



19

# Universidad Nacional Autónoma de México

---

FACULTAD DE INGENIERIA

Técnicas de Medición de Agua y Vapor en  
Pozos Geotérmicos del Campo de  
Cerro Prieto, Mexicali

**T E S I S**

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

**JUAN JOSE DURAN LOPEZ**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección  
60-I-231

Señor DURAN LOPEZ JUAN JOSE.  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. M.en I. José Angel Gómez Cabrera, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"TECNICAS DE MEDICION DE AGUA Y VAPOR EN POZOS GEOTERMICOS DEL CAMPO DE CERRO PRIETO, MEXICALI"

- I INTRODUCCION.
  - II MEDICION DE VAPOR SEPARADO, UTILIZANDO LA PLACA DE ORIFICIO.
  - III METODOS Y CALCULO DE AGUA SEPARADA.
  - IV ESTIMACION DEL POTENCIAL DE POZOS GEOTERMICOS BAJO DESCARGA POR PRESION CRITICA DE LABIO.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.  
REFERENCIAS.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., Octubre 21 de 1985.  
EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

En  
OARCH'MRV'gtg

## INDICE.

	PAG.
<b>CAPITULO I.-</b> Introducción.	
I.1.- Pozos integrados al sistema.	.... 1
I.2.- Pozos fuera de sistema.	.... 6
<b>CAPITULO II.-</b> Medición de vapor separado, utilizando la placa de orificio.	
II.1.- Características y aplicaciones de la placa de orificio.	.... 7
II.2.- Instalación de la placa de orificio.	.... 11
II.3.- Tomas de presión.	.... 12
II.4.- Manómetros de columna líquida.	.... 14
II.5.- Medición de la presión diferencial.	.... 16
II.6.- Cálculo del gasto de vapor con la placa de orificio.	.... 17
II.7.- Programa de computo para calcular el diámetro de orificio para flujo de vapor.	.... 25
<b>CAPITULO III.-</b> Métodos y Cálculo de agua separada.	
III.1.- Canales abiertos.	.... 42
III.2.- Vertederos.	.... 46
<b>CAPITULO IV.-</b> Estimación del potencial de pozos geotérmicos bajo descarga, por presión crítica de labio.	
IV.1.- Introducción.	.... 72
IV.2.- Método desarrollado por Russell James.	... 75
Conclusiones y/o recomendaciones.	.... 87
Referencias.	.... 89

# C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N .

La necesidad de un método de medición para las diferentes condiciones de producción de un pozo geotérmico, que reúna las cualidades de exactitud, simplicidad y bajo costo, resulta evidente y necesario, para evaluar la costeabilidad en la explotación de un campo.

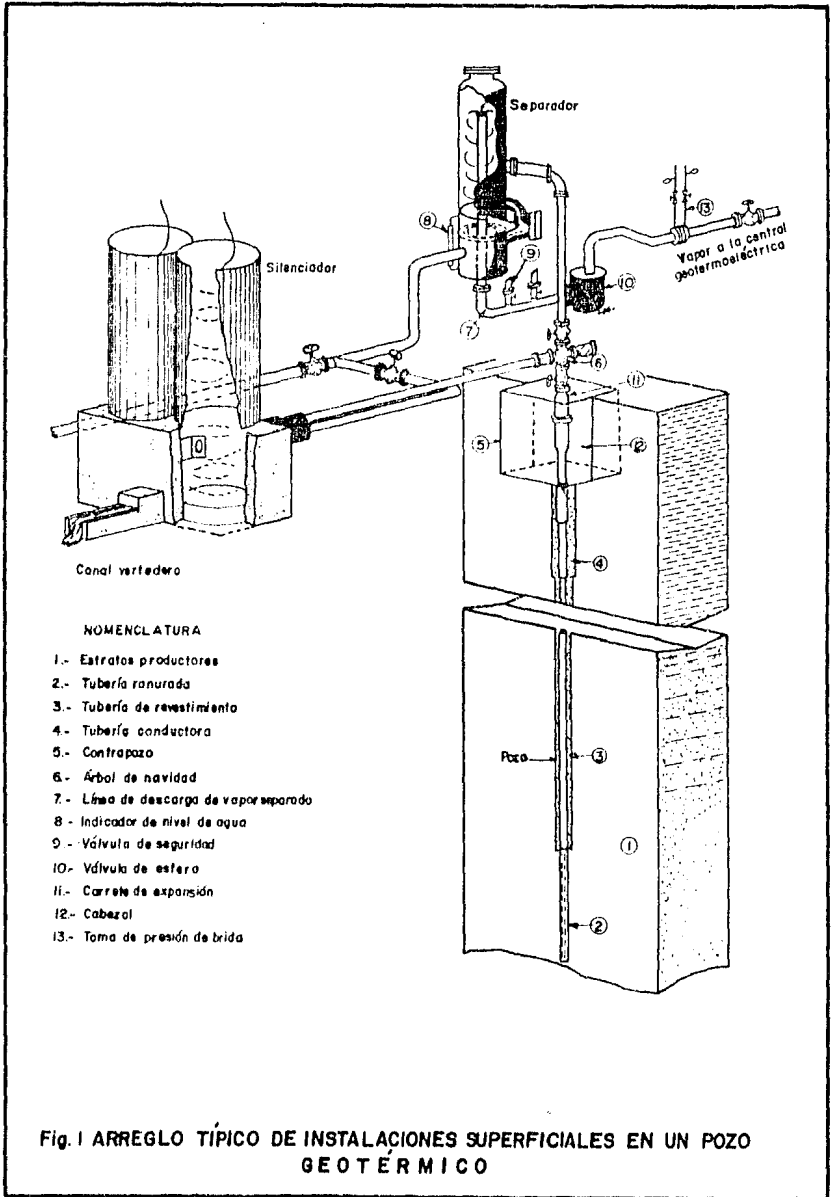
Los procedimientos de medición de fluidos geotérmicos comúnmente usados en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, dependerán de las condiciones a que se encuentre el pozo, que se puede agrupar de la siguiente manera:

a).- Pozos integrados al sistema.

b).- Pozos fuera de sistema.

### I.1.- POZOS INTEGRADOS AL SISTEMA.-

La producción de los pozos geotérmicos del Campo de Cerro Prieto, consta de una mezcla agua-vapor; la cual, para ser explotada necesita separarse para ser enviada como vapor seco a las turbinas de la Central Geotermoeléctrica. En la fig. 1 se muestra el arreglo típico de las instalaciones superficiales para un pozo geotérmico. La separación de la mezcla agua-vapor se lleva a cabo por medio de un separador



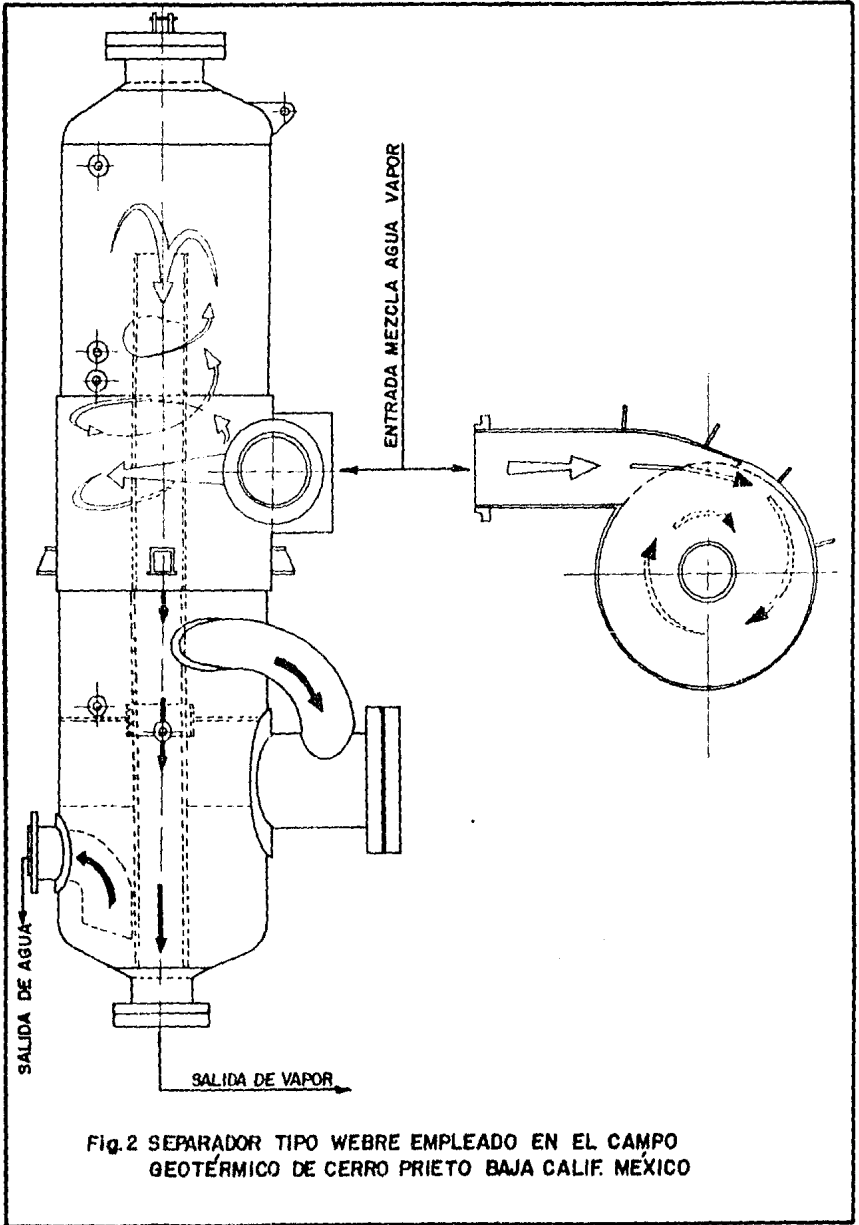
centrífugo "tipo Webre", (Fig. 2) en donde por la acción de la fuerza centrífuga, el agua se escurre por las paredes del separador y baja hasta el fondo del mismo, para ser descargada hacia un silenciador vertical, para efectos de medición o en caso contrario a la laguna de evaporación; mientras que el vapor debido a su baja densidad asciende a la parte superior del separador y es recolectado por un tubo central por el que fluye hacia la red de recolección.

El silenciador vertical se localiza en dirección de una de las descargas laterales del pozo y está formado por una cámara, que al recibir el flujo, rompe la velocidad de éste, lográndose así un flujo de agua aparentemente laminar, que tiende a escurrir por un VERTEDERO, localizado en el piso de la parte posterior de la entrada. El vapor es descargado por dos chimeneas que están en la parte superior de la cámara de recepción; una de las ventajas de este silenciador es que permite la cuantificación del agua que en él se descarga y amortigua el ruido producido por la descarga del vapor o del agua a alta presión a la atmósfera. (Fig. 3)

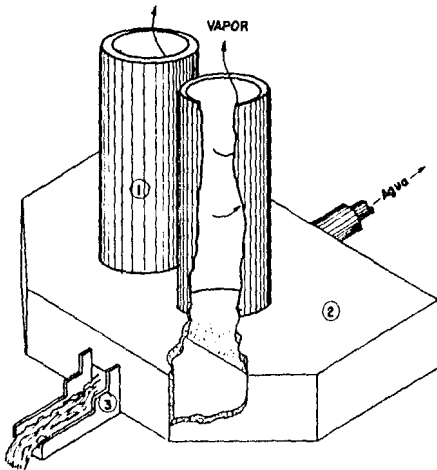
En éstos casos de separación la medición del fluido se efectúa por los siguientes métodos:

PARA VAPOR SEPARADO.- Midiendo la presión diferencial provocada por un orificio de estrangulamiento en la línea de vapor.

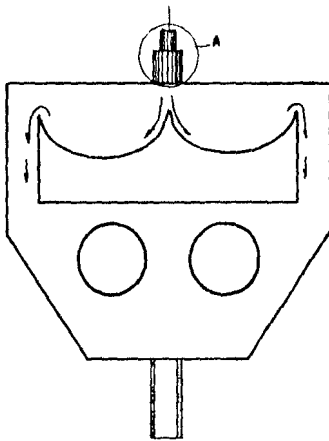
PARA AGUA SEPARADA.- Medición del gasto de agua a través de un vertedero instalado en el canal de aforo a la salida del silenciador.







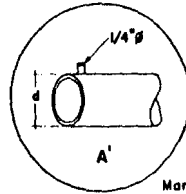
ISOMETRICO



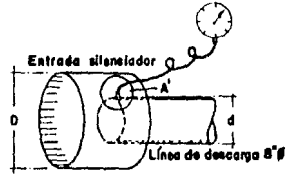
VISTA SUPERIOR

NOMENCLATURA

- 1.- Chimenea
- 2.- Cámara de recepción
- 3.- Canal vertedero
- 4.- Toma de presión
- d.- Diámetro tubería



Manómetro



A

Fig. 3 SILENCIADOR VERTICAL

## I.2.- POZOS FUERA DE SISTEMA.-

En este caso, la mezcla total es descargada por la línea lateral hacia el silenciador vertical, y la evaluación se efectúa aplicando el método desarrollado por RUSSELL-JAMES.

NOTA: Cabe hacer notar que el método de cálculo desarrollado por RUSSELL JAMES, se basa en experiencias obtenidas en el Campo Geotérmico de Wairakei, Nueva Zelanda, en donde tienen una mezcla "agua-vapor" similar a la del Campo de Cerro Prieto.

## C A P I T U L O    I I

### MEDICION DE VAPOR SEPARADO, UTILIZANDO PLACA DE ORIFICIO.

#### II.1.- CARACTERISTICAS Y APLICACIONES DE LA PLACA DE ORIFICIO.

La medición de la presión diferencial a través de elementos primarios, depende de las características de los fluidos y de la geometría de la instalación; así pues, se establecen las siguientes recomendaciones.

II.1.1.- MEDIDOR CON PLACA DE ORIFICIO.- Es un dispositivo extremadamente sencillo para determinar los índices de velocidad, puede utilizarse como medidor cualquier dispositivo que provoque una caída de presión y admita una relación del índice de velocidad en función de la caída de presión.

Se considera una placa simple de acero Monel, acero inoxidable o cualquier otra aleación de acero anticorrosivo, que tenga un coeficiente de expansión térmico aproximadamente igual al de las bridas porta orificio, con un orificio perforado en el centro e insertada en una tubería; a esa placa se le llama elemento primario de medición. (Fig. 4)

Las características y recomendaciones de la placa de orificio, se explican a continuación:

a).- EL ESPESOR de la placa de orificio no deberá ser menor que los dados en la siguiente tabla:

TUBERIA (pg)	ESPEJOR DEL ORIFICIO(pg) (TEMP. 600° F) MINIMO	ESPEJOR DEL ORIFICIO(pg) (TEMP. 600° F) MAXIMO
HASTA 3	3/32 ± 1/32	1/4
4 a 6	5/32 ± 1/32	3/8
7 a 8	1/4 ± 1/16	1/2
MAYOR DE 10	3/8 ± 1/8	1/2 a 3/4

b).- EL DIAMETRO, exterior de la placa de orificio, deberá ser tal, que pueda exactamente centrarse dentro de la tubería, de preferencia la placa orificio debe estar concéntrica con la tubería, pero podría estar excéntrica; en este caso, la excentricidad podría ser tal, que la distancia de la pared de la tubería al orificio no sea menor del 1% del diámetro de la tubería.

