1874	.0008	.579	.2179	.0009	.616	.2523	.0010
.543	.1882	.0008	.580	.2188	.0009	.617	.2533	.0010
.544	.1890	.0008	.581	.2197	.0009	.618	.2543	.0010
.545	.1898	.0008	.582	.2205	.0008	.619	.2553	.0010
.546	.1905	.0007	.583	.2214	.0009	.620	.2563	.0010
.547	.1913	.0008	.584	.2223	.0009	.621	.2573	.0010
.548	.1921	.0008	.585	.2232	.0009	.622	.2583	.0010
.549	.1929	.0008	.586	.2241	.0009	.623	.2593	.0010
.550	.1937	.0008	.587	.2250	.0009	.624	.2603	.0011
.551	.1945	.0008	.588	.2259	.0009	.625	.2614	.0010
.552	.1953	.0008	.589	.2268	.0009	.626	.2624	.0010

TABLE 12 (cont.)
S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS, OR CORNER TAPS

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.626	.2624	.0010	.663	.3027	.0012	.700	.3488	.0014
.627	.2634	.0010	.664	.3039	.0012	.701	.3502	.0013
.628	.2644	.0010	.665	.3051	.0012	.702	.3515	.0014
.629	.2654	.0011	.666	.3063	.0011	.703	.3529	.0014
.630	.2665	.0010	.667	.3074	.0012	.704	.3543	.0013
.631	.2675	.0011	.668	.3086	.0012	.705	.3556	.0014
.632	.2686	.0011	.669	.3098	.0012	.706	.3570	.0013
.633	.2696	.0011	.670	.3110	.0012	.707	.3583	.0014
.634	.2707	.0010	.671	.3122	.0012	.708	.3597	.0013
.635	.2717	.0011	.672	.3134	.0012	.709	.3610	.0014
.636	.2728	.0010	.673	.3146	.0012	.710	.3624	.0014
.637	.2738	.0011	.674	.3158	.0013	.711	.3638	.0014
.638	.2749	.0011	.675	.3171	.0012	.712	.3652	.0014
.639	.2760	.0010	.676	.3183	.0012	.713	.3666	.0014
.640	.2770	.0011	.677	.3195	.0012	.714	.3680	.0014
.641	.2781	.0011	.678	.3207	.0012	.715	.3694	.0015
.642	.2792	.0011	.679	.3219	.0012	.716	.3709	.0014
.643	.2803	.0011	.680	.3231	.0013	.717	.3723	.0014
.644	.2814	.0011	.681	.3244	.0013	.718	.3737	.0014
.645	.2825	.0011	.682	.3257	.0012	.719	.3751	.0014
.646	.2836	.0011	.683	.3269	.0013	.720	.3765	.0015
.647	.2847	.0010	.684	.3282	.0012	.721	.3780	.0014
.648	.2857	.0011	.685	.3294	.0013	.722	.3794	.0015
.649	.2868	.0011	.686	.3307	.0013	.723	.3809	.0014
.650	.2879	.0012	.687	.3320	.0012	.724	.3823	.0015
.651	.2891	.0011	.688	.3332	.0013	.725	.3838	.0015
.652	.2902	.0011	.689	.3345	.0012	.726	.3853	.0014
.653	.2913	.0011	.690	.3357	.0013	.727	.3867	.0015
.654	.2924	.0012	.691	.3370	.0014	.728	.3882	.0015
.655	.2936	.0011	.692	.3384	.0013	.729	.3897	.0014
.656	.2947	.0011	.693	.3397	.0013	.730	.3911	.0015
.657	.2958	.0012	.694	.3410	.0013	.731	.3926	.0016
.658	.2970	.0011	.695	.3423	.0013	.732	.3942	.0015
.659	.2981	.0011	.696	.3436	.0013	.733	.3957	.0015
.660	.2992	.0012	.697	.3449	.0013	.734	.3972	.0016
.661	.3004	.0012	.698	.3462	.0013	.735	.3988	.0015
.662	.3016	.0011	.699	.3475	.0013	.736	.4003	.0015
.663	.3027	.0011	.700	.3488	.0013	.737	.4018	.0015

TABLE 12 (concl.)
 S VALUES FOR FLANGE, VENA CONTRACTA, RADIUS,
 OR CORNER TAPS

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.737	.4018	.0015	.758	.4353	.0017	.779	.4718	.0017
.738	.4033	.0015	.759	.4370	.0016	.780	.4735	.0019
.739	.4048	.0016	.760	.4386	.0017	.781	.4754	.0018
.740	.4064	.0015	.761	.4403	.0017	.782	.4772	.0019
.741	.4079	.0016	.762	.4420	.0018	.783	.4791	.0018
.742	.4095	.0016	.763	.4438	.0017	.784	.4809	.0019
.743	.4111	.0016	.764	.4455	.0017	.785	.4828	.0018
.744	.4127	.0016	.765	.4472	.0017	.786	.4846	.0019
.745	.4143	.0016	.766	.4489	.0017	.787	.4865	.0019
.746	.4159	.0015	.767	.4506	.0017	.788	.4884	.0018
.747	.4174	.0016	.768	.4523	.0017	.789	.4902	.0019
.748	.4190	.0016	.769	.4540	.0017	.790	.4921	.0019
.749	.4206	.0016	.770	.4557	.0018	.791	.4940	.0019
.750	.4222	.0016	.771	.4575	.0018	.792	.4959	.0019
.751	.4238	.0017	.772	.4593	.0018	.793	.4978	.0020
.752	.4255	.0016	.773	.4611	.0018	.794	.4998	.0019
.753	.4271	.0017	.774	.4629	.0017	.795	.5017	.0019
.754	.4288	.0016	.775	.4646	.0018	.796	.5036	.0020
.755	.4304	.0016	.776	.4664	.0018	.797	.5056	.0019
.756	.4320	.0017	.777	.4682	.0018	.798	.5075	.0019
.757	.4337	.0016	.778	.4700	.0018	.799	.5094	.0019
.758	.4353		.779	.4718		.800	.5113	

Note: Vena contracta taps should be used on d/D ratios above 0.75, except when only rough comparative measurements are desired.

TABLE 13
S VALUES FOR FULL-FLOW TAPS ($2\frac{1}{2}D$ AND $8D$)

$$S = 0.58925\beta^2 + 0.2725\beta^3 - 0.825\beta^4 + 1.75\beta^5$$

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.040	.000958	.000049	.074	.003316	.000092	.108	.007130	.000134
.041	.001007	.000050	.075	.003408	.000092	.109	.007264	.000136
.042	.001057	.000052	.076	.003500	.000094	.110	.007400	.000137
.043	.001109	.000052	.077	.003594	.000095	.111	.007537	.000138
.044	.001161	.000054	.078	.003689	.000096	.112	.007675	.000140
.045	.001215	.000055	.079	.003785	.000098	.113	.007815	.000141
.046	.001270	.000056	.080	.003883	.000098	.114	.007956	.000142
.047	.001326	.000058	.081	.003981	.000100	.115	.008098	.000144
.048	.001384	.000059	.082	.004081	.000102	.116	.008242	.000144
.049	.001443	.000060	.083	.004183	.000102	.117	.008386	.000147
.050	.001503	.000061	.084	.004285	.000104	.118	.008533	.000147
.051	.001564	.000062	.085	.004389	.000106	.119	.008680	.000149
.052	.001626	.000064	.086	.004495	.000106	.120	.008829	.000150
.053	.001690	.000065	.087	.004601	.000108	.121	.008979	.000151
.054	.001755	.000066	.088	.004709	.000109	.122	.009130	.000152
.055	.001821	.000068	.089	.004818	.000110	.123	.009282	.000154
.056	.001889	.000068	.090	.004928	.000111	.124	.009436	.000155
.057	.001957	.000070	.091	.005039	.000113	.125	.009591	.000157
.058	.002027	.000071	.092	.005152	.000114	.126	.009748	.000157
.059	.002098	.000073	.093	.005266	.000115	.127	.009905	.000155
.060	.002171	.000074	.094	.005381	.000117	.128	.01006	.00016
.061	.002245	.000074	.095	.005498	.000118	.129	.01022	.00017
.062	.002319	.000077	.096	.005616	.000119	.130	.01039	.00016
.063	.002396	.000077	.097	.005735	.000120	.131	.01055	.00016
.064	.002473	.000079	.098	.005855	.000122	.132	.01071	.00017
.065	.002552	.000081	.099	.005977	.000123	.133	.01088	.00017
.066	.002633	.000080	.100	.006100	.000124	.134	.01105	.00016
.067	.002713	.000082	.101	.006224	.000126	.135	.01121	.00017
.068	.002795	.000084	.102	.006350	.000127	.136	.01138	.00017
.069	.002879	.000085	.103	.006477	.000128	.137	.01155	.00018
.070	.002964	.000086	.104	.006605	.000129	.138	.01173	.00017
.071	.003050	.000088	.105	.006734	.000131	.139	.01190	.00017
.072	.003138	.000088	.106	.006865	.000132	.140	.01207	.00018
.073	.003226	.000090	.107	.006997	.000133	.141	.01225	.00018
.074	.003316		.108	.007130		.142	.01243	

TABLE 13 (cont.)
S VALUES FOR FULL-FLOW TAPS (2½D AND 8D)

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.142	.01243	.00018	.179	.01992	.00023	.216	.02927	.00027
.143	.01261	.00018	.180	.02015	.00023	.217	.02954	.00028
.144	.01279	.00018	.181	.02038	.00022	.218	.02982	.00029
.145	.01297	.00018	.182	.02060	.00024	.219	.03011	.00028
.146	.01315	.00018	.183	.02084	.00023	.220	.03039	.00029
.147	.01333	.00019	.184	.02107	.00023	.221	.03068	.00028
.148	.01352	.00018	.185	.02130	.00024	.222	.03096	.00029
.149	.01370	.00019	.186	.02154	.00024	.223	.03125	.00029
.150	.01389	.00019	.187	.02178	.00024	.224	.03154	.00029
.151	.01408	.00019	.188	.02202	.00024	.225	.03183	.00029
.152	.01427	.00019	.189	.02226	.00024	.226	.03212	.00030
.153	.01446	.00020	.190	.02250	.00024	.227	.03242	.00029
.154	.01465	.00019	.191	.02274	.00025	.228	.03271	.00030
.155	.01485	.00020	.192	.02299	.00024	.229	.03301	.00029
.156	.01505	.00019	.193	.02323	.00025	.230	.03330	.00030
.157	.01524	.00020	.194	.02348	.00025	.231	.03360	.00030
.158	.01544	.00020	.195	.02373	.00025	.232	.03390	.00031
.159	.01564	.00020	.196	.02398	.00025	.233	.03421	.00030
.160	.01584	.00021	.197	.02423	.00025	.234	.03451	.00031
.161	.01605	.00020	.198	.02448	.00026	.235	.03482	.00030
.162	.01625	.00021	.199	.02474	.00025	.236	.03512	.00031
.163	.01646	.00020	.200	.02499	.00026	.237	.03543	.00031
.164	.01666	.00021	.201	.02525	.00025	.238	.03574	.00021
.165	.01687	.00021	.202	.02550	.00026	.239	.03605	.00031
.166	.01708	.00021	.203	.02576	.00026	.240	.03636	.00032
.167	.01729	.00021	.204	.02602	.00027	.241	.03668	.00031
.168	.01750	.00021	.205	.02629	.00026	.242	.03699	.00032
.169	.01771	.00022	.206	.02655	.00027	.243	.03731	.00032
.170	.01793	.00021	.207	.02682	.00026	.244	.03763	.00032
.171	.01814	.00022	.208	.02708	.00027	.245	.03795	.00032
.172	.01836	.00022	.209	.02735	.00027	.246	.03827	.00032
.173	.01858	.00022	.210	.02762	.00027	.247	.03859	.00033
.174	.01880	.00022	.211	.02789	.00027	.248	.03892	.00032
.175	.01902	.00022	.212	.02816	.00028	.249	.03924	.00033
.176	.01924	.00023	.213	.02844	.00027	.250	.03957	.00033
.177	.01947	.00022	.214	.02871	.00028	.251	.03990	.00033
.178	.01969	.00023	.215	.02899	.00028	.252	.04023	.00033
.179	.01992	.00023	.216	.02927	.00028	.253	.04056	.00033

TABLE 1C (cont.)
S VALUES FOR FULL-FLOW TAPS ($\frac{2}{3}D$ AND BD)

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.253	.04056	.00034	.290	.05396	.00039	.327	.06965	.00055
.254	.04090	.00033	.291	.05435	.00039	.328	.07100	.00056
.255	.04123	.00034	.292	.05474	.00040	.329	.07356	.00057
.256	.04157	.00034	.293	.05514	.00040	.330	.07103	.00055
.257	.04191	.00034	.294	.05554	.00040	.331	.07149	.00055
.258	.04225	.00034	.295	.05594	.00040	.332	.07196	.00057
.259	.04259	.00034	.296	.05634	.00040	.333	.07242	.00056
.260	.04293	.00035	.297	.05674	.00041	.334	.07290	.00058
.261	.04328	.00034	.298	.05715	.00041	.335	.07337	.00057
.262	.04362	.00035	.299	.05755	.00041	.336	.07384	.00058
.263	.04397	.00035	.300	.05796	.00041	.337	.07432	.00058
.264	.04432	.00035	.301	.05837	.00041	.338	.07479	.00058
.265	.04467	.00035	.302	.05878	.00041	.339	.07527	.00058
.266	.04502	.00036	.303	.05919	.00042	.340	.07575	.00059
.267	.04538	.00035	.304	.05961	.00042	.341	.07624	.00058
.268	.04573	.00036	.305	.06003	.00041	.342	.07672	.00059
.269	.04609	.00036	.306	.06044	.00042	.343	.07721	.00059
.270	.04645	.00036	.307	.06086	.00043	.344	.07770	.00059
.271	.04681	.00036	.308	.06129	.00042	.345	.07819	.00059
.272	.04717	.00036	.309	.06171	.00043	.346	.07868	.00050
.273	.04753	.00037	.310	.06214	.00042	.347	.07918	.00050
.274	.04790	.00036	.311	.06256	.00043	.348	.07968	.00050
.275	.04826	.00037	.312	.06299	.00043	.349	.08018	.00050
.276	.04863	.00037	.313	.06342	.00044	.350	.08068	.00050
.277	.04900	.00037	.314	.06386	.00043	.351	.08118	.00051
.278	.04937	.00037	.315	.06429	.00044	.352	.08169	.00050
.279	.04974	.00038	.316	.06473	.00043	.353	.08219	.00051
.280	.05012	.00038	.317	.06516	.00044	.354	.08270	.00052
.281	.05050	.00037	.318	.06560	.00045	.355	.08322	.00051
.282	.05087	.00038	.319	.06605	.00044	.356	.08373	.00051
.283	.05125	.00039	.320	.06649	.00045	.357	.08424	.00052
.284	.05164	.00038	.321	.06694	.00044	.358	.08476	.00052
.285	.05202	.00038	.322	.06738	.00045	.359	.08528	.00052
.286	.05240	.00039	.323	.06783	.00045	.360	.08580	.00053
.287	.05279	.00039	.324	.06828	.00046	.361	.08633	.00053
.288	.05318	.00038	.325	.06874	.00045	.362	.08686	.00052
.289	.05356	.00040	.326	.06919	.00046	.363	.08738	.00054
.290	.05396		.327	.06965		.364	.08792	

TABLE 13 (cont.)
S VALUES FOR FULL FLOW TAPS ($2\frac{1}{2}D$ AND $8D$)

