



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

“DISEÑO, CONSTRUCCION E INSTALACION
DE UN TUBO DE PITOT.”

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA
FERNANDO LOPEZ SILVA

01

1989 POTOSI, S.L.P.,

1989



T

QA901

L6

C. 1



1080074996



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

**“DISEÑO, CONSTRUCCION E INSTALACION
DE UN TUBO DE PITOT.”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

FERNANDO LOPEZ SILVA

SAN LUIS POTOSI, S.L.P.,

1989

X
QA901
L4



DISEÑO CONSTRUCCION E INSTALACION DE UN TUBO DE PITOT

A MIS PADRES:

HOY, POR QUE GRACIAS A ELLOS DOY UN PASO
IMPORTANTE EN MI VIDA, ES MOTIVO DE ORGU
LLO EXPRESAR MI MAS PROFUNDO AGRADECI---
MIENTO, QUE SIEMPRE ME HAN GUIADO EN CA-
DA MOMENTO DESDE EL LUGAR DONDE SE EN---
CUENTRAN QUIEN ME DIO VALOR Y ESPIRUTU -
DE LUCHA PARA PRENDER Y COMPRENDER LAS -
ETAPAS DE LA VIDA.

SR. JOSE LOPEZ ACEVEDO

A QUIEN HA DEDICADO SUS DIAS EN MOSTRAR-
ME LOS CAMINOS DE SUPERACION, AUN EN LAS
TAREAS MAS DIFICILES EN EL TRAYECTO DE -
MI VIDA.

SRA. MARIA SILVA DE LOPEZ

A MIS HERMANOS:

PARA CADA UNO DE ELLOS QUE
CON CARINO Y PACIENCIA ME-
HAN ENSEÑADO QUE PARA LO--
GRAR LO DESEADO SE TIENE -
QUE PONER FE Y SEGURIDAD -
EN UNO MISMO PARA ALCANZAR
LA META SOÑADA.

SR. FERNANDO LOPEZ SILVA.

I.Q. GUADALUPE RUIZ CASTILLO:

RESPECTUOSAMENTE MI SINCERO AGRADECIMIENTO, QUE AL TERMINAR LOS ESTUDIOS CORRESPONDIENTES A LA CARRERA DE ING. QUIMICA OBTUBE LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR ESTE PEQUEÑO TRABAJO CON LA FINALIDAD DE OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO, TAN ANHELADO POR CUALQUIER ESTUDIANTE CON DESEOS DE SUPERACION.

I.Q. ROBERTO CARRIZALES:

ELEMENTO FUNDAMENTAL EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO, Y POR SU CONTRIBUCION EN LA FORMACION DE LAS BASES Y CONOCIMIENTOS QUE ADQUIRI, Y POR HABER LLEVADO SU PACIENCIA AL LIMITE Y SIEMPRE Y SINCERA AMISTAD.

I.Q. ROGELIO A. COLUNGA REYNA:

QUE CON SU BUEN HUMOR PACIENCIA Y SIMPATIA, ME ALENTABA A SEGUIR ADELANTE.

I.Q. JORGE H. ROJAS GAMBOA:

QUE CON SU DISPONIBILIDAD ME AYUDO A LA FORMACION COMO PROFESIONISTA EN ESTA CARRERA.

A TODOS MIS MAESTROS POR QUE SUS ENSEÑANZAS CONDUCEN AL LOGRO DE MIS OBJETIVOS.

A CADA UNO DE MIS AMIGOS POR LAS EXPERIENCIAS INOLVIDABLES QUE COMPARTIMOS JUNTOS.

P R O L O G O

En las industrias de procesos químicos y físicos, así como en los procesos biológicos y de alimentos, existen muchas semejanzas en cuanto a la forma en que los materiales de entrada o de alimentación se modifican o se procesan para obtener los materiales finales de productos químicos y biológicos. Es posible considerar estos procesos químicos, físicos y biológicos aparentemente diferentes, y clasificarlos en una serie de etapas individuales y diferentes llamadas operaciones unitarias. Estas operaciones unitarias son comunes a todos los tipos de industrias de proceso que estudian principalmente la transferencia y los cambios de energía y materia que se llevan a cabo por medios fisicoquímicos.

Tomando en cuenta la experiencia al respecto, se ha observado que es necesario apoyar estos conceptos de una manera un poco más general y clara requiriéndose de cierta práctica para desarrollar la habilidad que permita analizar y resolver los problemas de Ingeniería. La lectura y entendimiento de los principios que se indican en este manual son relativamente sencillos, sin embargo, a diferentes situaciones desconocidas es el caso contrario. El Ingeniero puede convertirse en técnico competente en su profesión mediante el dominio de los procedimientos desarrollados por sus antecesores; entonces quizá, el podría llegar a ser el pionero de algunas otras nuevas.

Por ejemplo, el flujo y el comportamiento de los fluidos reviste gran importancia en muchas de las operaciones unitarias de ingeniería de proceso. Un fluido puede definirse como una sustancia que no

resiste de manera permanente la distorsión causada - por una fuerza y por lo tanto, cambia de forma.

En las industrias de proceso, gran parte de los materiales estan en forma de flúidos y deben almacenarse, manejarse, y bombearse, por lo que resulta - necesario familiarizarse con los principios que gobiernan al flujo de flúidos y también con los equipos utilizados.

Los flúidos típicos son el agua, el aire, - aceites, lechadas o suspenciones y jarabes espesos, - así como gases típicos como hidrógeno, nitrógeno, bióxido de carbono etc. El estudio de la transferencia-del momento o mecánica de flúidos como también se le puede llamar, tiende a dividirse en dos ramas, como - son: Estática de flúidos o flúidos en reposo y dinámica de flúidos o flúidos en movimiento.

Se ha encontrado que hay una gran diferen-cia entre el hecho de que un estudiante comprenda al-gún principio y el que puede establecer su habilidad-para aplicarlo y así poder inculcar el uso de métodos de procedimiento ordenados y directos además de cierta comprensión de los principios fisicoquímicos.

Se han introducido muchas modificaciones como resultado de la experiencia de los estudios y de - los maestros que lo han utilizado.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION

CAPITULO I

PAG.

ASPECTOS TEORICOS DE LOS FLUIDOS Y DEFINICIONES

1.- Presión en un fluido en reposo	1
2.- Viscosidad, fricción y flujo ideal	2
3.- Flujo laminar y flujo turbulento	7
4.- Tensión superficial	9
5.- Flujo compresible e incompresible	10
6.- Flujo subsónico y supersónico	11
7.- Flujo estable	12
8.- Tipos o clases de flujo	12

CAPITULO II

GENERALIDADES Y TIPOS DE MEDIDORES

1.- División de la mecánica de fluidos	13
2.- Principios básicos cuando se mide cantidad de flujo del fluido.	14
3.- Clasificación de los tipos básicos de medición de flujo.	15
4.- Medidores de flujo de presión diferencial	16
5.- Medidor Tubo Pitot	18

CAPITULO III

GENERALIDADES TEORICAS PARA EL DISEÑO DEL TUBO PITOT

1.- Presión estática	22
2.- Presión estática media	27
3.- Especificaciones para los orificios piezométricos de toma.	29
4.- Velocidad local	31
5.- Procedimiento para hallar la velocidad media.	36

CAPITULO IV

PERFILES DE VELOCIDAD	PAG.
1.- Flujo de conductos.	40
2.- Perfiles de velocidad en un flujo a travéz de un conducto.	42
3.- Flujo viscoso incompresible.	43
4.- Perfiles de velocidad en régimen turbulento estacionario.	45

CAPITULO V.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO.

