

done  
\$500-

19 APR. 1984

11  
11  
11  
11  
11

20.80  
23-83  
[Signature]

UNIVERSIDAD DE MONTERREY  
DIVISION DE CIENCIAS NATURALES  
Y EXACTAS



*Clasif.*  
040.668  
S584d  
1983  
c.1

*Título*  
DISEÑO E INSTALACION DE UN  
RAMAL PARA PRACTICAS DE  
FLUJO DE FLUIDOS

REPORTE DEL PROGRAMA DE  
EVALUACION FINAL  
QUE PRESENTA

*Folio*  
900153

*Autor*  
RODOLFO SILLER ROCHA

EN OPCION AL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO ADMINISTRADOR

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1983

BIBLIOTECA  
UNIVERSIDAD DE MONTERREY

A DIOS NUESTRO SEÑOR...

A MIS PADRES:

DR. RODOLFO SILLER CARDENAS  
DRA. IRMA L. ROCHA DE SILLER  
POR TODO SU CARÍO Y  
ABNEGACION.

A MI HERMANO NELSON.

AL ING. RAMIRO GARZA CAVAZOS  
CON MUCHO RESPETO Y ADMIRACION

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

# I N D I C E

|                                 | Página |
|---------------------------------|--------|
| Introducción.....               | 1      |
| Objetivo.....                   | 2      |
| Descripción del Sistema.....    | 4      |
| Prácticas.....                  | 9      |
| - Práctica No.1.....            | 11     |
| - Práctica No.2.....            | 18     |
| - Práctica No.3.....            | 24     |
| - Práctica No.4.....            | 44     |
| - Práctica No.5.....            | 51     |
| Mantenimiento del Sistema.....  | 57     |
| Comentarios y Conclusiones..... | 59     |
| Apéndices.....                  | 61     |
| Nomenclatura Empleada.....      | 63     |
| Bibliografía.....               | 65     |

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

En gran parte de los procesos químicos industriales se manejan fluidos a través de sistemas formados por tuberías y accesorios, motivo por el que dentro de la Ingeniería Química el estudio -- del Flujo de Fluidos tenga tanta importancia.

El presente trabajo facilita la identificación y conocimiento -- del funcionamiento de algunos accesorios al mismo tiempo que -- ayuda a la comprensión de conceptos tales como caída de presión, Número de Reynolds, pérdidas por fricción, Balance Energético y otros importantes dentro del campo del Flujo de Fluidos.

## O B J E T I V O

La finalidad de este trabajo es la instalación y adecuación de un ramal de Flujo de Fluidos en el local del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Monterrey, así como el -- diseño e implementación de las prácticas que servirán como complemento a la parte teórica del curso de Flujo de Fluidos.

Dichas prácticas serán:

- 1.- Determinación de la caída de presión en la válvula de globo, medidor Vénturi, medidor de orificio y en una reducción de la sección transversal de la tubería.
- 2.- Determinación de los límites de velocidad para los flujos - laminar y turbulento mediante la prueba de Reynolds.

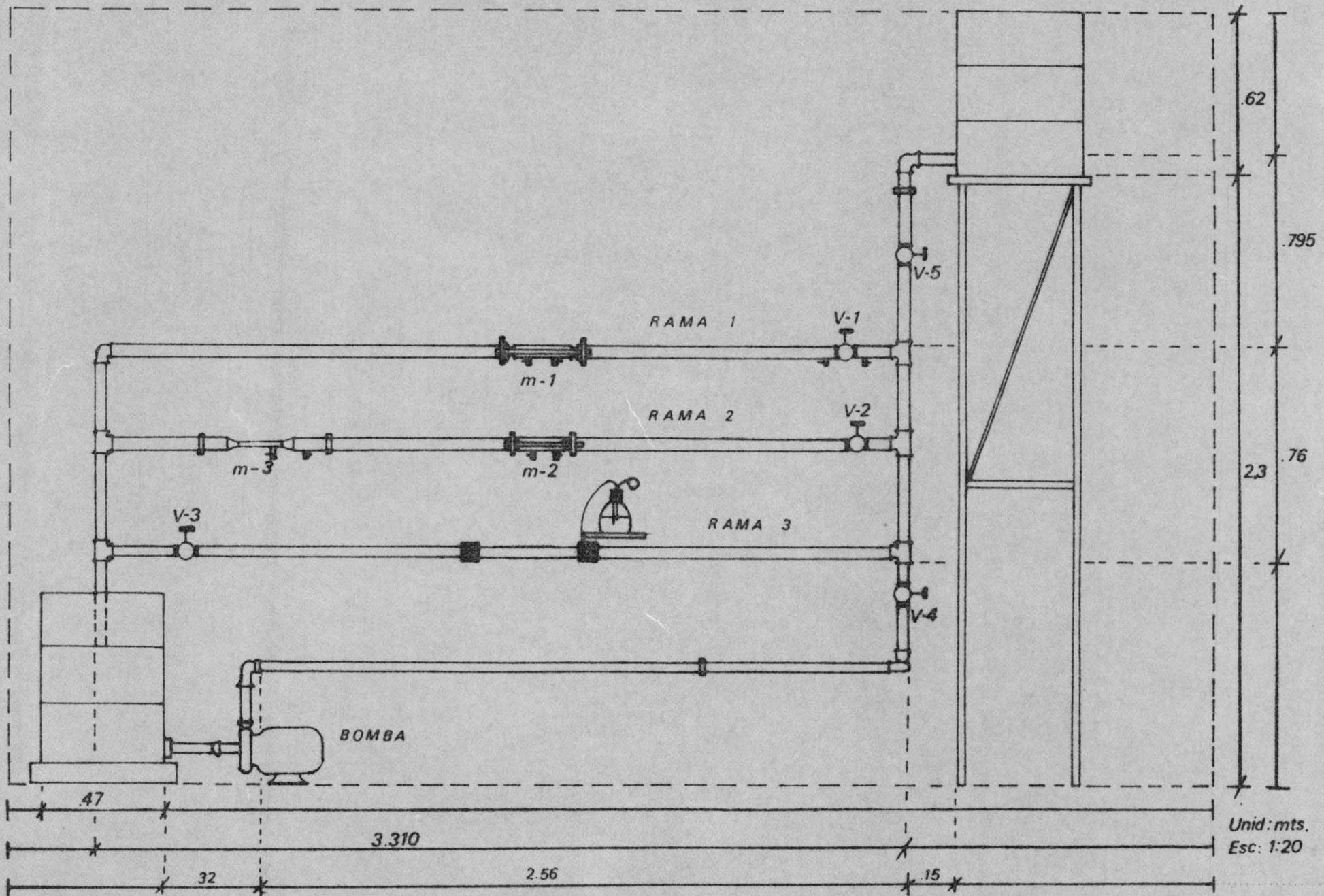
- 3.- Aplicación de balances energéticos.
- 4.- Calibración y uso del medidor Vénturi.
- 5.- Calibración y uso del medidor de orificio.

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema (ver dibujo) consiste en una serie de ramas de tubería unidas entre sí mediante diversos accesorios. La tubería es de fierro galvanizado usándose roscas como medio de unión.

Para el almacenamiento del agua se usan dos tambores de lámina negra de 100 litros de capacidad; uno de ellos se encuentra al nivel del suelo mientras que el otro está colocado sobre una torre a 2.30 m. de altura. El tambor de la parte inferior está conectado a una bomba centrífuga de fierro vaciado con diámetros de carga y descarga de 1 1/4 pulg.; la bomba está conectada a un motor de 3/4 HP de potencia con 3450 rpm. La bomba se conecta al sistema mediante tubería de 3/4 pulg. de diámetro nominal;

# Ramal para Flujo de Fluidos



La válvula de globo V-4 tiene como finalidad evitar que el agua almacenada en el tambor superior regrese al inferior; el flujo del tambor superior es controlado mediante la válvula V-5 que es del tipo de compuerta de 1 pulgada de diámetro.

La rama No. 1 está controlada mediante una válvula de globo (V-1); en la parte media de esta rama está localizado el medidor Vénturi (M-1) (figura 1), éste es de aluminio y está unido por medio de dos uniones universales, además a cada lado tiene colocadas una rondana unidas entre sí mediante dos tornillos con la finalidad de eliminar tensiones que podrían barrer la rosca de medidor. El resto de la tubería en esta rama es de 1 pulgada de diámetro nominal.

La rama No.2 está controlada por una válvula de compuerta (V-2) de 1 pulgada de diámetro; en la parte media está colocado el medidor de orificio (M-2) (figura 2) también de aluminio y unido del mismo modo que el otro medidor; posteriormente mediante una reducción campana se disminuye la sección transversal de la tubería de 1 a 1/2 pulgada (M-3) con la finalidad de medir la caída de presión.

La rama No.3 tiene por objeto realizar la prueba de Reynolds razón por la cual en la parte media hay una sección de tubo de acrílico transparente (figura 3) en donde se conecta un recipiente con líquido coloreado, una válvula de globo (V-3) controla el flujo; la tubería en esta rama es de 1 pulgada de diámetro.

tro nominal.

Para las tomas de presión en V-1, M-1, M-2 y M-3 se utilizan -- válvulas de bronce unidas a la tubería mediante roscas de 1/4 - pulgadas de diámetro.

A continuación se da un listado total del material que forma el sistema.

| ACCESORIO                          | CANTIDAD | MATERIAL           |
|------------------------------------|----------|--------------------|
| Tubería 1 pulg.                    | 11.970 m | fierro galvanizado |
| Tubería 3/4 pulg.                  | 2.630 m  | fierro galvanizado |
| Tubería 1.25 pulg.                 | 0.140 m  | fierro galvanizado |
| Tubería 1/2 pulg.                  | 0.165 m  | fierro galvanizado |
| Tubería 1 pulg.                    | 0.420 m  | acrílico           |
| Tambor cap. 100 lts.               | 2        | lámina negra       |
| Codo 90 -1 pulg.                   | 3        | fundición          |
| Codo 90 -1.25 pulg.                | 1        | fundición          |
| Codo 90 -3/4 pulg.                 | 1        | fundición          |
| Bushing 1.25-1 pulg.               | 2        | fundición          |
| Bushing 1.25-.75 pulg.             | 1        | fundición          |
| Bushing 1-3/4 pulg.                | 1        | fundición          |
| Unión Universal<br>1 pulg.         | 7        | fundición          |
| Unión Universal<br>3/4 pulg.       | 1        | fundición          |
| Reducción campana<br>1-1 1/4 pulg. | 1        | fundición          |

| ACCESORIO   | CANTIDAD | MATERIAL        |
|---|----------|-----------------|
| Reducción campana<br>1-1/2 pulg.                        | 5        | fundición       |
| Unión "T"   | 5        | fundición       |
| Válvula de globo<br>1 pulg.                             | 3        | bronce          |
| Válvula de compuerta<br>de vástago móvil<br>1 pulg.     | 1        | bronce          |
| Válvula de compuerta<br>de vástago fijo<br>1 pulg.      | 1        | bronce          |
| Medidor Véntiri   | 1        | aluminio        |
| Medidor de orificio                                     | 1        | aluminio        |
| Bomba centrífuga<br>1 1/4- 1 1/4                        | 1        | fierro vaciado  |
| Motor 3/4 HP  | 1        | -----           |
| Válvulas para toma<br>de presión, rosca<br>de 1/4 pulg. | 8        | bronce          |
| Rondanas 1 1/8 pulg.                                    | 4        | acero al carbón |

## P R A C T I C A S

A continuación se presentan 5 prácticas en las que se trata de ilustrar los conceptos más importantes dentro del Flujo de Fluidos.

Para la realización de estas prácticas deben considerarse las siguientes condiciones y datos:

- la temperatura promedio del laboratorio es  $26^{\circ}\text{C}$ .
- debe trabajarse con el volúmen de agua indicado por la marca superior dentro del tambor inferior.
- el gasto promedio de la bomba es de  $1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg}$ .
- el gasto con que se descarga el agua desde el tambor superior por la rama No. 2 es de  $236.026 \text{ cm}^3/\text{seg}$ . y por la rama No. 3 es de  $756.913 \text{ cm}^3/\text{seg}$ .

Las áreas y los diámetros para las tuberías aparecen en el ----  
apéndice 1.

Para realizar todas las operaciones se ha seleccionado el sis--  
tema cgs así cuando se omitan las unidades deben considerarse--  
consistentes.

## PRACTICA No. 1

"DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION EN LA VALVULA DE GLOBO, MEDIDOR VENTURI, MEDIDOR DE ORIFICIO Y EN UNA-REDUCCION DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA TUBERIA".