Para orificios concéntricos, la posición de la vena contracta, tomada desde el punto de presión estática, varia con la relación: Diámetro del orificio ( $d_2$ ) a diámetro de la tubería ( $d_1$ ) aproximadamente:

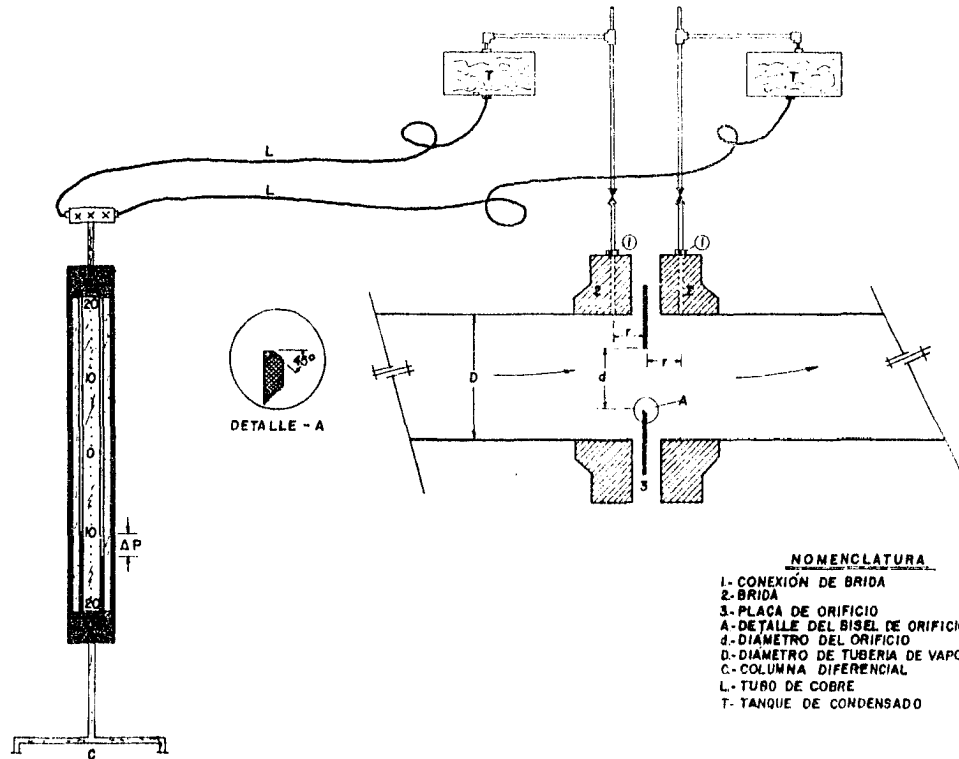


Fig. 4 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LAS INSTALACIONES PARA MEDICION DE VAPOR SEPARADO

$\beta = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)$	0.80	0.50	0.30
distancia al orificio	$0.33d_1$	$0.66d_1$	$0.80d_1$

Más allá de la vena contracta, la energía cinética del chorro, es casi completamente destruída por la turbulencia al mezclarse aquel con el fluido que se mueve lentamente en el conducto de descarga; por consiguiente, la pérdida total de la carga estática es considerable.

c).- Las paredes y superficie de la placa orificio, corriente arriba, deben formar con las paredes de la tubería, un ángulo recto bien definido.

d).- La cara de la placa corriente arriba deberá estar completamente lisa y sin picaduras. Pequeñas desviaciones con respecto a estas especificaciones, pueden dar lugar a errores considerables.

e).- El ancho del canto cilíndrico del agujero debe estar entre 0.01 y 0.02 del diámetro de la tubería. Cuando por razones de resistencia es necesario exceder estos límites, el canto del agujero debe biselarse formando un ángulo de 30 a 45 grados con respecto al eje de la tubería.

f).- La relación de diámetros ( $\beta$ ) entre el diámetro del agujero de la placa de orificio y el diámetro de la tubería, no debe ser menor del 25%, ni mayor del 75%, en caso de exceder estos valores, debe ampliarse el diámetro del tubo medidor para disminuir la relación  $\beta$ .

## II.2.- INSTALACION DE LA PLACA ORIFICIO.-

En base a experiencias obtenidas en el campo, así como a especificaciones API se han determinado los siguientes criterios:

### a).- LOCALIZACION DEL ORIFICIO.-

Cuando la temperatura del fluido a medirse, difiere materialmente la temperatura ambiente, la instalación del orificio debe localizarse en una línea horizontal.

b).- LA PLACA DE ORIFICIO, Debe colocarse con el bisel en dirección al flujo. (ver Fig. 4)

c).- Para asegurar una medición exacta del flujo, es esencial que el fluido llegue a el orificio con un perfil de velocidad turbulento completamente desarrollado, libre de remolinos, etc. Tales turbulencias se minimizan con el uso de longitud adecuada de tubería recta.

d).- Para su fácil instalación o reemplazo se requerirá de bridas portaorificios en la línea, en el lugar asignado a la instalación de la placa orificio.

e).- El material utilizado para embrague en la instalación de la placa orificio debe ser un tipo y composición que no se comprima mas de un 20% bajo una carga de 4000 lb/pg<sup>2</sup>.

Para presiones, un empaque de asbesto comprimido puede llenar los requerimientos.

Para altas presiones, se requiere de junta anular o empaque metálico.

### II.3.- TOMAS DE PRESION.-

Para un orificio concéntrico en una tubería, la caída de presión del orificio se acostumbra medir entre uno de los pares siguientes de tomas de presión:

a).- Tomas de esquina o ángulo.

b).- Tomas de tubería.

c).- Tomas de brida.

d).- Tomas de vena contracta.



En el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, se han empleado en forma preferente las tomas de brida debido a la mayor flexibilidad que existe en su manejo, así como en base a los resultados aceptables que han proporcionado.

#### TOMAS EN BRIDAS.-

Estas tomas son agujeros prefabricados situados en las bridas a una distancia de 1" corriente arriba y 1" corriente abajo de la placa orificio.

Existen bridas especiales para orificios, por lo que puede disponerse de tomas de presión adecuadas. Algunas bridas especiales para orificios que existen en el mercado, tienen tomas de presión que difieren considerablemente de las reglas para la medida de la presión estática, que sólo pueden obtenerse resultados confiables después de una calibración especial. Este tipo de tomas de presión, es la forma acostumbrada de medir la presión en el campo de Cerro Prieto. (Fig. 5)

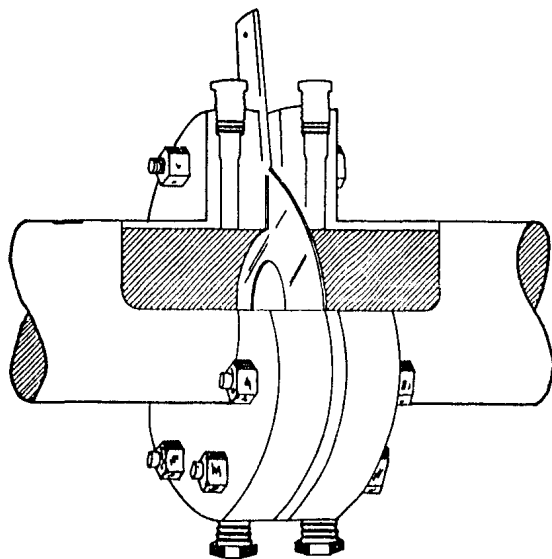
Las conexiones a las tomas de presión se hacen generalmente, por niples, coples o adaptadores soldados a la superficie exterior o toma de presión en la brida; posteriormente se instala una válvula para control de estas tomas de presión.

En casos de medir vapor, es necesario, después de las válvulas, utilizar tanques de condensado llenos de agua con el fin de proporcionar columnas de igual peso específico en ambos lados de la columna diferencial. El volúmen de agua de cada uno de esos recipientes ó tanques de condensado debe ser igual por lo menos al desplazamiento de la columna diferencial al máximo flujo, pero preferentemente dos o tres veces esa cantidad. (Fig. 4)

El diseño de dichos recipientes o forma de instalación a las condiciones de presión deberá ser de tal manera que todo el tiempo se encuentren con condensado.

#### II.4.- MANOMETROS DE COLUMNA LIQUIDA.-

La altura, carga o diferencia de nivel a la que se lleva un fluido en un tubo vertical abierto, unido a un aparato que contiene un líquido, es una medida directa de la presión, en el punto de conexión y se utiliza frecuentemente para mostrar el nivel del líquido en depósitos etc., puede utilizarse el mismo principio con indicadores de tubo en "U" y otros dispositivos equivalentes. La mayoría de los indicadores pueden usarse como manómetros abiertos o como manómetros diferenciales, el fluido manométrico que forma la columna líquida que se mida en esos indicadores puede ser cualquier líquido no miscible con el líquido que se usa, generalmente el mercurio; para las bajas presiones, se usa el Keroseno, agua, alcohol, etc.



**Fig.5 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA TOMA DE BRIDA**

## II.5.- MEDICION DE LA PRESION DIFERENCIAL.-

La diferencia de presión, existente corriente arriba y corriente abajo, con respecto a la placa orificio, comúnmente se registra con una columna diferencial o también llamada manómetro tubo "U".

Este tipo de manómetro consta de un tubo capilar en forma de "U" con una escala graduada doble, tomando como cero aproximadamente la mitad de la longitud o altura del tubo "U", la cual se llena aforando a cero con un líquido de densidad conocida; al aplicar presión en uno o en ambos extremos, desplazará la columna de líquido y la presión aplicada será igual a la altura de la columna del líquido balanceado.

El líquido utilizado debe tener buenas características de mojabilidad y ser capaz de formar un menisco consistente en un tubo indicador para facilitar la lectura; este líquido usado también afecta el rango de operación del manómetro; así por ejemplo el mercurio que es 13.6 veces más pesado que el agua, se moverá 1/13 la distancia del agua en respuesta a una presión dada.

Las unidades comúnmente usadas pueden ser pulgadas o cm de mercurio usando mercurio como el fluido; pulgadas o cm de agua en caso de ser agua el fluido de la columna.

Para casos de medición de vapor se recomienda conector de cobre para la instalación de la columna diferencial y la tubería principal. (especificaciones ASTM).

## II.6.- CALCULO DEL GASTO DE VAPOR CON PLACA DE ORIFICIO.-

La ecuación general para obtener el gasto a través de un orificio es :

$$q_g = K A \sqrt{2 g h} \quad \text{--- (1)}$$

donde:

$q_g$  = gasto, pie<sup>3</sup>/seg .

$K$  = Coeficiente de descarga incluyendo el factor de velocidad de aproximación, adimensional.

$A$  = Area del orificio, pie<sup>2</sup> .

$g$  = Aceleración de la gravedad, pie/seg .

$h$  = Presión diferencial, pie de fluido.

El gasto medido a condiciones estándar, esta dado por:

$$q_h = C \sqrt{h_w p_f} \quad \text{--- (2)}$$

donde:

$q_h$  = Gasto a condiciones estándar, pie<sup>3</sup>/hr .

$h_w$  = Presión diferencial, pq de agua.

$p_f$  = Presión estática del fluido, lb/pg<sup>2</sup> abs .

$C$  = Constante del orificio, el cual se obtiene sustituyendo los siguientes valores en la ecuación (1) .

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

$$h = \frac{h_w \rho_w}{12 \rho} \quad \text{--- (3)}$$

$\rho_w = 62.37$  = Densidad del agua, medida a 60 °F, lb/pie<sup>3</sup> .

$\rho$  = Densidad del gas a condiciones de flujo, lb/pie<sup>3</sup> .

$$A = \frac{\pi d^2}{(4)(144)} \quad \text{--- (4)}$$

donde:

d= Diámetro del orificio, pg .

tambien

$$q_f = 3600 q_s = \text{Gasto a condiciones de flujo, pie}^3/\text{hr} . \quad \text{--- (5)}$$

Considerando la densidad del aire como 0.08073 lb/pie<sup>3</sup>, medido a 14.7 lb/pg<sup>2</sup> abs y 32 °F, la ecuación de Boyle y Charles para gases, esta dada por:

$$\rho = 0.08073 \frac{P_f}{14.7} \frac{492}{T_f} G \quad \text{--- (6)}$$

donde:

T<sub>f</sub>= Temperatura absoluta a condiciones de flujo, °R .

G = Peso específico del gas (aire=1.0) .

Sustituyendo (1), (3), (4) y (6) en (5)

$$q_f = 3600 \frac{d^2}{(4)(144)} K \sqrt{(2)(32.17) \frac{h_w}{12} \frac{62.37}{0.08073} \frac{14.7}{P_f} \frac{T_f}{492} \frac{1}{G}} \quad \text{---(7)}$$

$$q_f = 218.44 d^2 K \sqrt{\frac{h_w T_f}{P_f G}} \quad \text{--- (8)}$$

Aplicando la ley de Boyle y Charles

$$\frac{P_f q_f}{T_f} = \frac{P_b q_h}{T_b} \quad \text{--- (8A)}$$

y

$$q_h = \frac{P_f q_f T_b}{P_b T_f} \quad \text{--- (8B)}$$

donde:

P<sub>b</sub>= Presión del fluido a condiciones estándar, lb/pg<sup>2</sup> abs .

T<sub>b</sub>= Temperatura absoluta a condiciones estándar, °R .

Sustituyendo el valor de q<sub>f</sub> de (8) en (8B)

$$q_h = 218.44 d^2 K \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{h_w P_f}{T_f G}} \quad \text{--- (8C)}$$

El cual tambien puede escribirse como

$$q_h = 218.44 d^2 K \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{1}{T_f G} h_w p_f} \quad \text{--- (8D)}$$

por tanto

$$C = 218.44 d^2 K \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{1}{T_f G}}$$

Cuando es conocida la densidad del gas a las condiciones de flujo, la ecuación para obtener el gasto másico se torna más sencilla, así pues se obtendrá el gasto en lb/hr igual al gasto en pie<sup>3</sup>/hr a las condiciones de flujo por la densidad en lb/pie<sup>3</sup>.

$$q = q_f \rho$$

Sustituyendo el valor de  $q_f$  de la ecuación (8)

$$q = 218.44 \rho d^2 K \sqrt{\frac{h_w T_f}{p_f G}} \quad \text{--- (9)}$$

de la ecuación (6)

$$\frac{T_f}{p_f G} = \frac{(0.08073)(492)}{14.7 \rho} \quad \text{--- (10)}$$

sustituyendo (10) en (9)

$$q = 218.44 \rho d^2 K \sqrt{\frac{h_w (0.08073)(492)}{14.7 \rho}}$$

$$q = 359.06 d^2 K \sqrt{h_w \rho} = 359.06 d^2 K \sqrt{h_w / v}$$

Considerando el coeficiente de flujo  $Y$ , así como el factor de expansión térmico de la placa de orificio  $F_a$ , se tiene que la ecuación para fluidos compresibles es:

$$q = 359.06 d^2 K F_a Y \sqrt{h_w / v}$$

donde:

$q$  = Gasto (lb/hr).

$K$  = Coeficiente real de descarga ( $K=CF$ ).

$C$  = Coeficiente de descarga (adimensional).

$F$  = Factor de velocidad de aproximación (adimensional).

$$F = (1 - \beta^4)^{-1/2}$$

$\beta$  = Relación de diámetro del orificio y diámetro de la tubería.

$$\beta = d_1 / d_2$$

$d_2$  = Diámetro de la placa de orificio (pg).

$d_i$  = Diámetro interior de la tubería (pg).

$F_a$  = Factor de expansión térmica para el orificio (adimensional).

$Y$  = Relación de la descarga o coeficiente de flujo para un gas a el del líquido al mismo valor de  $R_d$  (adimensional).

$R_d$  = Número de Reynolds basado en el diámetro interior de la tubería ( $d_i$ )

$$R_d = \frac{0.004244 q_m}{d_i \mu} \text{ (adimensional)}$$

$g$  = Aceleración de la gravedad (32.17 pie/seg).

$\mu$  = Viscosidad absoluta (lb°F-seg/pie<sup>2</sup>)

$h_w$  = Cabeza efectiva (pg de agua).

$v$  = Volumen específico del vapor (pie<sup>3</sup>/lb).

#### a).- COEFICIENTE DE DESCARGA (C) .-

En ambos lados de la placa orificio, se considera que hay tomas de presión. Puede considerarse que el índice de flujo o gasto  $q$ , a través de esa placa orificio, de diámetro  $d_2$ , en una tubería de diámetro  $d_1$ , está en función de ciertas variables a saber:



$$q = f(\Delta p, \rho, \mu, d_1, d_2) \quad \text{--- (1)}$$

de donde

$$q = C.A (2\Delta P / \rho)^{1/2} \quad \text{--- (2)}$$

y  $C = [f(R_e, d_2/d_1)]$  es una función de la razón del número de Reynolds y al diámetro y se llama coeficiente de descarga.

Si el orificio no ha sido individualmente calibrado, el coeficiente de flujo K, que será usado para orificios, concéntricos biselados, puede obtenerse de la tabla ( I ); dependiendo del diámetro de la tubería que sea empleada.