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.364	.08792		.401	.1091		.438	.1338	
		.00053			.0007			.0007
.365	.08845		.402	.1098		.439	.1345	
		.00053			.0006			.0007
.366	.08898		.403	.1104		.440	.1352	
		.00054			.0006			.0008
.367	.08952		.404	.1110		.441	.1360	
		.00054			.0006			.0007
.368	.09006		.405	.1116		.442	.1367	
		.00054			.0007			.0007
.369	.09060		.406	.1123		.443	.1374	
		.00054			.0006			.0007
.370	.09114		.407	.1129		.444	.1381	
		.00055			.0006			.0008
.371	.09169		.408	.1135		.445	.1389	
		.00055			.0007			.0007
.372	.09224		.409	.1142		.446	.1396	
		.00055			.0006			.0008
.373	.09279		.410	.1148		.447	.1404	
		.00055			.0006			.0007
.374	.09334		.411	.1154		.448	.1411	
		.00056			.0007			.0008
.375	.09390		.412	.1161		.449	.1419	
		.00055			.0006			.0007
.376	.09445		.413	.1167		.450	.1426	
		.00056			.0007			.0008
.377	.09501		.414	.1174		.451	.1434	
		.00056			.0006			.0007
.378	.09557		.415	.1180		.452	.1441	
		.00057			.0007			.0008
.379	.09614		.416	.1187		.453	.1449	
		.00056			.0006			.0008
.380	.09670		.417	.1193		.454	.1457	
		.00057			.0007			.0007
.381	.09727		.418	.1200		.455	.1464	
		.00057			.0007			.0008
.382	.09784		.419	.1207		.456	.1472	
		.00058			.0006			.0008
.383	.09842		.420	.1213		.457	.1480	
		.00057			.0007			.0007
.384	.09899		.421	.1220		.458	.1487	
		.00058			.0007			.0008
.385	.09957		.422	.1227		.459	.1495	
		.00053			.0006			.0008
.386	.1001		.423	.1233		.460	.1503	
		.0006			.0007			.0008
.387	.1007		.424	.1240		.461	.1511	
		.0006			.0007			.0008
.388	.1013		.425	.1247		.462	.1519	
		.0006			.0007			.0007
.389	.1019		.426	.1254		.463	.1526	
		.0005			.0007			.0009
.390	.1024		.427	.1261		.464	.1535	
		.0007			.0007			.0008
.391	.1031		.428	.1268		.465	.1543	
		.0006			.0006			.0008
.392	.1037		.429	.1274		.466	.1551	
		.0006			.0007			.0008
.393	.1043		.430	.1281		.467	.1559	
		.0006			.0007			.0008
.394	.1049		.431	.1288		.468	.1567	
		.0006			.0007			.0008
.395	.1055		.432	.1295		.469	.1575	
		.0006			.0007			.0008
.396	.1061		.433	.1302		.470	.1583	
		.0006			.0007			.0009
.397	.1067		.434	.1309		.471	.1592	
		.0006			.0007			.0008
.398	.1073		.435	.1316		.472	.1600	
		.0006			.0008			.0008
.399	.1079		.436	.1324		.473	.1608	
		.0006			.0007			.0008
.400	.1085		.437	.1331		.474	.1616	
		.0006			.0007			.0009
.401	.1091		.438	.1338		.475	.1625	

TABLE 13 (cont.)
S VALUES FOR FULL-FLOW TAPS ($2\frac{1}{2}D$ AND $3D$)

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.475	.1625	.0008	.512	.1959	.0010	.549	.2350	.0012
.476	.1633	.0009	.513	.1969	.0010	.550	.2362	.0011
.477	.1642	.0008	.514	.1979	.0010	.551	.2373	.0012
.478	.1650	.0008	.515	.1989	.0010	.552	.2385	.0011
.479	.1658	.0009	.516	.1999	.0010	.553	.2396	.0012
.480	.1667	.0009	.517	.2008	.0010	.554	.2408	.0012
.481	.1676	.0008	.518	.2018	.0011	.555	.2420	.0011
.482	.1684	.0009	.519	.2029	.0010	.556	.2431	.0012
.483	.1693	.0008	.520	.2039	.0010	.557	.2443	.0012
.484	.1701	.0009	.521	.2049	.0010	.558	.2455	.0012
.485	.1710	.0009	.522	.2059	.0010	.559	.2467	.0012
.486	.1719	.0009	.523	.2069	.0010	.560	.2479	.0012
.487	.1728	.0008	.524	.2079	.0011	.561	.2491	.0012
.488	.1736	.0009	.525	.2090	.0010	.562	.2503	.0012
.489	.1745	.0009	.526	.2100	.0010	.563	.2515	.0012
.490	.1754	.0009	.527	.2110	.0011	.564	.2527	.0012
.491	.1763	.0009	.528	.2121	.0010	.565	.2539	.0012
.492	.1772	.0009	.529	.2131	.0011	.566	.2552	.0012
.493	.1781	.0009	.530	.2142	.0010	.567	.2564	.0012
.494	.1790	.0009	.531	.2152	.0011	.568	.2576	.0013
.495	.1799	.0009	.532	.2163	.0011	.569	.2589	.0012
.496	.1808	.0009	.533	.2174	.0010	.570	.2601	.0012
.497	.1817	.0009	.534	.2184	.0011	.571	.2614	.0012
.498	.1826	.0010	.535	.2195	.0011	.572	.2626	.0013
.499	.1836	.0009	.536	.2206	.0011	.573	.2639	.0013
.500	.1845	.0009	.537	.2217	.0010	.574	.2652	.0012
.501	.1854	.0010	.538	.2227	.0011	.575	.2664	.0013
.502	.1864	.0009	.539	.2238	.0011	.576	.2677	.0013
.503	.1873	.0009	.540	.2249	.0011	.577	.2690	.0013
.504	.1882	.0010	.541	.2260	.0011	.578	.2703	.0013
.505	.1892	.0009	.542	.2271	.0012	.579	.2716	.0013
.506	.1901	.0010	.543	.2283	.0011	.580	.2729	.0013
.507	.1911	.0009	.544	.2294	.0011	.581	.2742	.0013
.508	.1920	.0010	.545	.2305	.0011	.582	.2755	.0013
.509	.1930	.0010	.546	.2316	.0011	.583	.2768	.0014
.510	.1940	.0009	.547	.2327	.0012	.584	.2782	.0013
.511	.1949	.0010	.548	.2339	.0011	.585	.2795	.0013
.512	.1959		.549	.2350		.586	.2808	

TABLE 13 (concl.)
S VALUES FOR FULL-FLOW TAPS ($2\frac{1}{2}D$ AND $8D$)

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.586	.2808	.0014	.624	.3361	.0016	.662	.4013	.0019
.587	.2822	.0013	.625	.3377	.0016	.663	.4032	.0019
.588	.2835	.0014	.626	.3393	.0016	.664	.4051	.0019
.589	.2849	.0013	.627	.3409	.0016	.665	.4070	.0019
.590	.2862	.0014	.628	.3425	.0016	.666	.4089	.0019
.591	.2876	.0014	.629	.3441	.0016	.667	.4108	.0019
.592	.2890	.0013	.630	.3457	.0016	.668	.4127	.0019
.593	.2903	.0014	.631	.3473	.0017	.669	.4146	.0019
.594	.2917	.0014	.632	.3490	.0016	.670	.4165	.0019
.595	.2931	.0014	.633	.3506	.0017	.671	.4184	.0020
.596	.2945	.0014	.634	.3523	.0016	.672	.4204	.0019
.597	.2959	.0014	.635	.3539	.0017	.673	.4223	.0020
.598	.2973	.0014	.636	.3556	.0016	.674	.4243	.0019
.599	.2987	.0015	.637	.3572	.0017	.675	.4262	.0020
.600	.3002	.0014	.638	.3589	.0017	.676	.4282	.0020
.601	.3016	.0014	.639	.3606	.0017	.677	.4302	.0020
.602	.3030	.0014	.640	.3623	.0017	.678	.4322	.0020
.603	.3044	.0015	.641	.3640	.0017	.679	.4342	.0020
.604	.3059	.0014	.642	.3657	.0017	.680	.4362	.0020
.605	.3073	.0015	.643	.3674	.0017	.681	.4382	.0020
.606	.3088	.0015	.644	.3691	.0017	.682	.4402	.0021
.607	.3103	.0014	.645	.3708	.0018	.683	.4423	.0021
.608	.3117	.0015	.646	.3726	.0017	.684	.4443	.0021
.609	.3132	.0015	.647	.3743	.0018	.685	.4464	.0021
.610	.3147	.0015	.648	.3761	.0017	.686	.4484	.0021
.611	.3162	.0015	.649	.3778	.0018	.687	.4505	.0021
.612	.3177	.0015	.650	.3796	.0017	.688	.4526	.0021
.613	.3192	.0015	.651	.3813	.0018	.689	.4547	.0021
.614	.3207	.0015	.652	.3831	.0018	.690	.4568	.0021
.615	.3222	.0015	.653	.3849	.0018	.691	.4589	.0021
.616	.3237	.0015	.654	.3867	.0018	.692	.4610	.0021
.617	.3252	.0016	.655	.3885	.0018	.693	.4631	.0021
.618	.3268	.0015	.656	.3903	.0018	.694	.4652	.0022
.619	.3283	.0016	.657	.3921	.0019	.695	.4674	.0021
.620	.3299	.0016	.658	.3940	.0018	.696	.4695	.0022
.621	.3314	.0016	.659	.3958	.0018	.697	.4717	.0022
.622	.3330	.0016	.660	.3976	.0019	.698	.4739	.0021
.623	.3346	.0015	.661	.3995	.0018	.699	.4760	.0022
.624	.3361		.662	.4013		.700	.4782	

TABLE 14
S VALUES FOR FLOW NOZZLES AND VENTURI TUBES

$$S = 0.98 \sqrt{\frac{1}{(D^*/d^*)^2 - 1}} = 0.98 \sqrt{\frac{\beta^4}{1 - \beta^4}}$$

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.300	.08858	.00059	.333	.1093	.0007	.366	.1325	.0007
.301	.08917	.00060	.334	.1100	.0007	.367	.1332	.0007
.302	.08977	.00059	.335	.1107	.0006	.368	.1339	.0008
.303	.09036	.00057	.336	.1113	.0007	.369	.1347	.0007
.304	.09093	.00063	.337	.1120	.0007	.370	.1354	.0008
.305	.09156	.00063	.338	.1127	.0007	.371	.1361	.0008
.306	.09219	.00058	.339	.1134	.0006	.372	.1369	.0008
.307	.09277	.00061	.340	.1140	.0007	.373	.1377	.0007
.308	.09338	.00062	.341	.1147	.0007	.374	.1384	.0008
.309	.09400	.00066	.342	.1154	.0007	.375	.1392	.0008
.310	.09466	.00056	.343	.1161	.0007	.376	.1400	.0007
.311	.09522	.00065	.344	.1168	.0007	.377	.1407	.0008
.312	.09587	.00060	.345	.1175	.0007	.378	.1415	.0007
.313	.09647	.00065	.346	.1182	.0006	.379	.1422	.0008
.314	.09712	.00064	.347	.1188	.0008	.380	.1430	.0008
.315	.09776	.00058	.348	.1196	.0007	.381	.1438	.0007
.316	.09834	.00064	.349	.1203	.0007	.382	.1445	.0008
.317	.09898	.00068	.350	.1210	.0007	.383	.1453	.0008
.318	.09966	.00064	.351	.1217	.0007	.384	.1461	.0008
.319	.1003	.0006	.352	.1224	.0007	.385	.1469	.0008
.320	.1009	.0006	.353	.1231	.0007	.386	.1477	.0007
.321	.1015	.0007	.354	.1238	.0007	.387	.1484	.0008
.322	.1022	.0006	.355	.1245	.0007	.388	.1492	.0008
.323	.1028	.0006	.356	.1252	.0007	.389	.1500	.0008
.324	.1034	.0007	.357	.1259	.0007	.390	.1508	.0008
.325	.1041	.0007	.358	.1266	.0008	.391	.1516	.0008
.326	.1048	.0006	.359	.1274	.0007	.392	.1524	.0008
.327	.1054	.0006	.360	.1281	.0007	.393	.1532	.0008
.328	.1060	.0007	.361	.1288	.0007	.394	.1540	.0008
.329	.1067	.0006	.362	.1295	.0008	.395	.1548	.0008
.330	.1073	.0007	.363	.1303	.0007	.396	.1556	.0008
.331	.1080	.0007	.364	.1310	.0007	.397	.1564	.0008
.332	.1087	.0006	.365	.1317	.0008	.398	.1572	.0008
.333	.1093		.366	.1325		.399	.1580	

TABLE 14 (cont.)
S VALUES FOR FLOW NOZZLES AND VENTURI TUBES

d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.399	.1580	.0008	.436	.1898	.0009	.473	.2250	.0009
.400	.1588	.0009	.437	.1907	.0009	.474	.2259	.0011
.401	.1597	.0008	.438	.1916	.0009	.475	.2270	.0010
.402	.1605	.0008	.439	.1925	.0009	.476	.2280	.0010
.403	.1613	.0008	.440	.1934	.0009	.477	.2290	.0010
.404	.1621	.0009	.441	.1943	.0009	.478	.2300	.0010
.405	.1630	.0008	.442	.1952	.0009	.479	.2310	.0010
.406	.1638	.0008	.443	.1961	.0009	.480	.2320	.0011
.407	.1646	.0008	.444	.1970	.0010	.481	.2331	.0010
.408	.1654	.0009	.445	.1980	.0009	.482	.2341	.0010
.409	.1663	.0008	.446	.1989	.0009	.483	.2351	.0011
.410	.1671	.0009	.447	.1998	.0010	.484	.2362	.0010
.411	.1680	.0008	.448	.2008	.0009	.485	.2372	.0010
.412	.1688	.0008	.449	.2017	.0009	.486	.2382	.0010
.413	.1696	.0009	.450	.2026	.0010	.487	.2392	.0011
.414	.1705	.0008	.451	.2036	.0009	.488	.2403	.0010
.415	.1713	.0009	.452	.2045	.0010	.489	.2413	.0011
.416	.1722	.0008	.453	.2055	.0010	.490	.2424	.0010
.417	.1730	.0009	.454	.2065	.0009	.491	.2434	.0011
.418	.1739	.0009	.455	.2074	.0009	.492	.2445	.0010
.419	.1748	.0008	.456	.2083	.0010	.493	.2455	.0011
.420	.1756	.0009	.457	.2093	.0010	.494	.2466	.0011
.421	.1765	.0009	.458	.2103	.0009	.495	.2477	.0011
.422	.1774	.0008	.459	.2112	.0010	.496	.2488	.0010
.423	.1782	.0009	.460	.2122	.0009	.497	.2498	.0011
.424	.1791	.0009	.461	.2131	.0010	.498	.2509	.0011
.425	.1800	.0008	.462	.2141	.0010	.499	.2520	.0010
.426	.1808	.0009	.463	.2151	.0009	.500	.2530	.0011
.427	.1817	.0009	.464	.2160	.0010	.501	.2541	.0011
.428	.1826	.0009	.465	.2170	.0010	.502	.2552	.0011
.429	.1835	.0009	.466	.2180	.0010	.503	.2563	.0011
.430	.1844	.0009	.467	.2190	.0010	.504	.2574	.0011
.431	.1853	.0009	.468	.2200	.0010	.505	.2585	.0011
.432	.1862	.0008	.469	.2210	.0010	.506	.2596	.0010
.433	.1870	.0009	.470	.2220	.0010	.507	.2606	.0012
.434	.1879	.0010	.471	.2230	.0010	.508	.2618	.0011
.435	.1889	.0009	.472	.2240	.0010	.509	.2629	.0011
.436	.1898		.473	.2250		.510	.2640	