1.- Diseño	49
2.- Dibujos seccionales del equipo y diagrama de flujo.	

CAPITULO VI

PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES (PRACTICA)

1.- Objetivo	55
2.- Fundamento	56
3.- Descripción del equipo	57
4.- Diagrama de flujo.	
5.- Procedimiento de operación	58
6.- Cálculos representativos	59
7.- Datos teóricos y experimentales	60
8.- Cálculos experimentales	61
9.- Resultados	64
10- Gráficas	65

<i>CAPITULO VII</i>	PAG.
<i>Conclusiones</i>	71
<i>CAPITULO VIII</i>	
<i>Bibliografía.</i>	73

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

QUE ES UN FLUIDO.

La dinámica o estudio del movimiento de la materia, se puede dividir en dos partes: dinámica de cuerpos rígidos y dinámica de cuerpos flexibles. Esta última comprende dos clasificaciones generales: elasticidad (sólidos elásticos) y mecánica de fluidos. Como una gran parte de la tierra pertenece al estado fluido, es apenas obvio que científicos e ingenieros necesiten obtener conocimientos acerca de los fluidos. Pero antes que nada, ¿qué es un fluido? ¿qué hace -- que un fluido sea diferente de una sustancia sólida y elástica tal como una barra de acero?.

Simplemente, un fluido es una sustancia incapaz de resistir fuerzas o esfuerzos de corte sin desplazarse, mientras que un sólido sí puede hacerlo. Los fluidos se clasifican generalmente en líquidos y gases. Un líquido está sometido a fuerzas intermoleculares que lo mantienen unido de tal manera que su volumen es definido pero su forma no, cuando se vierte un líquido dentro de un recipiente, ocupará dentro de éste un volumen igual al suyo propio sin importar la forma del recipiente. Los líquidos son ligeramente comprensibles y su densidad varía poco con la temperatura o la presión. Un gas, por otra parte, consta de partículas en movimiento que chocan unas con otras y tratan de -- dispersarse de tal modo que un gas no tiene forma ni volumen definidos : llenará completamente cualquier recipiente en el cual se coloque. Para una masa dada o sistema de un gas, la presión, la

temperatura, y el volúmen que ocupa, se relacionan por medio de la ley de los gases o sea, la ecuación apropiada del estado del gas.

Por sus muchas aplicaciones, el estudio de la mecánica de flúidos es uno de los más vitales y fundamentales en la Ingeniería y en las Ciencias aplicadas. El estudio del flujo de flúidos en tuberías y canales es importante para los Ingenieros Civiles; el de máquinas para líquidos y gases tales como bombas, compresores, intercambiadores de calor, motores con propulsión a chorro y cohetes, interesa a los ingenieros-mecánicos, el flujo de aire sobre objetos, la aerodinámica, es de importancia fundamental para los Ingenieros aeronáuticos y del espacio en el diseño de aviones, proyectiles y cohetes; en meteorología, hidrología y oceanografía es básico el estudio de los flúidos porque tanto la atmósfera como el océano son flúidos. Hoy en día muchas disciplinas nuevas de la ingeniería moderna combinan la mecánica de flúidos con los conceptos clásicos. Por ejemplo, la mecánica de flúidos y la teoría electromagnética se estudian en conjunto con el nombre de magnetohidrodinámica, que es vital en el estudio de fenómenos estelares e ionosféricos y en los nuevos métodos de conversión de energía.

Hemos visto que para los ingenieros y los científicos modernos es esencial familiarizarse con la mecánica de flúidos, es obvio que tanto esta materia como sus aplicaciones constituyen un campo amplio de especialización con numerosas oportunidades. En base a esto es presentar en esta tesis la mayoría de las ideas fundamentales con muchas de sus aplicaciones.

Una vez que se tengan fundamentos, deben estudiarse libros más avanzados y publicaciones técnicas para incrementar el conocimiento de aspectos más especializados de mecánica de flúidos. Sin embargo, es esencial poder dominar perfectamente las nociones fundamentales que no cambien con el tiempo y que puedan tomarse siempre como referencia de dedicarse a aspectos más avanzados.

Se dará una introducción al tema de mecánica de flúidos mediante la presentación de ideas fundamentales, desde las bases matemáticas hasta la teoría moderna.

C A P I T U L O I
GENERALIDADES Y DEFINICIONES

En un fluido incompresible es necesaria la ecuación de energía pero si la densidad se considera conocida solamente es necesario encontrar el cambio de la presión con la velocidad para describir completamente el flujo del fluido. La influencia de la temperatura no se considera muy importante en ese caso, pero puede emplearse una ecuación de energía si se necesita alguna información sobre ella.

I.I ALGUNAS DEFINICIONES

Se puede clasificar el flujo de fluidos en diferentes formas observando algunos de los diferentes tipos de flujos y relacionandolos con algunas de las experiencias y observaciones diarias, pero antes es necesario definir algunos términos para formar un lenguaje en el cual se puede hablar con prioridad sobre el tema.

Más tarde daremos definiciones más rigurosas pero, por ahora, tendremos algunas pocas definiciones sencillas

- (a) Presión. La presión en un fluido en reposo se define como la fuerza de compresión normal por unidad de área (esfuerzo normal) que actúa sobre una superficie sumergida en el fluido.
- Se puede medir la presión por la fuerza que actúa sobre la cara de un cubo unitario (cubo con dimensiones unitarias) colocado dentro del fluido. Debemos imaginar que el cubo no perturba al fluido, de tal modo que la presión real en un punto del fluido es igual a la fuerza que actúa sobre una cara del cubo dividida por el área de esa cara en

el límite, cuando el área es infinitamente pequeña. La presión en un punto de un fluido en reposo es isotrópica, o sea que la fuerza es la misma sobre todas las caras del cubo, sin interesar la orientación del cubo en el espacio. Esta presión isotrópica se llama presión hidrostática, y es la propiedad termodinámica que se emplea en la ley de los gases. Si la presión cambia de un sitio a otro en el fluido, existe una -- fuerza neta de presión sobre cualquier volúmen fijo -- del fluido que puede balancearse con una fuerza externa como la gravedad, o si el fluido se mueve, la fuerza de presión genera una aceleración.

En una situación dinámica (cuando el fluido se mueve) pueden existir, a más de la presión, fuerza o esfuerzos de corte. Sin embargo, la presión continúa siendo isotrópica y se define tal como se hizo anteriormente, pero debe medirse como el esfuerzo normal sobre un área que se mueve al tiempo con el fluido. Existen algunas dificultades en el movimiento de gases cuando los esfuerzos normales sobre un cubo son bastante diferente en todas direcciones; aquí podemos aún definir una presión hidrostática isotrópica, pero actúan también pequeñas fuerzas adicionales en diferentes direcciones debido a los efectos de viscosidad.

(b) Viscosidad, fricción y flujo ideal. La viscosidad es una propiedad de los fluidos que causa fricción. La importancia de la fricción en las situaciones físicas depende del tipo de fluido y de la configuración física o patrón de flujo. Si la fricción es despreciable, se dice que el -- flujo es ideal. La fricción puede originarse por

viscosidad o por turbulencia.