La tabla I se construyó en base al número de Reynolds  $R_d$ , en función del diámetro de la tubería  $d_1$ , de la siguiente manera:

$$R_d = \frac{0.004244 q_m}{d_1 q \mu}$$

Donde  $q_m$  = Gasto en lb/hr para el cual en gasto será determinado. Para un primer intento, se supone un coeficiente de descarga  $C=0.61$ . El producto de  $q\mu$  del valor puede obtenerse empleando la Fig 8, con la temperatura en °F y la presión de operación en lb/pg<sup>2</sup> abs.

b).- FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACION, F,-

Se calcula directamente del valor conocido de  $\beta = \frac{d_2}{d_1}$   
o puede obtenerse de las figuras  $g_A$  y  $g_B$ .

$$F = (1 - \beta^4)^{-\frac{1}{2}}$$

c).-CABEZA DE PRESION DIFERENCIAL,  $h_w$ .-

Se calcula a partir de la lectura en la columna diferencial. La relación entre la lectura manométrica  $h_m$  y la  $h_w$  es la siguiente:

$$h_w = \frac{h_m (\rho_m - \rho_o)}{62.317}$$

Donde:

$h_m$ = Pulgadas de fluido manométrico.

$\rho_m$ = Densidad de fluido manométrico,  $lb_m/pie.^3$ .

$\rho_o$ = Densidad del fluido (en éste caso agua) que separa el fluido manométrico del fluido fluyendo,  $lb/pie.$

$h_w$ = Presión diferencial,  $pg$  de agua a  $68^\circ F$

La densidad del agua a diferentes presiones y temperaturas, puede obtenerse empleando las Figuras 6 y 7.

d).- FACTOR DE EXPANSION TERMICO,  $F_a$ .-

Como consecuencia de la expansión térmica del elemento primario (placa orificio) cuando el fluido medido es un fluido caliente, debe incluirse también este factor de expansión térmica  $F_a$ ; el cual puede obtenerse de la Figura 10.

e).- FACTOR DE EXPANSION.  $Y$ .-

Cuando se miden líquidos, donde no existe una apreciable expansión, el valor de  $Y$  es unitario.

Cuando se miden gases con tubos venturis y toberas, la expansión que acompaña al cambio de presión tiene lugar únicamente en dirección axial; debido a las paredes confinadas de dichos instrumentos.

En el caso de orificios donde no existen estas paredes confinadas, la expansión tiene lugar en ambas direcciones radial y axialmente; por lo que para tomar en cuenta esta expansión multidireccional debe incluirse el factor de expansión.

Los valores de "Y" para orificios concéntricos pueden obtenerse empleando las Figs. 11 A-B y 12 A-B.

## II.7.- PROGRAMA DE COMPUTO PARA CALCULAR EL DIAMETRO DE LA PLACA DE ORIFICIO.

Uno de los métodos más utilizados para medir flujo, es por medio de los elementos primarios de presión diferencial (Elementos diferenciales de flujo) y uno de éstos es la placa de orificio, siendo éste el más común por su bajo costo, facilidad de instalación y precisión aceptable. Sin embargo, el dimensionar dicho elemento, requiere de cálculos tediosos y consulta de tablas; además, se hacen correcciones iterativas que dan lugar a posibles errores.

El avance de la tecnología electrónica en los últimos tiempos, nos permite contar con computadoras programables de características alfanuméricas que hacen posible el desarrollo de programas en lenguaje Basic, como el presentado en éste trabajo, el cual fue elaborado en una microcomputadora IBM; dicho programa fue diseñado para establecer una comunicación directa entre el operador y la máquina, desde la alimentación de los datos hasta la definición de criterios de cálculo y el despliegue de resultados.

```

10 'PROGRAMA PARA CALCULAR EL DIAMETRO
20 ' DE ORIFICIO PARA FLUJO DE VAPOR
30 INPUT "DAME INTERIOR DE LA TUBERIA ":D
40 INPUT "CAIDA DE PRESION EN EL ORIFICIO ":HW
50 INPUT "GASTO MASICO ":M
60 INPUT "DENSIDAD DEL VAPOR ":DG
70 INPUT "RELACION DE CALORES ESPECIFICOS ":K
80 INPUT "PRESION CORRIENTE ARRIBA ":P
90 '
100 LPRINT "##### SOLUCION #####"
110 LPRINT " "
120 LPRINT "DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA (PG) "
130 LPRINT "D= ":D
140 LPRINT "CAIDA DE PRESION EN EL ORIFICIO (PG. DE AGUA)"
150 LPRINT "HW= ":HW
160 LPRINT "GASTO MASICO (LB/SEG)"
170 LPRINT "M= ":M
180 LPRINT "DENSIDAD DEL VAPOR (LB/PIE)3"
190 LPRINT "DG= ":DG
200 LPRINT "RELACION DE CALOR ESPECIFICOS (A PRESION Y VOLUMEN CONSTANTE)"
210 LPRINT "K= ":K
220 LPRINT "PRESION CORRIENTE ARRIBA (LB/PG2)"
230 LPRINT "P= ":P
240 DP=.036163*HW
250 L=M/(.3755*(D12)*((DG*DP)1.5))
260 N=1-(.41*DP/(P*K))

```

```

270 T=.35*(DP/(P*K))
280 A=(3*(L↑2)-(N↑2))/(3*(T↑2))
290 B=-((2*(N↑3)+(16*N*(L↑2)+(27*T*(L↑2)))/(27*(T↑3))
300 Y1=(-B/2+((B↑2/4)+(A↑3/27))↑.5)↑.3333333
310 Y2=(-B/2-((B↑2/4)+(A↑3/27))↑.5)↑.3333333
320 Y=Y1+Y2-(2*N)/(3*T)
330 LPRINT : LPRINT : LPRINT
340 DD =(Y↑(.25))*D
350 LPRINT "DD= " ;DD
360 END
25144 =M/(.3255*(D↑2)*((DG*DP)↑.5)
$$$$$$$$$ SOLUCION $$$$$$$$$$$$

```

DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA (PG)

D= 4

CAIDA DE PRESION EN EL ORIFICIO (PG. DE AGUA)

HW= 20

GASTO MASICO (LB/SEG)

M= .25

DENSIDAD DEL VAPOR (LB/PIE<sup>3</sup>)

DG= .07

RELACION DE CALOR ESPECIFICOS (A PRESION Y VOLUMEN CONSTANTE)

K= 1.4

PRESION CORRIENTE ARRIBA (LB/PG↑2)

P= 14.7

DIAMETRO DE ORIFICIO (PG)

DD= 1.839044

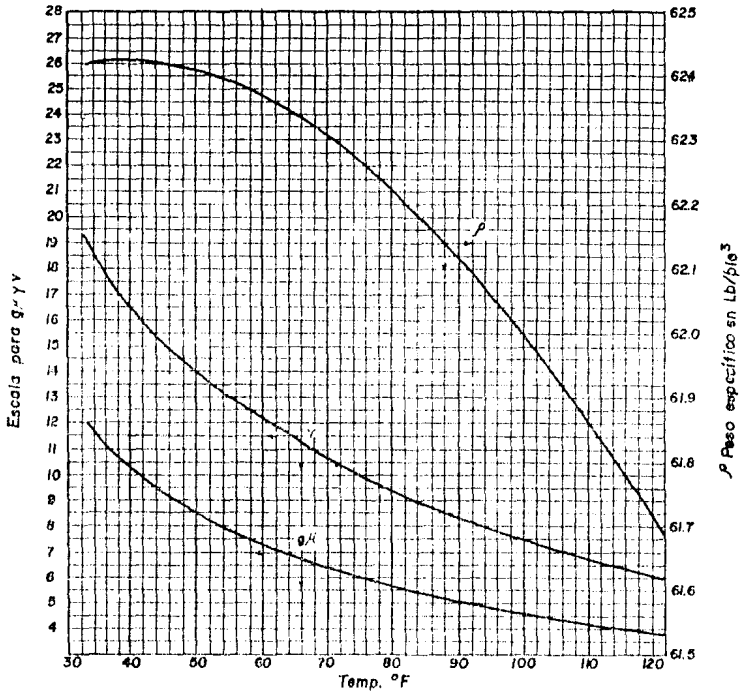


Fig 6 PESO ESPECÍFICO Y VISCOSIDAD DEL AGUA A LA PRESIÓN INFERIOR DE 1 ATMÓSFERA  
 PARA VALORES DE  $\gamma$  MULTIPLIQUESE EL VALOR LEIDO EN LA ESCALA  $\times 10^{-6}$  Lb °F-sec/pla<sup>2</sup>  
 PARA VALORES  $\eta$  DE MULTIPLIQUESE EL VALOR LEIDO EN LA ESCALA  $\times 10^{-6}$  v pla/seg<sup>2</sup>



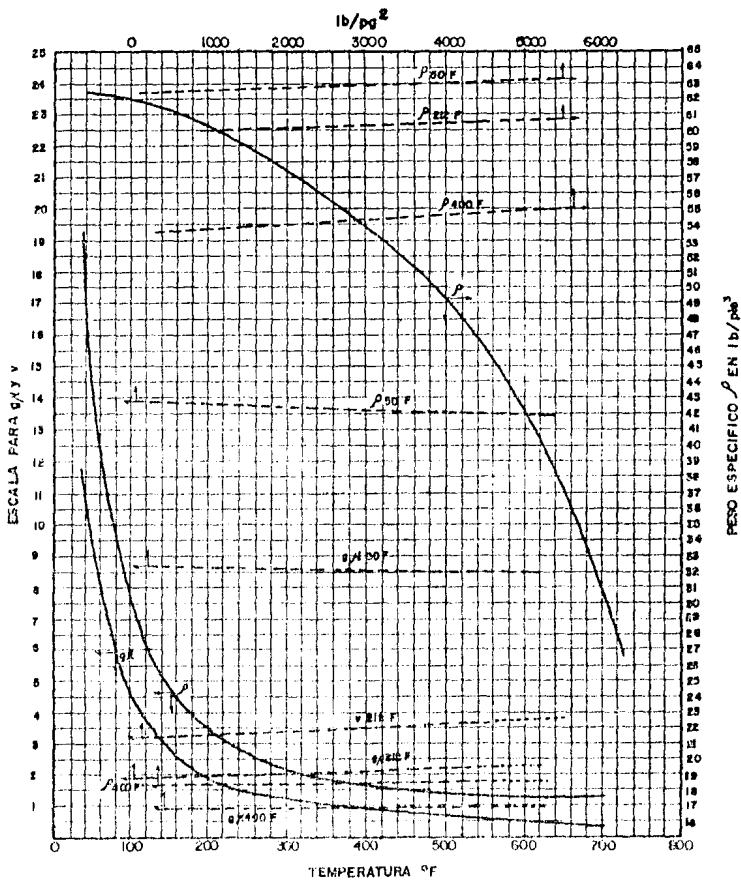


Fig. 7 Peso específico del agua a presión y temperatura elevadas

Las líneas punteadas dan el efecto de la presión a una temperatura constante

Las líneas continuas indican a la presión y temperatura de saturación

Para los valores de  $\rho$ , multiplíquese el valor leído en la escala por 10, si en lb/ft<sup>3</sup> a 32.0 °F.

Para los valores de  $\gamma$  multiplíquese el valor leído en la escala por 10, si en lb/ft<sup>3</sup> a 32.0 °F.

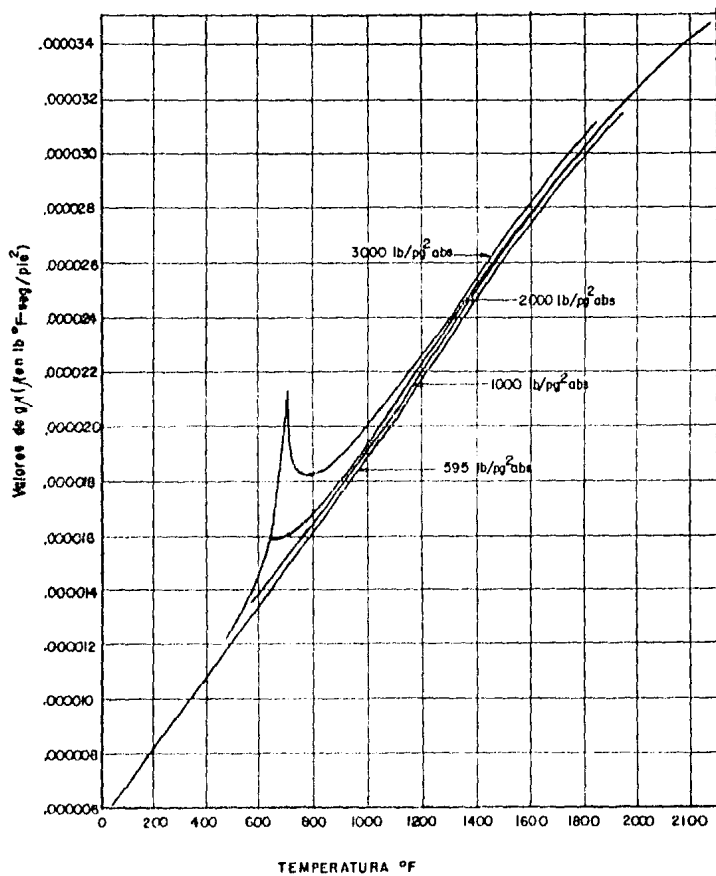


Fig.8 Viscosidad del Vapor

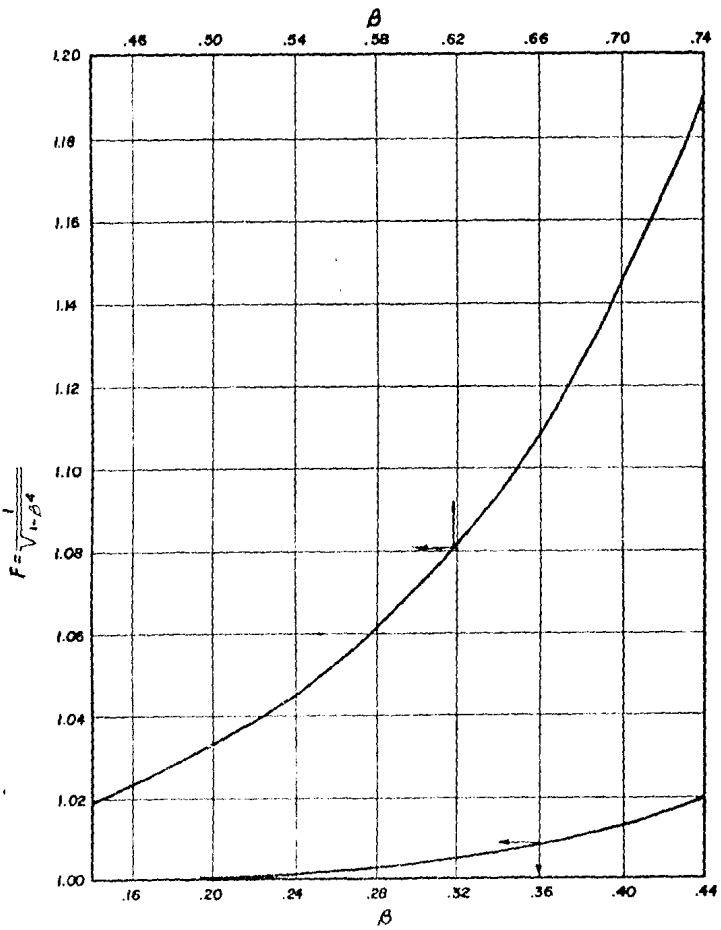


Fig. 9A Valores del factor de velocidad de aproximación

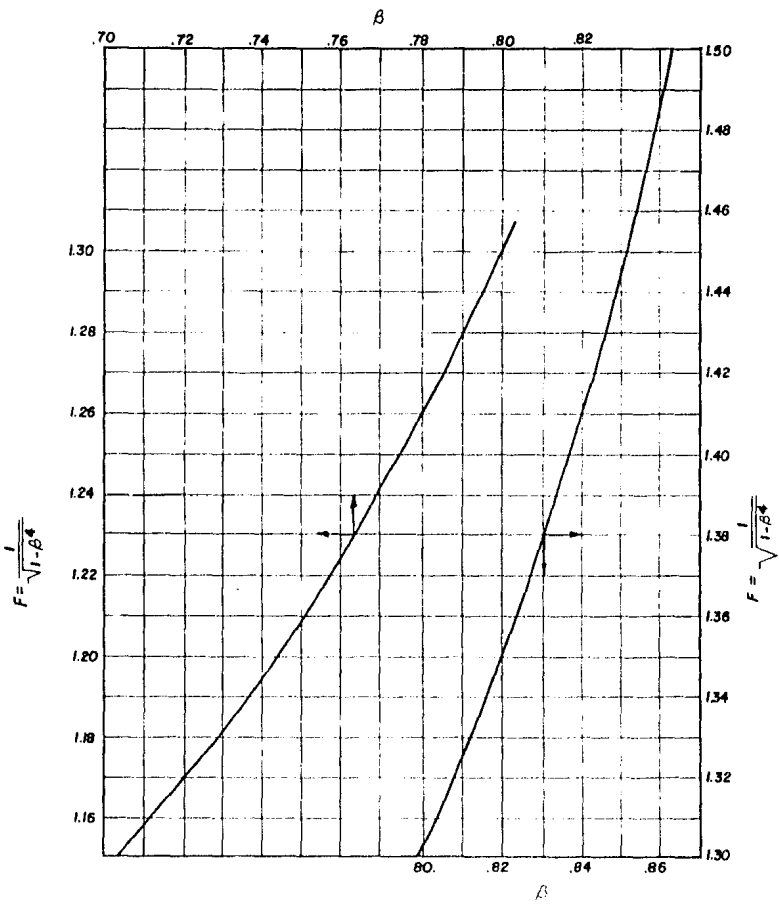


Fig. 9B Valores del factor de velocidad de aproximación.