TABLE 14 (cont.)
S VALUES FOR FLOW NOZZLES AND VENTURI TUBES

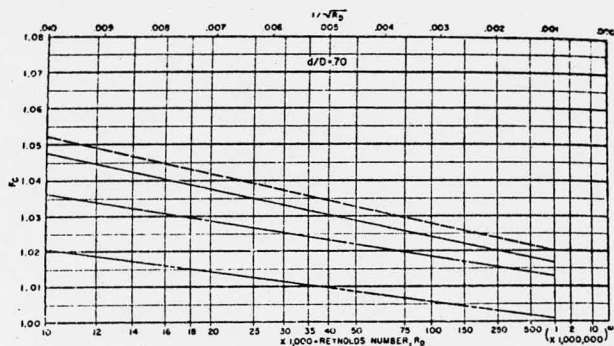
d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.510	.2640	.0011	.547	.3073	.0012	.584	.3555	.0014
.511	.2651	.0011	.548	.3085	.0013	.585	.3569	.0014
.512	.2662	.0011	.549	.3098	.0012	.586	.3583	.0014
.513	.2673	.0011	.550	.3110	.0012	.587	.3597	.0014
.514	.2684	.0011	.551	.3122	.0013	.588	.3610	.0013
.515	.2695	.0012	.552	.3135	.0013	.589	.3624	.0014
.516	.2707	.0011	.553	.3148	.0012	.590	.3639	.0015
.517	.2718	.0012	.554	.3160	.0013	.591	.3653	.0014
.518	.2730	.0010	.555	.3173	.0012	.592	.3667	.0014
.519	.2740	.0012	.556	.3185	.0013	.593	.3681	.0014
.520	.2752	.0012	.557	.3198	.0012	.594	.3695	.0015
.521	.2764	.0011	.558	.3210	.0014	.595	.3710	.0014
.522	.2775	.0012	.559	.3224	.0012	.596	.3724	.0014
.523	.2787	.0011	.560	.3236	.0013	.597	.3738	.0014
.524	.2798	.0012	.561	.3249	.0012	.598	.3752	.0015
.525	.2810	.0012	.562	.3261	.0014	.599	.3767	.0014
.526	.2822	.0011	.563	.3275	.0013	.600	.3781	.0015
.527	.2833	.0012	.564	.3288	.0013	.601	.3796	.0014
.528	.2845	.0011	.565	.3301	.0013	.602	.3810	.0015
.529	.2856	.0012	.566	.3314	.0013	.603	.3825	.0015
.530	.2868	.0011	.567	.3327	.0013	.604	.3840	.0015
.531	.2879	.0012	.568	.3340	.0013	.605	.3855	.0014
.532	.2891	.0013	.569	.3353	.0014	.606	.3869	.0015
.533	.2904	.0012	.570	.3367	.0012	.607	.3884	.0014
.534	.2916	.0011	.571	.3379	.0014	.608	.3898	.0016
.535	.2927	.0013	.572	.3393	.0013	.609	.3914	.0015
.536	.2940	.0011	.573	.3406	.0014	.610	.3929	.0015
.537	.2951	.0012	.574	.3420	.0013	.611	.3944	.0015
.538	.2963	.0012	.575	.3433	.0014	.612	.3959	.0015
.539	.2975	.0012	.576	.3447	.0012	.613	.3974	.0015
.540	.2987	.0013	.577	.3459	.0014	.614	.3989	.0015
.541	.3000	.0012	.578	.3473	.0014	.615	.4004	.0015
.542	.3012	.0012	.579	.3487	.0014	.616	.4019	.0015
.543	.3024	.0012	.580	.3501	.0013	.617	.4034	.0015
.544	.3036	.0012	.581	.3514	.0014	.618	.4049	.0016
.545	.3048	.0013	.582	.3528	.0013	.619	.4065	.0015
.546	.3061	.0012	.583	.3541	.0014	.620	.4080	.0016
.547	.3073		.584	.3555		.621	.4096	

TABLE 14 (cont.)
S VALUES FOR FLOW NOZZLES AND VENTURI TUBES

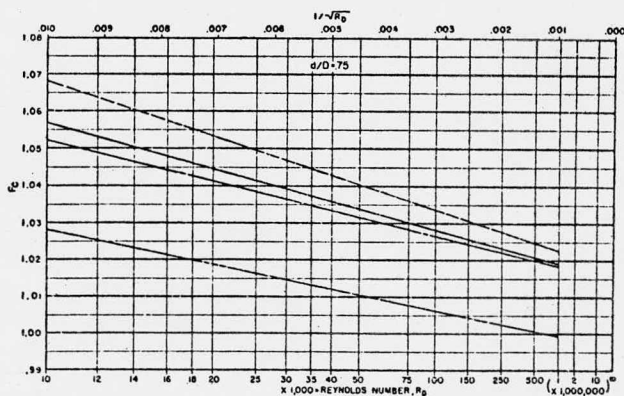
d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.	d/D	S	Diff.
.621	.4096	.0016	.658	.4707	.0018	.695	.5406	.0020
.622	.4112	.0015	.659	.4725	.0017	.696	.5426	.0021
.623	.4127	.0016	.660	.4742	.0018	.697	.5447	.0020
.624	.4143	.0016	.661	.4760	.0018	.698	.5467	.0021
.625	.4159	.0015	.662	.4778	.0018	.699	.5488	.0021
.626	.4174	.0016	.663	.4796	.0018	.700	.5509	.0020
.627	.4190	.0016	.664	.4814	.0017	.701	.5529	.0021
.628	.4206	.0016	.665	.4831	.0019	.702	.5550	.0021
.629	.4222	.0016	.666	.4850	.0018	.703	.5571	.0021
.630	.4238	.0016	.667	.4868	.0018	.704	.5592	.0021
.631	.4254	.0015	.668	.4886	.0019	.705	.5613	.0021
.632	.4269	.0017	.669	.4905	.0018	.706	.5634	.0022
.633	.4286	.0016	.670	.4923	.0019	.707	.5656	.0020
.634	.4302	.0016	.671	.4942	.0018	.708	.5676	.0023
.635	.4318	.0016	.672	.4960	.0019	.709	.5699	.0021
.636	.4334	.0017	.673	.4979	.0018	.710	.5720	.0021
.637	.4351	.0016	.674	.4997	.0019	.711	.5741	.0023
.638	.4367	.0017	.675	.5016	.0019	.712	.5764	.0021
.639	.4384	.0016	.676	.5035	.0018	.713	.5785	.0022
.640	.4400	.0017	.677	.5053	.0019	.714	.5807	.0022
.641	.4417	.0016	.678	.5072	.0019	.715	.5829	.0022
.642	.4433	.0017	.679	.5091	.0020	.716	.5851	.0023
.643	.4450	.0016	.680	.5111	.0019	.717	.5874	.0022
.644	.4466	.0018	.681	.5130	.0019	.718	.5896	.0022
.645	.4484	.0016	.682	.5149	.0019	.719	.5918	.0023
.646	.4500	.0017	.683	.5168	.0020	.720	.5941	.0022
.647	.4517	.0017	.684	.5188	.0019	.721	.5963	.0023
.648	.4534	.0017	.685	.5207	.0020	.722	.5986	.0023
.649	.4551	.0017	.686	.5227	.0019	.723	.6009	.0023
.650	.4568	.0016	.687	.5246	.0020	.724	.6032	.0022
.651	.4584	.0018	.688	.5266	.0020	.725	.6054	.0024
.652	.4602	.0017	.689	.5286	.0020	.726	.6078	.0023
.653	.4619	.0018	.690	.5306	.0020	.727	.6101	.0024
.654	.4637	.0018	.691	.5326	.0020	.728	.6125	.0023
.655	.4655	.0017	.692	.5346	.0020	.729	.6148	.0024
.656	.4672	.0017	.693	.5366	.0020	.730	.6172	.0023
.657	.4689	.0018	.694	.5386	.0020	.731	.6195	.0024
.658	.4707		.695	.5406		.732	.6219	

CALCULO DE PLACAS DE ORIFICIO EXCENTRICAS Y SEGMENTALES

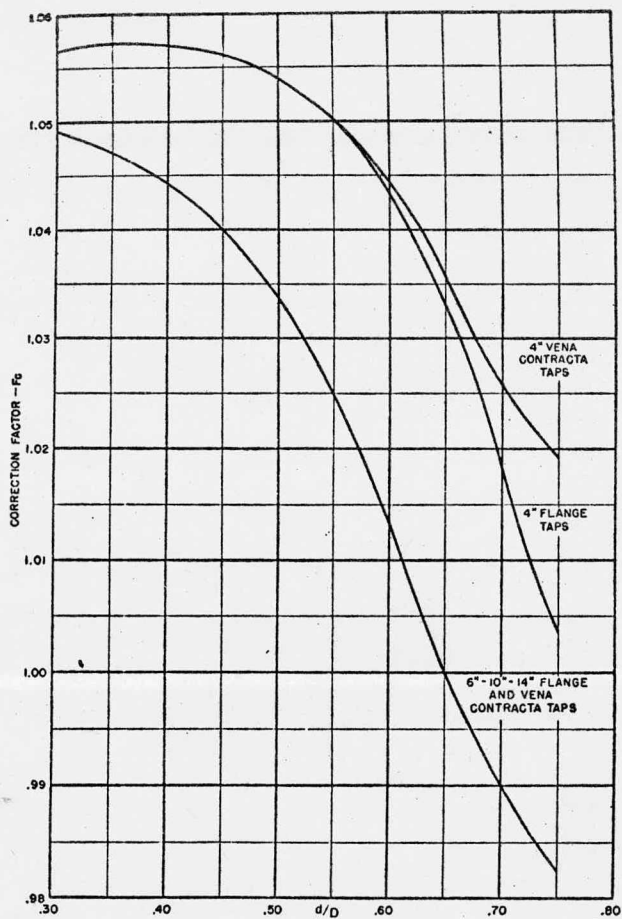
El cálculo de este tipo de placas se basa en la fórmula general de medidores de presión diferencial variable y area constante, variando solamente el factor de corrección para el número de Reynolds F_c , a continuación presentamos las gráficas para corrección de este factor.



FACTOR DE CORRECCION PARA PLACAS EXCENTRICAS Y TOMAS DE VENA CONTRACTA



FACTOR DE CORRECCION PARA PLACAS EXCENTRICAS Y TOMAS DE VENA CONTRACTA



FACTOR DE CORRECCION DEL NUMERO DE REYNOLDS
 F_c PARA PLACA DE ORIFICIO SEGMENTAL.

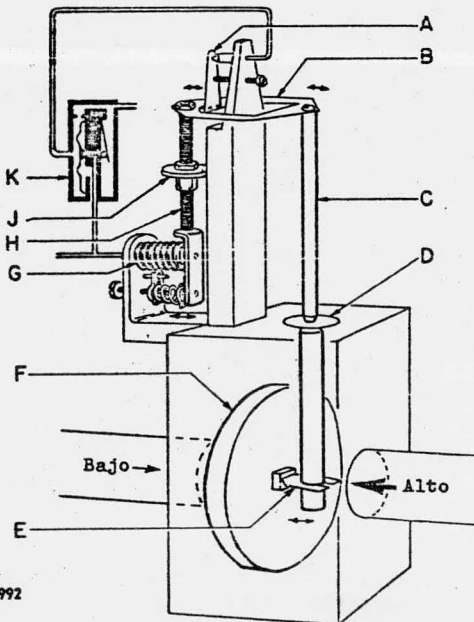
Estas placas excéntricas y segmentales tienen un uso muy reducido en nuestro País.

Con las hojas de cálculo y especificación ponemos término al capítulo de medidores de area constante y presión diferencial variable y sus principales accesorios. El estudio elemental no sería completo si no se llegara a hablar de los elementos secundarios, los cuales se tratan a continuación.

TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL

Principio de Operación

El transmisor de presión diferencial tipo balance de fuerzas es un instrumento que mide la presión diferencial causada por el elemento primario, la amplifica y transmite en forma neumática o electrónica.



B4992

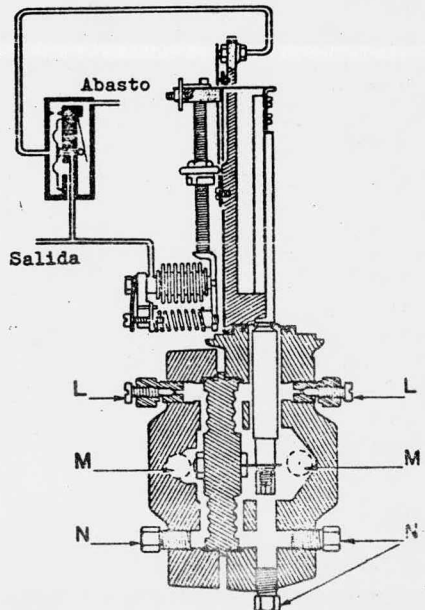


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN TRANSMISOR NEUMÁTICO

De acuerdo a la figura anterior, tenemos que la presión del proceso se aplica a los lados opuestos de la cápsula de diafragma-gemelo (CF) a través de las conexiones de alta y baja presión.

La presión diferencial resultante ejerce una fuerza sobre la cápsula, la cual está rígidamente conectada a la barra de fuerza (C) por medio de la pieza flexible (E), el diafragma Elgiloy (D) actúa como un sello y como punto de apoyo para la barra de fuerza. La barra de fuerza transmite una fuerza que es exactamente proporcional a la presión diferencial en la cápsula, por medio de la pieza flexible (B) a la barra de rango (H), motivando que la barra de rango pivotee alrededor de la rueda de rango (J).

Cualquier movimiento de la barra de rango es descubierto por la palometa (A), produciéndose por consiguiente una relación de palometa-boquilla, la cual establece por medio del relevador (K) una presión de salida que es transmitida como señal neumática, la presión de salida es transmitida simultáneamente a los fuelles (G) de retroalimentación. La fuerza ejercida por los fuelles de retroalimentación es exactamente proporcional a la fuerza aplicada a la barra de rango (H) por la barra de fuerza (C). Ya que la fuerza ejercida por la barra de fuerza es exactamente proporcional a la presión diferencial, la presión en los fuelles de retroalimentación y a la de la salida es exactamente proporcional a la presión diferencial.

En operación el movimiento de la barra de rango está ajustando continuamente la relación tobera-palometa para mantener una

condición de equilibrio de fuerzas entre la ejercida por los fuelles de retroalimentación y por la barra de fuerza.

La salida es transmitida a un receptor neumático standard para registrar, indicar y/o controlar la presión diferencial.

Se incluyen dos tornillos de venteo (L) y tres tapones de purga (N) para extraer el aire o líquidos atrapados, filtros de tela de alambre a ambos lados, alta y baja presión (M) para mantener alejadas de la celda las partículas sólidas.