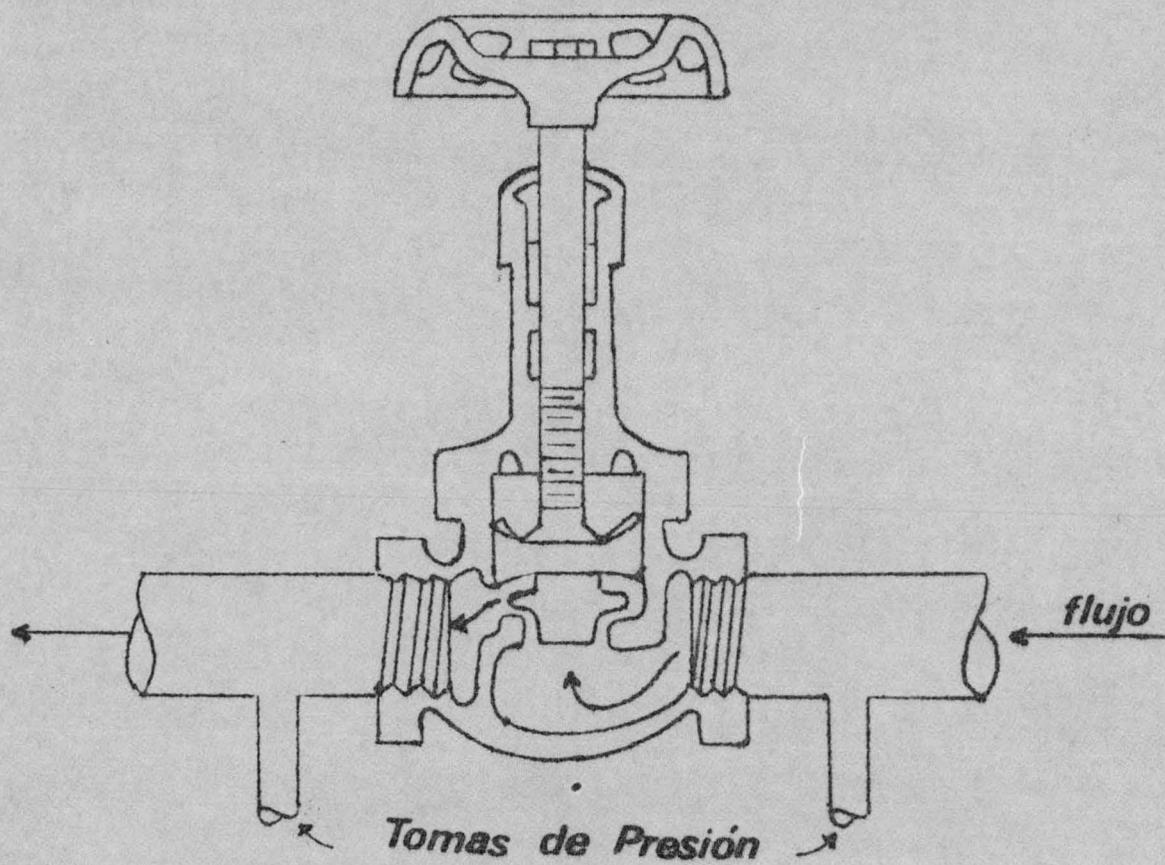
## OBJETIVO:

Conocer el uso del manómetro diferencial así como los efectos que tiene en la presión el uso de accesorios como la válvula de globo, los medidores Vénturi y de orificio y de la reducción -- del área transversal de la tubería.

## BASE TEORICA:

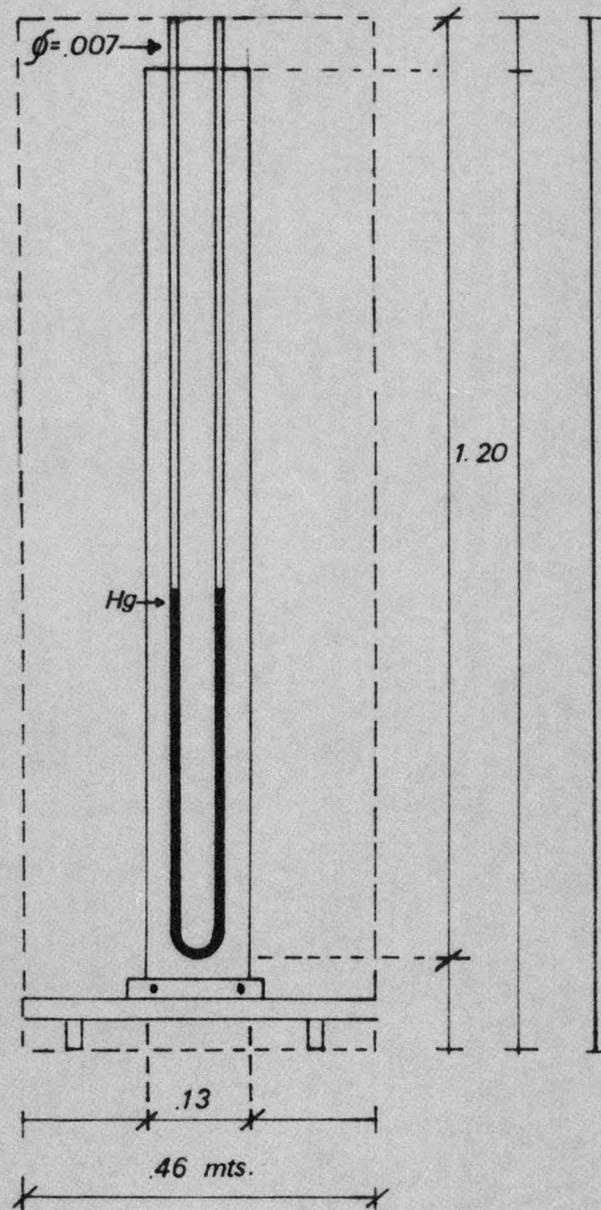
Quando la sección transversal de una tubería es reducida el -- fluido que por ella circula experimentará un cambio en su velocidad y por lo tanto un cambio en su presión:al disminuir el -- área la velocidad será mayor con una consiguiente mayor carga - cinética resultando una menor carga de presión. Estas diferen-- cias o caídas de presión ocurren en muchos accesorios tales como el medidor Vénturi, el medidor de orificio, en las válvulas, especialmente en la de globo o asiento (figura 4) debido al cambio de dirección y reducción considerable del área transversal- que ocurre en ella.

Para determinar estas caídas de presión se puede hacer uso del manómetro diferencial en "U", (figura 5), éste consiste básicamente en un tubo transparente de vidrio o plástico cuya sección



**F-4** *Válvula de Globo*

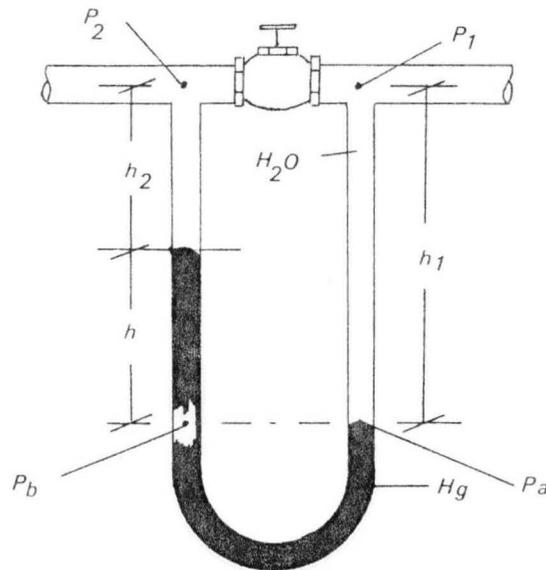
**F-5 Manómetro Diferencial**



*unidades: mts.*  
**Escala 1:10**

transversal deberá ser mayor de 5 mm para evitar correcciones por menisco; se pueden usar diferentes líquidos en este tipo de manómetros siendo el mercurio uno de los más usados.

Para calcular la caída de presión ( $\Delta P$ ) debe deducirse la ecuación para el manómetro.



En los puntos A y B la presión es la misma, por lo tanto

$$P_a = P_b$$

$$P_1 + h_1 \rho_{H_2O} \text{ g/gc} = P_2 + h_2 \rho_{H_2O} \text{ g/gc} + h \rho_{Hg} \text{ g/gc}$$

$$P_1 - P_2 = h_2 \rho_{H_2O} \text{ g/gc} + h \rho_{Hg} \text{ g/gc} - h_1 \rho_{H_2O} \text{ g/gc}$$

Suponiendo  $\text{g/gc} = 1$

$$P_1 - P_2 = \rho_{H_2O} (h_2 - h_1) + h \rho_{Hg}$$

$$\text{Como } h_2 - h_1 = -h$$

$$P_1 - P_2 = \rho_{H_2O} h + \rho_{Hg} h$$

$$P_1 - P_2 = h (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O}) = P$$

Esta ecuación es útil en cualquiera de los casos de la práctica.

#### PROCEDIMIENTO:

Se va a determinar la caída de presión en las siguientes partes: válvula de asiento (V-1), medidor Vénturi (M-1), medidor de orificio (M-2) y reducción de área transversal (M-3).

En todos los casos los cálculos se harán haciendo uso de la bomba y la caída libre del agua desde el tambor superior, excepto en el medidor de orificio en el que sólo se hará con el segundo caso.

NOTA: Debe tenerse la precaución de no usar el manómetro en el medidor de orificio cuando la bomba está funcionando ya que esto produce un vacío pudiendo succionar el mercurio.

Primero se harán las pruebas con la caída libre del agua, para ello hay que llenar el tambor superior del siguiente modo: se cierran las válvulas V-1, V-2 y V-3 y se abren las válvulas V-4 y V-5 accionando la bomba; cuando se haya terminado el agua del tambor inferior se apaga la bomba y se cierra la válvula V-4.

Para hacer las medidas en la válvula de asiento (V-1) y en el medidor Vénturi se abre la válvula V-1 y V-5 dejando el resto cerradas. Para las medidas en el medidor de orificio (M-2) y en

la reducción de área (M-3) se abren las válvulas V-2 y V-5 dejando el resto cerrado.

Cuando los cálculos se hagan con el uso de la bomba se procede de este modo: para las mediciones en el medidor Vénturi (M-1) y la válvula de asiento (V-1) se cierran las válvulas V-2, V-3 y V-5 y se abren la V-1 y V-4; para las mediciones en la reducción de área (M-3) se cierran las válvulas V-1, V-3 y V-5, abriéndose las V-2 y V-4..

Antes del hacer uso del manómetro es muy importante ver que no existan burbujas de aire dentro del tubo de vidrio ya que esto alteraría las lecturas.

#### RESULTADOS:

Los cálculos se harán usando la ecuación deducida anteriormente y con los siguientes datos:

$$\rho_{H_2O} \text{ a } 26^\circ \text{ C} = 0.99682 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{Hg} \text{ a } 26^\circ \text{ C} = 13.531 \text{ grm/cm}^3$$

Los resultados obtenidos se resumen en el siguiente cuadro:

| ACCESORIO           | Caída libre<br>h cm | P $\frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$ | Usando la bomba<br>h cm | $\Delta P \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$ |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------|---|
| V. de asiento (V-1) | 5.5                 | 68.937                             | 27.                     | 338.422                                   |

|                             | Caída<br>libre |         | Usando la<br>bomba |         |
|-----------------------------|----------------|---------|--------------------|---------|
| M. Vénturi<br>(M-1)         | 11             | 137.875 | 48                 | 601.640 |
| M. de orificio<br>(M-2)     | 15             | 188.012 | -                  | -       |
| Reducción del<br>área (M-3) | 1              | 12.534  | 14                 | 175.478 |

## PRACTICA No. 2

"DETERMINACION DE LOS LIMITES DE VELOCIDAD PARA LOS FLUJOS LAMINAR Y TURBULENTO MEDIANTE LA PRUEBA DE-REYNOLDS".