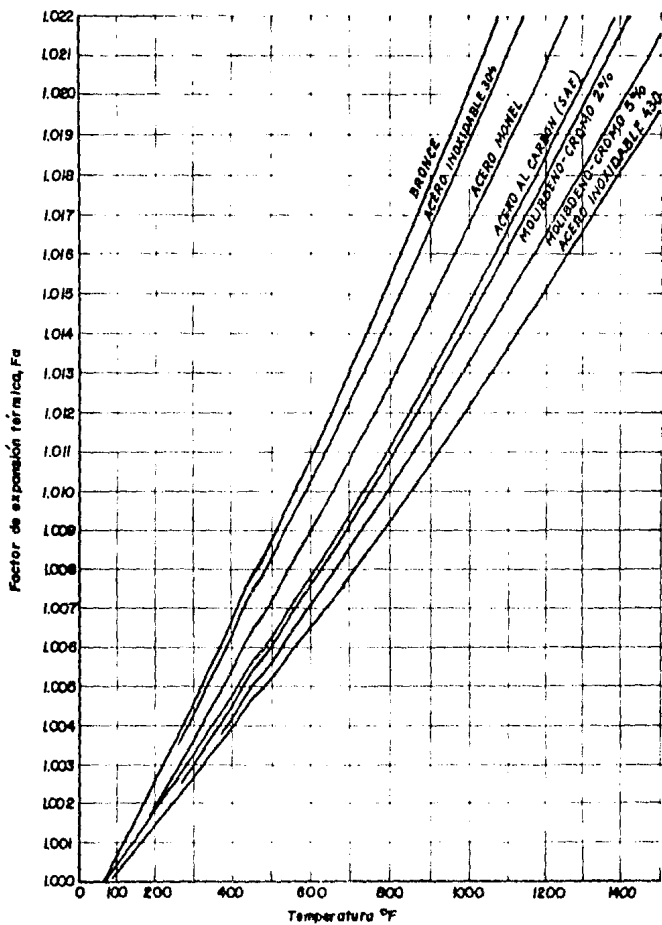


Fig. 10 Factor de expansión térmica del elemento primario

(Nota: El uso del bronce en tuberías es restringido a temperaturas inferiores a 406°F)

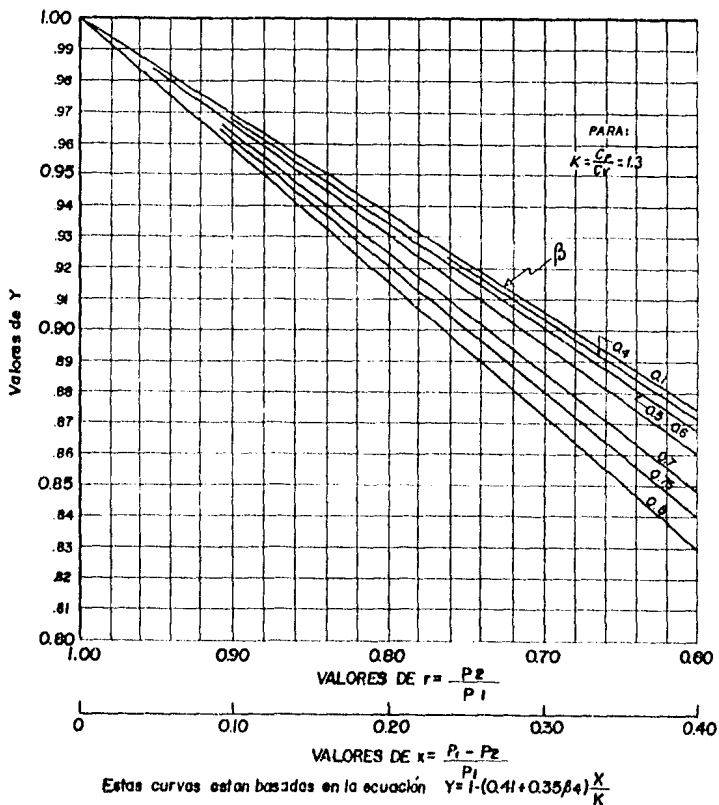


Fig T1A Valores del factor de expansión, Y, contra la presión para un orificio concéntrico de cantos escuadrados de un radio  $r$  usese con tomas de brida, tomas de  $1D$  y  $\frac{1}{2}D$ , o tomas de vena contracta;  $K = 1.3$

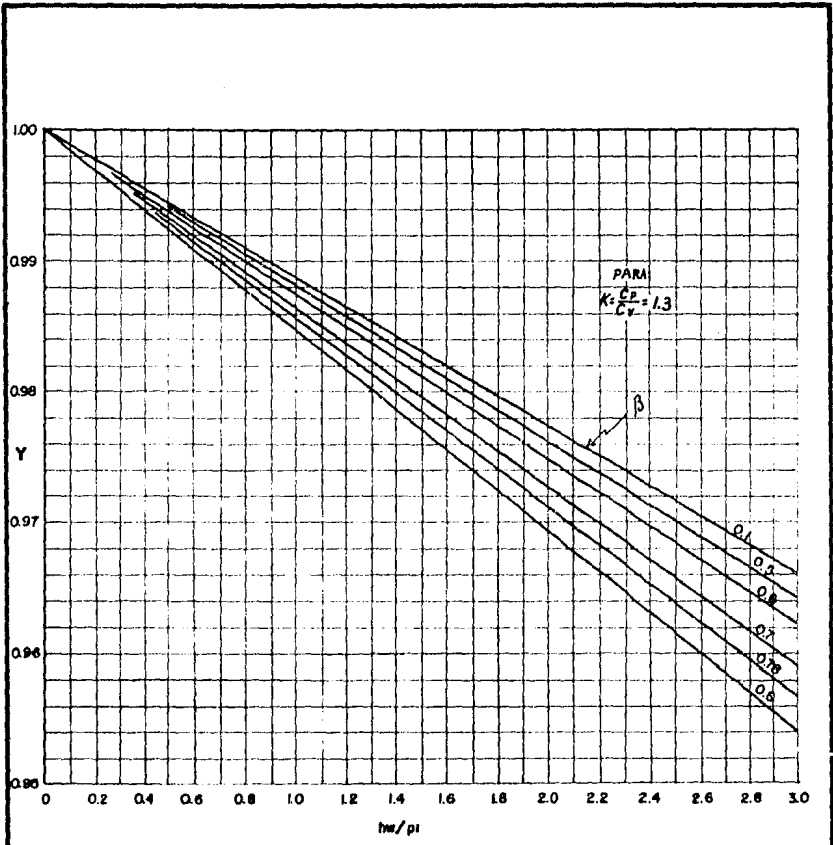
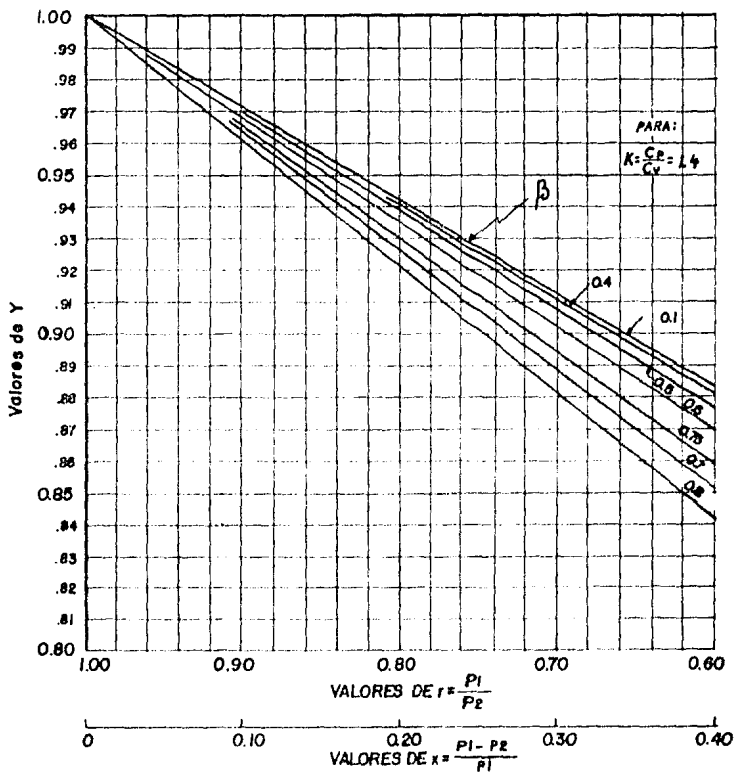


Fig. IIB Valores de Y de la fig. IIA contra valores de  $hw/P_1$  ( $hw$  en pulgadas de agua a  $68^\circ F$ ,  $P_1$ , presión de operación,  $abs$ )



Esta curva esta basada en la ecuacion  $Y = 1 - (0.41 + 0.35 \beta) \frac{x}{K}$

Fig.12A Valores de factor de expansi3n, Y, con la presi3n para un orificio conc3ntrico de cantos escuadrados de un radi3 r usese con toma de bridas, tomas de  $1D$  y  $\frac{1}{2}D$ , o tomas de vena contracta;  $K=1.4$



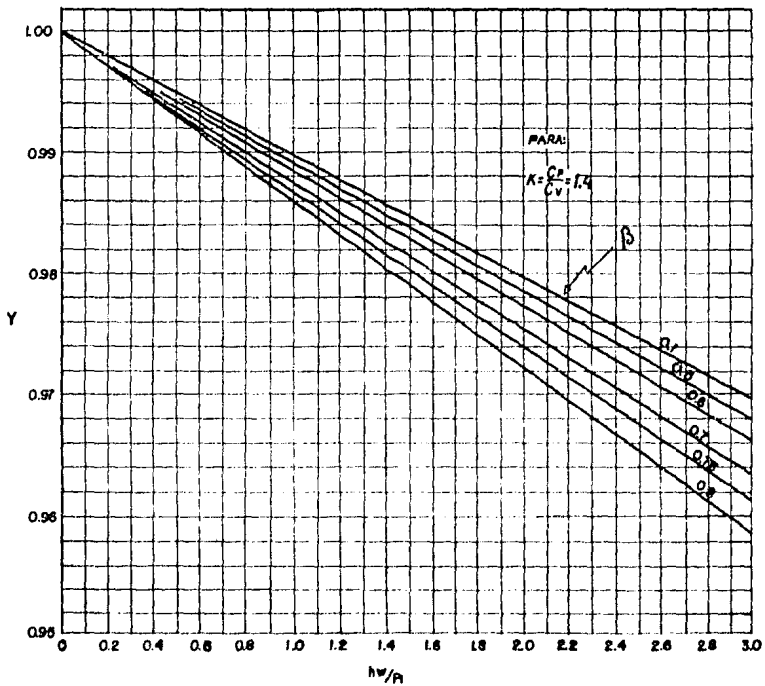


Fig. 12B Valores de Y de la fig. 12A contra valores de  $hw/P_1$  ( $hw$  en pulgadas de agua a 68° F,  $P_1$  presión de operación, a bs)

T A B L A I TOMAS DE BRIDA

Para tubería de 3 pulgadas

A/Rb	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	50000	100000	500000	10 <sup>6</sup>
0.100	0.6120	0.6054	0.6032	0.6021	0.6014	0.6010	0.6004	0.6001	0.5996	0.5994	0.5992	0.5991	0.5990	0.5989	0.5987	0.5986
.150	.6186	.6069	.6030	.6010	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000
.200	.6257	.6139	.6020	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000
.250	.6327	.6189	.6119	.6081	.6060	.6055	.6027	.6015	.6012	.6004	.5988	.5984	.5982	.5982	.5981	.5981
.300	.6397	.6274	.6183	.6137	.6110	.6092	.6067	.6055	.6047	.6038	.6019	.6014	.6012	.6012	.6012	.6012
.350	.6467	.6350	.6270	.6212	.6175	.6152	.6127	.6115	.6107	.6098	.6078	.6061	.6052	.6052	.6052	.6052
.400	.6537	.6425	.6350	.6287	.6240	.6212	.6187	.6175	.6167	.6158	.6138	.6121	.6112	.6112	.6112	.6112
.450	.6607	.6500	.6425	.6367	.6320	.6292	.6267	.6255	.6247	.6238	.6218	.6201	.6192	.6192	.6192	.6192
.500	.6677	.6575	.6500	.6447	.6400	.6372	.6347	.6335	.6327	.6318	.6298	.6281	.6272	.6272	.6272	.6272
.550	.6747	.6650	.6575	.6527	.6480	.6452	.6427	.6415	.6407	.6398	.6378	.6361	.6352	.6352	.6352	.6352
.600	.6817	.6725	.6650	.6607	.6560	.6532	.6507	.6495	.6487	.6478	.6458	.6441	.6432	.6432	.6432	.6432
.625	.6847	.6760	.6685	.6647	.6600	.6572	.6547	.6535	.6527	.6518	.6498	.6481	.6472	.6472	.6472	.6472
.650	.6877	.6800	.6725	.6697	.6650	.6622	.6597	.6585	.6577	.6568	.6548	.6531	.6522	.6522	.6522	.6522
.675	.6907	.6835	.6760	.6737	.6690	.6662	.6637	.6625	.6617	.6608	.6588	.6571	.6562	.6562	.6562	.6562
.700	.6937	.6870	.6800	.6783	.6740	.6712	.6687	.6675	.6667	.6658	.6638	.6621	.6612	.6612	.6612	.6612

Para tubería de 4 pulgadas

A/Rb	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	50000	100000	500000	10 <sup>6</sup>
0.100	0.6112	0.6035	0.6070	0.5996	0.5988	0.5983	0.5975	0.5971	0.5967	0.5964	0.5961	0.5960	0.5959	0.5958	0.5957	0.5956
.150	.6183	.6087	.6087	.6007	.5995	.5986	.5974	.5966	.5966	.5961	.5957	.5954	.5953	.5952	.5951	.5950
.200	.6253	.6137	.6137	.6057	.6040	.6027	.6012	.6000	.5997	.5990	.5983	.5978	.5976	.5975	.5974	.5973
.250	.6323	.6187	.6187	.6107	.6085	.6067	.6048	.6032	.6024	.6016	.6007	.6000	.6000	.6000	.6000	.6000
.300	.6393	.6237	.6237	.6157	.6130	.6107	.6084	.6064	.6053	.6043	.6033	.6024	.6024	.6024	.6024	.6024
.350	.6463	.6287	.6287	.6207	.6175	.6147	.6120	.6094	.6081	.6069	.6057	.6046	.6046	.6046	.6046	.6046
.400	.6533	.6337	.6337	.6257	.6220	.6187	.6155	.6124	.6109	.6095	.6081	.6068	.6068	.6068	.6068	.6068
.450	.6603	.6387	.6387	.6307	.6265	.6227	.6190	.6154	.6137	.6121	.6104	.6089	.6089	.6089	.6089	.6089
.500	.6673	.6437	.6437	.6357	.6310	.6267	.6225	.6184	.6164	.6145	.6126	.6108	.6108	.6108	.6108	.6108
.550	.6743	.6487	.6487	.6407	.6355	.6307	.6260	.6214	.6191	.6170	.6149	.6128	.6128	.6128	.6128	.6128
.600	.6813	.6527	.6527	.6447	.6390	.6337	.6285	.6234	.6207	.6183	.6159	.6135	.6135	.6135	.6135	.6135
.625	.6843	.6537	.6537	.6457	.6395	.6337	.6280	.6224	.6195	.6168	.6141	.6114	.6114	.6114	.6114	.6114
.650	.6873	.6547	.6547	.6467	.6400	.6337	.6275	.6214	.6181	.6150	.6119	.6088	.6088	.6088	.6088	.6088
.675	.6903	.6557	.6557	.6477	.6405	.6337	.6270	.6204	.6167	.6132	.6097	.6062	.6062	.6062	.6062	.6062
.700	.6933	.6567	.6567	.6487	.6410	.6337	.6265	.6194	.6154	.6115	.6076	.6037	.6037	.6037	.6037	.6037