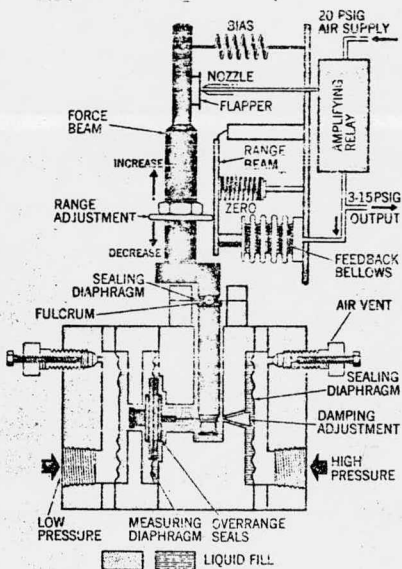


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN TRANSMISOR NEUMÁTICO

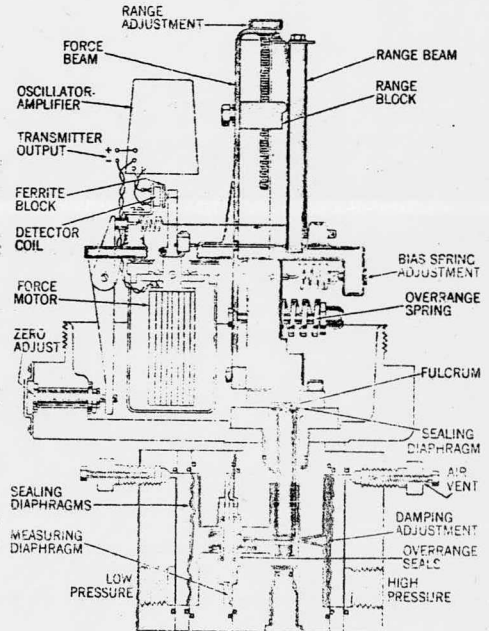
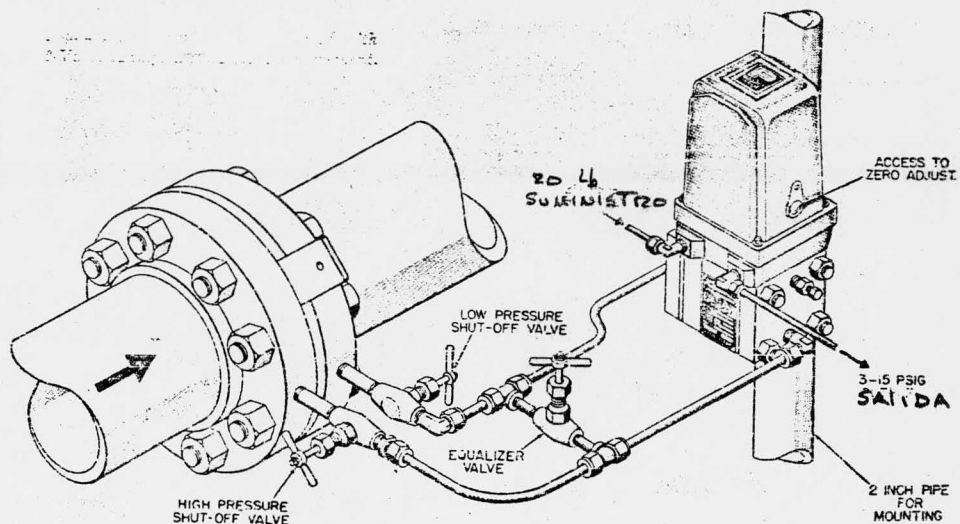
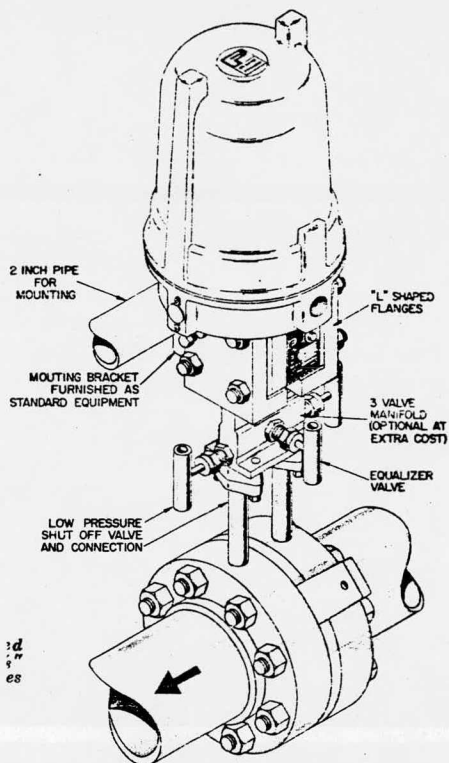


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN TRANSMISOR ELECTRÓNICO



INSTALACIÓN DE UN ELEMENTO DE FLUJO TIPO PLACA DE ORIFICIO CON UN TRANSMISOR NEUMÁTICO

Señal de salida 3-15 PSIG, la conexión a las tomas de presión se hace por medio de un "by-pass", el cual tiene la finalidad de al momento de arranque del sistema, igualar las presiones en los dos lados del diafragma y posteriormente cerrar la válvula igualadora de presión para detectar la presión diferencial.

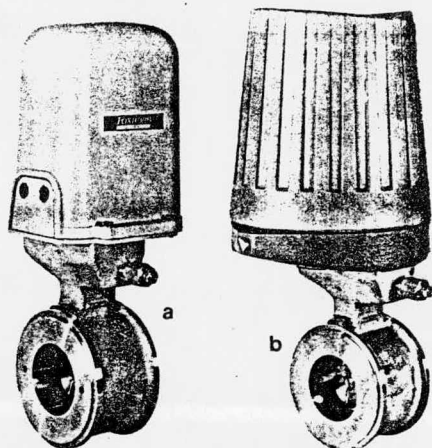


INSTALACIÓN DE UN ELEMENTO DE FLUJO TIPO PLACA DE ORIFICIO CON UN TRANSMISOR ELECTRÓNICO.

Señal de salida de 4-20mA DC, y caja a prueba de explosión, la conexión a las tomas de presión es por medio de un manifold con lo cual se evitan válvulas y tuberías.

MEDIDOR DE FLUJO TARGET

Este medidor de flujo es una combinación de un medidor de área constante y presión diferencial variable con un transmisor de presión diferencial. Está formado por un círculo de metal, unido a una barra de fuerza, un transmisor de señal y un cuerpo cilíndrico, tal y como se muestra en la siguiente figura.



MEDIDOR DE FLUJO TIPO TARGET

Su costo de instalación es más bajo que el de una placa de orificio, ya que las bridas especiales y el manifold de válvulas, no se requieren, así como tampoco el uso de sellos o sistemas de purga.

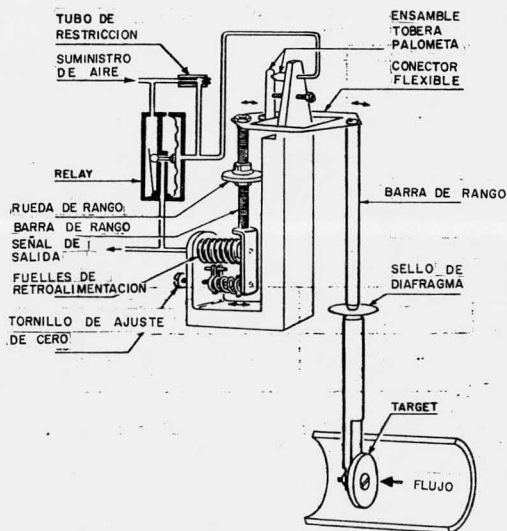
PRINCIPIO DE OPERACION

El medidor target se coloca directamente en la línea de proceso, el fluido que pasa en ella, ejerce una fuerza en el disco que se encuentra en la parte final de la barra de fuerza. El diafragma de metal actúa como un sello y como un punto de apoyo a la barra

de fuerza, con esto, se evita que el fluido de proceso escape y se transmite la fuerza al conector flexible y de éste a la barra de rango, la cual pivotea en la rueda de rango.

Cualquier movimiento en la barra de rango causa un cambio en la relación tobera-palometa. Esto produce un cambio de la presión de salida del relevador a los fuelles de retroalimentación hasta que la fuerza en los fuelles, se balancea con la fuerza en el disco.

La presión de salida que establece la fuerza de balance, es igual a la señal de transmisión neumática que es proporcional al flujo.



PRINCIPIO DE OPERACION

CALCULO DEL MEDIDOR TARGET

Las siguientes fórmulas son usadas para cálculo del medidor target y han sido definidas para diferentes aplicaciones.

Líquidos (Unidades de Volumen)

$$1a.- Q_n = C_{wt} K_t F_a \frac{\sqrt{G_f}}{G_L} \sqrt{F} F_c$$

$$1b.- Q_n = C_t \sqrt{F} F_c$$

$$1c.- C_t = C_{wt} K_t F_a \frac{\sqrt{G_f}}{G_L}$$

Líquidos (Unidades de Masa)

$$2a.- W_n = C_t \sqrt{F} F_c$$

$$2b.- C_t = C_{wt} K_t F_a \sqrt{G_f}$$

Cualquier Fluido (Unidades de Masa)

$$3a.- W_n = C_v \sqrt{F} F_c$$

$$3b.- C_v = C_{st} K_s F_a \sqrt{\gamma_f}$$

Gases y Vapores (Unidades de Volumen)

$$4a.- Q = C_t t_s \sqrt{F} \sqrt{P_f} F_c$$

$$4b.- C_t = C_{gt} F_{pb} F_{tb} F_{tf} F_g F_{ev} F_{wv} F_a$$

Donde:

C_t .- Constante de flujo del medidor para cualquier líquido, en unidades similares a K_t

- C_t .- Constante de flujo en volumen para el medidor, en aplicación de gases y vapores.
- C_v .- Constante de flujo del medidor con unidades similares a K_s .
- C_{gt} .- Constante de flujo del medidor para gases o vapores en SCHF.
- C_{st} .- Constante de flujo del medidor para cualquier fluido en Lb/Hr.
- C_{wt} .- Constante de flujo del medidor para agua en GPH a $60^\circ F$ y $R_D = 100,000$.
- F .- Fuerza en libras sobre el target.
- F_a .- Relación de área de paso de un fluido a $68^\circ F$ a la temperatura de proceso.
- F_c .- Factor de corrección del número de Reynolds.
- F_{pb} .- Factor de corrección para la presión base en gas = $14.73 / P_b$
- F_{tb} .- Factor de corrección para la temperatura base en gas = $T_b / 520$.
- F_{tf} .- Factor de corrección para la temperatura de proceso en gas

$$F_{tf} = \left(\frac{520}{\text{Temperatura Proceso } ^\circ F + 460} \right)^{1/2}$$

- F_g .- Factor de corrección para la densidad relativa del gas

$$F_g = \sqrt{1 / G}$$

F_{pv} .- Factor de corrección de super-compresibilidad para gas

$$F_{pv} = \sqrt{Z_b / Z_f}$$

F_{wv} .- Factor de corrección de vapor de agua en gases

G .- Densidad relativa del fluido.

G_f .- Densidad relativa a condiciones de proceso.

G_L .- Densidad relativa del líquido de proceso referida a una temperatura base, generalmente 60°F.

K_s .- Factor de conversión de la constante de flujo (Tabla III)

K_t .- Factor de conversión de la constante de flujo (Tabla III)

m_w .- Peso molecular

P_b .- Presión base en PSIA

P_f .- Presión de proceso PSIA

Q_n .- Rango normal de flujo en unidades iguales a K_t

t_b .- Temperatura absoluta del fluido a condiciones base.

$$t_b = 520^\circ R$$

t_f .- Temperatura absoluta del fluido a condiciones de proceso
 $t_f = ^\circ F + 460$

t_s .- Factor de conversión de la constante de flujo (para unidades de tiempo) (Tabla III)

W_n .- Rango normal de flujo en unidades de masa, unidades iguales a K_f

γ_b .- Densidad del fluido en lb/F^3

γ_f = Densidad del fluido a condiciones de proceso.

Table II.

Transmitter Size	Beta Ratio	FLOW CONSTANTS			Force Limits (lb)		Force Limits (N)	
		Liquid-Volume or Mass Units C_{wt}	Any Fluid Mass Units C_{st}	Gas or Vapor Volume Units C_{gt}	Min.	Max.	Min.	Max.
1/2	0.800	340.4	359.4	338.7	1.5	15	6.8	68
1	0.800	613.6	648.0	610.6	1.3	13	5.8	58
2	0.658	2296.0	2425.	2285.	1.9	19	8.5	85
	0.807	1159.0	1224.	1153.				
3	0.523	5634.	5949.	5606.	1.6	16	7.2	72
	0.750	2310.	2440.	2299.				
4	0.414	10730.	11330.	10680.	1.4	14	6.1	61
	0.665	4378.	4622.	4356.				

Table III.

(a) k_t Factors for Liquid Flow

Time Units	VOLUME UNITS				MASS UNITS	
	Cu. Ft.	U.S. Gal.	Imp. Gal.	Barrels (42 Gallons)	Pounds	Tons
Second	0.00003713	0.0002778	0.0002313	0.00006614	0.002316	0.000001158
Minute	0.002228	0.01667	0.01388	0.0003968	0.13896	0.00006948
Hour	0.1337	1.000	0.8327	0.02381	8.338	0.004169
24 Hrs.	3.208	24.00	19.98	0.5714	200.1	0.10005

(b) k_s Factor for any Fluid (Mass Units)

Time Units	MASS UNITS	
	Pounds	Tons
Second	0.0002778	0.0000001389
Minute	0.01667	0.0008333
Hours	1.000	0.0005
24 Hrs.	24.00	0.012

(c) t_s Factor for Gas Flow (Volume Units)

Time Units	VOLUME
	Cu. Ft.
Second	0.0002778
Minute	0.01667
Hour	1.000
24 Hrs.	24.000

Table IV. Values of F_a , Ratio of Area of Annular Flow Passage at Flowing Temperature to that at 68°F

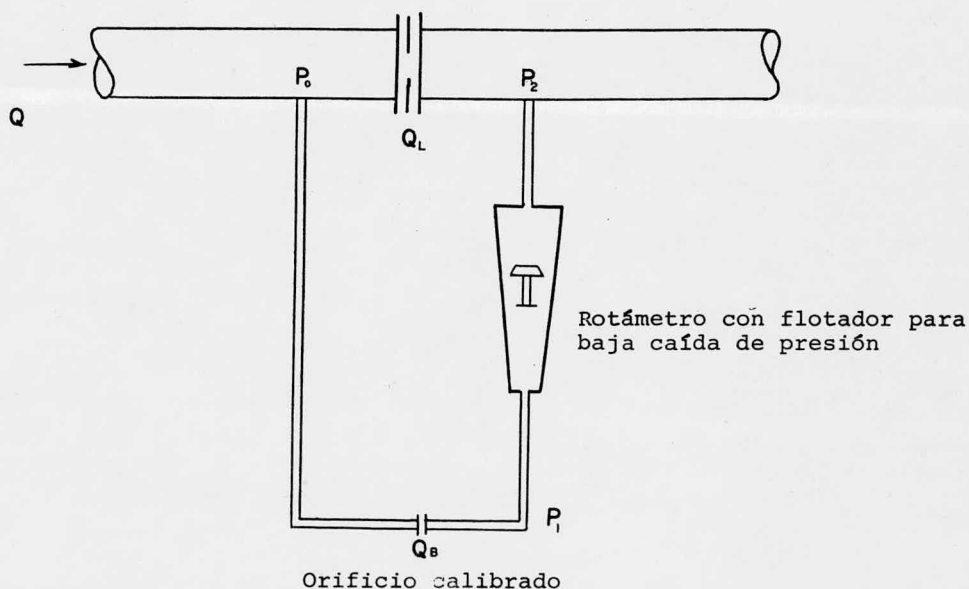
Approximate Process Temperature		F_a
°F	°C	
-117 to +11	-83 to -12	0.999
12 to 125	-11 to +51	1.000
126 to 236	52 to 113	1.001
237 to 342	114 to 172	1.002
343 to 445	173 to 229	1.003
446 to 545	230 to 285	1.004
546 to 643	286 to 339	1.005
644 to 740	340 to 393	1.006
741 to 835	394 to 446	1.006

ROTÁMETRO EN DERIVACIÓN

Después de presentar los medidores de área variable, presión diferencial constante y área constante, presión diferencial variable, es posible el unir estos dos medidores para obtener un medidor muy económico de lectura directa y fácil instalación.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Un rotámetro cinético consta de una placa de orificio standard y un pequeño by-pass en el cual se coloca el rotámetro.



INSTALACIÓN TÍPICA DE UN ROTÁMETRO EN
DERIVACIÓN

La medición es lineal más que cuadrática con relación al flujo y por lo tanto tiene una gama útil de operación más amplia que la obtenida con un medidor de tipo raíz cuadrada. De la figura anterior, tenemos que:

P_0 = Presión corriente arriba en la línea principal

P_2 = Presión corriente abajo en la línea principal

Q = Flujo total

Q_L = Flujo medido en la placa de orificio en la línea principal

Q_b = Flujo medido en el orificio calibrado en el by-pass

P_1 = Presión corriente abajo en el by-pass.