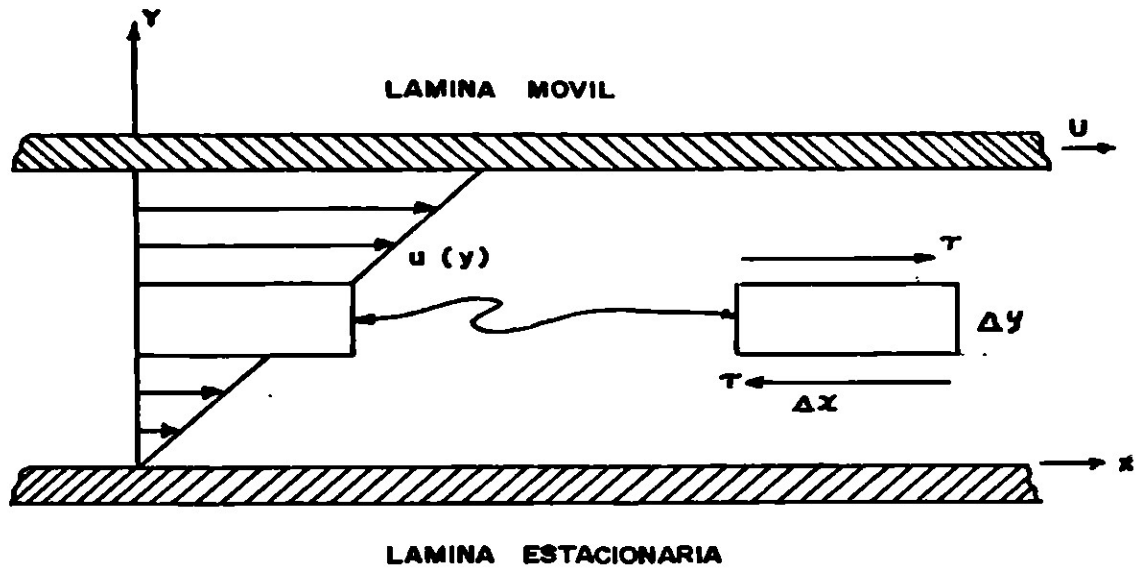


Fig. 1-1. Flujo entre láminas paralelas para ilustrar la viscosidad.

La velocidad u es lineal a través del canal, cero en el fondo y U en la superficie. Un pequeño elemento muestra el esfuerzo de corte.

Hablando muy generalmente, la viscosidad es una medida de la resistencia del fluido al corte cuando el fluido está en movimiento (debe recordarse que un fluido no puede resistir esfuerzos de corte sin moverse, y un sólido sí). Considérense dos láminas paralelas de gran tamaño, figura 1.1, con movimiento relativo estable. El fluido entre las láminas tiene un perfil lineal de velocidad, como se ve en la fig. (si no existe gradiente de presión a lo largo de las láminas en la dirección del movimiento) No existe deslizamiento entre el fluido y las láminas; o sea, que en la interfase entre el fluido y el sólido, la velocidad del fluido tiene que ser igual a la del sólido. Si consideramos un pequeño elemento de fluido, como se muestra en la fig. 1.1, el esfuerzo cortante en r en la superficie (que es numéricamente igual al del fondo en este caso) se puede escribir:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

donde, la viscosidad, es la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad. Las unidades de viscosidad son $\text{g}_f\text{-seg}/\text{cm}^2$ en el sistema absoluto de unidades. La relación entre la viscosidad y la densidad ρ se llama viscosidad cinemática y se designa por ν .

La viscosidad de un líquido decrece con el aumento de temperatura (como se puede ver al tratar de prender un automóvil en una mañana fría) pero en los gases crece con el aumento de temperatura. La viscosidad en los fluidos depende también de la presión

pero esta dependencia tiene pequeña importancia comparada con la variación de temperatura en problemas de ingeniería.

La relación que existe entre el esfuerzo cortante y gradiente de velocidad se conoce como relación newtoniana. En general, los fluidos que obedecen tal relación se llaman fluidos newtonianos. (Más tarde se desarrollará una expresión más general para fluidos newtonianos que considera gradientes de velocidad en tres dimensiones).

Aún cuando la relación lineal newtoniana es sólo una aproximación, se cumple sorprendentemente -- bien en una amplia variedad de fluidos. En algunas sustancias, sin embargo, el esfuerzo de corte puede ser, no solamente función del gradiente de velocidad (que es igual a la razón de deformación tangencial), sino también de la deformación ordinaria. Tales sustancias se conocen como elástico-viscosas. Aún para fluidos viscosos, en los cuales el esfuerzo cortante depende solamente del gradiente de velocidad, el fluido puede ser no-newtoniano y, en efecto, puede existir una relación no lineal complicada entre esfuerzo cortante y razón de deformaciones anteriores, se dice -- que el fluido es tixotrópico (una sustancia así es la tinta para imprenta).

Otro tipo de fluido es aquel que tiene comportamiento plástico y se caracteriza por tener un esfuerzo de fluencia aparente; esto es, se comporta como un sólido hasta que cede y luego se comporta como un fluido viscoso. Algunas grasas se comportan --- así. En el otro extremo se encuentran los fluidos --

llamados dilatables, que fluyen fácilmente con viscosidad baja para razones de deformación pequeñas, y --tratan de comportarse como sólidos cuando la razón de deformación aumenta (una sustancia de estas es la arena movediza) La figura 1.2 muestra gráficamente el -comportamiento de estos fluidos.

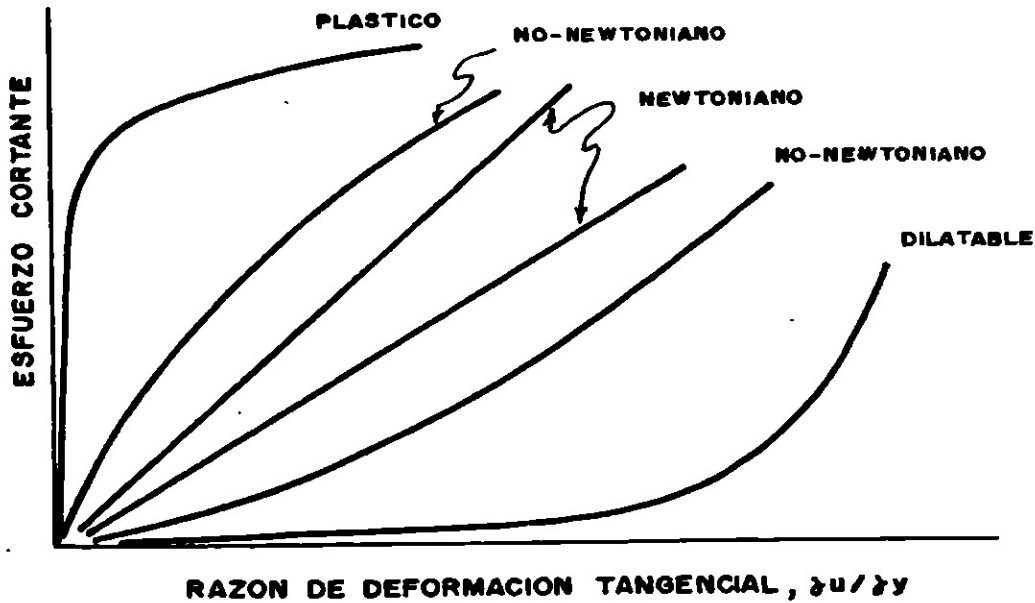


Fig. 1-2. Tipos de Fluidos viscosos y plásticos.

El agua, el aire y los gases son esencialmente newtonianos, pero las consideraciones de flúidos elástico-viscosos o no-newtonianos son muy importantes en mecánica de flúidos, aunque generalmente no son bien entendidas ni apreciadas.

La fricción interna o los esfuerzos pueden generarse por la viscosidad de un flúido, la turbulencia puede generar esfuerzos cortantes, y la mencionaremos en la próxima sección.