VALORES DEL COEFICIENTE DE FLUJO, K INCLUYENDO EL FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN, COMO UNA FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS R<sub>D</sub> , Y LA RELACIÓN DE DIÁMETRO, β

TODOS LOS VALORES INFERIORES SEÑALADOS SE DETERMINARON POR EXTRAPOLACIÓN

T A B L A I T O M A S D E B R I D A

Para tubería de 3 pulgadas

$\beta / R_0$	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	50000	100000	500000	$10^6$
0.100	0.6120	0.6054	0.6032	0.6021	0.6014	0.6010	0.6004	0.6001	0.5996	0.5994	0.5992	0.5991	0.5990	0.5989	0.5987	0.5986
0.150	0.6186	0.6069	0.6030	0.6010	0.6000	0.5995	0.5985	0.5975	0.5967	0.5963	0.5961	0.5960	0.5959	0.5958	0.5957	0.5956
0.200	0.6257	0.6119	0.6042	0.6014	0.6000	0.5994	0.5982	0.5971	0.5963	0.5960	0.5959	0.5958	0.5957	0.5956	0.5955	0.5954
0.250		0.6189	0.6117	0.6041	0.6010	0.5995	0.5982	0.5971	0.5963	0.5960	0.5959	0.5958	0.5957	0.5956	0.5955	0.5954
0.300		0.6274	0.6183	0.6117	0.6110	0.6092	0.6067	0.6055	0.6047	0.6048	0.6049	0.6049	0.6049	0.6049	0.6049	0.6049
0.350			0.6270	0.6212	0.6175	0.6152	0.6132	0.6115	0.6102	0.6093	0.6088	0.6086	0.6085	0.6084	0.6083	0.6082
0.400			0.6300	0.6311	0.6285	0.6265	0.6248	0.6233	0.6221	0.6212	0.6206	0.6203	0.6202	0.6201	0.6200	0.6199
0.450				0.6400	0.6396	0.6386	0.6378	0.6371	0.6365	0.6361	0.6358	0.6356	0.6355	0.6354	0.6353	0.6352
0.500				0.6446	0.6580	0.6524	0.6481	0.6441	0.6403	0.6368	0.6334	0.6301	0.6269	0.6237	0.6205	0.6173
0.550				0.6483	0.6832	0.6751	0.6711	0.6671	0.6631	0.6591	0.6551	0.6511	0.6471	0.6431	0.6391	0.6351
0.600				0.7335	0.7168	0.7056	0.6917	0.6781	0.6647	0.6513	0.6379	0.6245	0.6111	0.5977	0.5843	0.5709
0.625				0.7571	0.7375	0.7244	0.7080	0.6921	0.6757	0.6593	0.6429	0.6265	0.6101	0.5937	0.5773	0.5609
0.650				0.7843	0.7613	0.7459	0.7266	0.7111	0.6948	0.6784	0.6620	0.6456	0.6292	0.6128	0.5964	0.5800
0.675				0.8150	0.7881	0.7702	0.7477	0.7343	0.7163	0.7003	0.6843	0.6683	0.6523	0.6363	0.6203	0.6043
0.700				0.8469	0.8186	0.7997	0.7711	0.7559	0.7350	0.7200	0.7050	0.6900	0.6750	0.6600	0.6450	0.6300

Para tubería de 4 pulgadas

$\beta / R_0$	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	50000	100000	500000	$10^6$
0.100	0.6033	0.6035	0.6070	0.5996	0.5983	0.5983	0.5975	0.5971	0.5967	0.5964	0.5961	0.5960	0.5959	0.5958	0.5957	0.5956
0.150	0.6119	0.6087	0.6077	0.6067	0.6065	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066	0.6066
0.200	0.6193	0.6177	0.6167	0.6162	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161	0.6161
0.250	0.6262	0.6247	0.6237	0.6232	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231	0.6231
0.300		0.6317	0.6312	0.6306	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305
0.350			0.6312	0.6306	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305	0.6305
0.400			0.6429	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426	0.6426
0.450				0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431	0.6431
0.500				0.6503	0.6531	0.6564	0.6581	0.6611	0.6631	0.6651	0.6671	0.6691	0.6711	0.6731	0.6751	0.6771
0.550				0.6731	0.6883	0.6933	0.6982	0.7025	0.7062	0.7093	0.7120	0.7143	0.7160	0.7171	0.7181	0.7191
0.600					0.7292	0.7458	0.7591	0.7691	0.7757	0.7800	0.7831	0.7851	0.7861	0.7871	0.7881	0.7891
0.625					0.7530	0.7771	0.7971	0.8131	0.8251	0.8331	0.8381	0.8411	0.8431	0.8441	0.8451	0.8461
0.650					0.7798	0.8111	0.8381	0.8611	0.8791	0.8911	0.9001	0.9061	0.9091	0.9111	0.9121	0.9131
0.675					0.8104	0.8566	0.9013	0.9411	0.9751	1.0001	1.0201	1.0361	1.0491	1.0591	1.0671	1.0741
0.700					0.8454	0.9147	0.9878	1.0611	1.1341	1.2061	1.2771	1.3471	1.4161	1.4831	1.5491	1.6141
0.725						0.8854	0.9812	1.0811	1.1851	1.2911	1.3961	1.5001	1.6031	1.7051	1.8061	1.9061
0.750						0.8993	1.0157	1.1395	1.2616	1.3831	1.5041	1.6241	1.7431	1.8611	1.9781	2.0941

VALORES DEL COEFICIENTE DE FLUJO, K INCLUYENDO EL FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN, COMO UNA FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS  $R_0$ , Y LA RELACIÓN DE DIÁMETRO,  $\beta$

TDOS LOS VALORES INFERIORE SEÑALADOS SE DETERMINARON POR EXTRAPOLACIÓN

Para tubería de 1 1/2" pulgadas

$\beta/Rd$	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	25000	50000	100000	500000	$10^6$
.100	0.6116	0.6079	0.6074	0.6067	0.6062	0.6055	0.6051	0.6047	0.6044	0.6041	0.6039	0.6036	0.6035	0.6037	0.6037	0.6037	0.6037
.150	.6156	.6106	.6081	.6066	.6056	.6044	.6036	.6031	.6027	.6024	.6021	.6019	.6018	.6019	.6019	.6019	.6019
.200	.6214	.6140	.6103	.6081	.6066	.6047	.6036	.6031	.6027	.6024	.6021	.6019	.6018	.6019	.6019	.6019	.6019
.250	.6291	.6192	.6147	.6110	.6089	.6048	.6033	.6029	.6025	.6022	.6019	.6017	.6016	.6017	.6017	.6017	.6017
.300	.6383	.6255	.6200	.6152	.6127	.6084	.6071	.6067	.6063	.6060	.6057	.6055	.6054	.6055	.6055	.6055	.6055
.350	.6446	.6299	.6235	.6185	.6152	.6110	.6100	.6097	.6093	.6090	.6087	.6085	.6084	.6085	.6085	.6085	.6085
.400		.6336	.6265	.6213	.6179	.6139	.6132	.6129	.6125	.6122	.6119	.6117	.6116	.6117	.6117	.6117	.6117
.450		.6353	.6275	.6221	.6186	.6148	.6143	.6140	.6136	.6133	.6130	.6128	.6127	.6128	.6128	.6128	.6128
.500			.6283	.6227	.6190	.6154	.6150	.6147	.6143	.6140	.6137	.6135	.6134	.6135	.6135	.6135	.6135
.550				.6292	.6234	.6197	.6194	.6191	.6187	.6184	.6181	.6179	.6178	.6179	.6179	.6179	.6179
.600					.6278	.6219	.6216	.6213	.6209	.6206	.6203	.6201	.6200	.6201	.6201	.6201	.6201
.625						.7261	.7133	.7098	.7092	.7088	.7085	.7083	.7082	.7083	.7083	.7083	.7083
.650							.7462	.7320	.7283	.7277	.7273	.7271	.7270	.7271	.7271	.7271	.7271
.675								.7702	.7531	.7497	.7491	.7488	.7487	.7488	.7488	.7488	.7488
.700									.7669	.7485	.7453	.7447	.7444	.7445	.7445	.7445	.7445

Para tubería de 2 pulgadas

$\beta/Rd$	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	50000	100000	500000	$10^6$
.100	0.6124	0.6087	0.6082	0.6075	0.6070	0.6063	0.6059	0.6056	0.6054	0.6051	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050
.150	.6182	.6107	.6082	.6067	.6056	.6043	.6035	.6030	.6027	.6024	.6021	.6019	.6018	.6019	.6019
.200		.6101	.6086	.6069	.6056	.6043	.6035	.6030	.6027	.6024	.6021	.6019	.6018	.6019	.6019
.250			.6083	.6065	.6054	.6047	.6035	.6031	.6028	.6025	.6022	.6020	.6019	.6020	.6020
.300				.6112	.6102	.6091	.6077	.6072	.6069	.6066	.6063	.6061	.6060	.6061	.6061
.350					.6152	.6155	.6143	.6129	.6125	.6122	.6119	.6117	.6116	.6117	.6117
.400						.6211	.6217	.6205	.6191	.6187	.6184	.6182	.6181	.6182	.6182
.450							.6359	.6355	.6343	.6329	.6325	.6322	.6320	.6321	.6321
.500								.6521	.6475	.6470	.6458	.6454	.6453	.6454	.6454
.550									.6741	.6679	.6674	.6662	.6658	.6659	.6659
.600										.6931	.6845	.6840	.6828	.6829	.6829
.625											.7210	.7110	.7105	.7106	.7106
.650												.7305	.7205	.7200	.7201
.675													.7505	.7395	.7390
.700														.7712	.7590

TABLA I TORNS DE BRIDA (Continuación).



Para tubería 14 1/4 pulgadas diam. interior

A / R/d	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	50000	75000	100000	200 000	500 000	10	10
0.100	6.60	6.61	6.62	6.63	6.64	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75
.150	6.61	6.62	6.63	6.64	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76
.200	6.62	6.63	6.64	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77
.250	6.63	6.64	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78
.300	6.64	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79
.350	6.65	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80
.400	6.66	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81
.450	6.67	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82
.500	6.68	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82	6.83
.550	6.69	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82	6.83	6.84
.600	6.70	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82	6.83	6.84	6.85
.650	6.71	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82	6.83	6.84	6.85	6.86
.700	6.72	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82	6.83	6.84	6.85	6.86	6.87
.750	6.73	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.80	6.81	6.82	6.83	6.84	6.85	6.86	6.87	6.88

Para tubería de 10 pulgadas

A / R/d	4000	5000	6000	8000	10000	15000	20000	30000	40000	50000	75000	100000	200 000	500 000	10	10
0.100	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.150	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.200	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.250	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.300	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.350	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.400	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.450	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.500	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.550	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.600	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.650	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.700	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.750	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832
.750	6.615	6.628	6.646	6.662	6.678	6.692	6.706	6.720	6.734	6.748	6.762	6.776	6.790	6.804	6.818	6.832

TABLE 1 TOMAS DE BRIDA (Continuación).

## C A P I T U L O   I I I

### METODOS Y CALCULO DE AGUA SEPARADA.

La cuantificación del agua separada se efectúa pasando el flujo por medio de una tubería que sale del separador al silenciador vertical, del cual se deriva un canal de conducción comúnmente llamado de aforo en el cual se instala un vertedero para efectos de medición, siendo este cuidadosamente seleccionado.

#### III.1.- CANALES ABIERTOS.-

Descripción.- Un canal abierto es un conducto en donde un líquido fluye con una superficie libre; a diferencia del líquido desplazado en una tubería, en un canal abierto el flujo normalmente se presenta a una presión menor. El líquido conducido por un canal abierto no ejerce otra presión que no sea la producida por su propio peso y la presión de la atmósfera.

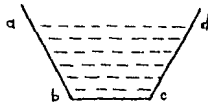
El flujo de agua en un canal abierto es normalmente turbulento, ya que en raras ocasiones se presenta flujo laminar. El agua fluye por éstos en una variedad de formas pudiéndose clasificar el flujo en permanente o no permanente (variable) y en uniforme o no uniforme.

El flujo permanente y a la vez uniforme se presenta en planos inclinados muy largos con sección recta constante, en aquellas regiones donde se han alcanzado una "velocidad final" constante por equilibrio de fuerzas.

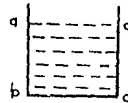
Por otro lado, el flujo uniforme y variado rara vez se presenta; el flujo variable no uniforme si es frecuente pero muy difícil de cuantificar por el oleaje que se presenta.

En cuanto el flujo permanente y no uniforme, este se presenta en cualquier canal irregular con caudal constante, o inclusive en canales regulares.

a).- Perímetro Mojado y Radio Hidráulico.- El perímetro mojado  $P$  de cualquier conducto se localiza en la línea de intersección de estas superficies mojadas con un plano de sección transversal. En la Fig 13 el perímetro mojado es la longitud del segmento  $a b c d$ . En un producto circular parcialmente lleno, el perímetro mojado es el arco del círculo.



CANAL TRAPEZOIDAL



CANAL RECTANGULAR

Fig. 13



El radio hidráulico  $R$  es el área de la sección transversal de la corriente dividida por el perímetro mojado.

b).- Tramo canalizado con vertedero.- Se utiliza cuando las dimensiones del cause y terreno de cimentación, permite hacer un encauzamiento dejando sección rectangular mediante muros laterales en ambos márgenes y un vertedero que marque el umbral.

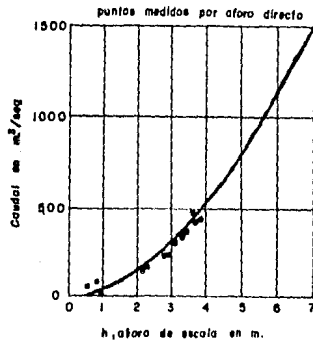
La longitud del tramo canalizado debe ser tal que, corriente arriba del vertedero sea por lo menos 1.5 veces el ancho del cause y corriente abajo un mínimo de 0.25, sin bajar nunca de tres metros. Corriente arriba del tramo canalizado, el canal debe ser recto, por lo menos en tantos metros como el total de la longitud del canal.

Para la altura del vertedero debe tomarse en cuenta la siguiente condición: evitar a toda costa la posibilidad de que las oscilaciones del nivel ocasionadas por los acarres depositados aguas abajo, pueden anular o reducir la efectividad del salto.

El vertedero normalmente debe estar aereado para que la lámina de agua se desprege de la pared; para obtener lo anterior basta disponer unos respiraderos laterales.

c).- Aforos en cursos de aguas.- La medida directa en forma continúa de los caudales, es cuestión que exige técnicas muy complicadas y en la mayoría de los casos inaceptables. Por lo cual se recomienda buscar la medida de una variable auxiliar, cuyo conocimiento conduzca a través de una función intermedia al conocimiento del caudal.

La variable auxiliar idónea es el valor de  $h$  o nivel variable de las aguas y la función intermedia, la llamada curva o tabla de gastos  $q = f(h)$ . Así cada valor instantáneo de  $h$  nos da a conocer el valor del caudal  $q_i$  en el mismo instante.