El by-pass contiene un pequeño orificio de rango y un rotámetro con baja caída de presión, entonces la caída de presión en la línea principal es $P_0 - P_2$ y que la caída de presión a través del orificio de rango es $P_0 - P_1$ además que la caída de presión en el rotámetro es $P_1 - P_2$, por lo tanto

$$\Delta P \text{ en la línea principal} \quad P_0 - P_2 = hw$$

$$\Delta P \text{ en el rotámetro} \quad P_1 - P_2 = \Delta P_m$$

$$\Delta P \text{ en la línea de by-pass} \quad P_0 - P_1 = hw - \Delta P_m$$

Usando la relación de flujo y diferencial para ambos casos tenemos que:

$$Q_L = K_L \sqrt{hw}$$

$$Q_B = K_B \sqrt{hw - \Delta P_m}$$

$$Q_T = Q_B + Q_L = K_L \sqrt{hw} + K_B \sqrt{hw - \Delta P_m}$$

y la relación de flujo total al flujo del by-pass

$$\frac{Q_B}{Q_T} = \frac{K_B \sqrt{hw - \Delta P_m}}{K_L \sqrt{hw} + K_B \sqrt{hw - \Delta P_m}}$$

Si ΔP_m es tan pequeño que se puede considerar a la relación de flujos como una constante tendremos que:

$$\frac{Q_B}{Q_T} = K \quad \text{o} \quad Q_B = K Q_T$$

Expresado matemáticamente, tenemos:

$$\lim_{\Delta P_m \rightarrow 0} \left(\frac{Q_B}{Q_T} \right) = \frac{K_B}{K_L + K_B}$$

MEDIDORES DE FLUJO TIPO TURBINA

Principio de Operación

La operación del medidor tipo turbina se basa en la Ley de Faraday que matemáticamente se representa por:

$$a) \quad E = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

DONDE:

- ϕ = Flujo de inducción expresado en Webers
 t = Tiempo expresado en segundos
 E = Fuerza electromotriz.

La cual nos indica que toda variación del flujo de inducción ϕ a través de un circuito cerrado, crea en ese circuito una corriente inducida que dura todo el tiempo que dura la variación de flujo.

Esa corriente es tanto más intensa cuanto mayor es la rapidez de variación de flujo a través del circuito inducido, el sentido de la corriente es tal que se opone a la variación del flujo inductor.

De la fórmula :

$$(b) \quad Q = VA$$

obtenemos el flujo volumétrico, teniendo como variable la velocidad lineal del flujo, la cual es difícil de medir, pero si - por otro lado sabemos que por analogía se cumple la siguiente relación.

$$(c) \quad Q \propto V \propto w \propto f$$

DONDE:

- Q = Flujo volumétrico
- V = Velocidad lineal
- w = Velocidad angular
- f = Frecuencia en ciclos/seg.

Entonces tenemos:

$$(d) \quad Q \propto f$$

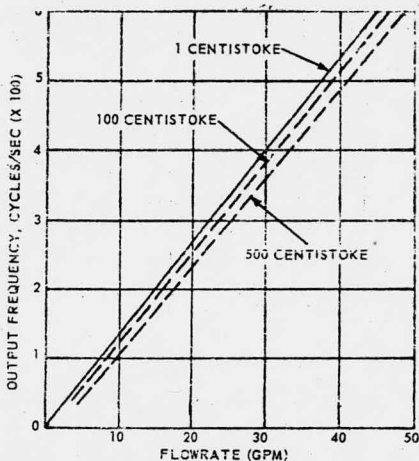
Para eliminar la proporcionalidad de flujo a frecuencia es necesario el empleo de una constante a la cual llamaremos K o coeficiente de calibración; la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$(e) \quad f = KQ$$

Dimensionalmente K se expresa como:

$$K = \frac{f}{Q} = \frac{\text{ciclos} / \text{seg}}{\text{galones} / \text{seg}} = \frac{\text{ciclos}}{\text{galón}}$$

Si graficamos f vs. GPM, obtendremos una curva como la que se muestra en la siguiente figura:



De la figura anterior, K representa la pendiente y la forma de variar de esta pendiente, es variando la viscosidad del fluido a medir.

El medidor de flujo tipo turbina deriva su nombre del rotor tipo turbina, el cual es montado en la trayectoria del fluido y es también el elemento "transductor" del medidor.

La corriente de fluido aplica una fuerza sobre los álabes del rotor produciendo un movimiento, el cual convierte la velocidad lineal del fluido de proceso a una velocidad angular equivalente, en forma precisa. La velocidad de rotación de la turbina

es proporcional a la velocidad del fluido y por lo tanto al volumen de flujo instantáneo de la corriente de flujo.

La velocidad de rotación de la turbina es transmitida al elemento secundario por una bobina magnética de la cual existen dos tipos:

1. Bobina magnética
2. No drag RF.

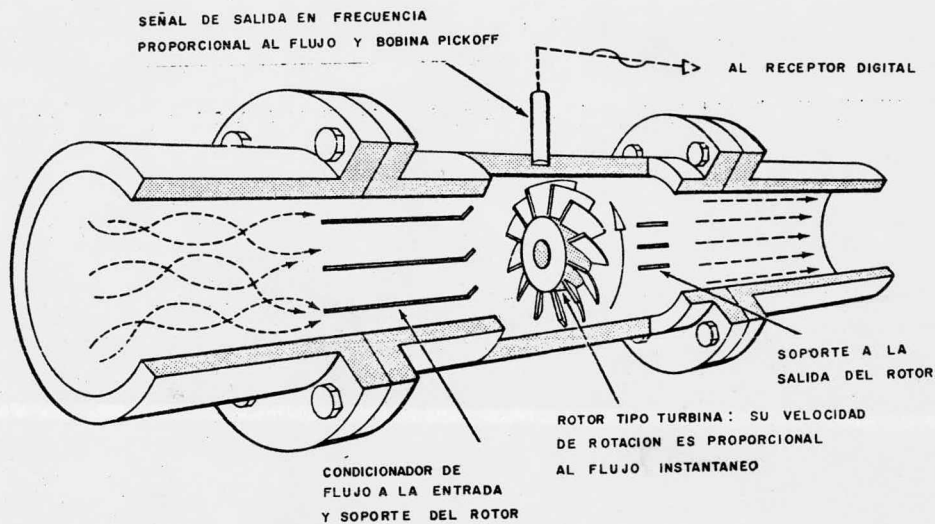
1. BOBINA MAGNETICA (Magnetic Pickoffs).

Este transmisor está constituido por un imán permanente y una bobina, el cual produce un campo magnético permanente, que al ser cortado por los álabes de la turbina produce un voltaje AC en la bobina y una onda del tipo senoidal con una frecuencia proporcional al flujo instantáneo, es transmitida.

2. NO DRAG RF (RF Picoffs).

Este transmisor está formado por un oscilador amplificador de alta frecuencia, el cual lleva la señal de la bobina. Cuando los álabes de la turbina cortan el campo magnético producido por la bobina, modulan la señal de radio frecuencia generada por el oscilador, produciendo pulsos de una amplitud de onda modulada, la señal será modulada proporcionalmente a la velocidad del rotor, que es proporcional al flujo instantáneo.

Con ambos pickoffs la frecuencia de los pulsos generados, se mide el flujo instantáneo y el número total de pulsos generados miden el volumen total.

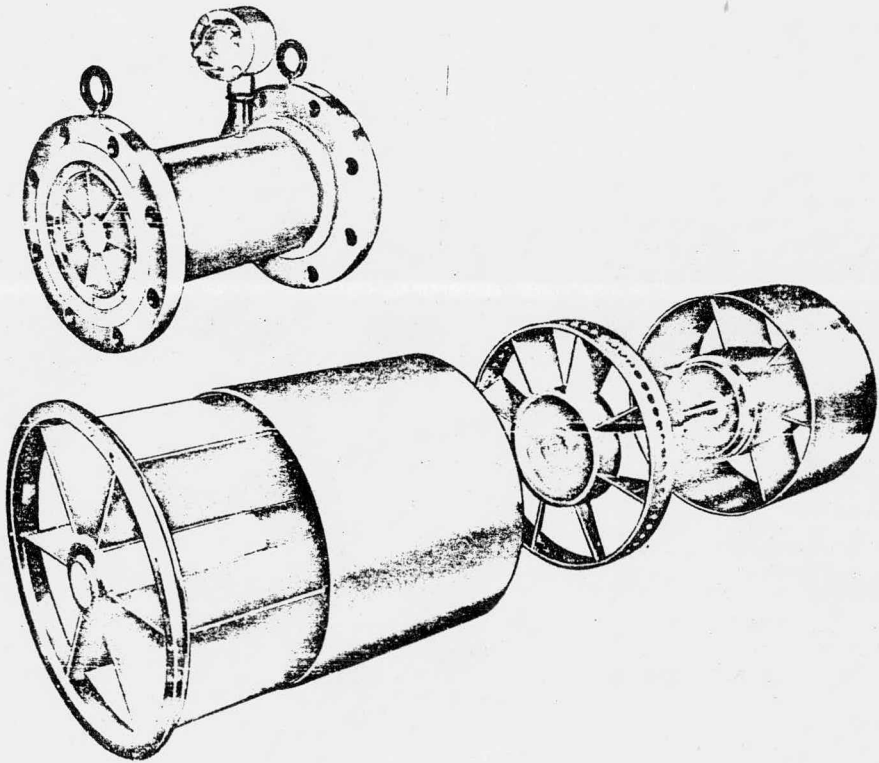


OPERACIÓN BÁSICA DE UN MEDIDOR DE FLUJO TIPO TURBINA.

FUNCIONAMIENTO

En el arranque, el fluido golpea al rotor en un cierto ángulo, produciendo de esta manera un torque que inicia la rotación del mismo. Tan pronto como aumenta la velocidad del rotor, el ángulo

en el cual el fluido golpea el álabe se reduce hasta el punto donde la fuerza de empuje sólo es requerida para balancear la fuerza de frenado que se opone a la rotación. Este ángulo, conocido como ángulo de ataque, y normalmente pequeño en magnitud, se convierte en una medida de las fuerzas de oposición que actúan sobre el rotor.



MEDIDOR DE FLUJO TIPO TURBINA

CARACTERISTICAS DE LOS MEDIDORES DE FLUJO TIPO TURBINA

Los medidores de flujo tipo turbina, normalmente son elegidos por su habilidad para satisfacer los requerimientos especiales de funcionamiento de una aplicación específica. Las características más importantes y que sólo pueden ser realizadas por un medidor tipo turbina son:

1. Funcionamiento superior, que incluye excelente repetibilidad, exactitud y linealidad absoluta.
2. Amplios rangos de flujo, lineares y operacionales.
3. Información digital.
4. Retención de calibración.
5. Respuesta inmediata.

FUNCIONAMIENTO

Las características típicas de funcionamiento para una turbina de flujo son:

- Exactitud: 0.25% del flujo instantáneo
Repetibilidad: 0.25% del flujo instantáneo
Linealidad: 0.25% del flujo instantáneo.

EXACTITUD

La conformidad de un valor de medición a una referencia primaria standard aceptada. Ya que todas las turbinas requieren de una calibración para establecer sus coeficientes de flujo, la exactitud no está limitada sólo al medidor sino que también incluye la instalación con la que fue calibrada.

La evaluaciones de la precisión del aparato se hacen calibrando los medidores de flujo por referencia con el National Bureau of Standards en las instalaciones del fabricante. Una comparación de los resultados establece, pues el grado de correspondencia existente entre las dos instalaciones. Por lo tanto, un informe sobre la exactitud del medidor deberá incluir la exactitud absoluta del aparato de calibración relativo al National Bureau of Standards, además de la repetibilidad de la turbina. Usando este método se han demostrado exactitudes de la turbina de 0.25% del flujo instantáneo.

REPETIBILIDAD

La habilidad de una turbina de flujo para reproducir su factor de calibración durante una serie de corridas consecutivas hechas bajo condiciones de flujo idénticas. La repetibilidad del medidor puede ser separada del aparato calibrador de repetibilidad por medio de la calibración simultánea de dos medidores en serie. Cuando la información de los dos medidores corresponde tanto en magnitud como en dirección, una porción mayor de la no-repetibilidad

total se debe al aparato.

Se han desarrollado técnicas estadísticas para estimar cuánto del total de imprecisión se debe al medidor y qué tanto puede atribuirse al aparato de calibración. Los medidores tipo turbina han demostrado la habilidad para repetir información dentro del 0.025% (25 partes en 100,000).

OPERACION LINEAL

La pendiente de la curva que parte de cero en la gráfica de flujo instantáneo vs. frecuencia, describe al coeficiente de calibración K (ciclos/galón) y la constancia de esta inclinación caracteriza la operación lineal. Así pues el rango lineal de una turbina es el rango de flujo sobre el cual el coeficiente de calibración permanece constante dentro del $\pm 0.5\%$ del valor de tablas que existen sobre los amplios rangos de flujo (arriba de 75:1). Puesto que todos los medidores de flujo tipo turbina son sensitivos a la viscosidad, los límites de viscosidad para un rango de flujo lineal específico deben también ser definidos. Los amplios rangos de operación disponibles en los medidores turbina permiten el uso de un sólo medidor donde dos o más medidores de otro tipo serían necesarios.

TIEMPO DE RESPUESTA

El tiempo de respuesta es la habilidad de responder rápidamente a condiciones inestables de flujo. Esta es otra característica valio

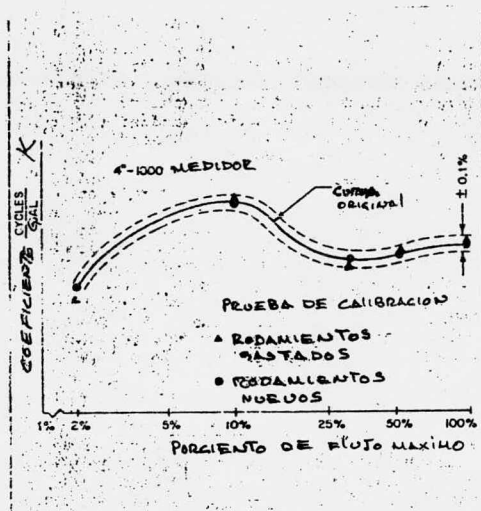
sa del medidor turbina. La respuesta al cambio de un medidor turbina está expresada en términos de constante de tiempo, constante que se define como el tiempo que tarda la variable en alcanzar un 63% del cambio total. Los valores típicos encontrados en estos medidores son del orden de 3 - 10 milésimas de segundo dependiendo del tamaño del medidor, del flujo instantáneo y del ángulo del álabe.

INFORMACION DIGITAL

Ya que la señal de salida del medidor turbina es digital, el uso directo de esta señal eléctrica por totalizadores o contadores escalares está bastante simplificado. El término digital implica que la frecuencia de los pulsos es proporcional al flujo instantáneo y cada pulso es equivalente a un volumen discreto de líquido. Una salida digital directa también elimina la dificultad y errores encontrados cuando se convierte una señal analógica en un indicador digital.

RETENCION DE CALIBRACION

El hecho de que los medidores de flujo tipo turbina sean usados como standards secundarios de flujo habla bien de su habilidad para retener sus coeficientes de calibración durante largos períodos de tiempo. En efecto, el funcionamiento del medidor es mantenido normalmente aún cuando los rodamientos estén completamente gastados.



**CURVA ORIGINAL DE CALIBRACIÓN Y RECALIBRACIÓN
PARA RODAMIENTOS NUEVOS Y GASTADOS.**

En la figura anterior se muestra una curva de calibración para una turbina de 4", el medidor fue revisado después de un largo período de operación y aunque los rodamientos mostraron un desgaste severo, la recalibración estuvo dentro de 0.1% de los datos originales. Después de reemplazar los soportes gastados una nueva recalibración duplicó el comportamiento original de la curva, pero este estuvo dentro del 0.1%.

CONSTRUCCION

En la figura 3, se ilustra un medidor de flujo tipo turbina, el cual tiene un cuerpo que contiene al rotor montado sobre rodamientos que son sensibles a la velocidad del fluido, un soporte corriente arriba con enderezadores de flujo con ensamble de los rodamientos o flecha, y en algunos casos corriente abajo un soporte igual al de corriente arriba. Los cuerpos del medidor se construyen en acero inoxidable 316 y las conexiones son bridadas. El soporte del rotor también es fabricado en acero resistente a la corrosión, mientras que el rotor en sí mismo, se fabrica en un acero inoxidable especial, el cual es de tipo magnético.