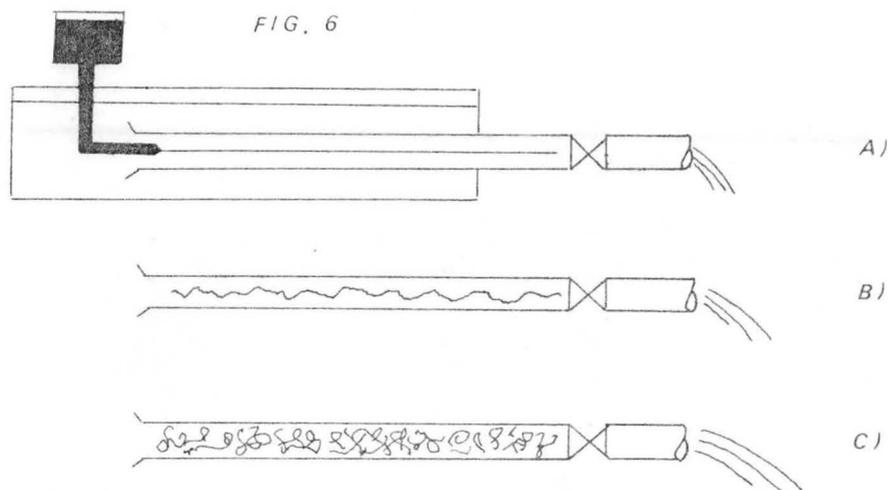
## OBJETIVO:

Se pretende que de una manera visual puedan identificarse los flujos laminar y turbulento determinándose también la región de transición

## BASE TEORICA:

Los fluidos al circular por un ducto pueden presentar dos tipos de flujo: laminar o turbulento, aunque cabe mencionar que entre ambos tipos de flujo hay una zona no definida llamada de transición.

En 1883 Osborne Reynolds usando un aparato como el de la figura 6, realizó un experimento en el que se podía distinguir fácilmente los diferentes regímenes.



El experimento consistía en abrir poco a poco la válvula y al mismo tiempo dejar que una vena de líquido coloreado circulara junto con el agua. Reynolds pudo observar que:

- al principio el hilo de corriente visible por el fluido coloreado era prácticamente una recta: flujo laminar (a).
- abriendo un poco más la válvula se empiezan a formar remolinos aguas abajo, mezclándose el colorante con el agua: región de transición (b).
- con la válvula completamente abierta los remolinos se propagan por todo el tubo: flujo turbulento (c).

En el flujo laminar las partículas se mueven solamente en la dirección del flujo sin componentes verticales y podemos considerar que se desplazan en forma de capas anulares concéntricas deslizándose unas sobre otras con velocidad decreciente desde el eje a la pared.

Es en la parte del centro donde la velocidad es mayor pero también en donde menor oposición se presenta a la formación de turbulencias, es por esta razón que cuando hay algún evento que propicie la formación de remolinos, éstos comienzan a presentarse en la parte central, aunque serán amortiguados o absorbidos por las subsecuentes capas, ésta es la llamada zona de transición; cuando las turbulencias son capaces de romper todas las capas, las partículas tendrán un movimiento azoroso con componentes de velocidad en todas direcciones formándose así el flujo turbulento. Es importante aclarar que aún en el régimen ---

turbulento la actividad de los remolinos en la capa vecina a la pared del ducto es prácticamente nula dado que es la región de mayor esfuerzo.

El mismo Reynolds estudió cuáles eran las condiciones que regían los tipos de flujos encontrando que éstos dependían del diámetro de la tubería, la viscosidad, la densidad y la velocidad, combinándose en un grupo adimensional llamado Número de Reynolds en donde

$$\text{No. de Re} = \frac{D V \rho}{\mu}$$

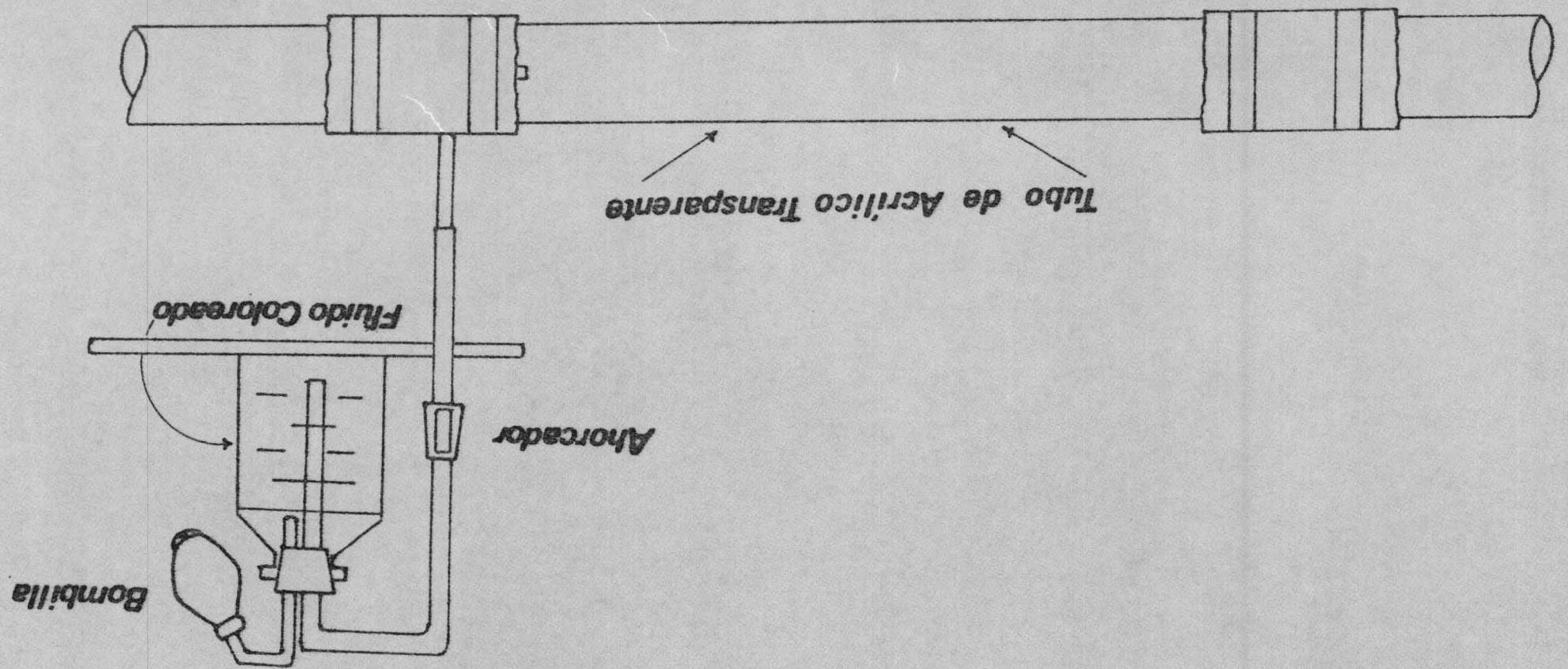
Cuando la viscosidad, la densidad y el diámetro se mantienen constantes, el flujo solo dependerá de la velocidad, llamándose "velocidad crítica" a aquella en que el régimen cambia de laminar a turbulento.

#### PROCEDIMIENTO:

Para realizar esta práctica se aprovechará la energía potencial del agua almacenada en el tambor superior; para llenarlo es necesario cerrar las válvulas V-1, V-2 y V-3, abrir las V-4 y V-5 y encender la bomba; cuando el tambor inferior esté ya vacío se apaga la bomba y se cierra la válvula V-4 inmediatamente.

Para evitar que el agua de la tubería penetre en el recipiente con el fluido coloreado, es necesario igualar las presiones, esto se logra oprimiendo unas 6 o 7 veces la bombilla que tiene

F-3 Sección para la Prueba de Reynolds



conectada.

La velocidad del agua se controla por medio de la válvula V-3 y la del fluido coloreado con el ahorcador que tiene en la manguerilla de hule; es muy importante que al realizar las pruebas la velocidad relativa entre ambos fluidos sea cero, es decir, - que sea la misma.

Dadas las condiciones del sistema, tales como el número de accesorios, la rugosidad de la tubería y las vibraciones es lógico que para obtener un régimen laminar serán necesarias velocidades muy bajas por lo que se recomienda que las pruebas se comiencen abriendo muy poco la válvula V-3 inicialmente.

#### RESULTADOS:

Deben calcularse las velocidades de las cuáles el flujo es --- laminar, ésto se logra midiendo el gasto con ayuda de un vaso - de precipitado de 500 ml.; lo mismo se hará con las velocidades en que el flujo no esté bien definido (transición) y finalmente para el flujo turbulento.

La densidad del agua a 26°C es 0.99682 gr/cm<sup>3</sup> y la velocidad - a la misma temperatura 0.00862 gr/cm-seg.; el diámetro de la -- tubería es de 2.664 cm y el área 5.575 cm<sup>2</sup>.

Los resultados se transcriben a la siguiente tabla:

| $Q \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$ | $v \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$ | Re                 | Tipo de flujo |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------|
| 10.638<br>a menos                  | 1.908<br>a menos                 | 587.789<br>a menos | laminar       |
| 18.516                             | 3.321                            | 1023.203           | laminar       |
| 21.739                             | 3.899                            | 1201.264           | transición    |
| 25.000                             | 4.484                            | 1381.462           | transición    |
| 26.000<br>ó más                    | 4.663<br>ó más                   | 1436.720<br>ó más  | turbulento    |

Resumiendo:

flujo laminar para  $Re < 1201$

zona de transición para  $1201 \leq Re \leq 1381$

flujo turbulento para  $Re > 1381$

La clasificación de los números de Reynolds en laminar, transición o turbulento para esta práctica están de acuerdo al comportamiento de la vena de líquido coloreado dentro del tubo pero - en la práctica se considera el flujo laminar para Reynolds menores de 2100, de transición a los comprendidos entre 2100 y 4000, y turbulento para mayores de 4000.

## PRACTICA No. 3

## "APLICACION DE BALANCES ENERGETICOS"

## FUNDAMENTO TEORICO:

Al flujo de fluidos puede aplicarse el principio de conservación de energía; para ello deben considerarse las energías cinética, potencial y de presión así como las pérdidas debido a la fricción y el trabajo hecho por o al sistema.

Consideremos el sistema de la figura 7 y supongamos una temperatura constante.

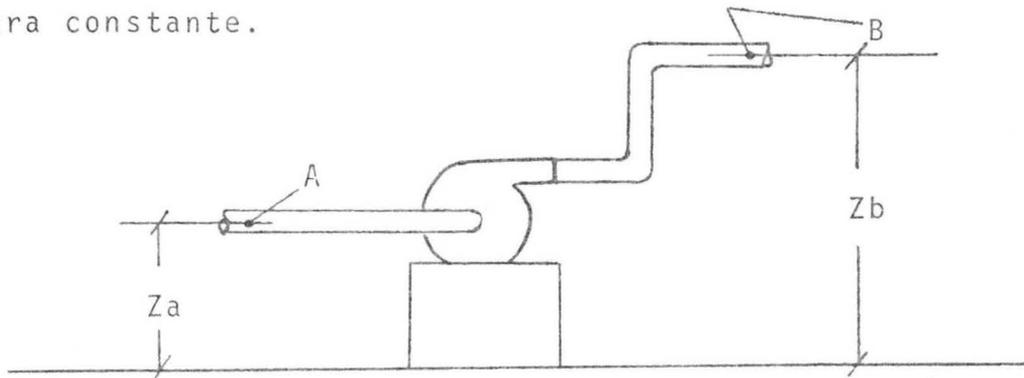


FIGURA 7

Se representa un ducto por el que se transporta un líquido del punto A al punto B; mediante la bomba se proporciona el trabajo necesario para lograr lo anterior. Supongamos que para el líquido la presión en el punto A es igual a  $P_a$  ( $\text{grf}/\text{cm}^2$ ), su velocidad igual a  $V_a$  ( $\text{cm}/\text{seg}$ ) y su volumen específico igual a  $\text{Vol. a}$  ( $\text{cm}^3/\text{grm}$ ); este punto se localiza a una altura  $Z_a$  ( $\text{cm}$ ) sobre el plano horizontal. Si tomamos como base un  $\text{grm.}$  del líquido, éste tendrá en el punto A una energía potencial igual a  $g/gc \cdot Z_a$  ( $\frac{\text{grf} \cdot \text{cm}}{\text{grm}}$ ), como el líquido se está moviendo a una velocidad  $V_a$  -

(cm/seg) tendrá entonces una energía cinética  $Va^2/2gc \left(\frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}\right)$ , además como el líquido dentro de la tubería está sujeto a una presión  $Pa \left(\frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}\right)$ , cada gr. de líquido recibirá un trabajo igual a  $PaVol.a \left(\frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}\right)$  que se suma a la energía almacenada. La suma de estos términos representa la energía total del gramo de líquido en el punto A.

De acuerdo con el principio de conservación de masa por cada gr. de líquido que entra en A saldrá uno en B. Este gr. que sale en B tendrá un contenido de energía de:

$$g/gc Zb + Vb^2/2gc + PbVol.b \left(\frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}\right)$$

donde  $Vb$ ,  $Pb$  y  $Vol.b$  son su velocidad, presión y volumen específico respectivamente en el punto B.