Cuando en un cause el caudal que circula, sólo depende del nivel del agua dentro del tramo que le limita, pero no del nivel de aguas abajo, se dice que está en régimen de semimódulo. Así en este caso, las alturas  $h$  leídas en una escala colocada en ese cause representan de manera unívoca las correspondientes valores de  $q$ , es decir la función  $q = f(h)$  no tiene sino una sola variable independiente  $h$ , (Fig. 16)

### III.2.- VERTEDEROS.-

#### III.2.1.- PRINCIPIOS GENERALES Y DEFINICIONES.-

Un vertedero es una presa por encima de la cual o pasando por una hendidura en su coronación, se vierte el líquido que circula por un canal horizontal abierto. Los términos vertedero rectangular, vertedero triangular, etc., se refieren, por lo general, a la forma de la hendidura o corte de un vertedero, a veces esos términos indican la forma de la sección transversal vertical de la presa, hecha por un plano paralelo a la dirección de la corriente.

Los vertederos de bordes agudos o aristas vivas tienen éstas como los bordes de los orificios de bordes biselados.

Los vertederos con hendidura tienen de ordinario aristas vivas. Los vertederos sin aristas vivas son, en su mayor parte, los designados con el nombre de cresta ancha.

La teoría del vertedero es muy similar a la de un orificio que descarga en un espacio lleno de un gas; en realidad, un vertedero puede considerarse como un orificio de esta clase, que funciona bajo una carga hidrostática tan pequeña que la abertura no se llena por completo. También en lo que respecta a su funcionamiento tienen los vertederos muchas de las características de los orificios; por ejemplo, la lámina de líquido derramado se contrae por lo general después de abandonar los bordes de la abertura como lo hace el chorro que sale de un orificio; la importancia de la contracción puede disminuirse, con el siguiente aumento de derrame bajo una carga o desnivel dado redondeando las aristas corriente arriba del vertedero, etc. La distinción entre un vertedero y un medidor o aforador bajo una carga o presión se basa en los hechos siguientes: En el medidor el área de la abertura de descarga es fija e independiente de la carga hidrostática; en el caso del vertedero esta área varía con dicha carga.

Para medir la carga hidrostática sobre un vertedero se determina la altura de la superficie del líquido en el canal en un punto suficientemente alejado corriente arriba para evitar la caída de nivel, ocasionada inmediatamente encima del vertedero, por la lámina de líquido que se vierte. A este fin suele unirse al canal una cámara de calma o amortiguadora, provista de una escala de gancho o flotador (Fig. 17 A-B).

### III.2.2.- INDICADORES PARA LOCALIZAR LAS SUPERFICIES DE SEPARACION.

Para localizar con precisión la superficie libre de un líquido se utilizan frecuentemente los siguientes instrumentos:

1.- La escala de gancho (Fig. 17 A) utiliza el efecto óptico muy marcado, producido cuando una punta afilada atraviesa una superficie líquida, desde abajo. La punta vuelta hacia arriba debe ser un cono con un ángulo en el vértice bastante grande (45, 90 o incluso 120 grados).

2.- La escala de aguja se parece a la anterior, pero la punta aguzada está dirigida hacia abajo, cuando se emplea, se baja la aguja hasta que se forme una burbuja en la superficie. Una plomada suspendida en una cinta metálica es una escala de aguja que resulta útil en ocasiones.

3.- La escala de flotador (Fig. 17 B) que se utiliza para las medidas exactas suele ser un flotador hueco de metal que lleva encima una fina aguja vertical que se mueve guiada a lo largo de una escala, puede hacerse que el flotador accione la aguja de un cuadrante o la pluma de un dispositivo registrador, pero cuando se exige precisión no es prudente emplear esos accesorios, por la posibilidad de que la inercia o la pérdida de movimiento en el mecanismo disminuya aquella, cuando se usa una escala de flotador las paredes

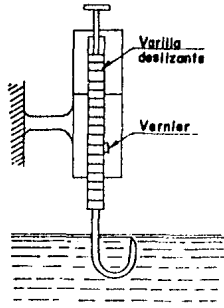


Fig. 17A ESCALA DE GANCHO

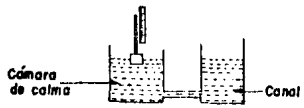


Fig. 17B ESCALA DE FLOTADOR

que limitan la superficie líquida deberán ser distantes al flotador, en todas partes, por lo menos  $1pg = 254mm$ , con objeto de evitar los errores debidos a la capilaridad.

Si la superficie líquida es fundamentalmente estacionaria, la elección entre la escala de gancho y la de flotador, en lo que respecta a la exactitud, dará poca diferencia. Ambos pueden dar lecturas correctas con un error inferior a  $0.01 pg = 0.254mm$ , si el nivel varía, aunque sea ligeramente, es difícil obtener lecturas satisfactorias en la escala de gancho y entonces es decididamente superior la escala de flotador; este último instrumento tiene la ventaja de indicar directamente la lectura, cuando sea necesario medir la presión de un fluido que fluye por un conducto abierto y se desee precisión habrá que utilizar todas esas escalas dentro de una caja o cámara de calma (Fig. 17B) en comunicación libre con el fluido en movimiento, por medio de un orificio enrasado con la pared del canal.

### III.2.3.- APLICACIONES DE LAS FORMULAS PARA VERTEDEROS.-

Casi todas las fórmulas de uso corriente con los vertederos se han conformado empíricamente para ajustarse a ciertos grupos de datos para el derrame de agua. Ninguna de ellas puede usarse con entera confianza a menos que se reproduzcan con exactitud las condiciones experimentales a las que son aplicables, no se dispone de datos suficientes para determinar con exactitud cuando los demás líquidos obe-

decen o no a las mismas fórmulas que el agua.

Cuando se desea exactitud, en especial con fluidos muy viscosos, es conveniente calibrar todos los vertederos. Esto es especialmente necesario con los pequeños aparatos, en todo caso sólo pueden efectuarse mediciones satisfactorias cuando al vertedero parece un canal de longitud y anchura suficientes para asegurar una circulación regular y suave por encima de la placa del vertedero. Los vertederos suelen portarse erráticamente si el manto líquido vertido no es de salto limpio en la parte superior de la placa del vertedero y llega igualmente al lado de aguas abajo. Por consiguiente en el caso de un "manto adherente", no puede confiarse en las fórmulas, e incluso después de la calibración no pueden considerarse los resultados dignos de confianza.

#### III.2.4.- SELECCION DE UN VERTEDERO.-

Para la selección del vertedero, es conveniente tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- El tipo de vertedero elegido para una situación dada, debe ser aquel que mejor se adapte a las condiciones particulares.



2.- Una de las razones fundamentales en la elección de un vertedero es, determinar la sensibilidad a los caudales que se requieren medir, así por ejemplo: Si el error en la carga medida  $h$  es de 3mm, según el tipo de vertedero que se utiliza, este error puede representar una variación del caudal tan grande que resulta inadmisibile.

3.- En la selección del vertedero debe calcularse para un rango de cargas  $h$  para flujo máximo y mínimo.

4.- El error mínimo en un vertedero se consigue utilizando el vertedero con la carga máxima ( $h_{max}$ ).

5.- Los vertederos rectangulares sin contracción lateral y los triangulares se encuentran más experimentados que otros.

6.- Para la medición de caudales menores de 0.03 m<sup>3</sup>/seg, debe preferirse al vertedero triangular. Para caudales de 0.03 a 0.3 m<sup>3</sup>/seg, el vertedero triangular es tan preciso como cualquier otro, por lo que se adapta al aforo de corriente de agua variables, cuyo máximo no sobrepase de 0.3 m<sup>3</sup>/seg.

7.- Para cualquier vertedero la carga máxima  $h_{max}$  no debe ser menor de 0.06 m (0.2 pie) ni mayor de 0.6 m (2 pie), los valores de carga  $h$  menores de 0.06 m representan un alto porcentaje de error con pequeñas diferencias en la lectura.

Pueden utilizarse vertederos para cargas entre 0.03 y 0.06m unicamente en casos donde las lecturas se efectúan con buena precisión.

8.- La longitud de la cresta del vertedor L debe tener un valor mínimo de 3 h max y de preferencia mayor de 4 h max.

Esta longitud debe seleccionarse de manera que permita por lo menos una  $h_{max} = 0.06$  m, las cargas mayores de 0.06 m, minimizan los efectos de variación en la velocidad del agua a diferentes profundidades al acercarse al vertedero y minimiza el % de error en el resultado.

9.- La altura de la cresta del vertedero tomándola desde el fondo del canal debe ser por lo menos 2.5. h max, pero de preferencia mayor de 3 h max.

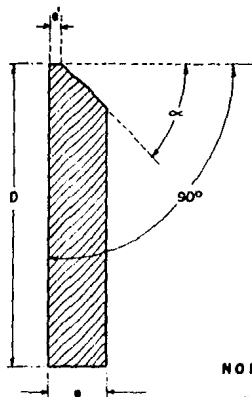
10.- La carga en cualquier tipo de vertedero debe medirse a una distancia de por lo menos 4 h max o lo suficientemente corriente arriba para que no influya la depresión que sufre la lámina al llegar a las proximidades del vertedero y que aproximadamente empieza a 2 h.

11.- El canal de medición deberá ser recto y nivelado con paredes lisas y suaves, su longitud debe ser mínimo de 20 h max, para permitir un flujo estable (velocidad de aproximación de 0.09 m/seg, 0.3 pie/ seg.).

12.- Antes de su operación el vertedero debe estar perfectamente centrado y nivelado dentro del canal de medición.

13.- El vertedero debe construirse con placa de espesor no mayor de 25.4 mm (1 pg). Para cargas bajas, el espesor de la placa del vertedero puede ser de 3.2 a 6.4 mm (1/8 a 1/4 pg). La cresta del vertedero debe estar biselada (ver fig. 18).

14.- Generalmente en la práctica, se ha aceptado que el uso de vertederos está limitado a que la carga máxima h max, no debe exceder de 1.3 pie de la longitud de la cresta, pero los experimentos de laboratorio muestran que la exactitud de la medición no se influye al exceder este límite, especialmente para longitudes de cresta de 0.3 a 1.2 m (1 a 4 pie), para vertederos de  $L = 0.3$  m ya sea rectangular o Cippoletti, con carga de 0.3 m, el caudal medido se encuentra con menos del 0.5% del flujo calculado.



**B I S E L**

**NOMENCLATURA**

- e : Espesor de la placa
- e' : Espesor de la cresta
- α : Ángulo de escurrimiento  
α = 45°
- D : Distancia de la cresta  
al fondo del vertedero
- D = 3H

**Fig. 18 ESQUEMA DEL BISEL DEL VERTEDERO**

15.- Todas las fórmulas para determinación del caudal están tomadas considerando agua con densidad = 1 ton/m<sup>3</sup>, para el uso de otro fluido únicamente multiplique por la densidad respectiva.

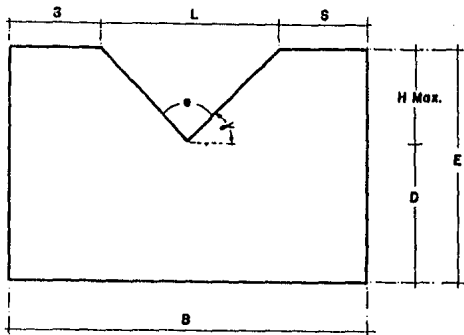
### III.2.5.- VERTEDERO TRIANGULAR.-

Los vertederos triangulares o con hendiduras en V tienen cortes en forma de V en la placa del vertedero con el vértice dirigido hacia abajo y con cada lado igualmente inclinado con respecto a la vertical.

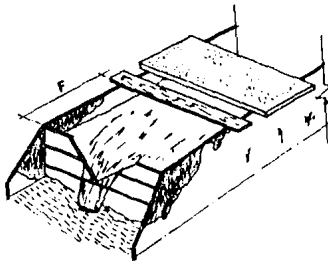
Se recomienda para medir flujos menores de 0.03 m<sup>3</sup>/seg (1.0 pie<sup>3</sup>/seg, 28.4 lt/seg, 450gal/min ó 108 ton/hr) y para flujos hasta de 0.3 m<sup>3</sup>/seg (10 pie<sup>3</sup>/seg, 1000 ton/hr).

Una de las ventajas que presenta este vertedero, es que da lecturas de carga h más grande para una descarga dada que la que nos daría otro tipo de vertedero del mismo ancho en la superficie del agua.

Puede tener un ángulo de cualquier rango deseado, pero el de 60° y 90° son los más comúnmente usados. (ver Fig. 19)



#### NOMENCLATURA



- B = Base del vert. ancho de la plantilla del canal  $e \geq H \text{ Max.}$
- L = Long. de la cresta del vertedero
- e = Ángulo o abertura del vertedero
- S = Distancia desde el extremo a la cresta del vertedero  $S \geq 2H \text{ Max.}$
- H Max. = Carga máxima
- D = Distancia desde el vértice de la cresta al fondo de la caja del vertedero  $D > 3H \text{ Max.}$
- E = Prof. total del vertedor
- F = Distancia desde el vertedor a un punto alejado para efectuar la medición
- $F > 5H \text{ Max.}$

Fig. 19 ESQUEMA DE UN VERTEDERO TRIANGULAR

De la Fig. 19, y aplicando la ecuación para obtener el gasto volumétrico (q), se tiene:

$$q = C h^{2.5} (2g)^{1/2} \tan \alpha$$

Para  $\theta = 90$  ,  $\alpha = 45$

$$q = 2.48 h^{2.5}$$

Para  $\theta = 60^\circ$   $\alpha = 60^\circ$

$$q = 1.43 h^{2.5}$$

donde:

q = Gasto pie<sup>3</sup>/seg a condiciones estándar.

h = Carga de fluido medido en pie

C = Coeficiente de descarga determinado.

experimental aprox. 0.31

g = aceleración de la gravedad en pie/seg<sup>2</sup>.

### III.2.6.- VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCION LATERAL.-

Se recomienda para flujos mayores de 0.03 m<sup>3</sup>/seg (108 ton/hr), ver Fig. 20.

Una de las principales ventajas de este tipo de vertedero es que su capacidad de medición es alta y su construcción sencilla y barata.

Haciendo algunas consideraciones:

A).- Si la velocidad de aproximación se considera despreciable.

$$q = C (L - 0.2h) (2g)^{1/2}$$

$$q = 3.33 (L - 0.2 h) h^{3/2} \text{ Ec. de Francis}$$

B).- Tomando en cuenta la velocidad de aproximación.

$$q = C (2h)^{1/2} (L - 0.2h) (h + hv)^{3/2} - hv^{3/2}$$

$$q = 3.33 (L - 0.2h) (h + hv)^{3/2} - hv^{3/2}$$

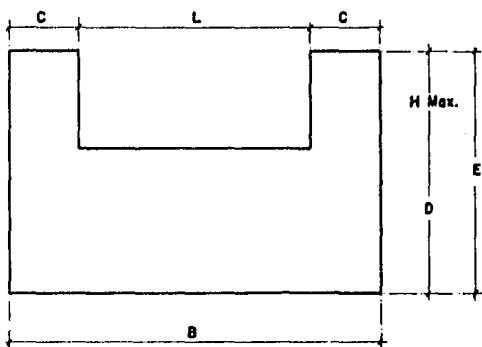
Donde:

$q$  = Gasto en pie<sup>3</sup>/seg. a condiciones estándar.

$h$  = Carga de fluido medido en pie

$C$  = Coeficiente de descarga determinado experimentalmente;  $C = 0.415$





#### NOMENCLATURA

- B = Base del vert. ancho de la plantilla del canal  $B \geq 5 H_{max}$ .
- L = Long. de la cresta del vertedero  
 $L > 3 H_{max}$ . preferentemente  $> 4 H_{max}$ .
- C = Distancia desde el extremo de la caja a la cresta del vertedero  $C > 2 H_{max}$ .
- H max. = Carga máxima
- D = Distancia desde la cresta al fondo de la caja del vertedero  
 $D > 3 H_{max}$ .
- E = Prof. total del vertedero
- F = Distancia desde el vertedero a un punto Alejado para efectuar la medición  
 $P > 5 H_{max}$ .

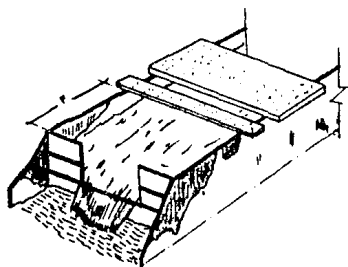


Fig. 20 ESQUEMA DE UN VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIÓN LATERAL

hv = Cabeza de velocidad en vertedero, en pie

$hv = V^2/2g$ ; V = Velocidad aproximada pie/seg

g = Aceleración de la gravedad en pie/seg<sup>2</sup>

### III.2.7.- VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCION LATERAL.-

Este tipo de vertedero es con caudales considerables.