Si un flúido no tiene viscosidad ni fluye de modo turbulento, se dice que es un flúido ideal, o más correctamente el flujo es ideal. Un flujo ideal, entonces no tiene fricción interna ni disipación o pérdidas internas. En la realidad, ningún flúido es verdaderamente ideal, pero algunos, por lo menos en regiones de flujo bajo ciertas circunstancias, se aproximan bastante a las condiciones ideales y se consideran como tales para el análisis. Por ejemplo, el flujo de aire sobre objetos (aerodinámica) se considera como ideal excepto en una capa delgada llamada capa límite, justamente en la cercanía del ala o superficie. Como veremos luego, es conveniente dividir los flujos de flúidos reales en diferentes regiones, cada una de las cuales se puede considerar ideal, viscosa o turbulenta.

(c) Flujo laminar y flujo turbulento. Los términos - flujo laminar y flujo puramente viscoso se usan como sinónimos para indicar un flúido que fluye en láminas o capas, en oposición al flujo turbulento en el cual las componentes de la velocidad tienen fluctuaciones turbulentas al azar que se imponen sobre sus valores-

medios (fig. 1.3) Cuando se incierta una corriente de humo o tinta en un flujo laminar, trazará una línea delgada que esta compuesta siempre de las mismas partículas de fluido. En flujo turbulento la línea de humo se confunde rápidamente y se mezcla con las partículas de fluido a medida que éste fluye, formando gran cantidad de nubes y filamentos que se van dispersando. Un ejemplo vivo de flujo laminar está en la miel espesa cuando se vierte de una botella.

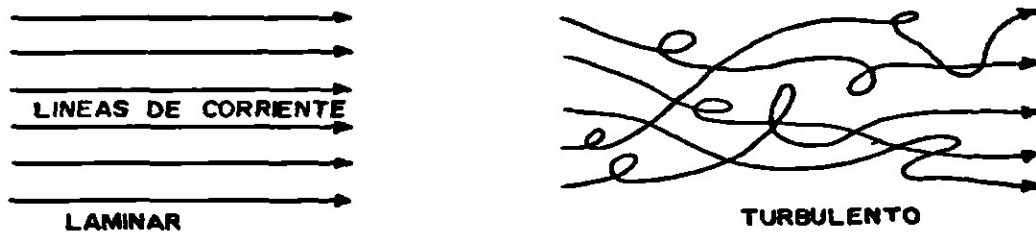


Fig. 1.3. Flujos laminar y turbulento. Las líneas - indican las trayectorias de las partículas.

¿Qué determina si un flujo es laminar o turbulento?. Lo determina en un fluido dado la velocidad y la configuración o tamaño del conducto. A medida -- que la velocidad aumenta el flujo cambiará de laminar a turbulento, pasando por un régimen de transición. Los dos tipos de flujo ocurren en la naturaleza, pero el turbulento parece ser el más usual.

Se puede tener un ejemplo sencillo de esta transición al observar el humo que se eleva de un cigarrillo o de la leña. Durante una distancia, el humo ascendiente de una manera laminar. Después, casi bruscamente, comienza a mezclarse, se convierte en turbulento y la columna de humo se extiende rápidamente y se diluye. La turbulencia ayuda en la difusión del humo y hace que se diluya en una corriente amplia y caótica.

Los efectos de viscosidad están siempre presentes en flujo turbulento, pero son superados generalmente por los esfuerzos cortantes turbulentos.

(d) Tensión superficial. El término tensión superficial se usa ampliamente para identificar el esfuerzo aparente en la capa superficial de un líquido. Esta capa actúa como una membrana sometida a tracción y puede dar origen a una diferencia de presión a través de una superficie líquida curva (o sea una interface aire-líquido). Realmente, la tensión superficial es una fuerza asociada con cualquier interface de fluido-fluido, y la interface aire-líquido es la más común. Como la superficie líquida actúa como una membrana, notamos por que puede un líquido formar un menisco en un tubo-

capilar, y por qué las gotas en agua sean más o menos esféricas.

(e) Flujo compresible e incompresible. Es costumbre dividir los fluidos en dos grupos: gases y líquidos. Los gases son compresibles y su densidad -- cambia apreciablemente con la temperatura y la -- presión. De otro lado, los líquidos presentan dificultad a la compresión y para muchos problemas se pueden considerar como incompresibles. Sólo -- en situaciones tales como propagación del sonido -- en líquidos es necesario considerar su compresibilidad.

En un gas la densidad está relacionada con la temperatura y la presión por la ley de los gases (recuérdese que para un gas perfecto $p = \rho RT$). En un líquido, la densidad se relaciona con la temperatura por un coeficiente de expansión igual que para un sólido, y la relación con la presión se puede escribir como:

$$dp = \beta \frac{dp}{p}$$

donde β es el módulo de compresión volumétrica. Para el agua β es aproximadamente $2.1 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$, o sea que se requieren presiones enormes para lograr un cambio muy pequeño en densidad. (Para -- compresión adiabática del aire atmosférico es de 1.4 kg/cm^2 aproximadamente). En la mayor parte de problemas prácticos, los líquidos son incompresibles y, bajo ciertas condiciones de flujo que -- envuelven ligeros cambios de presión, los gases -- también pueden considerarse incompresibles. (es el caso de aerodinámica subsónica donde el aire -- se considera incompresible para números d-Mach--

bajos).

f) Flujo subsónico y supersónico. En flujo compresible existe una gran distinción entre flujo con velocidades menores que la del sonido (flujo subsónico) y flujo con velocidades mayores que la del sonido - supersónico). (La velocidad del sonido en el aire en condiciones standard es de cerca de 330 m/seg. - ó 1300 km/hr.) Las diferencias entre flujo subsónico y supersónico se explicarán luego, pero es útil recordar que las ondas de choque sólo pueden ocurrir en flujos supersónicos.

El número de Mach, M. Es una medida de esta velocidad relativa y se define como la relación entre la velocidad del fluido y la velocidad local del sonido.

$$M = V/a$$

donde V es la velocidad del fluido y la velocidad local del sonido. Cuando $M > 1$, el flujo es supersónico, y cuando $M < 1$ tenemos flujo subsónico. Cuando se trata de flujo alrededor de objetos, puede considerarse como compresible si M es menor de 0.3. El flujo transónico ocurre cuando parte de un cuerpo (aeroplano o cohete) tiene un flujo que fluye sobre él con $M < 1$, y otra parte del mismo cuerpo tiene el fluido fluyendo con $M > 1$, de tal manera que en algún punto del cuerpo $M = 1$. ¿Cómo se puede tener $M < 1$ y $M > 1$ en el mismo cuerpo al mismo tiempo? la respuesta esta en la velocidad sónica y la velocidad del fluido varía sobre el cuerpo. La temperatura varía generalmente sobre un cuerpo y por tanto la velocidad sónica local debe variar.