PRESENTACION DE DATOS

Los datos de calibración del medidor turbina normalmente son mostrados en la forma de una curva de coeficiente de calibración K vs. Hz/V , o f/V . Dos investigadores de apellido Hochreiter y Shafer han mostrado el desarrollo de esta última forma, la que indica que para una geometría en particular, el coeficiente de calibración es una función de la viscosidad, así como del valor de flujo instantáneo análoga al número de Reynolds.

La figura 5, nos muestra la forma general de la curva hidráulica en donde se desarrolla una región lineal a números de Reynolds altos, una región no lineal a números de Reynolds bajos y en medio de ellas, una región de transición.

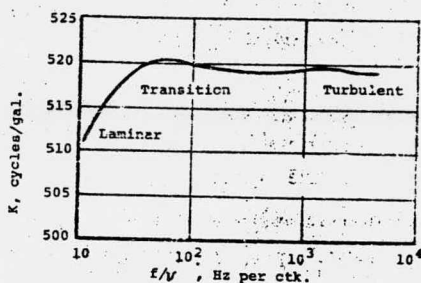


FIGURA NO. 5

Una serie de curvas de K vs. f para varias viscosidades es mostrada en la figura 6, mientras que la figura 7 es un ejemplo de estos mismos datos, pero en base a Hz/V para formar una curva mixta. Cada calibración muestra la desviación de la curva compuesta a bajos valores de flujo, donde las fuerzas de frenado mecánico o magnético llegan a ser significantes. Este punto define el límite bajo de comportamiento predecible, el cual es de 25 Hz para este ejemplo. Así pues, esta curva mixta representa el comportamiento del medidor sobre los rangos de viscosidades cubiertas, siempre que la frecuencia sea mantenida en el rango de 25 a 2000 Hz.

El rango de frecuencias (flujos instantáneos) sobre el cual el medidor muestra un comportamiento predecible, varía con el tamaño del mismo, diseño, tipo de pickoff y tipo de rodamiento.

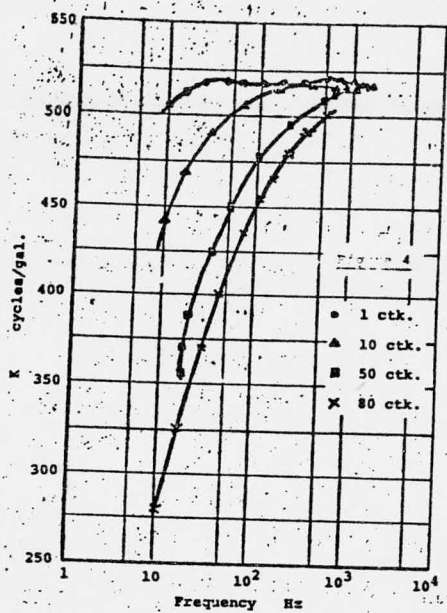


FIGURA 6

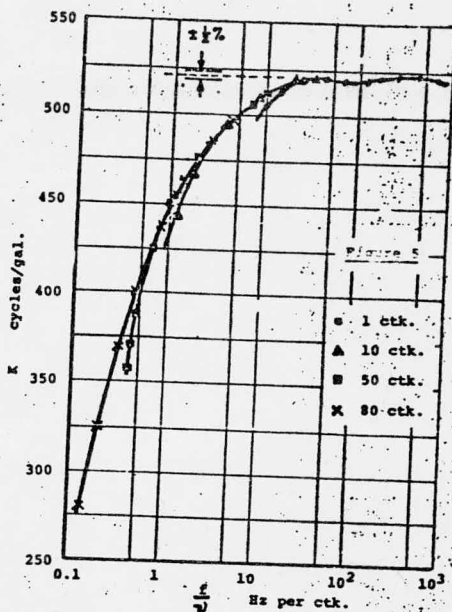


FIGURA 7

Aparentemente, minimizando las fuerzas de frenado mecánico y magnético se ayudaría a ampliar el rango predecible a bajos valores de flujo.

En este punto, podríamos plantear la pregunta: ¿Existe alguna relación entre linealidad y comportamiento predecible?

Considérese una curva mixta con una joroba de transición exagerada (5% no lineal). Bajo estas condiciones, sería aún posible para el medidor demostrar comportamiento lineal con una calibración de

de flujo de agua. En este caso, la linealidad sería solamente obtenida debido a que el medidor tenía un pequeño rango predecible (mayor función del rodamiento) que sólo balancea la tendencia normal de crecimiento de la curva mixta. El problema se presenta cuando se usa este medidor con un fluido de viscosidad mayor, para lo cual, los valores de "K" podrían encontrarse que caen fuera de la banda de linealidad original definida por la calibración de agua. Es por lo tanto, aparente que no existe una relación directa o implícita entre la linealidad y el funcionamiento predecible, para un medidor puede existir un rango lineal extenso y exhibir un funcionamiento predecible muy pobre o viceversa, la curva mixta de un medidor conocido, tener un extenso rango predecible y mostrar un muy pequeño rango lineal.

CAIDA DE PRESION

La pérdida de presión en un medidor tipo turbina se encuentra normalmente en el rango de 5 a 15 PSIG a un valor de flujo máximo, variando la pérdida de presión al cuadrado del flujo instantáneo. La caída de presión a través del medidor está calculada y tabulada por los fabricantes de turbinas en base a fluidos con una viscosidad de 1 CTK y SPGR de 1, si es otra la viscosidad o la SPGR, se deberá calcular de acuerdo a la siguiente fórmula :

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \times \frac{(Q_2)^2}{(Q_1)^2} \times \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{(V_2)^{0.25}}{(V_1)^{0.25}}$$

ΔP_1 = Caída de presión original

ΔP_2 = Nueva caída de presión

Q = Flujo de procesos en GPM

ρ = Densidad en g/cc

ν = Viscosidad en centistokes.

Se sugiere que la presión mínima de salida del medidor sea mantenida cuando menos 10 PSIG arriba de la presión de vapor del fluido para evitar cavitaciones dentro del mismo y las mediciones inexactas resultantes.

INSTALACION

El medidor de flujo tipo turbina, como la mayoría de los medidores de flujo, está influenciado por los diferentes tipos de flujo producidos por los accidentes de tubería instalados corriente arriba. Sin embargo, la mayoría de estos medidores incluyen un enderezador de flujo como parte integral del soporte frontal.

Fig. 8

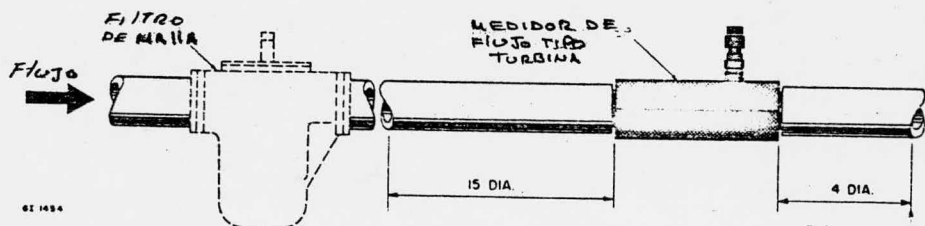


FIGURA 8
INSTALACIÓN TÍPICA DE UN MEDIDOR TIPO TURBINA

Dos de los problemas más encontrados en los disturbios de flujo, son los cambios repentinos en tubería y la formación de remolinos producidos por los arreglos de la misma. El primero puede ser eliminado por la selección cuidadosa de la tubería corriente arriba, sin embargo, el segundo es más difícil de contrarrestar. Existe un apéndice en los standards del API (2534), en el cual se ha desarrollado una técnica empírica para calcular los tramos de tubería recta antes del medidor turbina.

FILTRADO DEL FLUIDO

Debido a que la mayoría de fluidos acarrearán partículas de materia, es necesario instalar filtros de malla corriente arriba, con el fin de evitar que estas partículas ensucien el rotor o los rodamientos; como una regla para alargar la vida del filtro tipo canasta deberán ser de un tamaño que limite la velocidad de entrada a 1.5M/Seg.

Cuando se especifica la fineza del filtro, cosas como pérdidas de presión permisible, tamaño de partícula, valor estimado al cual las partículas obstruirán la malla, y los períodos prácticos de tiempo entre los paros, deberán ser evaluados y discutidos con el fabricante de filtros.

SELECCION DE RODAMIENTOS

Puesto que el rotor es la parte móvil del ensamble, la selección adecuada de los rodamientos del rotor llega a ser de vital

importancia para la vida de operación, funcionamiento y confiabilidad del medidor turbina.

La selección de los rodamientos depende del fluido a medir y si es que el medidor operará períodos cortos de tiempo o períodos largos como 24 horas, como es usual en la industria.

Las propiedades que se deben tomar en consideración son: viscosidad, aspecto lubricante, corrosión y limpieza. Existe información y modelos de medidores para cada una de esas propiedades, excepto para el aspecto lubricante. Aquí nos estamos refiriendo a una propiedad no muy clara, la cual trata, de cómo afecta el fluido al rodamiento. Desafortunadamente, no existe un método seguro para medir el efecto lubricante, ésta se deduce de las propiedades viscosas del fluido. Sin embargo, algunos fluidos con viscosidades similares tienen diferentes características de lubricación como agua y combustibles para aviones.

Cuando el fluido de proceso tiene buenas propiedades lubricantes, es limpio y no corrosivo, los rodamientos tipo balero darán excelente resultado. Cuando no existan condiciones casi ideales, se usarán rodamientos tipo manga, los cuales darán mejores resultados y tendrán una vida útil y más larga.

ELEMENTO RECEPTOR O SECUNDARIO

El elemento secundario tiene las funciones de filtro, amplifi-

cador y formador de las pulsaciones enviadas por la bobina del elemento secundario. Sus características principales son:

a) Señal de entrada: onda cuadrática de 4-8 volts

onda senoidal 4-15 volts

frecuencia 10 kilohertz

pulsos 2.8 volts.

b) Función totalizadora.

Los pulsos, ondas, o frecuencia son susceptibles de adquirir valores discretos expresados en KG/HR, L/HR.

c) Función compensadora.

Es posible compensar los cambios de densidad en el fluido por cambios de temperatura en el mismo, con lo cual la totalización será en términos de masa.

d) Señal de control.

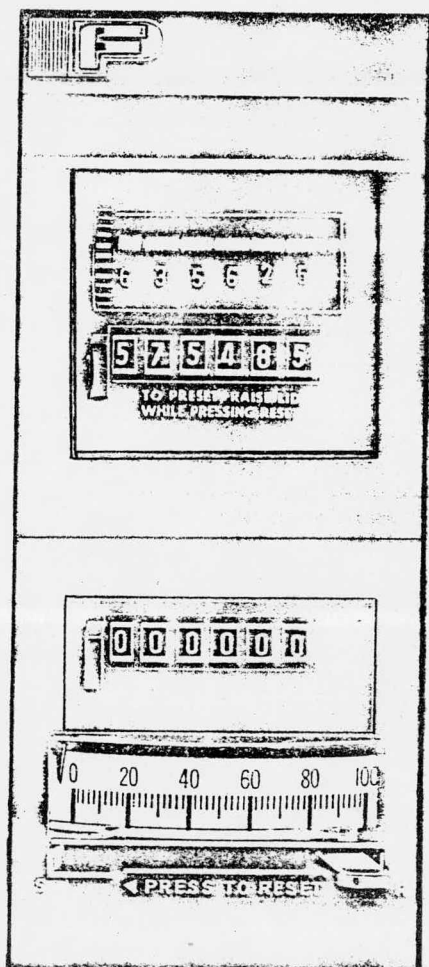
Señal de salida de 4-20 mA, proporcional al flujo, con lo cual se tendrá la opción al control.

e) Distancia entre elemento primario y elemento secundario.

Cuando el elemento primario no cuenta con un preamplificador integral, la distancia máxima entre éstos será 30 metros para preamplificador magnético y 5 metros para preamplificadores de radio-frecuencia.

Cuando el elemento primario cuenta con un preamplificador integral, la distancia entre éste y el elemento secundario llega a ser del orden de 2000 metros.

- f) El cable para la inter-conexión será del tipo micrófono.
- g) Equipo totalmente transistorizado, con circuitos electrónicos impresos.
- h) Montaje en tablero, tamaño compacto.



ELEMENTO SECUNDARIO O RECEPTOR DE UN
MEDIDOR DE FLUJO TIPO TURBINA.

MEDIDOR DE FLUJO TIPO MAGNETICO

PRINCIPIO DE OPERACION

El medidor de flujo magnético basa su funcionamiento en la Ley de Faraday sobre la inducción magnética que se puede enunciar de la siguiente manera: "El voltaje inducido a través de un conductor que corta un campo magnético en ángulo recto, es proporcional a la velocidad del conductor".

Esta ley, para el caso de los medidores de flujo magnético, se puede representar matemáticamente como:

$$(1) \quad E_s = B D \sqrt{} \times 10^{-4} \text{ Volts}$$

Donde:

E_s = Voltaje inducido

B = Densidad de flujo en Tesla $\frac{\text{Weber}}{\text{M}^2}$

D = Diámetro de la tubería en metros

$\sqrt{}$ = Velocidad del fluido en M/Seg.

$$\text{Si, } Q = \sqrt{} \cdot A \quad (2)$$

Donde:

Q = Flujo volumétrico en M³/Seg.

A = Area del tubo en M²

V = Velocidad del fluido en M/Seg.

Despejando V tenemos que:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

$$\delta \quad V = \frac{4 Q}{\pi D^2} \quad (4)$$

Substituyendo (4) en (1)

$$E_s = B D \frac{4 Q}{\pi D^2} \quad (5)$$

Despejando Q :

$$Q = \frac{\pi D}{4B} E_s \quad (6)$$

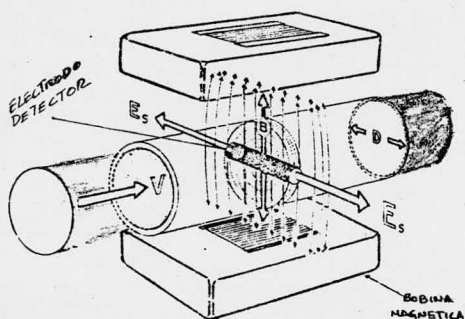
Pero $B = \beta E_r$, donde E_r es un voltaje de referencia.

$$(7) \quad Q = \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{E_s}{\beta E_r} ; \quad Q = \gamma \frac{E_s}{E_r} \quad (8)$$

En esta última ecuación se basa el funcionamiento de estos medidores, ya que en la práctica, la medición de flujo se hace por la relación de dos voltajes, uno de referencia y uno de medición.

MECANISMOS PARA LA MEDICION

El mecanismo para medir el voltaje producido por el paso del líquido, se emplean dos bobinas colocadas arriba y abajo del medidor tal como se muestra en la siguiente figura, las cuales



PRINCIPIO DE OPERACION DE MEDIDOR MAGNETICO

producen un campo magnético uniforme (B), en forma perpendicular a este campo se encuentran colocados a ambos lados de la tubería los electrodos detectores, los cuales llevan la señal de voltaje producido (E_s) por la velocidad del líquido. Regresando a la ecuación (1), se observa que la señal de voltaje producido es lineal y que por otro lado es factible medir flujos bidireccionales.

CONSTRUCCION

El medidor de flujo tipo magnético consta principalmente de:

- a) Un tubo de acero inoxidable o inconel el cual, es del mismo tamaño que la tubería de proceso, siempre y cuando la velocidad dentro del medidor esté dentro de los siguientes límites mínima 0.3M/Seg., a máxima 8.50M/Seg.
- b) Dos bobinas magnéticas, las cuales generan el campo magnético.
- c) Electrodo detectores.
- d) Recubrimiento del tubo.
- e) Caja de conexiones, la cual puede suministrarse a prueba de goteo o a prueba de inmersión accidental.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

TUBO MEDIDOR

En un medidor magnético, el tubo medidor está hecho de un material no magnético de tal manera que el campo magnético pueda pasar a través del tubo y no interferir en las consideraciones hechas en la aplicación de la ley de Faraday. Los materiales usados son acero inoxidable 316, fibra de vidrio, aluminio o inconel.