A este sistema se agrega trabajo mediante una bomba, siendo éste  $w \left(\frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}\right)$ , además parte de la energía se pierde debido a la fricción,  $F \left(\frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}\right)$ .

La ecuación del balance de energía entre los puntos A y B será:

$$g/gc Za + Va^2/2gc + PaVol.a - F - W = g/gc Zb + Vb^2/2gc + PbVol.b$$

si consideramos  $Vol.a = 1/\rho_A$  y  $Vol.b = 1/\rho_B$

la ecuación queda:

$$g/gc Za + Va^2/2gc + Pa/\rho_A - F - W = g/gc Zb + Vb^2/2gc + Pb/\rho_B$$

Al término  $g/gc$   $Z$  se le denomina carga de altura, a  $V^2/2gc$  carga de velocidad. Y a  $P/\rho$  carga de presión.

Las pérdidas por fricción incluidas en la ecuación del balance energético pueden tener diversos orígenes siendo los principales la rugosidad relativa de los ductos y el paso del fluido a través de accesorios. Para calcular las pérdidas en el primer caso puede hacerse uso de la gráfica 1 que es la representación gráfica de la ecuación.

$$f = \frac{(F) D^2 gc}{L V^2}$$

donde:

$(F)_f$ , pérdidas de carga debido a la fricción ( $\frac{grf-cm}{grm}$ )

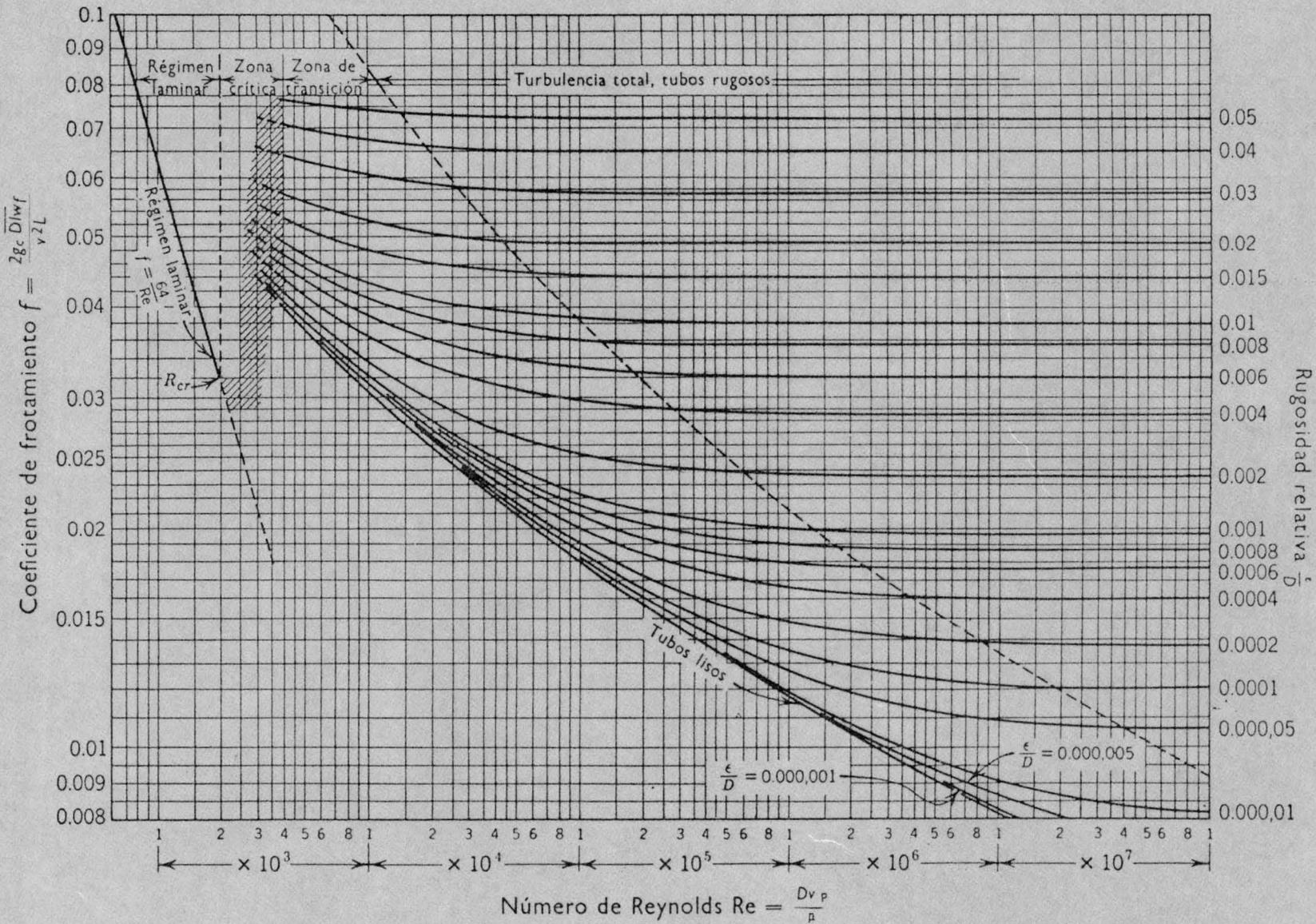
$D$ , diámetro del ducto (cm)

$L$ , longitud del ducto (cm)

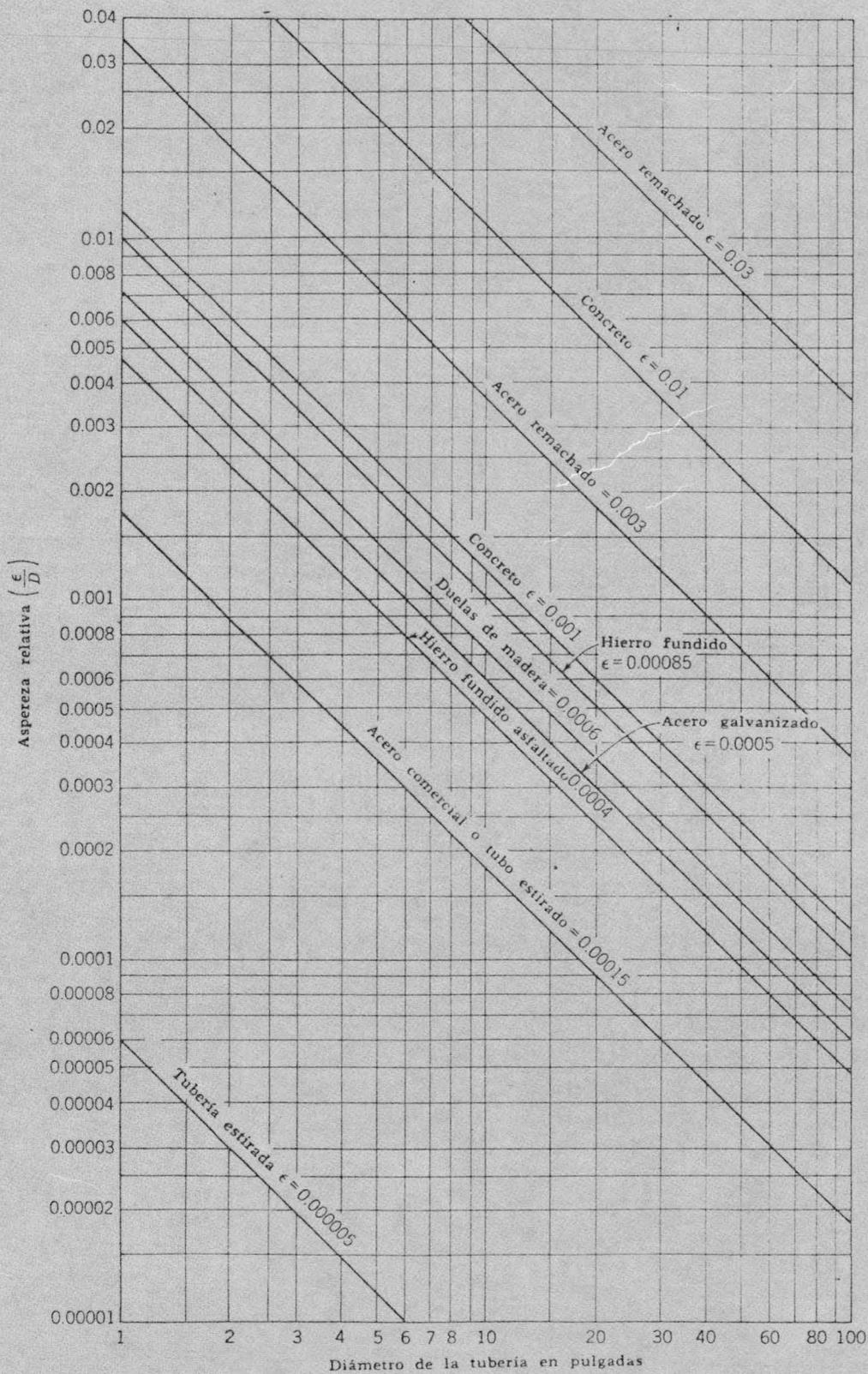
$V$ , velocidad del fluido (cm/seg)

y  $f$  es una coeficiente de fricción que está en función del No. de  $Re$  y de la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ) de los tubos; éste último valor se puede obtener por medio de la gráfica 2 en que viene en función del diámetro para tubos de diversos materiales.

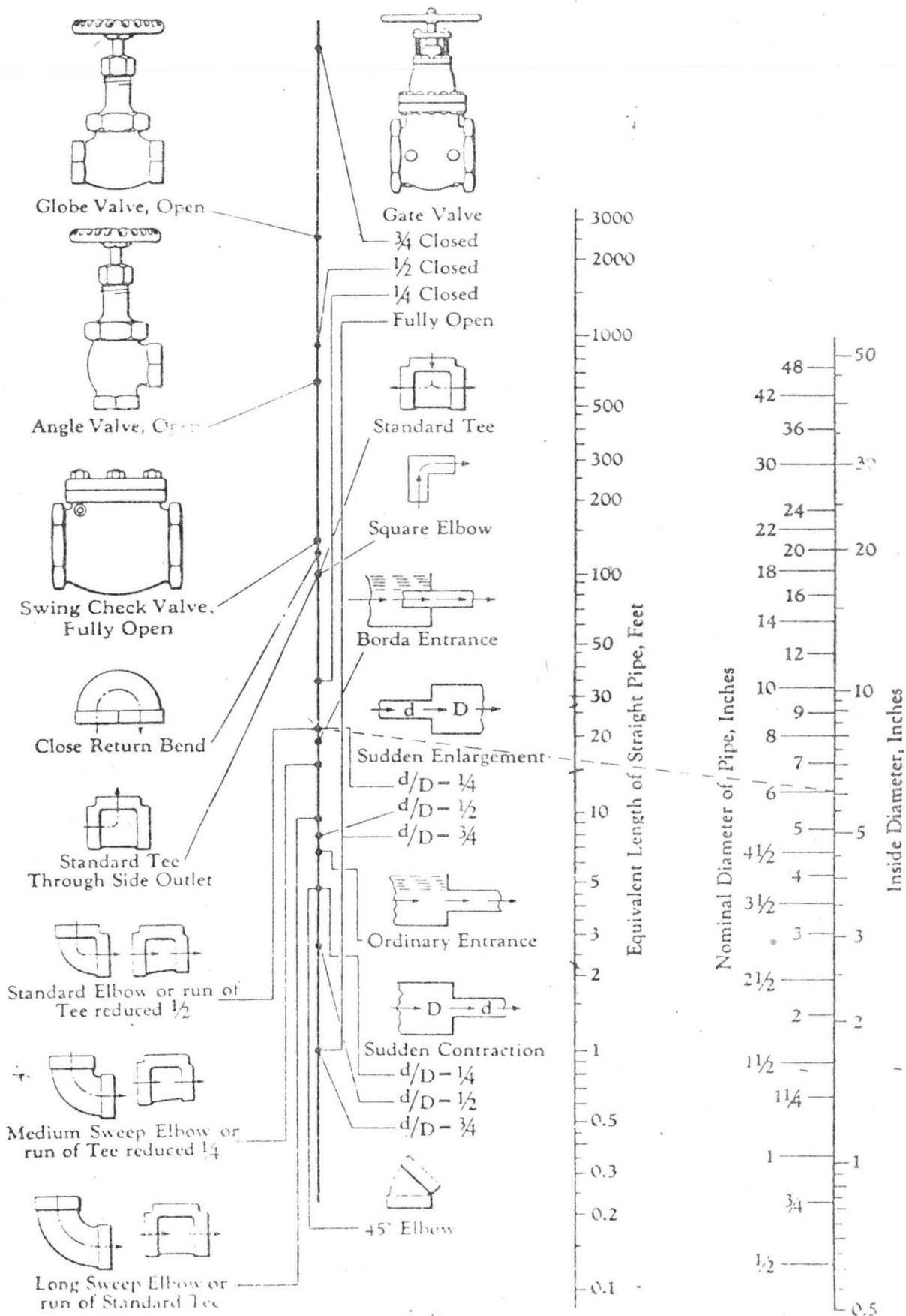
Para el caso de pérdidas debido al paso del fluido por accesorios pueden considerarse éstos como un equivalente a una longitud determinada de tubo recto; estos valores pueden obtenerse -



GRAF. 1 Coeficiente de frotamiento en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la superficie del tubo. (1)



GRAF. 2 Rugosidad relativa en función del diámetro.