Se trata de un vertedero en donde la longitud de la cresta L es igual a el ancho del canal, Fig. 21.

Haciendo las siguientes consideraciones, se tiene:

A).- Si la velocidad de aproximación se considera despreciable.

$$q = CLh^{3/2}(2g)^{1/2}$$

$$q = 3.33 L h^{3/2}$$

Ec. de Francis  
(simplificada)

B).- Si se toma en cuenta la velocidad de aproximación.

$$q = C L (2g)^{1/2} (h-hv)^{3/2}$$

$$q = 3.33 L (h-hv)^{3/2} - hv^{3/2} \quad \text{Ec. de Francis}$$

Donde:

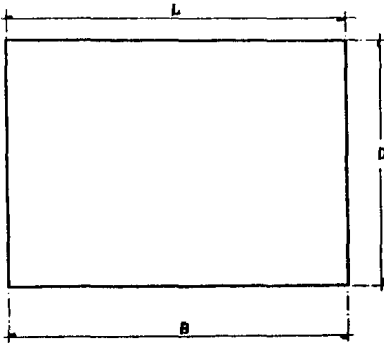
$q$  = Gasto en pie<sup>3</sup>/seg a condiciones estándar.

$h$  = Carga de fluido medido en pie

$C$  = Coeficiente de descarga, determinado experimentalmente generalmente se toma  $C = 0.415$

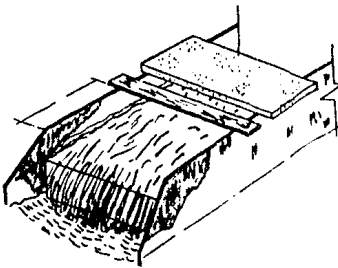
$h_v$  = Cabeza de velocidad en el vertedero en pie  
 $h_v = V^2/2g$ ;  $V$  Velocidad de aprox. pie/seg.

$g$  = Aceleración de la gravedad en pie/seg<sup>2</sup>



### NOMENCLATURA

- L = LONG. DE LA CRESTA DEL VERTEDERO  
= ANCHO DEL CANAL
- B = BASE DEL VERT. = ANCHO DE LA PLANTILLA  
DEL CANAL
- D = PROF. TOTAL DEL VERTEDERO  $D=L$
- h = CARGA DEL FLUIDO MEDIDO
- F = DISTANCIA DESDE EL VERTEDERO  
A UN PUNTO ALEJADO PARA EFECTUAR  
LA MEDICIÓN



PERFIL

Fig. 21 ESQUEMA DE UN VERTEDERO RECTANGULAR SIN CONTRACCIÓN LATERAL

### III.2.8.- VERTEDERO TRAPEZOIDAL CIPPOLETTI.-

Es una hendidura de aristas vivas, con cresta horizontal, cuyos lados se inclinan hacia arriba y hacia afuera (1 horizontal por 4 vertical). La inclinación se ha escogido de tal modo que la fórmula de Francis relativamente sencilla para el vertedero sin contracción ( $q=1.84 L h^{3/4}$ , en la que  $L$  = longitud de la cresta) es bastante correcta para esta hendidura. (Fig. 22)

La ventaja de este vertedero es que no necesita corrección por contracciones laterales y que por consiguiente, la fórmula del caudal es de la forma usada para vertederos sin contracciones laterales.

$$q = C L h^{3/2} (2 g)^{1/2} \quad (\text{formula Cippoletti})$$

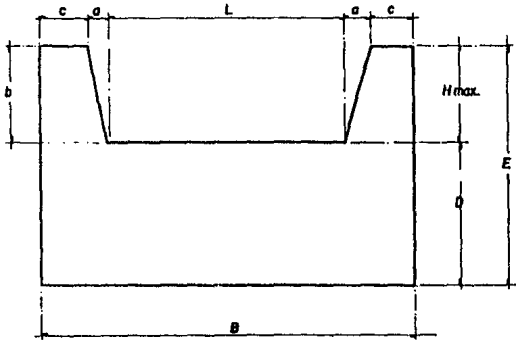
$$q = 3.367 L h^{3/2}$$

Donde:

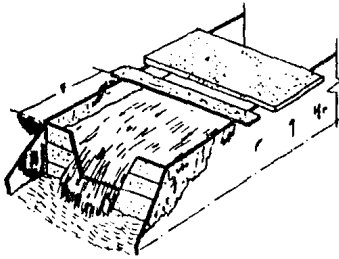
$q$  = Gasto pie<sup>3</sup>/seg a condiciones estándar.

$L$  = Longitud de la cresta del vertedero en pie.

$h$  = Carga de fluido medido en pie.



#### NOMENCLATURA



- B = BASE DEL VERTE + ANCHO DE LA PLANTILLA DEL CANAL.  $\approx 2.5 H \text{ MAX.}$
- L = LONG. DE LA CRESTA DEL VERTEDERO  
 $L > 3 \text{ M MAX.}$ , PREFERENTEMENTE  $> 4 \text{ M MAX.}$
- C = DISTANCIA DESDE EL EXTREMO A LA CRESTA DE LA CAJA DEL VERTEDERO  $C > 2H \text{ MAX.}$
- H Max = CARGA MÁXIMA.
- D = DISTANCIA DESDE LA CRESTA AL FONDO DE LA CAJA DEL VERTEDERO  
 $D > 3 \text{ H MAX.}$
- E = PROF. TOTAL DEL VERTEDERO

#### CARACT. DE VERTEDERO CIPOLLETTI

PROPORCIÓN 4:1

- F = DISTANCIA DESDE EL VERTEDERO A UN PUNTO ALEJADO PARA EFECTUAR LA MEDICIÓN  
 $F > 5H \text{ MAX.}$

Fig.22 ESQUEMA DE UN VERTEDERO CIPOLLETTI

$g = \text{Aceleración de la gravedad} = 32,1740 \text{ pie/seg}^2$

$C = \text{Coeficiente de descarga} = 0.42$

### III.2.9.- CALCULO DE AGUA SEPARADA Y ENTALPIA.-

Utilizando un vertedero tipo Cippoletti a la salida del silenciador.

$$W_h = 1.859 \gamma L H^{1.5}$$

$W_h = \text{Gasto (m}^3/\text{seg) a c.c. (medido en vertedero)}$

$\rho = \text{Densidad (ton/m}^3)$

$L = \text{Ancho del vertedero (m)}$

$H = \text{Carga medida en el vertedero (m)}$

Debe considerarse también la fracción flasheada desde el separador hasta la salida del silenciador.

$$h_L = h + x \lambda$$

$h_L = \text{Entalpia del líquido a la presión de separación}$

$h = \text{Entalpia del líquido a presión atmosférica.}$

$\lambda = \text{Calor latente de vaporización a presión atmosférica.}$

x = Fracción flasheada.

$$\text{Agua total (A)} = wh (1 - x)$$

Si V es el gasto de vapor separado con orificio,  
mezcla (M) = agua (A) + vapor (V).

$$Mh_o = A h_a + V h_v$$

$$h_o = (A h_a + V h_v) / M$$

$h_o$  = Entalpia de la mezcla

$h_a$  = Entalpia del líquido a la presión de separación

$h_v$  = Entalpia del vapor a la presión de separación.



Tabla I I DIMENSIONES DEL CANAL PARA VERTEDEROS RECTANGULARES, CIPPOLETTI Y TRIANGULARES  
(LETRAS REFERIDAS A DIMENSIONES DE LAS FIGS. 19, 20, 21 y 22)

VERTEDEROS RECTANGULAR Y CIPPOLETTI

Límite aproximado de descarga pie <sup>3</sup> /seg	H	L	A	B	E	C	D	F
	Carga máxima en pie	Longitud de la cresta del ver- tedero en pie	Longitud de la caja del canal a la cresta del vertedero en pie	Gasto del ver- tedero en pie	Profundidad de la caja en pie	Distancia del extremo de la caja a la cre- sta del vertedero en pie	Distancia desde la cresta al fondo de la caja en pie	Distancia desde el vertedero a un punto alja- do en pie
1/10 a 3	1	1	6	4	3	1 1/2	1 1/2	4
1/5 a 6	1 1/4	1 1/2	7	5	3 1/4	1 3/4	1 1/2	4 1/2
1/4 a 8	1 1/4	2	8	6	3 1/2	2	1 3/4	5
1/3 a 17	1 1/2	3	9	7	4	2	2	5 1/2
1/2 a 23	1 1/2	4	10	9	4	2 1/2	2	6
3/4 a 35	1 1/2	6	12	11 1/2	4 1/2	2 3/4	2 1/2	6
1 a 50	1 1/2	8	16	14	4 3/4	3	2 3/4	8
1 a 60	1 1/2	10	20	17	5	3 1/2	3	8
Enéidura de 90° en vertedero triangular								
1/10 a 2 1/2	1	—	6	5	3	—	1 1/2	4
1/10 a 4 1/3	1 1/4	—	6 1/2	6 1/2	3 1/4	—	1 1/2	5

La distancia permitida para poder medir hasta 150 mm (6 pulg) desde el nivel superior del agua en el vertedero

TABLA III ELECCIÓN DE UN VERTEDERO DE MEDIDA.

Caudal l/seg	Error al medir la carga cm.	Vertedero aconsejado y error en % para el caudal				
		Tipo Bazin			Triangular con $\alpha = r/2$	
		Ancho (m)	Carga Aprox. cm	% de error en el caudal	carga aprox. cm.	% de error en el caudal
1,4	0,03 0,15 0,30				6	2,2 4,1 10,2
3,8	0,03 0,15 0,30				8	0,9 4,6 9,1
14	0,03 0,15 0,30 1,50	0,30	8	0,5 2,7 5,5 27,3	16	0,5 2,4 4,8 23,8
28	0,03 0,15 0,30 1,50	0,60	8	0,4 2,7 5,5 27,3	21	0,4 1,2 3,6 18,0
70	0,03 0,15 0,30 1,50	0,60 ( 1 )	16	0,3 1,5 3,0 15,7	30	0,3 1,2 2,5 12,4
140	0,03 0,15 0,30 1,50	1,5 ( 1 )	13	0,3 1,7 3,4 17,0	40	0,2 0,9 1,8 9,3
280	0,03 0,15 0,30 1,50	1,5 ( 1 )	21	0,2 1,1 2,1 10,6	53	0,1 0,7 1,5 7,3
560	0,03 0,15 0,30 1,50	1,5 ( 1 )	40	0,1 0,7 1,4 6,9		

**SELECCIÓN DE MEDIDAS PARA VERTEDEROS RECTANGULARES SIN CONTRACCIÓN LATERAL (TIPO BAZIN) TRIANGULAR DE 90°**

TABLA IV CAPACIDAD EN  $l/seg$  PARA TRES TIPOS DE VERTEDEROS TRIANGULARES SEGÚN LA CARGA MEDIDA EN cm.

Carga h cm	gasto en $l/seg$			Carga h cm	Caudal en $l/seg$		
	$\alpha=90^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=45^\circ$		$\alpha=90^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=45^\circ$
2,0	0,08	0,05	0,04	20	24,8	14,3	10,3
2,5	0,15	0,08	0,06	21	25,0	16,1	11,7
3,0	0,23	0,13	0,10	22	31,4	18,1	13,1
3,5	0,32	0,19	0,14	23	35,0	20,2	14,6
4,0	0,47	0,27	0,19	24	38,9	27,4	16,2
4,5	0,62	0,36	0,26	25	43,0	24,8	17,9
5,0	0,81	0,46	0,34	26	47,4	27,3	19,7
5,5	1,02	0,59	0,43	27	52,0	29,0	24,7
6,0	1,27	0,73	0,53	28	56,9	32,7	23,7
6,5	1,54	0,89	0,64	29	62,1	35,7	25,0
7,0	1,86	1,07	0,77	30	67,5	38,3	28,1
7,5	2,20	1,27	0,92	32	79,1	45,6	33,0
8,0	2,56	1,48	1,07	34	88,9	52,9	38,3
8,5	3,00	1,72	1,25	35	105,8	60,0	45,1
9,0	3,45	1,98	1,44	38	120,9	69,6	50,4
10,0	4,48	2,58	1,86	40	137,0	79,0	57,2
11,0	5,66	3,26	2,36	42	155,0	89,2	64,5
12,0	7,02	4,04	2,92	44	173,0	100,0	72,4
13,0	8,55	4,92	3,56	46	194,0	112,0	80,7
14,0	10,28	5,92	4,28	48	215,0	124,0	89,8
15,0	12,18	7,24	5,07	50	238,0	137,0	99,3
16,0	14,28	8,82	5,95	52	262,0	151,0	109,0
17,0	16,58	10,55	6,91	54	288,0	166,0	120,0
18,0	19,10	12,00	7,96	56	315,0	181,0	131,0
19,0	21,85	12,58	8,10	58	342,0	198,0	143,0

TABLA V

CAPACIDAD EN  $\ell$ /seg PARA VERTEDERO RECTANGULAR CON CONTRACCIÓN LATERAL SEGUN LA CARGA MEDIDA EN cm.

CAUDAL EN LITROS POR SEGUNDO				Caudal adicional por cada 0.5 m. mas de ancho
h. cm.	l=0.5m	l=1.0m.	l=1.5 m.	
2	2,5	5,1	7,6	2,5
3	3,7	7,4	11,2	4,0
4	7,2	14,5	21,8	7,3
5	10,0	20,3	30,7	10,2
6	13,1	26,6	40,0	13,4
7	16,5	33,4	50,7	17,0
8	20,0	40,7	61,4	20,7
9	23,8	48,5	73,2	24,7
10	27,7	56,5	85,5	28,9
11	31,0	65,3	98,7	33,4
12	36,2	74,2	112,3	38,0
13	40,7	83,6	126,5	42,0
14	45,3	93,2	141,2	46,0
15	50,0	103,1	156,3	50,2
16	54,8	113,4	171,9	54,5
17	59,0	123,9	188,1	64,2
18	64,9	134,8	204,7	69,0
19	70,0	145,7	221,5	75,8
20	75,3	157,1	238,9	81,8
21	80,6	168,6	256,6	88,0
22	86,1	180,6	275,0	94,4
23	91,6	192,5	293,4	100,9
24	97,3	204,9	312,5	107,6
25	103,0	217,4	331,8	114,4
26	107,7	230,1	351,4	121,3
27	114,5	242,8	371,2	128,4
28	120,4	256,0	391,6	135,6
29	126,3	267,2	412,2	144,9
30	132,2	282,7	433,0	150,3
31	138,4	296,3	454,3	158,0
32	144,4	310,0	475,6	165,6
33	150,6	324,1	497,6	173,5
34	156,8	338,2	519,5	181,5
35	163,0	352,5	542,0	189,5
36	169,2	366,8	564,8	197,7
37	175,5	381,4	587,4	206,0
38	181,7	396,0	610,3	214,3
39	188,1	411,0	633,6	222,9
40	194,5	426,0	657,6	231,5
41	200,0	441,0	681,2	240,2
42	207,2	456,3	705,3	249,0
43	212,7	471,7	730,8	257,1
44	220,1	487,2	756,3	267,1
45	226,5	502,8	782,0	276,3
46	232,0	518,5	807,0	285,6
47	239,4	534,2	832,0	295,5
48	245,8	550,1	857,2	304,7
49	252,2	566,0	882,0	313,9
50	258,0	582,4	905,0	323,5

## C A P I T U L O   I V

### ESTIMACION DEL POTENCIAL DE POZOS GEOTERMICOS BAJO DESCARGA, POR PRESION CRITICA DEL LABIO.-

#### IV.1.- INTRODUCCION.-

Determinación de la mezcla agua-vapor descargando a la atmósfera a la velocidad del sonido.

Cuando un flujo moderado de un fluido compresible pasa a través de una tubería con descarga a la atmósfera, la presión disminuye progresivamente a lo largo de la tubería, pero más rápidamente cerca de la salida, donde la velocidad del fluido se incrementa a un máximo. Además el flujo arrojado es casi paralelo a la pared de la tubería.