RECUBRIMIENTOS

La siguiente figura muestra un recubrimiento del tubo medidor, el cual tiene como finalidad evitar que el voltaje generado por el líquido que va a través del campo magnético haga corto-circuito con la tubería conductiva, lo cual evitaría la medición, los recubrimientos son de materiales no conductivos como el neopreno, poliuretano, fibra de vidrio, teflón y esmalte vitreo.

ELECTRODOS

El material a utilizar en los electrodos depende de las condiciones de operación, ya que existen varios metales como acero inoxidable 316, hastelloy B y C, K-Monel, tantalio, platino, aleaciones de níquel-cromo 20 y níquel.

CONDUCTIVIDAD

El mínimo de conductividad que se requiere para que un líquido pueda ser medido por un medidor magnético es de 5 micromhos/cm.

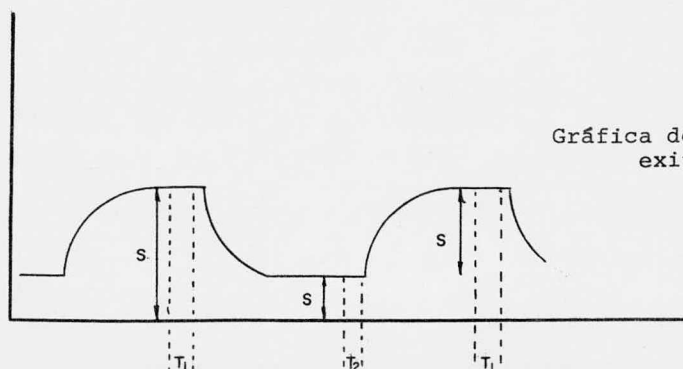
CALIBRACION DE CERO

Los sistemas de medidores magnéticos operan utilizando un campo magnético de CA generado por bobinas conectadas a la línea de poder. La señal de flujo es pues, una señal de 50 o 60 cps, cuya amplitud es una función de la velocidad del líquido. La señal de salida, detectada por los electrodos no es solamente

la desarrollada por la Ley de Faraday, sino que incluye varios voltajes debidos a corrientes parásitas en el líquido mismo y campos electromagnéticos en la vecindad del aparato y, sucede muchas veces que los voltajes parásitos están en la misma fase que los voltajes de medición y consecuentemente, son tomados como señal de flujo; por lo tanto, es necesario una calibración a cero con el tubo lleno de líquido y velocidad cero, en forma periódica.

Existe un medidor de flujo tipo magnético al cual no es necesario el ajuste periódico a cero, pues la excitación de las bobinas se lleva a cabo periódicamente por medio de una onda cuadrada de muy baja frecuencia de características unidireccionales.

Por lo tanto, la señal es detectada y almacenada durante el tiempo que el magnético es excitado y de nueva cuenta, cuando no lo es. La señal en los electrodos durante los períodos de no-excitación es debida a señales no deseables.



Gráfica de tiempos de excitación.

En este nuevo medidor se hace la resta $S_2 - S_1$ y la señal resultante S en voltios es enviada al elemento secundario. Por otro lado, la frecuencia de excitación es menor de 60 CPS; por consiguiente, las señales inducidas por la línea de suministro no son detectadas por el elemento secundario ya que éste está diseñado para detectar aquellas señales que están sincronizadas con la baja frecuencia de las ondas cuadráticas. Esto es importante ya que es posible llevar en un sólo tubo conduit los cables de señal y de excitación.

CONSIDERACIONES EN UN MEDIDOR DE FLUJO MAGNETICO

Para considerar un medidor de flujo magnético en una aplicación en particular, es aconsejable estar al tanto de los efectos que producen en su exactitud los diferentes líquidos y sus propiedades físicas, así como las condiciones de proceso.

Específicamente se puede plantear la pregunta de:

- a) ¿Cuál es el efecto sobre la exactitud del medidor si la densidad del fluido cambiara? Si recordamos que la ecuación de los medidores de flujo establecía que, la salida de voltaje era una función de la densidad del campo magnético, diámetro del tubo y velocidad del fluido, notamos que la densidad del fluido no es un factor que afecte la exactitud o que afecte la salida de voltaje.
- b) Si cambia la viscosidad del fluido, la exactitud del me-

didor no se afecta por la misma razón expuesta anteriormente.

- c) El efecto de la presión es sólomente tomado en cuenta por las limitaciones mecánicas de la tubería, la cual junto con la temperatura de operación debe ser considerada para el recubrimiento.
- d) Fluidos con un porcentaje de gas o vapor. En este caso, el medidor de flujo no hará diferencia entre uno y otro, y se tomará como un error.

MEDIDORES DE FLUJO PARA FLUIDOS SUCIOS

Estos sistemas están diseñados para medir fluidos con gran cantidad de grasas, tales como los drenajes o aguas de desecho. La construcción es similar a cualquier medidor magnético, excepto que el tubo medidor es de aluminio. La razón de esto, es que debido a la conductividad del aluminio, existe una corriente magnética inducida cuando las bobinas son excitadas; esto da lugar a un calentamiento del tubo fundiendo la grasa acumulada que se deposita al momento de la medición. También es aconsejable la utilización de limpieza ultrasónica en los electrodos, esto es una excitación que hace vibrar al electrodo detector con el fin de evitar cualquier sedimentación o incrustación.

MEDIDORES DE FLUJO EN GRANDES DIAMETROS

Un problema que es posible resolver con los medidores de flujo tipo magnético, es la medición de fluidos en tuberías de 76 cm hasta 2.5m de diámetro. Esta aplicación es principalmente en la conducción de agua potable. El sistema usado es la inserción de un tubo de 254mm de diámetro al centro de la tubería, el cual contiene dos bobinas encapsuladas y dos electrodos detectores, los cuales envían la señal de flujo al elemento secundario. La aplicación se basa en que el tubo de 254mm de diámetro al estar colocado al centro de la tubería, la velocidad detectada es la más representativa del perfil de distribución de la misma.

EXACTITUD

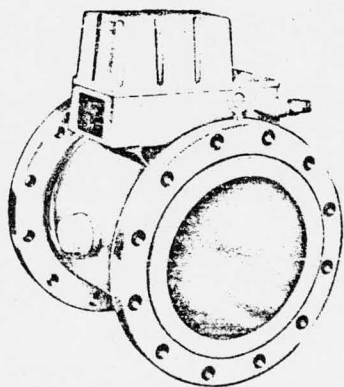
La exactitud en los medidores magnéticos es de $\pm 1\%$ del flujo instantáneo y efectuando una calibración especial es de $\pm 0.5\%$ del flujo instantáneo.

DIMENSIONES

Los medidores magnéticos se construyen en tamaños de 2.54mm hasta 1.2m de diámetro interno del tubo.



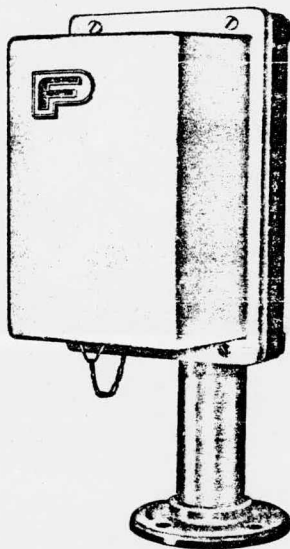
MEDIDOR DE FLUJO PARA
GRANDES DIAMETROS



MEDIDOR DE FLUJO MAGNETICO

ELEMENTOS SECUNDARIOS

Los elementos receptores de la señal del medidor magnético pueden ser de montaje en campo o en tablero, ciegos o digitales. Estos elementos convierten la señal del medidor en pulsos con valores discretos de unidades de ingeniería como son: LPH, LPM, KG/HR.



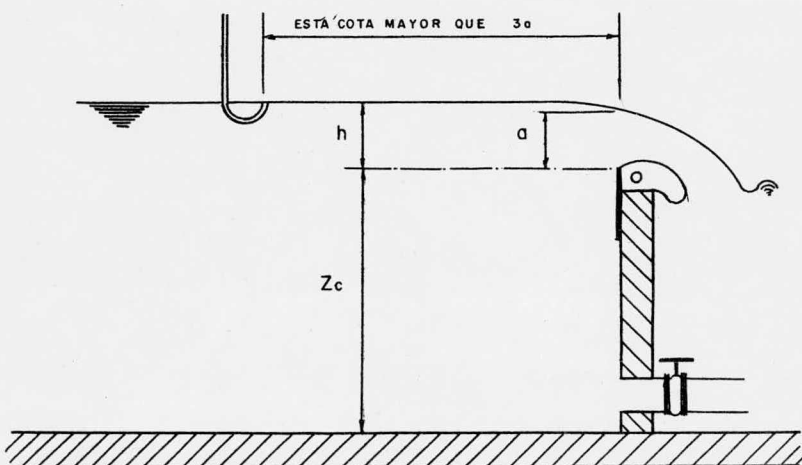
CONVERTIDOR DE SEÑAL

MEDICION DE FLUJO EN CANALES ABIERTOS

La medición de flujo en canales abiertos se hace principalmente por dos elementos, el vertedero y el Canal Parshall, estos medidores producen una contracción de la corriente de flujo, la cual origina una elevación del nivel corriente arriba, el rango de flujo es determinado por la medición de este nivel, por medio de datos tabulados nivel vs. flujo.

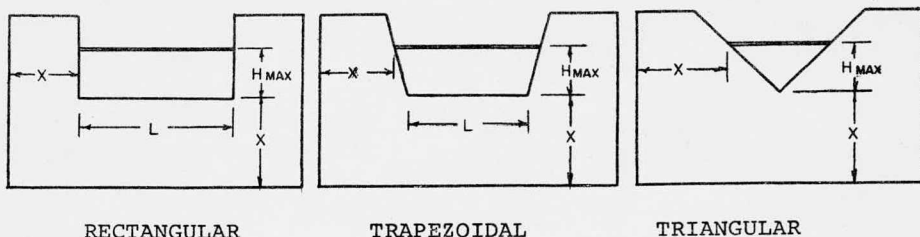
VERTEDEROS

Vertedero es un dique o pared que intercepta la corriente, causando una elevación aguas arriba y que se emplea para control de nivel o para medición de caudales. El nivel de cresta es medido en un punto corriente arriba, donde la velocidad del fluido es despreciable, por ejemplo, 0.01 m/seg.



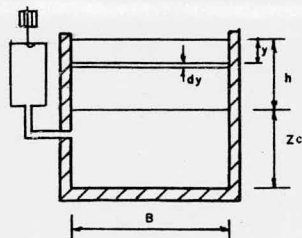
CORTE LONGITUDINAL DE UN VERTEDERO

TIPOS DE VERTEDEROS



FORMULAS DEL VERTEDERO RECTANGULAR

Partiendo de la siguiente figura, consideremos el área elemental $dA = bdy$ en el plano del vertedero.



DEDUCCION DE LA FORMULA DE DESAGUE DE UN VERTEDERO RECTANGULAR

Donde b = ancho de la abertura constante. En el vertedero sin contracción lateral $b=B$, donde B = ancho del vertedero.

Escribiendo la ecuación de Bernoulli entre un punto 1, en la estación de medida de la altura de lámina que ha de situarse a una

distancia no menor de $3a$, donde a es el espesor de la lámina en el vertedero y un punto cualquiera situado en la lámina y en el plano mismo del vertedero, tendremos:

$$h + 0 + 0 = \frac{v^2}{2g} + h - y + 0$$

Despreciando la altura de velocidad en la sección uno, llegamos a la velocidad en el plano del vertedero

$$v = \sqrt{2gy}$$

El caudal diferencial teórico será:

$$dQ^1 = bdy \sqrt{2gy} = b \sqrt{2g} y^{1/2} dy$$

y el caudal teórico Q^1 que fluye a través de todo el vertedero sera:

$$Q^1 = \sqrt{2g} b \int_0^h y^{1/2} dy = \frac{3}{2} \sqrt{2g} bh^{3/2}$$

$$Q^1 = \frac{3}{2} bh \sqrt{2gh}$$

El caudal real Q se obtendrá multiplicando el caudal teórico Q^1 por un coeficiente de caudal C_q , el cual es adimensional y tiene un valor que oscila entre 0.64 y 0.79, por lo tanto caudal real

$$Q = C_q \frac{2}{3} bh \sqrt{2gh}$$

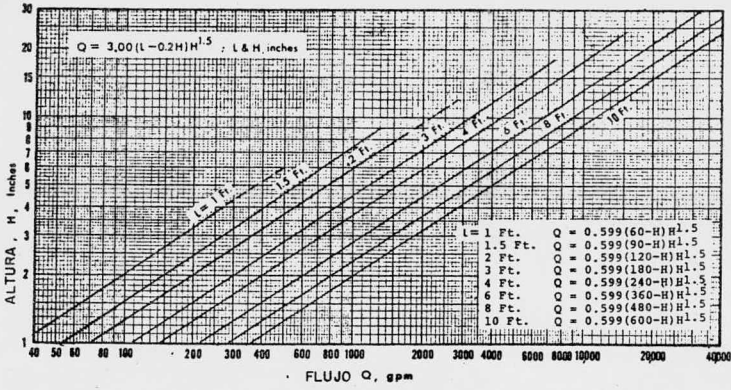
Si recordamos la ecuación para orificios:

$$q = Ka \sqrt{2gh}$$

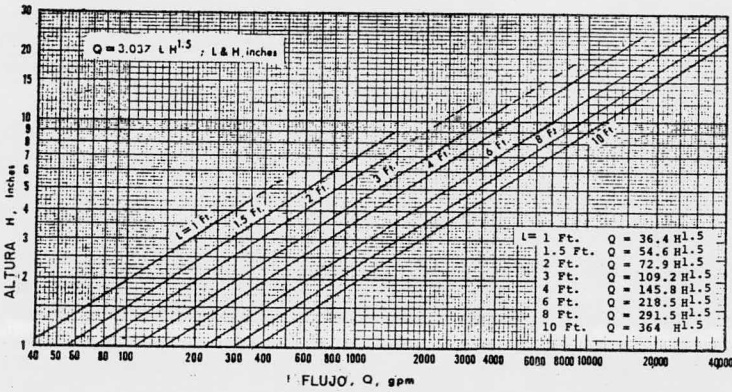
Observamos que tienen la misma forma, lo que nos confirma que un vertedero no es más que un orificio en que el contorno superior ha desaparecido.

En la práctica, los fabricantes suministran sus fórmulas desarrolladas con parámetros ya definidos, así como curvas de selección y diagramas de fabricación.

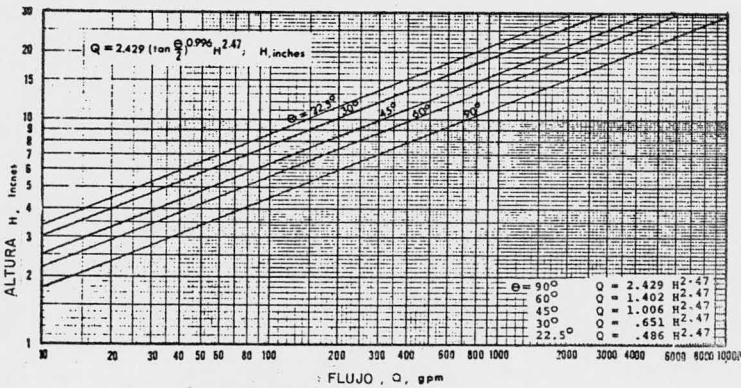
To Obtain gpm:
Mult. HGD by 694
-or-
Mult. $\frac{ft^3}{sec}$ by 449



Contracted
Rectangular
Weirs



Contracted
Cipolletti
Weirs



Contracted
Triangular
Weirs

GRAFICAS DE VERTEDEROS (F & P)

MEDIDOR DE FLUJO PARSHALL

El problema de contar con un dispositivo cuya precisión fuese la de un vertedero, pero donde no se tuviera el serio problema del azolve, fue resuelto satisfactoriamente por el Ing. Ralph L. Parshall en la estación agrícola experimental de Colorado, E.U.A., diseñando un medidor al que le llamó "Conducto Medidor de Venturi Mejorado", pero más tarde, su nombre fue cambiado oficialmente por el Comité de Riegos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles y con la aprobación del Departamento de Agricultura de E.U.A., al de "Conducto Medidor Parshall".