NOMOGRAMA I

Resistencia de Válvulas y accesorios para Flujo de Fluidos.

del nomograma 1.

PROCEDIMIENTO:

Se aplica la ecuación del Balance de energía en 3 casos diferentes dentro del sistema.

A). Se calculará la potencia necesaria de la bomba para transportar el agua del punto 1 al punto 2 de acuerdo a la figura 8. Para realizar los cálculos debe suponerse que los niveles permanecen constantes estando éstos a la mitad de la capacidad de cada tambor (28.5 cmm).

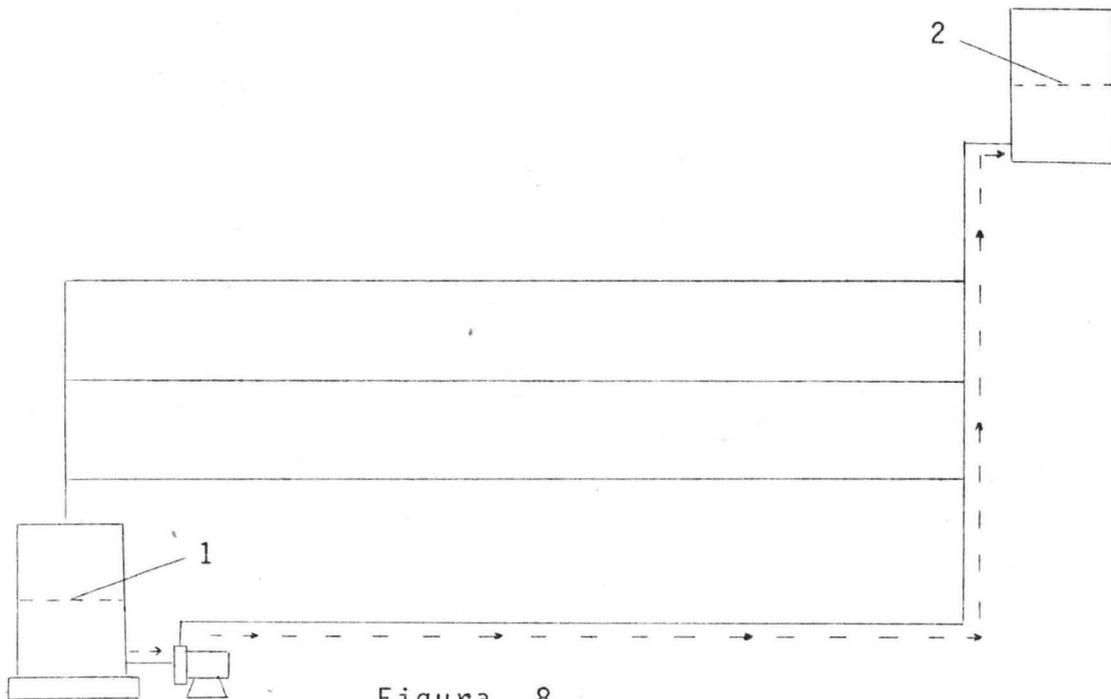


Figura 8

B). Se calculará la caída de presión entre los puntos 1 y 2 de acuerdo a la figura 9; en este caso debe hacerse la misma suposición respecto al nivel del tambor superior, es decir, considerarlo constante.

C). Se calcularán las pérdidas por fricción  $F$ , en la sección -- M-3, para ello se trabajará con la bomba cuyo gasto es ya conocido; al realizarse la práctica deben cerrarse las válvulas V-1, V-3 y V-5 para permitir la recirculación por la rama 2.

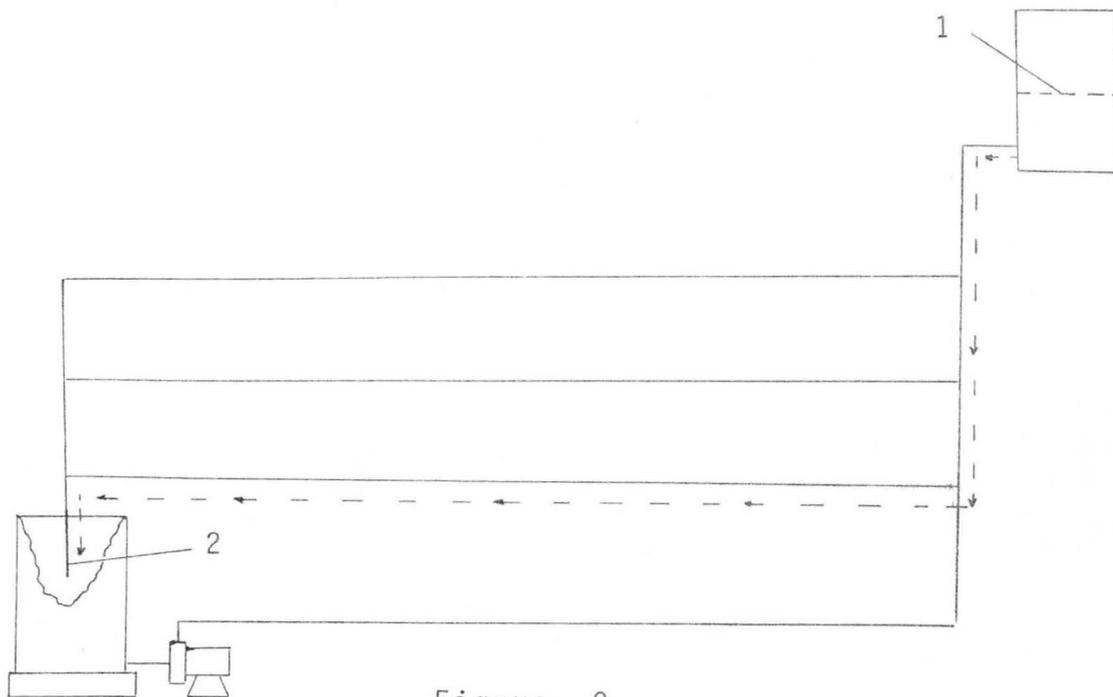


Figura 9

## SOLUCION Y RESULTADOS:

CASO A). Estando ambos tambores llenos hasta la mitad de su -- capacidad la diferencia de alturas será de 244.5 cm:

El gasto medio de la bomba es de  $1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg}$ ; la densidad del agua a  $26^\circ\text{C}$  es  $0.99682 \text{ gr/cm}^3$  y la viscosidad a la misma -- temperatura es  $0.00862 \text{ gr/cm-seg}$

Deben ahora determinarse las pérdidas por fricción en las distintas secciones y accesorios por los que atraviesa el fluido -- al ir del punto 1 al punto 2:

-Salida del tambor (Boquilla de borda), el diámetro nominal de la boquilla es 1.25 pulg.

$$F = 100 \text{ cm} \quad (\text{según nomograma 1})$$

-Contracción Súbita (Bushing 1.25 pulg- 1pulg).

Para calcular las pérdidas se usará la siguiente fórmula(1):

$$F = K \frac{V_2^2}{2 \text{ gc}}$$

donde K es una constante en función de la relación de áreas  $A_2/A_1$  y  $V_2$  la velocidad en el área menor ( $A_2$ ), (ver apéndice 2).

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{5.575 \text{ cm}^2}{9.645 \text{ cm}^2} = 0.577 \quad \text{por lo tanto } K = 0.18$$

(1) Vennard, John y Street, Robert, Elementos de Mecánica de -- Fluidos. México, CECSA, 1979, p. p. 467.

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg}}{5.575 \text{ cm}^2} = 269.217 \text{ cm/seg}$$

$$F = (0.18) \frac{269.217 \text{ cm/seg}}{2 (980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)} = 6.659 \text{ grf-cm/grm}$$

-Sección de tubería de 1 pulg. diam. nom. (long. 18 cm).

$$D_{int} = 1.049 \text{ pulg.} \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg.}^2} = 2.664 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{(2.664 \text{ cm}) (269.217 \text{ cm/seg}) (.99682 \text{ grm/cm}^3)}{(0.00862 \text{ grm/cm-sec})}$$

$$= 82,958.463$$

Según la gráfica 2  $(\epsilon/D) = 0.006$ , con este valor y el Re -- obtenemos el valor de f en la gráfica 1:

$$f = 0.033$$

así,

$$(F)_f = \frac{f V^2 L}{2 g_c D} = \frac{(0.033) (269.288 \text{ cm/seg})^2 (118 \text{ cm})}{2 (980 \text{ grm-cm/grf-sec}) (2.664 \text{ cm})}$$

$$= 54.080 \text{ grf-cm/grm}$$

-Sección de tubería de 1.25 pulg. diám. nom. en carga y ---- descarga de la bomba (long. 15 cm):

$$A = 1.495 \text{ pulg.} \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg.}^2} = 9.645 \text{ cm}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg}}{9.645 \text{ cm}^2} = 155.613 \text{ cm/seg}$$

$$D_{int} = 1.380 \text{ pulg.} \cdot \frac{2.52 \text{ cm}}{1 \text{ pulg.}} = 3.505 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{(3.505) (155.613) (.99682)}{(0.00862)} = 63,072.984$$

$$(\epsilon/D) = 0.005$$

$$f = 0.032$$

A la longitud de la tubería hay que agregar la equivalente de un codo de 90, 90 cm:

$$L = (15 + 90) \text{ cm} = 105 \text{ cm}$$

$$(F)_f = \frac{f V^2 L}{2gc D} = \frac{(0.032) (155.613)^2 (105)}{2 (980) (3.505)} = 11.843 \text{ grf-cm/grm}$$

-Contracción súbita (Bushing 1.25 pulg - 3/4 pulg).

Se aplicará la fórmula usada anteriormente para contracciones:

$$A_1 = 9.645 \text{ cm}^2, \quad A_2 = 0.5333 \text{ pulg}^2 \cdot \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg}^2} = 3.440 \text{ cm}^2$$

$$A_2/A_1 = 3.440/9.645 = 0.356 \quad \text{por lo tanto } K = 0.30$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{1500.89}{3.440} = 436.305 \text{ cm/seg}$$

$$F = (0.30) \frac{(436.305)^2}{2(980)} = 29.137 \text{ grf-cm/grm}$$

-Sección de tubería de 3/4 pulg. diám. nom. (long. 262.5 cm)

$$A = 3.440 \text{ cm}^2$$

$$D_{\text{int}} = 0.824 \text{ pulg.} \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 2.092 \text{ cm.}$$

$$V = 436.305 \text{ cm/seg}$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{(2.092) (436.305) (99682)}{(0.00862)} = 105,550.760$$

Para el galvanizado  $\epsilon = 0.015 \text{ cm}$ , por lo tanto

$$(\epsilon/D) = 0.015/2.092 = 0.0071$$

$$f = 0.035$$

A la longitud de la tubería hay que agregar la equivalente de un codo de 90, 60 cm:

$$L = (262.5 + 60) \text{ cm} = 322.500 \text{ cm}$$

$$(F)_f = \frac{f V^2 L}{2 g c D} = \frac{(0.035)(436.305)^2 (322.500)}{2(980) (2.092)} = 524.035 \text{ grf-cm/grm}$$

-Expansión súbita (Bushing 3/4 pulg- 1 pulg).