- (g) Flujo estable. Por flujo estable se entiende aquel en el cual las componentes de la velocidad y las propiedades termodinámicas en cualquier punto del espacio no cambian con el tiempo. Realmente, si fuéramos a seguir una partícula fluída en particular, notaríamos que tanto la velocidad como las propiedades pueden cambiar en el transcurso de su movimiento. Sin embargo, esto no nos interesa. En mecánica de flúidos preguntamos siempre: ¿qué sucede en un punto particular del espacio sin observar qué partícula fluída está allí en determinado momento? En este sentido, flujo estable significa que nada cambia con el tiempo en cualquier punto del espacio. Una película o una fotografía instantánea señalarán siempre lo mismo sin importar en qué tiempo se tomen. Es importante anotar que un fluído puede tener -- una aceleración en un punto del espacio aún en caso de flujo estable. Una partícula fluída puede moverse, pero en un -- punto particular del espacio se comporta exactamente igual que la partícula que estaba ocupando ese sitio.
- (h) Tipos o clases de flujo. Hemos discutido algunas definiciones básicas para aplicarlas a tipos de flujo de flúidos. Ahora podemos ver qué clases de flujo ocurren en situaciones físicas reales para clasificarlas en consecuencia. Veremos que se pueden tener las siguientes clasificaciones; incompresibles-laminar, compresible-ideal-supersónico, compresible-laminar, incompresible-turbulento, etc.

C A P I T U L O I I
GENERALIDADES Y TIPOS DE MEDIDORES DE FLUJO

Los principios básicos que debemos conocer cuando medimos cantidad de flujo del fluido son los siguientes:

Cuando el estado de energía de un fluido es cambiado de una condición estática (fluido en reposo, energía potencial, en la forma de presión de columna) a una condición de movimiento (fluido en movimiento, energía cinética, en la forma de velocidad). Esto es lo que se llama un fluido fluyendo. Una fuerza es necesaria para cambiar este estado de energía. La fuerza es usualmente aplicada por una bomba o por la creación de una columna estática del fluido sobre su nivel horizontal normal. La fuerza debida a la presión sobre la superficie del líquido es igual a las veces la presión sobre la superficie del área.

La velocidad de un líquido fluyendo de una abertura en el fondo de un tanque puede ser expresado por el teorema de Torricelli, el cual establece que la velocidad es igual a la raíz cuadrada del producto de dos veces la constante gravitacional por la altura del líquido por su densidad.

La ecuación de flujo fundamental, fué desarrollada desde estos conceptos básicos. Esta establece que la cantidad de flujo es igual a una constante (la cual es el resultado de varios factores relacionados) por la raíz cuadrada de la caída de presión a través de una restricción en la línea del flujo, Hay dos ti

pos de flujo en una tubería: 1.- Flujo laminar y 2.- Flujo turbulento.

El flujo laminar es lineal.- paralelo a la corriente (flujo viscoso) y ocurre a bajas velocidades, la velocidad del fluido es mayor a lo largo del centro de la tubería, decreciendo agudamente a cero - en la pared de la tubería.

Cuando la velocidad se incrementa el movimiento del fluido viene casualmente a ser irregular y es llamado flujo turbulento.

Cuando a un líquido se le incrementa su temperatura éste fluye más fácilmente pero cuando a un gas se le incrementa su temperatura éste tiende a fluir más lentamente. Esta característica de flujo es llamada - viscosidad.

La naturaleza del flujo depende de:

- 1.- Diámetro de la tubería.
- 2.- Densidad.
- 3.- Viscosidad del fluido fluyendo.
- 4.- Velocidad del flujo.

El valor numérico de una combinación dimensional de estas cuatro variables es llamado "El Número de Reynolds".

El flujo laminar es definido en términos del número de Reynolds abajo de 2.000. El flujo turbulento tiene un número de Reynolds arriba de 4,000. El -- fluido fluyendo en tuberías y ductos siempre tiene caídas de presión a lo largo de las tuberías en dirección del flujo. La caída es debida a la fricción entre las partículas del fluido y la tubería.

Hay dos grados de medición de flujo de fluidos básicos.

1.- Grado de flujo volumétrico.- Donde el volúmen por tiempo es expresado en unidades tales como pies -- cúbicos por minuto (aire y gas), galones por minuto (líquidos) barriles por hora (productos del -- petróleo) y libras por hora (vapor) y sus corres-- pondientes unidades métricas, cada una de estas -- mediciones es hecha asumiendo que los factores ta-- les como la gravedad específica del fluido, densi-- dad, viscosidad, temperatura, presión barométrica-- y super compresibilidad permanecen constantes.

2.- Grado del flujo de masa.- Donde la masa, o canti-- dad por tiempo es expresada en unidades tales co-- mo: Kilogramo estándar por minuto, toneladas -- por día, etc. Las mediciones del flujo de masa -- son hechos tomando la variación de todos los otros factores dentro de las consideraciones con el vo-- lúmen, ya sean directamente con los elementos de-- medición continua y compensado por ellos.

Los medidores de flujo son usados para medir can-- tidades de flujo de las corrientes de los produc-- tos de proceso, de vapor, combustible líquidos y-- gaseosos y agua de proceso. Estas mediciones son hechas en tuberías, ductos de aire y en canales -- abiertos. La cantidad de flujo es una de las más importantes mediciones en plantas y procesos. Esta medición es importante, porque las mediciones de cantidades de flujo de fluidos, establecen re-- laciones apropiadas de materiales de proceso para control de calidad de producción.

Este también determina la distribución de materiales para control de corrientes de ensuciamiento de los de sechos industriales y municipales y también en plan--tas de aguas municipales.

Clasificación de los tipos básicos de medición de flujo.

- 1.- Medidores de flujo de columna (diferencial de presión).
- 2.- Medidores de flujo de área,
- 3.- Medidores de flujo de masa.
- 4.- Medidores de flujo de desplazamiento positivo.
- 5.- Medidores de flujo para flujos en canales abiertos.

Medidores de flujo de presión diferencial. Un medidor de flujo de tipo columna, opera con el principio de -- una presión diferencial creada, a través de una restricción de la línea de flujo para cada cantidad de flujo. La restricción causa un incremento en velocidad, re--sultando una caída de presión la cual produce una presión diferencial. La cantidad de flujo en la línea - de flujo es directamente proporcional a la raíz cua--drada de esta presión diferencial.

$$Q = K A \sqrt{hw}$$

donde: Q = Cantidad de flujo, hw = caída de presión.

K = Constante (coeficiente de descarga).

A = Area de restricción (constante).

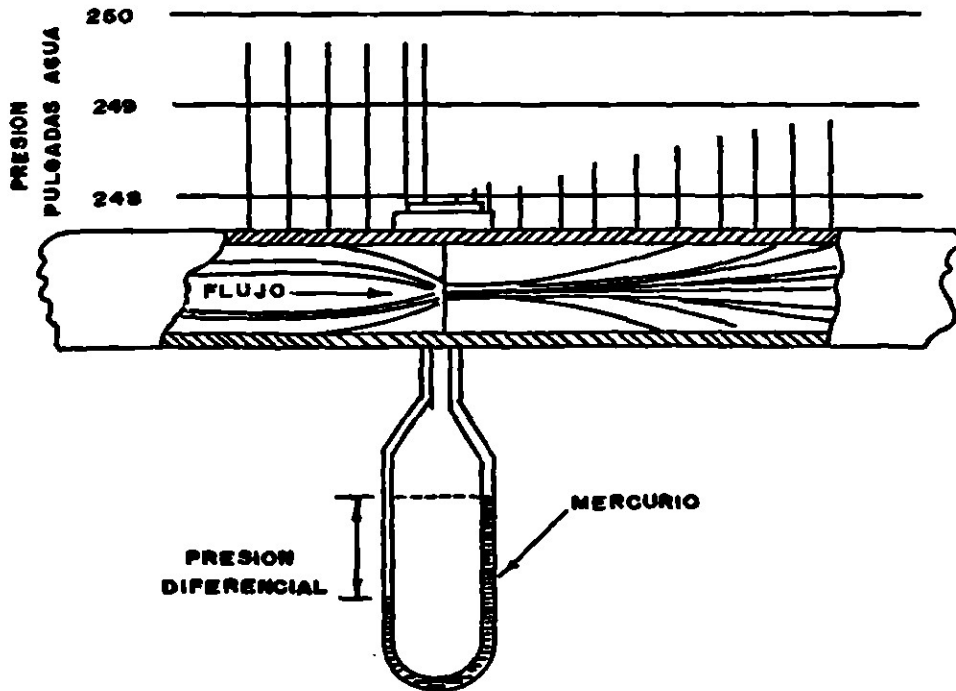


Fig. 2.1

La restricción, llamada elemento primario de medición, hace que el fluido se contraiga y ya que el flujo permanece constante, la velocidad de éste aumenta al pasar por la restricción (ver fig. 2.1) y la presión estática disminuye al mismo tiempo según la ley de conservación de la energía.