La presión poco antes del final de la tubería, será la misma que la de la atmósfera, o sea que un manómetro en esa posición registrará cero. Sin embargo si el flujo se incrementa progresivamente, podrá eventualmente apreciarse una presión en este manómetro; cuando esto ocurre, el flujo no deja la tubería si no que toma la forma de una parábola con un tamaño proporcional a la presión de salida. El fluido

deja la tubería con ésta forma, debido a la repentina expansión, al pasar de una presión alta, dentro de la tubería, a la presión atmosférica.

La indicación de presión en el manómetro muestra que la velocidad del fluido alcanzó un máximo posible (tal límite es impuesto por la velocidad del sonido en el fluido) y el único ajuste inherente que permite un aumento de flujo, es por el incremento de densidad, para efectuar ésto, la presión a la salida necesita incrementarse.

#### IV.2.- METODO DESARROLLADO POR RUSSELL JAMES.-

##### IV.2.1.- DESCRIPCION.

Después de efectuar numerosas pruebas en el Campo Geotérmico de Wairakei, se observó que mediante un injerto de presión en el borde del extremo de una tubería descargando fluido geotérmico a la atmósfera, bajo las condiciones usuales de flujo crítico (mezcla a la velocidad del sonido), se puede hacer una estimación de fluido geotérmico bastante precisa a la cantidad que el pozo genera.

Esto se aplica tanto a pozos cuyos flujos provienen de yacimientos de vapor seco como a los que se basan en sistemas de agua caliente bajo presión.

Esta serie de pruebas fueron efectuadas en un pozo geotérmico de Wairakei, Nueva Zelanda, donde se obtienen grandes flujos. Los tamaños de tubería usados para esta prueba fueron 76, 152 y 203 mm (3,6, y 8pg) de diámetro. El propósito de estas pruebas fue el obtener la relación entre masa-velocidad entalpia y presión crítica en un rango tan amplio como fue posible y para usar la presión crítica como un medio de determinación de un flujo evaporable de dos fases, descargando a la atmósfera ,cuando la entalpia es conocida.

Este método empírico para determinar la cantidad de agua y vapor descargando de un pozo y la entalpia de esa mezcla, fue desarrollado por Russell James de Nueva Zelanda y consiste en la medición de la caída de la presión en un orificio y la presión crítica en el labio de una tubería,descargando a la atmósfera (en la Fig. 23 aparece el diagrama del equipo empleado). La formula empirica desarrollada es la siguiente:

$$q h_o^{1.102} = 11400 p_1^{0.96} \quad - - - ( 1 )$$

Donde:

q = gasto masico lb/seg a condiciones estándar.

h<sub>o</sub> = Entalpia de la mezcla agua-vapor Btu/lb

P<sub>1</sub> = Presión crítica en el labio lb/pg<sup>2</sup>

Si el diámetro de la tubería de descarga es  $d_c$  (pg); entonces el gasto será:

$$q = 224000 p_1^{0.96} d^{2.162} / \text{ho} \quad \text{lb/hr}$$

La determinación de la entalpia se hace por medio de gráficas elaboradas por medio de una serie de pruebas hechas con mezclas de entalpia y flujos conocidos, a diferentes valores de la relación de diámetros de orificios y tubería ( $\beta$ ) y diferentes caídas de presión en el orificio.

Diferentes métodos para determinar la entalpia de la mezcla a partir de muestras de la misma han sido desarrolladas en Nueva Zelanda, siendo el principal problema en todos ellos la dificultad para obtener una muestra representativa.

Una forma fácil y rápida para medir el flujo, descarga de un pozo geotérmico, es mediante el uso de una línea de descarga. Para ésto nos basamos en el método empírico desarrollado por RUSSELL JAMES, el cual se ha venido aplicando hasta ahora en el Campo de Cerro Prieto cuya descripción se hace a continuación:

El flujo total o mezcla total agua-vapor proveniente del pozo, se hace pasar a través de una tubería la cual descarga a un silenciador vertical doble y éste a la atmósfera.



Las presiones críticas se toman perforando un agujero de 6mm (1/4 pg) a una distancia de 6mm (1/4 pg), desde su centro al extremo final de la tubería. En posición externa se solda una boquilla de 10mm (3/8 pg) y con una tubería se acondiciona la toma de manómetro, fuera del silenciador vertical doble; instalando una válvula de aguja a la entrada del manómetro. (Detalle Fig 3)

El flujo de agua a la presión atmosférica descargando del silenciador vertical doble se mide por medio de un vertedor previamente seleccionado y calibrado dependiendo de la cantidad de agua a medir.

En conclusión se tiene que empleando una toma de presión en el extremo de la tubería que descarga la mezcla al silenciador, es posible calcular la cantidad de flujo y la entalpia, empleando únicamente los valores de la presión crítica de descarga y la cantidad de flujo en el vertedero, en la Fig. 23 se presenta una gráfica para la determinación de la entalpia.

Una vez determinado el valor de la entalpia se sustituye en la fórmula (1) para obtener la cantidad de flujo.

IV.2.2.- CALCULO DE AGUA Y VAPOR POR EL METODO DE RUSSELL JAMES, UTILIZANDO PRESION CRITICA.

a).- BALANCE DE ENERGIA.-

$$\begin{array}{rclcl} \text{Mezcla} & = & \text{Vapor} & + & \text{Agua} \\ G h_0 & = & W_v h_v & + & W_l h_l \end{array}$$

Donde:

$G$  = Mezcla total (ton/hr)

$h_0$  = Entalpia de la mezcla (Kcal/kg)

$W_v$  = Gasto de vapor (ton/hr)

$h_v$  = Entalpia del vapor a P. atm (Kcal/kg)

$W_l$  = Gasto de agua medido en vertedor (ton/hr)

$h_l$  = Entalpia del líquido a P. atm. (Kcal/kg)

$x$  = Fracción de vapor.

$h_{fg}$  = Calor latente de vaporización a P. atm. (Kcal/kg)

$$h_o = h_l + x h_{fg}$$

$$x = (h_o - h_l) / h_{fg} \quad - - - (1)$$

si

$$G = W_l + W_v$$

y

$$h_{fg} = h_v - h_l$$

$$h_v = h_{fg} + h_l \quad - - - (2)$$

como:

$$W_l = (1 - x) G \quad - - - (3)$$

Sustituyendo (1) en (3).

$$W_l = \left( 1 - \frac{h_o - h_l}{h_{fg}} \right) G$$

$$W_l = \frac{(h_{fg} + h_l - h_o)}{h_{fg}} G$$

$$W_l = \frac{(h_{fg} + h_l - h_o)}{h_{fg}} G \quad - - - (4)$$

Sustituyendo la ec. (2) en (4)

$$W_1 = \frac{h_v - h_o}{h_{fg}} G$$

Despejando G de la ec. anterior :

$$G = \frac{W}{h_v - h_o} h_{fg} \quad \text{ec. obtenida del balance} \quad - - - (5)$$

b).- SECUENCIA DE CALCULO DE MEZCLA UTILIZANDO EL METODO DE RUSSELL JAMES, CON PRESION CRITICA.-

En el Campo de Cerro Prieto los cálculos se efectúan de dos formas:

A).- Utilizando la fórmula que se resuelve por ensaye y error, para encontrar la entalpia.

B).- Utilizando gráficas para determinar la entalpia.

## SECUENCIA CASO A .

1.- Determinación del gasto en el vertedero:

$$W_1 = 1.859 \rho L H^{1.5} \quad - \quad - \quad - \text{(Fórmula Cippoletti)}$$

Donde:

L = Ancho del vertedor (m)

$\rho$  = Densidad del agua (ton/m<sup>3</sup>)

H = Carga medida en el vertedor (m)

$W_1$  = Gasto de agua (m<sup>3</sup>/seg) a condiciones estándar.

2.- Resolviendo por ensaye y error la siguiente ecuación se encuentra la entalpia de la mezcla:

$$1.052 \frac{0.96 \rho_c d^2}{h_o^{1.164}} = \frac{W_1 h_{fg}}{h_v - h_o}$$

Despejando  $h_o$

$$h_o^{1.162} = \frac{1.052 P_c^{0.96} d^2}{W_1 \lambda} (h_v - h_o)$$

Donde:

$h_o$  = Entalpia de la mezcla (Kcal/kg)

$P_c$  = Presión Crítica (kg/cm<sup>2</sup>) abs.

$d$  = Diámetro de la tubería de descarga (mm)

$W_1$  = Gasto de agua en el vertedor (ton/hr)

$\lambda$  = Calor latente de vaporización a P. atm. (Kcal/kg)

$h_v$  = Entalpia del vapor a P. Atm. (Kcal/kg)

$h_1$  = Entalpia del líquido a P. atm. (Kcal/kg)

3.- Una vez determinada la entalpia se puede encontrar la mez\_ cla total G en (ton/hr):

$$G = \lambda_1^W h_v - h_o$$

4.- Encontrar el gasto de vapor:

$$h_o = h_1 + X\lambda ; \lambda = (h_o - h_1) / X$$

vapor = x G ( ton/hr)

SECUENCIA CASO B.

Otra de las formas para la determinación del gasto de mezcla (agua vapor) por el método de Russell James, es con ayuda de gráficas, por ejemplo, Fig. 23, para la determinación de la entalpia, en lugar de hacer el cálculo por ensaye y error.

- 1.- Utilizar la hoja de cálculos anexa.
- 2.- Anotar datos.
- 3.- Calcular agua en vertedor W (Klb/hr)

$$W = 14723.28 \rho L h^{1.5} \quad (\text{fórmula Cippoletti})$$

Donde:

$h$  = Carga medida en el vertedor.

$L$  = Longitud de la cresta del vertedor.

$\rho$  = Densidad del líquido (ton/m<sup>3</sup>)

4.- Calcular  $p^{0.96}$

$P$  = Presión Crítica (lb/pg<sup>2</sup> abs)

5.- Calcular  $W/P^{0.96}$

6.- Con el valor de  $W/P^{0.96}$  seleccionar la gráfica que corresponde al diámetro de tubería de descarga y determinar entalpía de la mezcla  $E$  en (Btu/lb).

7.- Determinar el gasto de la mezcla.

$G$  (Klb/hr)

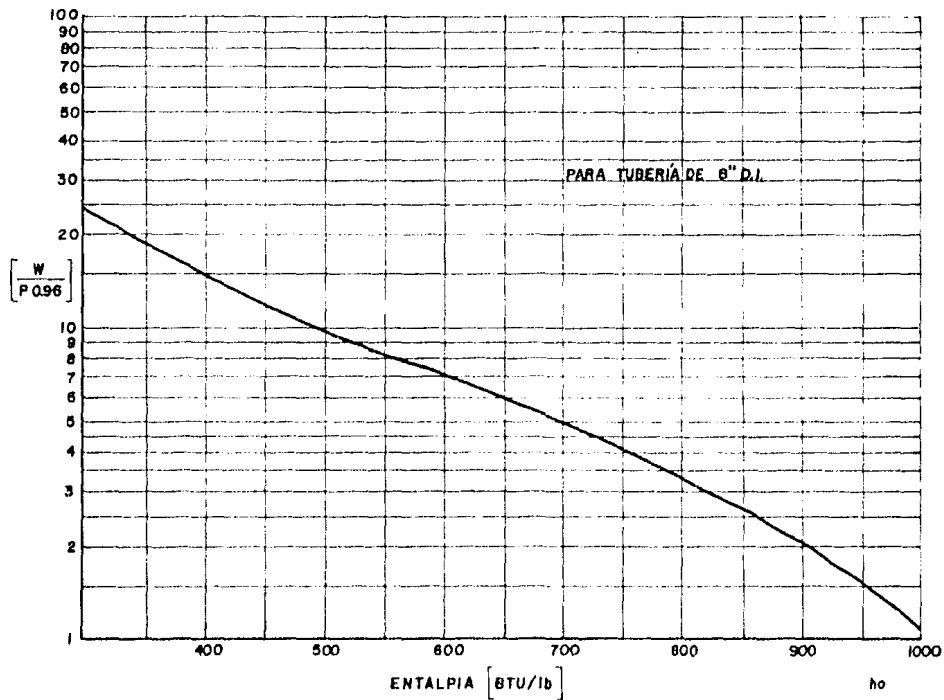
$$G = 970 w / (1150 - E)$$

8.- Determinar la calidad de la mezcla.

$$x = E - S/L$$

Donde:





$$\text{FLUJO TOTAL} = \left[ \frac{970 W}{1150 - h_o} \right] \text{ KFH}$$

Fig. 23 ENTALPIA A PARTIR DE LA PRESION DE LABIO Y FLUJO EN VERTEDERO

S = Entalpia del líquido a la presión que se requiera la separación.

L = Calor latente de vaporización a la presión que se requiere la separación.

9.- Cálculo de gasto de vapor.

Vapor = x G (Klb/hr).

TABLA VI MEDICIONES DE DESCARGA CON PRESIÓN CRÍTICA Y VERTEADOR

POZO \_\_\_\_\_

FECHA	TUBERÍA (pulg)	ORIFICIO (pulg)	PRESIÓN CABEZAL lb/pg <sup>2</sup> abe	VERTEADOR W (Kib / hr)	PRESIÓN DE LABIO (lb/pg <sup>2</sup> abe)	p 0.96	$\frac{W}{p 0.96}$	ENTALPIA E BTU/lb	$\frac{970-W}{1160-E}$	GASTO MASA (Klb/hr) M	$\frac{E-S}{L}$	CALIDAD CABEZAL C	VAPOR (Kib / hr)

## CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

Actualmente los procedimientos de medición, llevados a cabo en el campo geotérmico de Cerro Prieto, han venido resultando hasta cierto punto confiables, sin que por ésto se considere, que sean los únicos dispositivos de medición que se puedan emplear en dicho campo.

Así entonces, se tiene que por ejemplo, con respecto al uso de la placa de orificio, ésta resulta ser más resistente a las severas condiciones de trabajo, las cuales implican una alta temperatura y un excesivo daño por corrosión, aunado a ésto, el hecho que la fabricación tiende a ser menos costosa comparada con otros dispositivos medidores y es más fácil su instalación.

Con respecto al uso de los vertederos, es necesario, con el fin de obtener información cada vez más precisa, construirlos de acuerdo a las especificaciones recomendadas para cada tipo de vertedero, siguiendo las instrucciones al pie de la letra y realizar, en forma periódica, un adecuado mantenimiento que le permita seguir funcionando en óptimas condiciones. El personal que se encargue de realizar las mediciones referentes al gasto de gas y agua, debe cerciorarse de que las instalaciones se encuentren por lo menos en un 90% de buen estado para evitar que los datos proporcionados sean erróneos, lo cual originaría un mal manejo en la evaluación de la producción que se tiene.

En resúmen, hoy en día, la información que proporcionan tanto la placa de orificio como los vertederos, permiten realizar evaluaciones o cuantificaciones, que llegan a ser muy cercanas a la realidad de los volúmenes de vapor y agua manejada en los pozos geotérmicos del campo Cerro Prieto.

#### REFERENCIAS.

- 1.- Kenneth Salisbury, Power J.: "Kents Mecanical Engineers Handbook". Journal of new England Association, twelfth edition, 1966.
- 2.- Emilio Custodio, Manuel Ramos Llamas: "Hidrología Subterránea". Editorial Progreso, tomo I, primera edición, 1974.
- 3.- Perry, Robert H.: "Engineering Manual". Smithsonian Physical, octava edición, 1967.
- 4.- Weymouth, Thos R.: "Interin Suplemen 19.5 on Instruments and Aparatus, part II of Fluid Meters". Transactions of the ASTM, 1937.
- 5.- Thrasher and Binder: "Effect of Edge Thickness on Small orifice Meters". Instruments and Automation, Vol. 27, Noviembre 1954.
- 6.- Russell James: "Measurement of Steam-Water Mixture Discharging at the Speed of Sound to the Atmosphere". A.I.Ch.E. Journal, Junio 1955.
- 7.- Yarnell: "Flow of Water Through 6-inch Pipe Bends". Tech. Bul. 577, U.S. Dept. of Agriculture, 1955.
- 8.- Perry and Shilton: "Chemical Engineer's Handbook". American Elsevier, quinta edición, 1969.
- 9.- Bakhmeteff, Boris A.: "Hidraulics of Open Channels". Mc. Graw Hill, 1963.
- 10.- Streeter, Victor L.: "The Kinetic Energy and Momentum Correction for Pipes and for Open Channels of Great Width". Civil Engineering, Vol. 12, 1942.