El medidor Parshall ha tenido una gran aceptación debido a las grandes ventajas que presenta y entre las cuales podemos enumerar las siguientes:

1. El diseño de la estructura es demasiado simple y, por lo tanto su construcción resulta barata, especialmente si se le situa en lugares que deben ser provistos de revestimiento, o si se combina con algunas otras estructuras, tales como caídas, sifones u otra clase de cruces.
2. La estructura trabaja eficientemente, aún teniendo gran variación en el gasto, pues tanto para gastos pequeños, como para grandes, su determinación se hace con bastante exactitud, utilizando las fórmulas empíricas que Parshall obtuvo después de efectuar numerosos experimentos. Estas fórmulas comprenden bastante amplitud en las condiciones de trabajo de la estructura, y con ellas se puede determinar el gasto con bastante precisión, pues cuando el medidor trabaja ahogado, el error no pasa de 5%, y cuando trabaja con descarga libre, el error es menos de 3%.
3. El problema del azolve aguas arriba, de la estructura y en la estructura misma, es eliminado debido a que el aumento de la velocidad la mantiene libre de obstrucciones, conservando

siempre su misma precisión.

4. La velocidad de llegada no tiene influencia prácticamente en la determinación del gasto y, por lo tanto, se puede prescindir de las cámaras de reposo.
5. La pérdida de carga es muy pequeña en comparación con las que se originan en otras estructuras de aforo.

E S T R U C T U R A

El medidor Parshall está constituido por tres partes fundamentales que son:

- a) La entrada
- b) La garganta
- c) La salida.

La primera está formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes y de un fondo o plantilla que es horizontal.

La garganta está formada por dos paredes también verticales, pero paralelas y el fondo es inclinado hacia abajo, con una pendiente de 2.67:1.

La salida por dos paredes verticales divergentes y el fondo es ligeramente inclinado hacia arriba.

Hay que hacer notar que tanto las paredes como el fondo son planos y a la arista que se forma por la unión del fondo de la entrada y el de la garganta, se le llama "Cresta del Medidor", y a su longitud se le llama "Tamaño del Medidor" y se le designa por la letra W . Tiene la estructura dos pozos amortiguadores que sirven para medir con precisión las cargas H_a y H_b , antes y después de la cresta, están colocados en los lados de la estructura

DIMENSIONES EN PIES Y CAPACIDADES EN PIES CUBICOS POR SEGUNDO, DE MEDIDORES PARSHALL.

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	GASTO LIMITE PARA DESCARGA LIBRE	
												MAX.	MIN.
0.25	1.53	1.500	0.583	0.848	1.250	0.500	1.000	0.083	0.187	0.083	0.125	1.2	0.03
0.50	2.04	2.000	1.292	1.292	1.500	1.000	2.000	0.250	0.375	0.167	0.250	3.9	0.05
0.75	2.89	2.833	1.850	1.805	2.000	1.000	1.500	0.250	0.375	0.167	0.250	8.8	0.09
1.00	4.50	4.406	2.000	2.771	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	16.1	0.35
2.00	5.00	4.906	3.000	3.958	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	33.1	0.66
3.00	5.50	5.396	4.000	3.150	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	50.4	0.97
4.00	6.00	5.885	5.000	6.354	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	67.9	1.26
5.00	6.50	6.375	6.000	7.552	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	85.8	2.22
6.00	7.00	6.865	7.000	8.750	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	103.5	2.63
7.00	7.50	7.354	8.000	9.948	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	121.4	4.08
8.00	8.00	7.844	9.000	11.146	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	139.5	4.62
10.00	9.00	14.000	12.000	15.604	4.000	3.000	6.000	0.500	1.125	1.000	0.750	200.	9.1
12.00	10.00	16.000	14.667	18.396	5.000	3.000	8.000	0.500	1.125	1.000	0.750	350.	9.1
15.00	11.50	25.000	18.333	25.000	6.000	4.000	10.000	0.750	1.150	1.000	0.750	600.	9.1
20.00	14.00	25.000	24.000	30.000	7.000	6.000	12.000	1.000	2.250	1.000	0.750	1000	10
25.00	16.50	25.000	29.333	35.000	7.000	6.000	13.000	1.000	2.250	1.000	0.750	1200	15
30.00	19.00	26.000	34.667	40.396	7.000	6.000	14.000	1.000	2.250	1.000	0.750	1500	15
40.00	24.00	27.000	45.333	50.792	7.000	6.000	16.000	1.000	2.250	1.000	0.750	2000	20
50.00	29.00	27.000	56.667	60.792	7.000	6.000	20.000	1.000	2.850	1.000	0.750	3000	25

CONDUCTO AFORADOR PARSHALL

F U N C I O N A M I E N T O

Los muros convergentes de la entrada guían suavemente los filetes de la vena líquida hasta la cresta, que es propiamente la sección de control, en donde debido al cambio brusco de la pendiente del piso en la garganta, el agua escurre con un mínimo de energía. Es decir, con la profundidad crítica cuando el escurrimiento es libre, que es uno de los dos casos de escurrimiento que pueden efectuarse en la estructura, el otro es el de escurrimiento con sumersión o ahogado.

Al entrar el agua en el medidor, debido a que la sección va reduciéndose, su velocidad va en continuo aumento, pues al llegar a la cresta del medidor se precipita siguiendo el piso descendiente de la garganta hasta que al salir de ella empieza a perder velocidad y como ésta es menor en el canal aguas abajo, resulta que debe producirse un salto hidráulico cerca del extremo inferior de la garganta. La localización de este salto es variable con el gasto que pasa por el medidor, pues para un gasto muy grande o muy pequeño, el salto se localizará más lejos o más cerca de la garganta consecuentemente, con lo cual la carga H_b variará haciéndose más pequeña o aumentando, tendiendo a ser igual a H_0 . La localización del salto es afectada igualmente por la elevación de la cresta sobre la plantilla del canal, así como también por la diferencia de elevación de la plantilla en los canales aguas arriba y aguas abajo de la estructura.

Cuando la carga H_b es considerablemente menor que la carga H_a , se dice que el medidor trabaja con descarga libre y en estas condiciones, el gasto es función únicamente de la carga H_a de la entrada, pero cuando la carga H_b difiere poco de la carga H_a , se dice que el medidor trabaja con "sumersión" y, entonces, el gasto es función de las dos cargas H_a y H_b .

A la relación $S = \frac{H_b}{H_a}$ se le llama grado de sumersión y es la que determina si en un momento dado el medidor trabaja con descarga libre, o con sumersión, Estas características de escurrimiento están determinadas con los siguientes valores límites:

<u>Tamaño del Medidor</u>	<u>Descarga Libre</u>	<u>Con Sumersión</u>
w menor de 0.3m	s menor que 0.6	s de 0.6 a 0.95
w entre 0.3 y 2.5 m	s menor que 0.7	s de 0.7 a 0.95
w entre 2.5 y 15.0 m	s menor que 0.8	s de 0.8 a 0.95.

Es de recomendarse que un medidor trabaje con descarga libre porque entonces para calcular el gasto será suficiente conocer solamente la lectura de la carga H_a para sustituirla en la expresión general.

$$Q = m H_a^n$$

En donde los valores de m y n varían con el tamaño del medidor. Como resultado de sus experimentos, Parshall encontró valores definidos para estos parámetros, resultando que la fórmula exprese el gasto en metros cúbicos/segundo. Para diferentes tamaños de w en metros, H_a en metros, se tienen las siguientes fórmulas:

Para $w = 0.15m$

$$Q = 0.3812 H_a^{1.58}$$

Para $w = 0.3$ a 2.5 m

$$Q = 0.372 (3.281 H_a)^{1.57} w^{0.026}$$

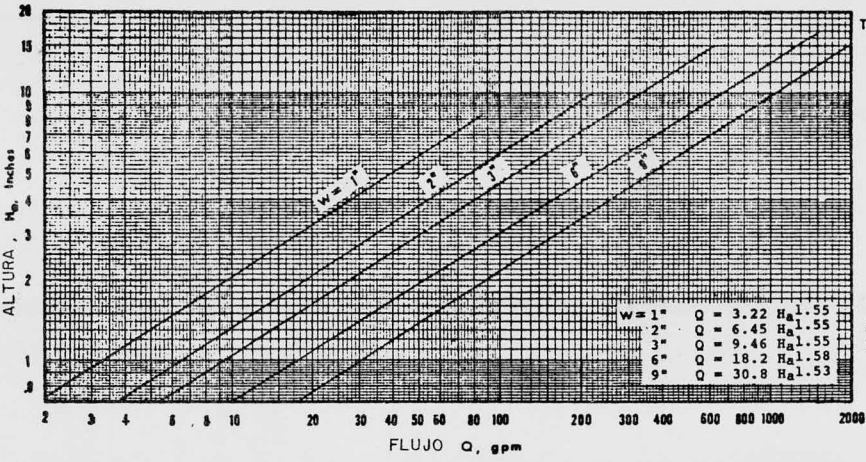
Para $w = 2.5m$ a 15.0 m

$$Q = (2.293 + 0.474) H_a^{1.6}$$

W metros	m	n	W metros	m	n
0.15	0.3812	1.580	4.50	10.790	1.60
0.30	0.680	1.522	5.00	11.937	1.60
0.50	1.161	1.542	6.00	14.229	1.60
0.75	1.774	1.558	7.00	16.522	1.60
1.00	2.400	1.570	8.00	18.815	1.60
1.25	3.033	1.579	9.00	21.107	1.60
1.50	3.673	1.588	10.00	23.400	1.60
1.75	4.316	1.593	11.00	25.692	1.60
2.00	4.968	1.599	12.00	27.985	1.60
2.50	6.277	1.608	13.00	30.278	1.60
3.00	7.352	1.60	14.00	32.570	1.60
3.50	8.498	1.60	15.00	34.863	1.60
4.00	9.644	1.60			

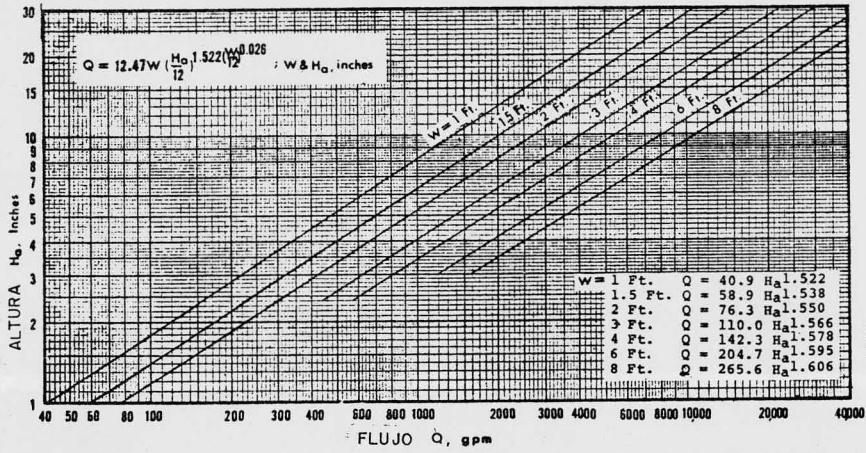
VALORES DE m y n PARA LA FORMULA GENERAL

(EN UNIDADES METRICAS)

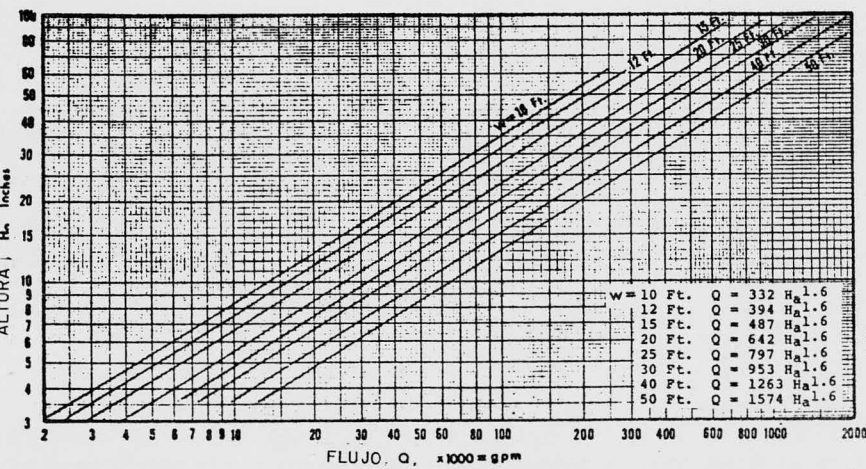


To obtain gpm:
 mult. MGD by 694
 - or -
 mult. $\frac{ft^3}{sec.}$ by 449

Small
 Parshall
 Flumes



Medium
 Parshall
 Flumes



Large
 Parshall
 Flumes

GRAFICAS DE MEDIDOR PARSHALL (PARA MEDIDORES MARCA F&P)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

A través del desarrollo de este estudio, se observa que existe un gran número de métodos para medir el flujo. Cada uno de estos métodos cuenta con uno o más medidores de flujo, que a su vez, nos presentan ventajas y limitaciones. El conocimiento de estas características de comportamiento, nos facilitará la selección y aplicación de los mismos en los diferentes procesos de medición. Por ejemplo, el rotámetro es de fácil instalación y bajo precio, pero nos presenta la limitación del tamaño de la tubería y el rango de caudal a medir, el cual no debe ser muy grande. Así mismo, la turbina de flujo, que no tiene las limitaciones del rotámetro en lo concerniente a tamaño de tubería y rango de flujo, nos presenta como condición del flujo a medir, la viscosidad del mismo, la cual no debe exceder ciertos valores y estar exenta de partículas en suspensión.

Por otro lado, si el fluido a medir es peligroso en su manejo, su costo por unidad de volumen es elevado, o su medición debe de ser lo más exacta posible, la selección del elemento primario, también, dependerá de estas condiciones.

Ampliando los conceptos anteriores para la selección apropiada del elemento primario de medición de flujo, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

1. TIPO DE FLUIDO

- a) Densidad
- b) Viscosidad
- c) Corrosión
- d) Limpieza
- e) Estado físico
- f) Conductividad

g) Translucidez

2. CONDICIONES DE PROCESO

a) Flujo máximo

b) Flujo mínimo

c) Flujo normal

d) Presión

e) Temperatura

f) Tipo de escala

g) Indicación instantánea o registro

3. CONDICIONES ECONOMICAS

a) Inversión inicial

b) Costo de operación

c) Costo de mantenimiento

d) Exactitud.

La selección del medidor de flujo al involucrar una serie de condiciones, nos permite tener una visión más amplia de un proceso general.

C A P I T U L O V

B I B L I O G R A F Í A

BIBLIOGRAFIA

1. FISCHER & PORTER HANDBOOK 10-A-90
2. FISCHER & PORTER HANDBOOK 10A1020 VOL. I, II, III.
3. FISCHER & PORTER HANDBOOK 10B9000
4. LK SPINK "PRINCIPLES AND PRACTICE OF FLOW METER ENGINEERING"
FOXBORO CO. 1958.
5. DM CONSIDINE "PROCESS INSTRUMENTS AND CONTROLS HANDBOOK"
MCGRAW HILL BOOK CO. 1957.
6. FISCHER & PORTER CATALOG C10C
7. FISCHER & PORTER TECHNICAL INFORMATION 10C-1
8. INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA RP 3.2
9. FISCHER & PORTER BULLETIN 91-10C-04
10. FISCHER & PORTER TECHNICAL INFORMATION 10D-14
11. CLAUDIO MATAIX MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS
HARPER & ROW PUBLISHERS INC. 1970.