Si colocamos una serie de tomas para medir la presión-estática antes y después de la restricción observamos lo siguiente:

Hay un ligero aumento de la presión antes de llegar a la restricción, después de ésta disminuye, recuperándose después de alguna distancia pero no en su totalidad.

La diferencia entre las presiones antes y después de la restricción se llama diferencial de presión, la cual representa el índice de velocidad del fluido. Esta presión diferencial es medida y convertida a unidades de flujo por medio de un elemento secundario de medición.

Los elementos primarios de medición más comúnmente usados para producir ésta variación de carga hidrostática son:

A.- Placa de orificio.

B.- Tobera de flujo.

C.- Tubo venturi.

D.- Tubo pitot.

E.- Tubo de flujo dall.

F.- Annubar.

D.- Tubo Pitot.-- Es otro elemento primario de medición y es frecuentemente usado en la industria por su costo, su utilización en líneas de gran tamaño y por sus bajas pérdidas de presión. (fig.- 2.2)

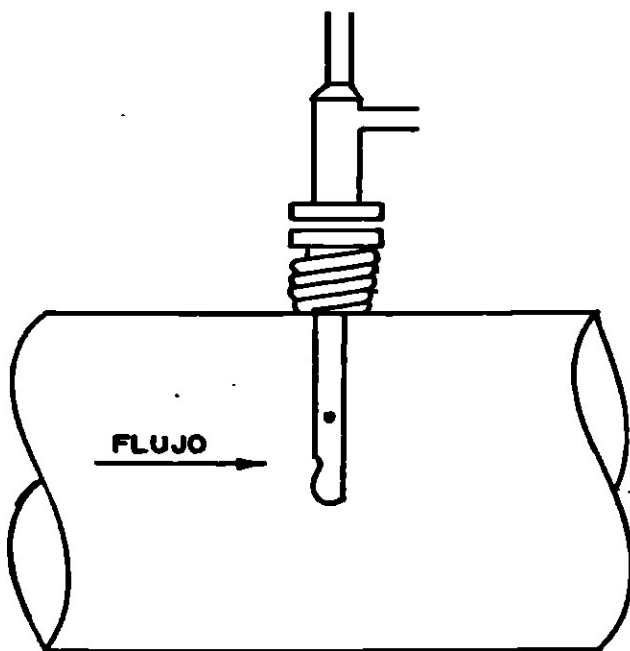
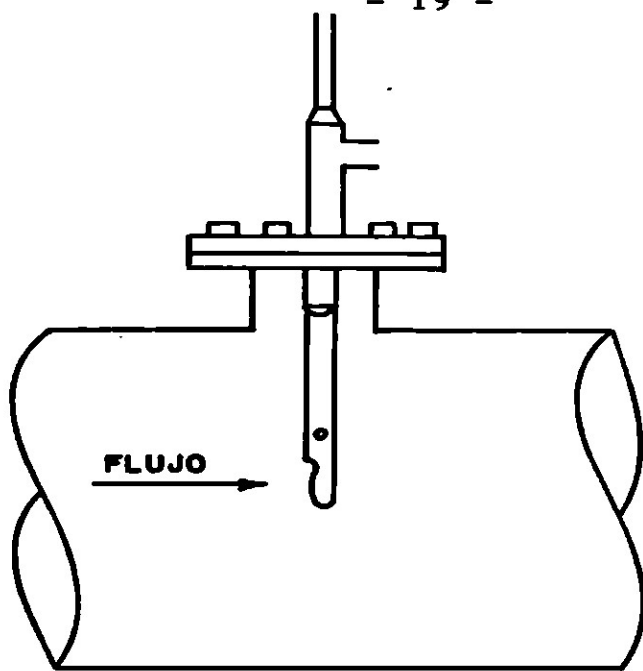


Fig. 2.2
Diferentes tipos de Tubo de Pitot

Este elemento primario mide la presión estática y dinámica del flujo en donde la diferencia de las dos presiones es una función de la rapidez de flujo y es proporcional a su energía cinética ($= V^2/2g$). El Tubo Pitot se coloca en la tubería que se va a medir el flujo, y tiene 2 tomas de presión: 1.- Mide la presión dinámica (poma directamente contra el flujo)- 2.- Mide la presión estática (toma en ángulo recto con el flujo).

Las dos tomas se conectan a un medidor del tipo diferencial el cual convierte ésta cantidad de flujo.

No es recomendable en donde la distribución de la velocidad de flujo no es uniforme, ni cuando se utilizan líquidos que contienen sólidos en suspensión.

El tubo pitot es de fácil instalación y se utiliza en ductos de gran tamaño, normalmente se calcula para la aplicación específica que se va a utilizar.

Comparada con los otros elementos primarios de medición, para tuberías grandes es económico y a medida que la tubería disminuye su tamaño el tubo pitot aumenta su costo.

En comparación de los elementos de flujo anteriores, el tubo pitot mide solamente el flujo de impacto entre la presión dinámica y estática, por lo que es conveniente usarlo en donde la velocidad de flujo es uniforme pudiéndose medir la velocidad promedio de flujo, sacando de ésta manera el flujo total.

Para efectuar diferentes mediciones de diferencial de presión altas en donde los medidores convencionales no pueden hacer una medición exacta, se puede

usar un tubo pitot o una combinación de tubo pitot-venturi que dará una lectura más satisfactoria.

C A P I T U L O I I I

GENERALIDADES TEORICAS PARA EL DISEÑO DEL TUBO PITOT.

PRESION ESTATICA

Presión estática local. En un fluido en movimiento, como un fluido estacionario la presión estática es el esfuerzo de compresión en el punto considerado. Es igual a la presión normal sobre una superficie estacionario paralela a la corriente. Cuando una corriente pasa sobre un sólido liso, plano, estacionario, la presión normal ejercida sobre la superficie de ese sólido, en cada punto, la presión estática local del fluido en dicho punto, porque la velocidad -- inmediata de la superficie la corriente sólo puede -- ser paralela a la superficie como no puede haber variación de presión perpendicularmente las líneas de corriente cuando estas son rectilíneas. Este resultado hace medir la presión estática en un fluido que se mueve, utilizando un pequeño orificio en la pared en una región donde las líneas de corriente sean rectilíneas, como se muestra en la figura 3.1 a. Este pequeño orificio en la pared debe practicarse cuidadosamente con su eje perpendicular a la superficie. Si el orificio es perpendicular a la pared del conducto y no introduce perturbaciones, se pueden lograr mediciones muy aproximadas de la presión estática al conectar el orificio a un instrumento de medición apropiado.