Para el cálculo de las pérdidas se usará la siguiente fórmula(2):

(2) Vennard, John y Street, Robert, Elementos de Mecánica de --  
Fluido.  
México, CECSA, 1979, p. p. 463

$$F = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \text{ gc}}$$

donde  $V_1$  es la velocidad en el tubo de menor área y  $V_2$  la velocidad en el tubo de mayor área.

$$V_1 = 436.305 \text{ cm/seg}, \quad V_2 = 269.288 \text{ cm/seg}$$

$$F = \frac{(436.305 - 269.288)^2}{2 (980)} = 14.231 \text{ grf-cm/grm}$$

- Sección de tubería de 1 pulg. diám. nom. (long. 169).

$$V = 269.288 \text{ cm/seg}$$

$$D_{\text{int}} = 2.664 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{(2.664)(269.288) (.99682)}{(0.00862)} = 82,958.463$$

$$(\epsilon/D) = 0.006$$

$$f = 0.033$$

A la longitud de la tubería hay que agregar la de los siguientes accesorios:

$$2 \text{ codos } 90 \quad = \quad 2(80\text{cm}) \quad = \quad 160$$

$$3 \text{ tees} \quad = \quad 3(60\text{cm}) \quad = \quad 180$$

$$v. \text{ de globo} \quad = \quad (800\text{cm}) \quad = \quad 800$$

$$v. \text{ de comp.} = (18 \text{ cm}) = \frac{18}{1158}$$

$$L = (169 + 1158) \text{ cm} = 1327$$

$$(F)_f = \frac{f V^2 L}{2 g c D} = \frac{(0.033)(269.288)^2(1327)}{2(980)(2.664)} = 612.775 \text{ grf-cm/grm}$$

-Expansión súbita (Bushing 1 pulg- 1.25 pulg).

Se aplicará la misma fórmula usada anteriormente para expansiones:

$$V_1 = 269.288 \text{ cm/seg}, V_2 = 155.613 \text{ cm/seg}$$

$$F = \frac{(269.288 - 155.613)^2}{2 (980)} = 6.592 \text{ grf-cm/grm}$$

El total de las pérdidas por fricción será:

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Contracción súbita (1.25-1) ..  | 6.659                      |
| Tubo 1 pulg (187 cm) .....      | 666.855                    |
| Tubo 1.25 pulg .....            | 11.843                     |
| Contracción súbita (1.25-3/4)   | 29.137                     |
| Tubo 3/4 pulg .....             | 524.035                    |
| Expansión súbita (3/4-1) .....  | 14.231                     |
| Expansión súbita (1-1.25) ..... | 6.592                      |
|                                 | <u>1259.352</u> grf-cm/grm |

La presión en el punto 1 y en el punto 2 es la misma (presión atmosférica) por lo que la diferencia de presiones es cero. La velocidad en ambos puntos también será la misma -

valiendo también cero su diferencia. De este modo la ecuación del balance de energía queda:

$$g/gc \Delta Z = -w - F$$

resolviendo para w tenemos:

$$w = g/gc \Delta Z + F = \frac{(980 \text{ cm/seg}^2) (224.5 \text{ cm})}{(980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)} + 1259.352 \frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}$$

$$w = 1483.852 \frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}}$$

este es el trabajo necesario para efectuar por la bomba, - la Potencia teórica se calcula del siguiente modo:

$$P.T. = (w) (\rho) (Q) = 1483.852 \frac{\text{grf-cm}}{\text{grm}} (.99682 \frac{\text{grm}}{\text{cm}^3}) (1500.890 \frac{\text{cm}^3}{\text{grm}})$$

$$P.T. = 2220016.5 \frac{\text{grf-cm}}{\text{seg}} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000\text{gr}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100\text{cm}} \cdot \frac{1 \text{ CV}}{75 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg}}} \cdot \frac{0.986\text{HP}}{1 \text{ CV}}$$

$$P.T. = 0.291 \text{ HP}$$

Suponiendo por la bomba una eficiencia del 40% calculamos - la Potencia real:

$$\begin{aligned} \text{Potencia Real} &= Pt/ef \\ &= (0.291 \text{ HP})/0.40 \\ &= 0.727 \text{ HP} \end{aligned}$$

CASO B). Estando el tambor superior lleno hasta la mitad de su capacidad la diferencia de alturas es de 200 cm; el gasto promedio con que se descarga el agua por la rama 1 es de  $756.913 \text{ cm}^3/\text{seg}$ ; la densidad del agua a  $26^\circ\text{C}$  es  $.99682 \text{ grm}/\text{cm}^3$  y la viscosidad a la misma temperatura es  $0.00862 \text{ grm}/\text{cm}\text{-seg}$ .

El primer paso será determinar las pérdidas por fricción en los accesorios y tuberías usando las gráficas 1 y 2 y el nomograma 1.

-Contracción súbita (Bushing 1.25 pulg - 1 pulg).

Usando la fórmula para contracciones del caso anterior.

$$F = \frac{K}{2} \frac{V_2^2}{gc}$$

$$A_2/A_1 = 5.575 \text{ cm}^2/9.645 \text{ cm}^2 = 0.577 \text{ por lo tanto } K = 0.18$$

$$V_2 = Q/A_2 = 756.913 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}/5.575 \text{ cm}^2 = 135.804 \text{ cm/seg}$$

$$F = (0.18) \frac{(135.804)^2}{2(980)} = 1.693 \text{ grf}\text{-cm}/\text{grm}$$

-Sección de tubería de 1 pulg. diám. nom. (long. 477 cm).

$$V = 135.804 \text{ cm/seg}$$

$$D_{\text{int}} = 2.664 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{(2.664)(135.804)(0.99682)}{(0.00862)} = 42,150.677$$

$$(\epsilon/D) = 0.006$$

$$f = 0.034$$

A la longitud de la tubería hay que agregar la de los siguientes accesorios:

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| Boquilla de borda.....            | 100        |
| Codo 90.....                      | 80         |
| Válvula de globo.....             | 800        |
| Válvula de compuerta.....         | 18         |
| 2 empalmes T (paso en ángulo).... | 400        |
| 2 empalmes T tipo.....            | <u>180</u> |
|                                   | 1578 cm    |

$$L = (477 + 1578)\text{cm} = 2055 \text{ cm}$$

$$(F)_f = \frac{f V^2 L}{2 g c D} = \frac{(0.034)(135.804)^2 (2055)}{2 (980)(2.664)} = 246.788 \text{ grf-cm/grm}$$

El total de pérdidas por fricción será:

|                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| Contracción súbita (1.25-1)..... | 1.693             |
| Tubo de 1 pulg y accesorios..... | <u>246.788</u>    |
|                                  | 248.481grf-cm/grm |

Como no hay trabajo realizado al sistema la ecuación del--

balance de energía queda:

$$\Delta P/\rho + \frac{g}{gc} \Delta Z + \frac{\Delta V^2}{2gc} = -F$$

Resolviendo para  $\Delta P/\rho$

$$P/\rho = -F - \frac{g}{gc} \Delta Z - \frac{\Delta V^2}{2gc}$$

$$P/\rho = -248.481 \text{ grf-cm/grm} - \frac{(980 \text{ cm/seg}^2)(0-200 \text{ cm})}{(980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)}$$

$$- \frac{(135.804 \text{ cm/seg})^2 - 0}{2(980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)}$$

$$\Delta P/\rho = -57.879 \text{ grf-cm/grm}$$

$$\Delta P = (-57.890 \text{ grf-cm/grm}) \rho$$

$$\Delta P = (-57.890 \text{ grf-cm/grm})(0.996892 \text{ grm/cm}^3)$$

$$\Delta P = -57.705 \text{ grf/cm}^2$$

El signo negativo indica que la presión en el punto 1 es mayor que el punto 2.

CASO C). Los datos necesarios para resolver este caso son:

$$\Delta Z = 0$$

$$Q = 1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$\rho \text{ del agua a } 26^\circ\text{C} = 0.99682 \text{ grm/cm}^3$$

$$\rho \text{ del mercurio a } 26^\circ\text{C} = 13.531 \text{ grm/cm}^3$$

$$A_1 = 5.575 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 1.901 \text{ cm}^2$$

$$V_1 = Q/A_1 = 1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg} / 5.575 \text{ cm}^2 = 269.217 \text{ cm/seg}$$

$$V_2 = Q/A_2 = 1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg} / 1.961 \text{ cm}^2 = 765.369 \text{ cm/seg}$$

$$(V_2^2 - V_1^2)/2gc = \frac{(765.369)^2 - (269.217)^2}{2(980)} = 261.893 \text{ grf-cm/seg}^2$$

La lectura manométrica obtenida fué de 14 cm, por lo tanto

$$P = h(\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) \text{ g/gc}$$

$$= 14\text{cm}(13.531 \text{ grm/cm}^3 - 0.99682 \text{ grm/cm}^3) \frac{(980 \text{ cm/seg}^2)}{(980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)}$$

$$= -175.478 \text{ grf/cm}^2$$

Se agrega el signo negativo puesto que la presión inicial es -- mayor que la final.

Como no se efectúa trabajo la ecuación del balance de energía - queda:

$$\Delta V^2 / 2 \text{ gc} - \Delta P / \rho = -F$$

Sustituyendo,

$$-F = 261.893 \text{ grf-cm/grm} - \frac{175.478 \text{ grf/grm}}{0.99682}$$

$$-F = 85.855 \text{ grf-cm/grm}$$

## PRACTICA No. 4

## "CALIBRACION Y USO DEL MEDIDOR VENTURI"

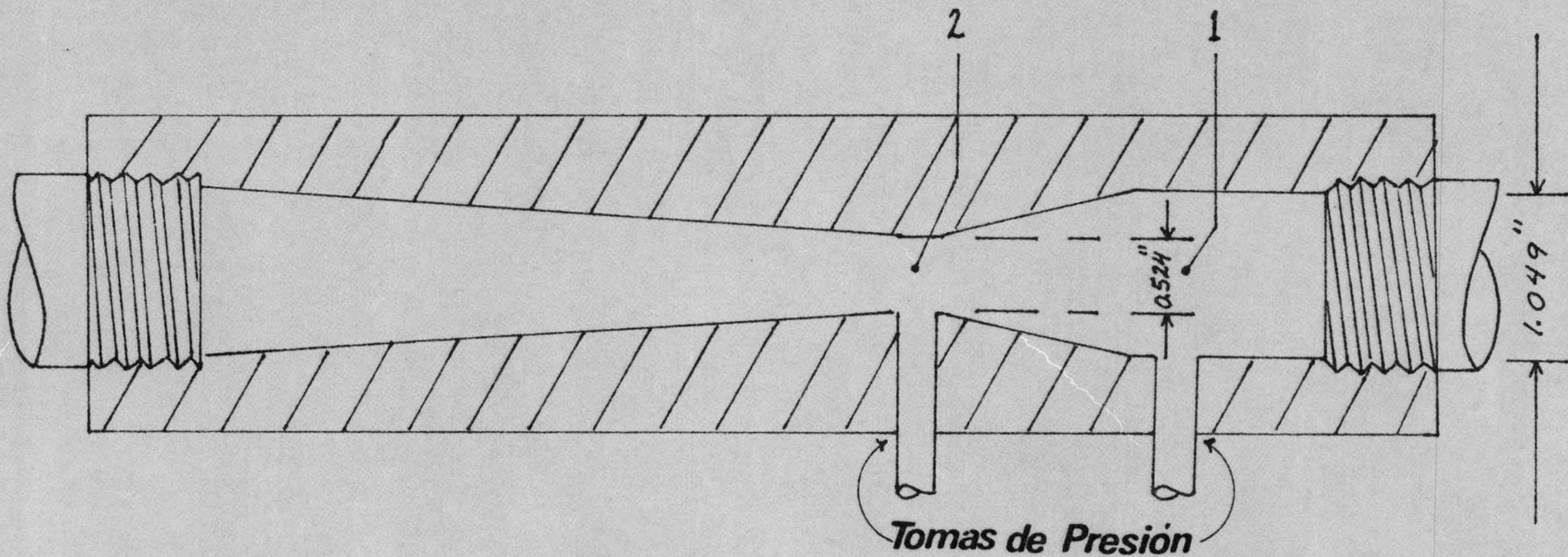
## OBJETIVO:

Conocer mediante su aplicación el uso del medidor de Vénturi, - determinando anteriormente su coeficiente.

## BASE TEORICA:

Cuando se hace una contracción en un tubo de corriente se produce una aceleración positiva en el flujo y por lo tanto un descenso en la carga hidráulica de presión lo cual está directamente relacionado con el régimen del flujo y, por lo tanto, cons--tituye un medidor excelente por medio del cual se puede calcu--lar el régimen de flujo a partir de las mediciones de presión.- Basándose en esto, Clemens Herschel (1881) inventó un medidor - que lleva el nombre de Vénturi filósofo italiano que fué el --- primer hidráulico que experimentó con tubos divergentes.

La figura 1 muestra el Vénturi utilizado en nuestro sistema; - éste consta de 3 partes: una convergente, otra de sección míni--ma o garganta y finalmente una tercera parte divergente. Para - aminorar pérdidas la inclinación en la parte convergente suele ser del orden de los  $20^\circ$  y la inclinación en la parte divergen--te suele estar entre los  $5^\circ$  y  $7^\circ$ . Se mide la diferencia de pre--siones entre la sección 1, aguas arriba de la parte convergente, y la sección 2, garganta del Vénturi mediante un manómetro dife



**F-1**    **Medidor Venturi**

rencial.