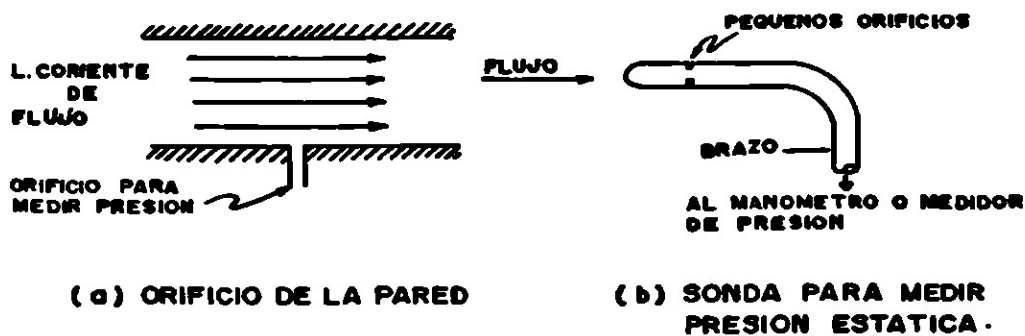


Fig. 3.1
Medición de la Presión Estática.

Por otra parte, en una corriente alejada de una pared, o en situaciones donde las líneas presentan alguna curvatura, se pueden efectuar mediciones suficientemente aproximadas de la presión estática utilizando una sonda como la figura 3.1b. Los dispositivos de ésta naturaleza debe diseñarse de tal manera que los orificios medidores se coloquen correctamente respecto a la punta del brazo de la sonda y así evitar resultados erróneos. Al utilizarse, la sección de medición debe alinearse con la dirección local del flujo.

Se dispone comercialmente de sondas para medir presión estática como la mostrada en la figura 3b y en una variedad de formas y tamaños hasta de una 16 pulg. de diámetro.

La presión de estancamiento es el valor que toma la presión cuando un fluido en movimiento se desacelera hasta alcanzar la velocidad mediante un proceso sin rosamiento, en un flujo incomprensible se -- puede utilizar la ecuación de Bernoulli para relacionar los cambios de velocidad y de presión a lo largo de una línea de corriente en un proceso de tal naturaleza.

Despreciando las diferencias de nivel, tenemos la ecuación:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{Constante}$$

Si la presión estática es P en un punto el flujo de velocidad es V entonces la presión de estancamiento, Po., puede calcularse:

$$\frac{P_o}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} \therefore P_o = P + (1/2) \rho v^2 \quad (1)$$

Ya que la presión de estancamiento corresponde al punto dónde la velocidad v_o es 0.

La ecuación 1 constituye la definición matemática de la presión de estancamiento, válida para un flujo incompresible. El término se le conoce generalmente como presión dinámica. Al resolver para la presión dinámica se obtiene:

$$(1/2) \rho v^2 = P_o - P$$
$$v = \sqrt{\frac{2(P_o - P)}{\rho}} \quad (2)$$

de éste modo, si la presión de estancamiento y la presión estática se pueden medir en un punto, la ecuación 2 permite tener el valor local de la velocidad del flujo.

La presión de estancamiento en el laboratorio utilizando una sonda provista de un orificio cuyo eje es paralelo a la dirección aguas arriba, como se muestra en la figura 3.2. Dicho dispositivo recibe el nombre de sonda de presión de estancamiento, o Tubo Pitot. La sección de medición deberá también alinearse con la dirección local del flujo.

Hemos visto que la presión estática en un punto se puede medir ya sea mediante un orificio practicado en la pared o una sonda especial para medir presiones estáticas si se conoce la presión de estancamiento en el mismo punto, se puede calcular entonces la velocidad del flujo utilizando la ecuación 2. En la figura 3.3 se muestran esquemáticamente dos arreglos experimentales-

posibles para tal efecto.

En la figura 3.3 a, la presión estática correspondiente al punto A' se midió utilizando el orificio practicado en la pared.

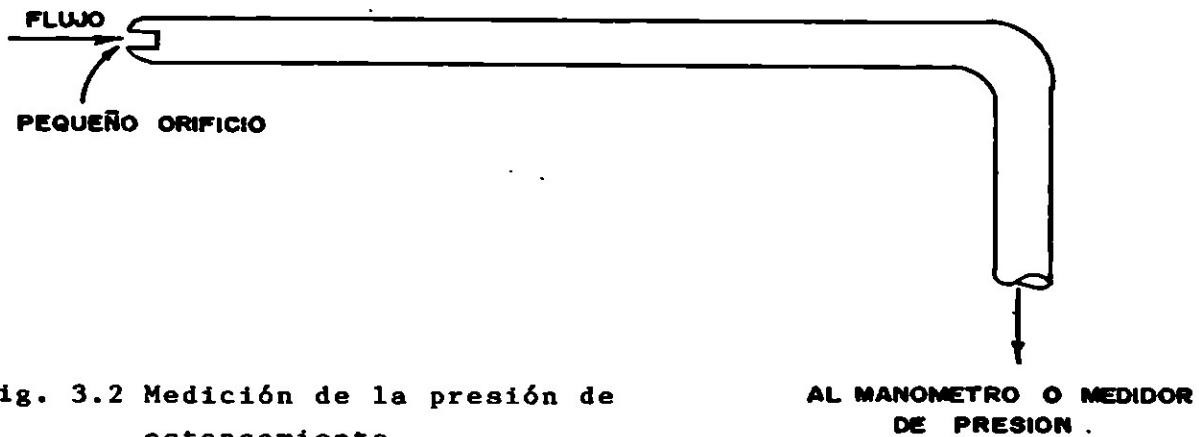
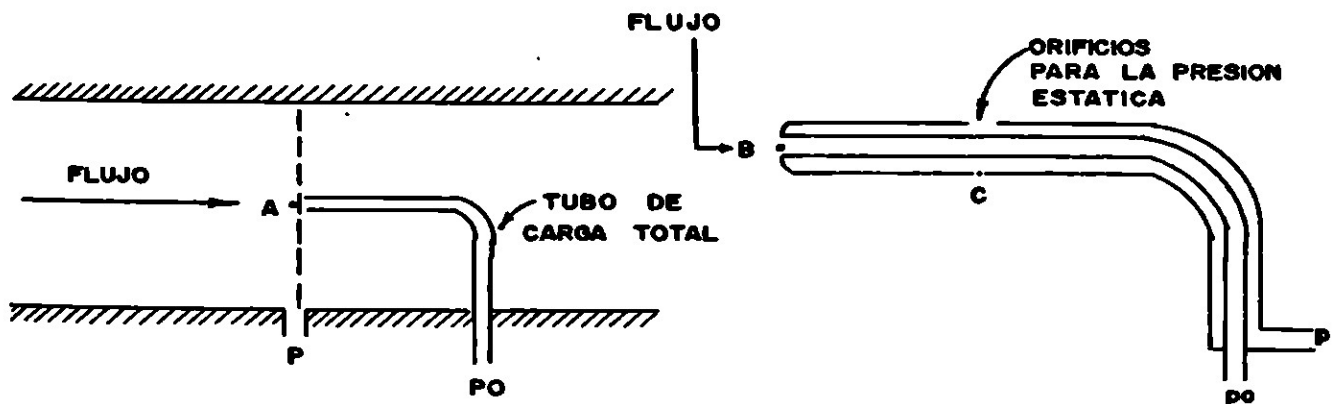


Fig. 3.2 Medición de la presión de estancamiento.



a) TUBO DE CARGA (altura piezométrica) TOTAL UTILIZADO CONJUNTAMENTE CON UN ORIFICIO EN LA PARED.

b) TUBO PITOT ESTATICO

Fig. 3.3 Medición simultánea de la presión estática y de la presión de estancamiento.