El caudal que pasa por el medidor se puede medir mediante la siguiente fórmula (1):

$$W = Q \rho = C A_2 \sqrt{\frac{2 \text{ gc } \rho \Delta P}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

donde:

W , gasto másico en  $\frac{\text{grm}}{\text{seg}}$

Q ; caudal del fluido principal,  $\frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$

$\rho$  , densidad del fluido principal,  $\frac{\text{grm}}{\text{cm}^3}$

C , coeficiente del medidor Vénturi

$A_1$  , sección transversal en la parte 1 del Vénturi,  $\text{cm}^2$

$A_2$  , sección transversal en la parte 2 del Vénturi,  $\text{cm}^2$

$\Delta P$  , diferencia de presiones entre los puntos 1 y 2,  $\frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$

gc, factor de conversión,  $980 \frac{\text{grm cm}}{\text{grf seg}^2}$

(1) Brown, George G., Operaciones Básicas de la Ing. Química España, Ed. Marín, S.A., p. p. 166.

Esta ecuación se deduce aplicado el Balance de Energía al medi-  
dor y tomando en cuenta las pérdidas por fricción mediante la -  
introducción del coeficiente C cuyo valor se obtiene experimen-  
talmente.

Este medidor es ideal en tuberías donde el flujo es continuo --  
porque produce depresión con pérdidas mínimas.

#### PROCEDIMIENTO:

Se debe determinar primero el valor del coeficiente del medi--  
dor, ésto se puede hacer trabajando con un caudal conocido, mi-  
diendo la caída de presión y aplicando la ecuación resuelta pa-  
ra C. Para ello se trabajará con la bomba cuyo gasto es ya cono-  
cido ( $1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg}$ ); para trabajar en recirculación se cie-  
rran las válvulas V-2, V-3 y V-5, abriendo las V-1 y V-4.

Conociendo el valor del coeficiente C se procede a medir los -  
gastos en 2 distintos casos dentro del sistema:

- A) Funcionando la bomba en recirculación con las 3 ramas abieru  
tas. Para ello debe trabajarse con el tambor inferior lleno  
hasta la marca superior, cerrar V-5 y dejar el resto abier-  
to.
- B) Usando la caída libre del agua desde el tambor superior. En  
este caso debe llevarse, mediante la bomba, el mismo volú--  
men del caso anterior al tambor superior; ésto se hace ce--

cerrando las válvulas V-1, V-2 y V-3 y abriendo las V-4 y V-5, cuando esté ya vacío el inferior debe cerrarse la válvula V-4. Para hacer las mediciones se deja correr el agua por la rama 1 abriendo la válvula V-1.

#### SOLUCION Y RESULTADOS:

Para la calibración o determinación del coeficiente C para el Vénturi los datos necesarios se dan a continuación:

$$Q = 1500.890 \text{ cm}^3/\text{seg} \text{ (gasto de la bomba).}$$

$$T = 26^\circ\text{C}, \text{ temperatura promedio del agua.}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13.531 \text{ grm/cm}^3 \text{ a } 26^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0.99682 \text{ grm/cm}^3 \text{ a } 26^\circ\text{C}$$

Para el Vénturi:

$$D_1 = 1.049 \text{ pulg} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 2.664 \text{ cm}$$

$$A_1 = \frac{D_1^2}{4} = \frac{(2.664 \text{ cm})^2}{4} = 5.575 \text{ cm}^2$$

$$D_2 = 0.524 \text{ pulg} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 1.330 \text{ cm}$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{(1.330 \text{ cm})^2}{4} = 1.391 \text{ cm}^2$$

Al realizar la prueba la altura manométrica fué de 48 cm.; con este dato podemos obtener la caída de presión mediante la ecuación:

$$\Delta P = h (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) \frac{g}{gc}$$

$$\Delta P = 48 \text{ cm} \left( 13.531 \frac{\text{grm}}{\text{cm}^3} - 0.99682 \frac{\text{grm}}{\text{cm}^3} \right) \frac{980 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}}{980 \frac{\text{grm}}{\text{grf}} \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}}$$

$$\Delta P = 601.640 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$$

La ecuación del Vénturi resuelta para C queda:

$$C = \frac{Q \rho}{A_2 \sqrt{\frac{2(gc)(\rho)(\Delta P)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}}$$

Sustituyendo,

$$C = \frac{(1500.89 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}) (0.99682 \frac{\text{grm}}{\text{cm}^3})}{1.391 \text{cm}^2 \sqrt{\frac{2(980 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} \frac{\text{grm}}{\text{grf}})(0.99682 \frac{\text{grm}}{\text{cm}^3})(601.640 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2})}{1 - \left(\frac{1.391}{5.575}\right)^2}}$$

$$C = 0.96$$

Conociendo el valor del coeficiente podemos hacer uso de la e-

cuación para calcular los gastos en los 2 casos:

- a) En este primer caso en el que funciona la bomba en recirculación con las 3 ramas abiertas la lectura manométrica es de 10.5 cm de donde:

$$\Delta P = 10.5 (13.531 - 0.99682) = 131.600 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$$

Sustituyendo en la ecuación del Vénturi tendremos:

$$Q = \frac{(0.96)(1.391)}{0.99682} \sqrt{\frac{2(980)(0.99682)(131.600)}{1 - \left(\frac{1.391}{5.575}\right)^2}}$$

$$Q = 701.460 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

que es el gasto en la rama 1.

- b) Para el segundo caso la diferencia manométrica es de 11 cm, entonces:

$$\Delta P = 11 (13.531 - 0.99682) = 137.875 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$$

Sustituyendo en la ecuación de Vénturi

$$Q = \frac{(0.96)(1.391)}{0.99682} \sqrt{\frac{2(980)(0.99682)(137.875)}{1 - \left(\frac{1.391}{5.575}\right)^2}}$$

$$Q = 717.989 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

## PRACTICA No. 5

## "CALIBRACION Y USO DEL MEDIDOR DE ORIFICIO"

## OBJETIVO:

Conocer mediante su aplicación el medidor de orificio determinando experimentalmente el coeficiente  $C_0$  de su ecuación para usarla posteriormente en cálculos de gasto.

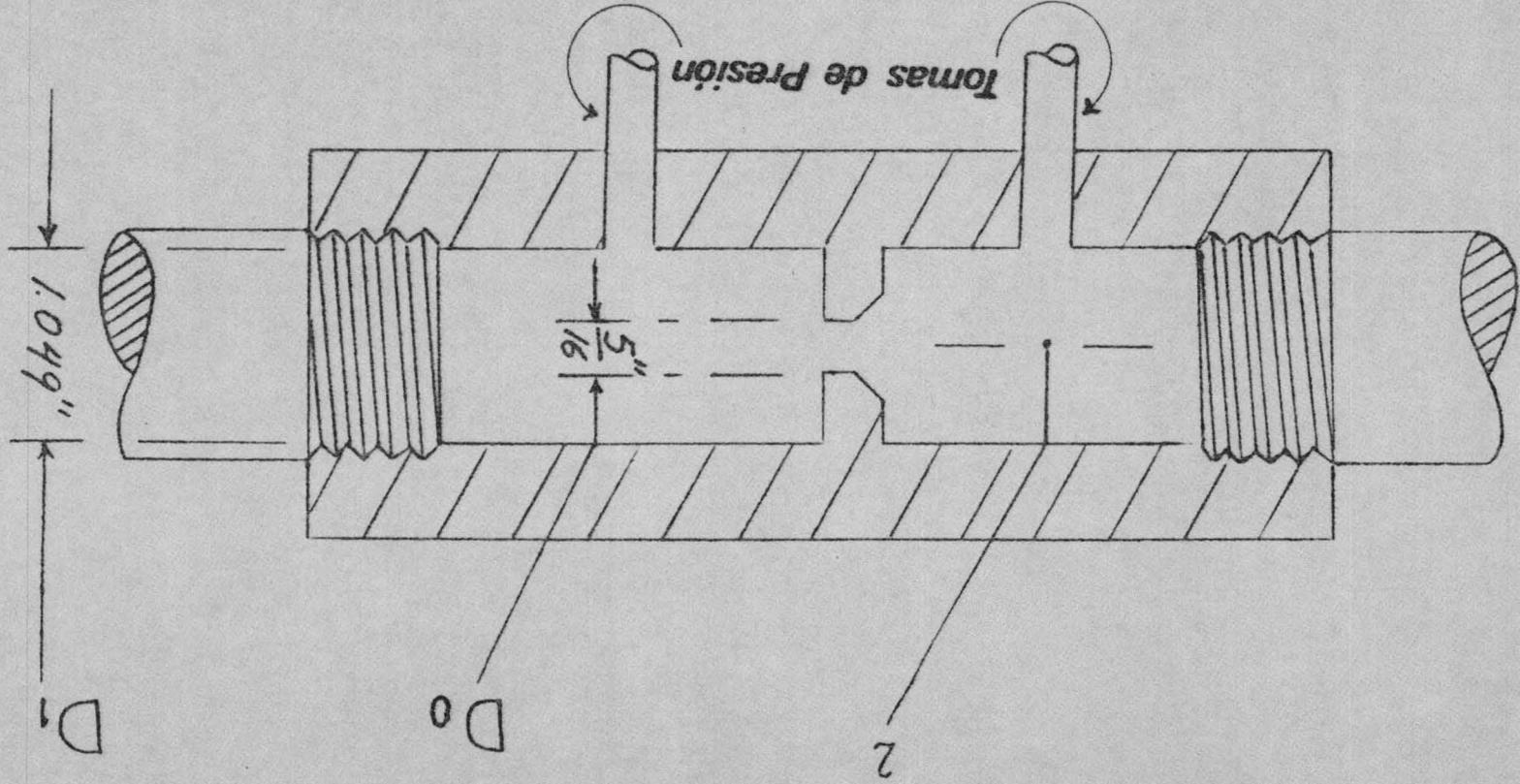
## BASE TEORICA:

Los medidores de orificio son de construcción mucho más sencilla que los Vénturi, constan de una placa de metal que lleva un orificio circular al centro. La contracción que experimentará una corriente de flujo al pasar por dicho orificio es muy considerable.

El punto de mínima sección transversal es llamado "vena contracta" (punto 2 de la figura 2) y es ahí donde se determina la máxima caída de presión. En la práctica el diámetro de la corriente en la vena contracta es desconocido, pero puede expresarse como una fracción del diámetro del orificio ( $D_0$ ) que es de fácil medida.

Aplicando la ecuación del balance de energía e introduciendo una constante que tenga en cuenta la diferencia de velocidad en la vena contracta y el orificio así como las pérdidas por fric-

F-2 Medidor de Orificio



ción se obtiene la siguiente ecuación (1):

$$W = \rho Q = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2 \text{ gc } \rho \Delta P}{1 - \left(\frac{D_0}{D_1}\right)^4}}$$

donde:

$W$  = gasto másico, grm/seg

$Q$  = caudal del fluido principal,  $\text{cm}^3/\text{seg}$

$\rho$  = densidad del fluido circulante,  $\text{grm}/\text{cm}^3$

$C_0$  = coeficiente del medidor

$D_0$  = diámetro del orificio, cm

$D_1$  = diámetro de la tubería, cm

$A_0$  = área del orificio,  $\text{cm}^2$

$\Delta P$  = diferencia de presiones entre el punto aguas arriba del orificio y la vena contracta,  $\text{grf}/\text{cm}^2$

$\text{gc}$  = factor de conversión,  $\frac{\text{grm}}{\text{grf}} \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$

El coeficiente  $C_0$  depende de la relación de diámetro del orificio y de la tubería, de la posición de las tomas de presión y del No. de Reynolds para el líquido que se mueve en la tubería.

---

(1) Brown, George G., Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. España, Ed. Marin, S. A., p.p. 167.

## PROCEDIMIENTO:

Debe determinarse el valor del coeficiente  $C_0$  para este medidor, ésto se hará de la siguiente forma: se aprovechará la caída libre del agua del tambor superior, para ello debe llenarse el tambor inferior hasta la marca superior y llevarse este volumen al tambor superior por medio de la bomba, para ello deben cerrarse las válvulas V-1, V-2 y V-3, cerrando inmediatamente la válvula V-4 después de que se halla vaciado el tambor inferior, luego se deja correr el agua por la rama 2 abriéndose la válvula V-2; se lee la diferencia de alturas en el manómetro para determinar la caída de presión y se resuelve la ecuación del medidor para  $C_0$ .

Conociendo este valor se procede a calcular el gasto en el siguiente caso: funcionando la bomba en recirculación con las tres ramas abiertas cerrando la válvula V-5 y dejando el resto abierto.

## SOLUCION Y RESULTADOS:

Los datos disponibles son:

$$\rho_{Hg} = 13.531 \text{ grm/cm}^3 \text{ a } 26^\circ\text{C}$$

$$\rho_{H_2O} = 0.99682 \text{ grm/cm}^3 \text{ a } 26^\circ\text{C}$$

$$D_0 = 0.3125 \text{ pulg} \cdot \frac{2.54 \text{ cm}}{\text{pulg}} = 0.7937 \text{ cm}$$

$$D_1 = 1.049 \text{ pulg} \cdot \frac{2.54 \text{ cm}}{\text{pulg}} = 2.664 \text{ cm}$$

$$A_0 = \pi D_0^2 / 4 = \pi (0.7937 \text{ cm})^2 / 4 = 0.4948 \text{ cm}^2$$

El gasto medio en la caída libre del agua por la rama 2 es de 236.026 cm<sup>3</sup>/seg. la lectura manométrica fué de 15 cm, por lo -- tanto:

$$\Delta P = h (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) g/gc = \frac{15\text{cm}(13.531\text{grm/cm}^3 - 0.99682 \text{ grm/cm}^3)(980 \text{ cm/seg}^2)}{(980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)}$$

$$\Delta P = 188.012 \text{ grf/cm}^2$$

Resolviendo la ecuación del medidor de orificio para  $C_o$  queda:

$$C_o = \frac{Q \rho}{A_o \sqrt{\frac{2 g_c (\Delta P) (\rho)}{1 - (D_o/D_1)^4}}}$$

Sustituyendo,

$$C_o = \frac{(236.026 \text{ cm}^3/\text{seg}) (0.99682 \text{ grm/cm}^3)}{(0.4948\text{cm}^2) \sqrt{\frac{2(980 \text{ grm-cm/grf-sec}^2)(188.012\text{grf/cm}^2)(0.99682\text{grm/cm}^3)}{1 - (0.7937/2.664)^4}}}$$

$$C_o = 0.78$$

Conociendo este valor podemos calcular el gasto en el caso --- descrito en el procedimiento.

La lectura manométrica fué de 12 cm, entonces

$$\Delta P = 12(13.531 - 0.99682) \frac{(980)}{(980)} = 150.410 \text{ grf/cm}^2$$

Aplicando la ecuación para el gasto se tiene

$$Q = \frac{(0.78)(0.4948)}{0.99682} \sqrt{\frac{2(980)(0.99682)(150.410)}{1 - (0.7937/2.664)^4}}$$

$$Q = 210.717 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

### MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Para evitar el deterioro del sistema deben seguirse ciertas -- recomendaciones prácticas que a continuación se dan.

Es natural que el agua forme incrustaciones dentro de la tubería debido a las sales que tiene disueltas, para evitar esto -- deben dejarse abiertas todas las válvulas cuando el sistema no esté en uso para que el agua no quede estancada; por otro lado es recomendable que el agua se cambie cada vez que ésta esté -- turbia ya que estando así puede ir opacando el tubo de acrílico transparente dificultando así la práctica número 2

Al finalizar el semestre los tambores deben ser separados del-

sistema para limpiarlos y pintarlos al menos por la parte interior, ésto para evitar que la lámina se oxide.

Finalmente debe revizarse periódicamente que no existan fugas, de ser así debe procederse a aplicar sellador y a apretar en el lugar de la falla.

### COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La realización de este trabajo principió con la instalación y adecuación del ramal con lo cual se ganó algo de experiencia en el manejo de herramientas e instrumentos necesarios para este propósito; una vez instalado el ramal se pudo estudiar el Flujo de Fluidos de 2 modos: teórico y prácticamente.

Al realizar las pruebas se pudo ver que los resultados no siempre coinciden con lo pronosticado por la teoría ya que en la práctica siempre hay factores que no se consideran en el plano teórico, sin embargo los conceptos se comprenden y se aprenden con mayor facilidad.

Es importante aclarar que muchos de los resultados aquí presentados están sujetos en gran parte a la visualización de quien realiza la práctica por lo que no deben esperarse siempre resultados exactamente iguales.

El objetivo planteado al principio quedó cumplido quedando el ramal instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Monterrey y permitiendo que en él se realicen -- las prácticas aquí descritas, aunque pueden agregársele accesorios y hacerle modificaciones con el fin de diversificar y ampliar su utilidad.

# A P E N D I C E 1

## DIMENSIONES DE TUBERÍA ROSCADA

| Diámetro nominal de la tubería, en pulgadas | Diámetro exterior, en pulgadas | Tubería de acero de bajo contenido de carbono (ASA B 36, 10) |             |                                |             |   |             | Tubería subterránea de agua (AWWA 7A.4). Espesor en pulgadas | Tubería de fundición (ASA A40,5) Espesor en pulgadas | Tubería de bronce y de cobre (ASTM B42 y B43). Espesor en pulgadas |             |       |
|---|--------------------------------|--|-------------|--------------------------------|-------------|---|-------------|--|--|--|-------------|-------|
|   |                                | Espesor en pulgadas  |             | Diámetro interior, en pulgadas |             | Superficie transversal interna, en pulgadas cuadradas |             |  |  | Normal   | Extrafuerte |       |
|   |                                | Catálogo 40  | Catálogo 80 | Catálogo 40                    | Catálogo 80 | Catálogo 40   | Catálogo 80 |  |  |  |             |       |
| 1/8   | 0,405                          | 0,068  | 0,095       | 0,269                          | 0,215       | 0,0569  | 0,0363      | 0,068  |  | 0,062  | 0,100       |       |
| 1/4   | 0,540                          | 0,088  | 0,119       | 0,364                          | 0,302       | 0,1041  | 0,0716      | 0,088  |  | 0,082  | 0,123       |       |
| 3/8   | 0,675                          | 0,091  | 0,126       | 0,493                          | 0,423       | 0,1909  | 0,1405      | 0,091  |  | 0,090  | 0,127       |       |
| 1/2   | 0,840                          | 0,109  | 0,147       | 0,622                          | 0,546       | 0,3039  | 0,2341      | 0,109  |  | 0,107  | 0,149       |       |
| 3/4   | 1,050                          | 0,113  | 0,154       | 0,824                          | 0,742       | 0,5333  | 0,4324      | 0,113  |  | 0,114  | 0,157       |       |
| 1   | 1,315                          | 0,133  | 0,179       | 1,049                          | 0,957       | 0,8639  | 0,7193      | 0,133  |  | 0,126  | 0,882       |       |
| 1 1/4                                       | 1,660                          | 0,140  | 0,191       | 1,380                          | 1,278       | 1,495   | 1,283       | 0,140  | 0,187  | 0,146  | 0,194       |       |
| 1 1/2                                       | 1,900                          | 0,145  | 0,200       | 1,610                          | 1,500       | 2,036   | 1,767       | 0,145  | 0,195  | 0,150  | 0,203       |       |
| 2   | 2,375                          | 0,154  | 0,218       | 2,067                          | 1,939       | 3,356   | 2,953       | 0,154  | 0,211  | 0,156  | 0,221       |       |
| 2 1/2                                       | 2,875                          | 0,203  | 0,276       | 2,469                          | 2,323       | 4,788   | 4,238       | 0,203  | 0,241  | 0,187  | 0,280       |       |
|   |                                |  |             |                                |             |   |             | Mínimo   | Máximo   |  |             |       |
| 3   | 3,500                          | 0,216  | 0,300       | 3,068                          | 2,900       | 7,393   | 6,605       | 0,125  | 0,300  | 0,263  | 0,219       | 0,304 |
| 3 1/2                                       | 4,000                          | 0,226  | 0,318       | 3,548                          | 3,364       | 9,888   | 8,891       | 0,125  | 0,318  |  | 0,250       | 0,321 |
| 4   | 4,500                          | 0,237  | 0,337       | 4,026                          | 3,826       | 12,73   | 11,50       | 0,125  | 0,337  | 0,294  | 0,250       | 0,341 |
| 5   | 5,563                          | 0,258  | 0,375       | 5,047                          | 4,813       | 20,01   | 18,19       | 0,156  | 0,375  | 0,328  | 0,250       | 0,375 |
| 6   | 6,625                          | 0,280  | 0,432       | 6,065                          | 5,761       | 28,89   | 26,07       | 0,188  | 0,432  | 0,378  | 0,250       | 0,437 |
| 8   | 8,625                          | 0,322  | 0,500       | 7,981                          | 7,625       | 50,03   | 45,66       | 0,188  | 0,500  | 0,438  | 0,312       | 0,500 |
| 10  | 10,750                         | 0,365  | 0,593       | 10,020                         | 9,564       | 78,85   | 71,84       | 0,188  | 0,500  | 0,438  | 0,365       | 0,500 |
| 12  | 12,750                         | 0,406  | 0,687       | 11,938                         | 11,376      | 111,93  | 101,64      | 0,188  | 0,500  | 0,438  | 0,375       |       |

## A P E N D I C E 2

VALORES DE LA CONSTANTE K EN FUNCION DE LA RELACION  
DE AREAS  $A_2/A_1$

| $A_2/A_1$ | 0    | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| K         | 0.50 | 0.46 | 0.41 | 0.36 | 0.30 | 0.24 | 0.18 | 0.12 | 0.06 | 0.02 | 0   |

## NOMENCLATURA EMPLEADA

| Símbolo        | Descripción                                  | Unidades                                     |
|----------------|--|--|
| A              | Area de la sección transversal de la tubería | cm <sup>2</sup>                              |
| C              | Coefficiente del medidor Vénturi             | -  |
| C <sub>o</sub> | Coefficiente del medidor de orificio         | -  |
| D              | Diámetro interno de la tubería               | cm   |
| ef             | Eficiencia                                   | -  |
| f              | Coefficiente de fricción                     | -  |
| F              | Pérdidas por fricción                        | grf-cm/grm                                   |
| g              | Aceleración debido a la gravedad             | cm/seg <sup>2</sup>                          |
| gc             | Factor de conversión                         | 980 $\frac{\text{grm-cm}}{\text{grf-seg}^2}$ |

| Símbolos | Descripción                            | Unidades             |
|----------|--|----------------------|
| h        | Lectura manométrica                    | cm                   |
| L        | Longitud de la tubería                 | cm                   |
| P        | Presión                                | grf/cm <sup>2</sup>  |
| P.T.     | Potencia Teórica                       | HP                   |
| Q        | Gasto o caudal del fluido              | cm <sup>3</sup> /seg |
| Re       | Número de Reynolds                     | -                    |
| V        | Velocidad de flujo                     | cm/seg               |
| Vol.     | Volumen específico                     | cm <sup>3</sup> /grm |
| w        | Trabajo hecho por o al -- sistema      | grf-cm/grm           |
| W        | Gasto másico                           | grm/seg              |
| Z        | Altura respecto al nivel de referencia | cm                   |
| ε        | Rugosidad de la tubería                | cm                   |
| ρ        | Densidad                               | grm/cm <sup>3</sup>  |
| π        | Constante igual a 3.1416               | -                    |
| Δ        | Diferencia                             | -                    |
| μ        | Viscosidad                             | grm/cm-seg           |

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Alvarez, Guillermo y Azevedo, J.M., Manual de Hidráulica.  
6a. Edición, México, Harla, S. A., 1975.
- 2.- Banchemo, Julios y Badger, Walter, Introducción a la Ingeniería Química.  
México, McGraw-Hill, 1981, p.p. 28-120.
- 3.- Brown, George G., Operaciones Básicas de la Ingeniería Química.  
España, Ed. Marin, S. A., 1965, p.p. 130-209

- 4.- Foust, Alan S. y otros, Principios de Operaciones Unitarias  
México, Cía. Editorial Continental, S.A., 1980, p.p.197-  
214.
  
- 5.- Mataix, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas  
México, Harla, S. A., 1973.
  
- 6.- Perry, Robert y Chilton, Cecil H., Chemical Engineer's Hand-  
book.  
5a. Edición, E.U.A., Mc Graw Hill, Secciones 3 y 5.
  
- 7.- Streeter, Victor y Wylie, E. Benjamin, Mecánica de los Flui-  
dos.  
6a. Edición, México, Mc Graw Hill, 1980.
  
- 8.- Vennard, Jhon u Street, Robert, Elementos de Mecánica de --  
Fluidos.  
2a. Edición, México, Cía. Editorial Continental, S.A. --  
1979.

900153