La presión de estancamiento se mide directamente en el punto A mediante el punto de carga total como se muestra en la figura (el brazo de tubo de carga total) se coloca agua abajo del punto de medición con objeto de reducir al mínimo las perturbaciones en el flujo.

En la figura 3.3 b se muestra la combinación de dos sondas formando así el tubo Pitot estático. El tubo interior se utiliza para medir la presión de estancamiento en el punto B. Mientras que la presión estática en el punto C se determina mediante los pequeños orificios del punto exterior.

En aquellos casos donde la variación de la presión estática en la dirección de la corriente es pequeña el tubo Pitot estático se puede utilizar para determinar la velocidad en el punto B. del flujo suponiendo que $P_B = P_C$, y utilizando la ecuación 2. (observese que cuando $P_B \neq P_C$, este procedimiento implicaría procedimientos erróneos).

PRESION ESTATICA MEDIA

En la mayor parte de los casos el objeto de medir la presión estática es obtener un valor medio - adecuado para substituirlo en el teorema de Bernoulli ó en la forma equivalente esto sólo puede hacerse fácilmente en el caso en que la corriente es en líneas rectas paralelas a las paredes que alimentan el conducto. Esta corriente tiene lugar, por ejemplo, en los conductos rectos a suficiente distancia de curvas u otras obstrucciones y en las gargantas de las boquillas bien diseñadas para las corrientes de ésta índole la suma de la carga estática y de la carga potencial debida a la gravedad es la misma en todos los puntos de una sección transversal perpendicular a la corriente. Puede, pues, obtener una presión estática media, adecuada, haciendo un orificio piezométrico en la pared del conducto en cualquier punto conveniente de la periferia de la sección transversal. La situación exacta del orificio es indiferente, siempre que se conozca su elevación, porque en las formulas el flujo sólo interviene la suma de las cargas estática y potencial a exponerle la presión estática se acostumbra a dar un valor en la línea central de la corriente.

La determinación de la presión estática real es, en general impracticable en el caso de conductos no rectos o cuando se trata de circulación con remolinos en un conducto recto. Esta medida implicaría el calculo de la media de un grupo de medidas de presión estática ponderada en proporción a la descarga a través de las partes correspondientes de la sección transversal.

En lo que respecta a los tubos curvados, algunos autores han adoptado, arbitrariamente, como presión estática media en una sección dada la que acusa un orificio piezométrico en el extremo de un diámetro de la tubería trazada perpendicularmente al radio de curvatura. En la medición del gasto se emplea, para -- eliminar el efecto de los remolinos, paletas enderezadoras colocadas antes del orificio de la toma de presión de aguas arriba.

ESPECIFICACIONES PARA LOS ORIFICIOS PIEZOMETRICOS DE TOMA.

Teóricamente, el diámetro de un orificio de toma de presión estática debe ser pequeño en relación con la sección transversal del conducto y grande comparado con la escala de irregularidades superficiales.

a).- Que la superficie en la que se practica el agujero sea bastante lisa y paralela a la dirección de la corriente durante cierto trayecto a cada lado del orificio.

b).- Que el agujero engrase con la superficie y no tenga rebabas ni otras irregularidades en sus bordes interiores.

Para asegurarse de que no queden rebabas conviene redondear ligeramente los bordes.

Las precauciones que acabamos de indicar no son en modo alguno académicas; prescindiendo de ellas pueden cometerse graves errores.

Para orificios en las paredes de tubos de 2 1/2 pulgadas o menos, es recomendable agujeros de un octavo - a 3/16 de pulgada hechos perpendicularmente a la pared y con la arista redondeada con un radio de 1/32. Para tubos de mayor diámetro, hasta 16 pulgadas; pueden hacerse agujeros de un 1/4 a 1/2 pulgadas la American -- Gas Association recomienda diámetros de los orificios para tomas de presión como un octavo del diámetro - - de la tubería para tubos 2 a 4 pulgadas. Como de media pulgada, para tubos de 4 a 8 pulgadas, y como de un 16 de diámetro de la tubería para tubos de más de 6 pulga

das otros datos indican que agujeros de 0.3mm. o mayores dan indicaciones demasiado bajas con un error de - 0.8 a 0.9 por ciento de una carga de velocidad.

Para orificios más pequeños el error disminuye casi proporcionalmente hasta 0 a medida que disminuye el diámetro.

VELOCIDAD LOCAL

Tubos de choque y tubos de Pitot. Un tubo de choque, por lo general un trozo de tubo curvado en ángulo recto, presenta su boca abierta para la toma de presión frente a la corriente mirando aguas arriba en la cara escuadra con la dirección de la misma. A veces se dá a este aparato el nombre de tubo de carga total. Para los gases (a velocidades ordinarias) y para los líquidos la presión (Kg fuerza /M²) en tal boca se ha demostrado teoricamente y experimentalmente que es:

$$P_i = P_o + \frac{\rho_o}{2} \frac{V_o^2}{g_c}$$

En la que P_o . (Kg fuerza /M²) es la presión estática o ρ_o y V_o . son la densidad (Kg masa /M³) y la velocidad en que ésta situada la boca; y G_c 9.806 (Kg. masa) (Kg. fuerza)/(seg.².); esto es, la carga estática y de la carga de velocidad o dinámica.

Con gases a velocidades superiores superiores a 60 m/seg.; la formula teórica exacta para un gas perfecto es:

$$V_o = \sqrt{\left(\frac{2g_c K}{K-1}\right) \frac{P_i}{\rho_i} \left[1 - \left(\frac{P_o}{P_i}\right)^{\frac{K-1}{K}}\right]}$$

En la que K es la relación del calor específico a volúmen constante calor específico a presión -- constante y ρ_i es la densidad medida a la presión P_i y a la temperatura registrada por un termómetro insertado en la corriente.

Solo para velocidades sumamente reducidas y para tubos de diámetros muy pequeños, hay algún indicio de que la lectura de un tubo de choque sea afectada por la viscosidad del fluido.

Se ha demostrado que un tubo de 0.1 cm. de diámetro daba lecturas que estaban de acuerdo con la fórmula usual hasta que se llegaba a velocidades de menos de 0.2 pies/ Seg. (6cm/Seg) esos tubos de choque tan minúsculos, hechos con tubitos de los que se emplean en las jeringas hipodérmicas, han sido empleados por stanton y otros para estudiar la circulación de un fluido cerca de la pared de la tubería.

La longitud y la forma de la punta o boca del tubo no produce ningún efecto sobre la presión indicada por un tubo de choque, siempre que la boca mire aguas arriba. La forma de la punta influye algo sobre la manera de comportarse el tubo cuando se inclina el plano de la boca con respecto a su posición correcta de 10 a 15 grados no da lugar a ningún error importante en general, las lecturas no coinciden con las calculadas determinando la componente de la velocidad, o de la presión de choque, que actúa perpendicularmente al plano efectivo de la boca. Es evidente que un tubo de choque es un instrumento poco satisfactorio para hallar la dirección de la corriente de determinados puntos de fluido.

Si se conectan las ramas de un manómetro diferencial, una de ellas a un orificio de presión estática (ó estático y la otra a un orificio de choque como en la figura (b) es evidente que la lectura mide directamente la carga debida a la velocidad. Un tubo pitot es uno de choque que se utiliza de esa manera. Cuando la lectura $H.$, se expresa en mts. del fluido que circula y el orificio estático está situado de manera que registre realmente la presión estática del fluido.

en la punta del tubo de choque, la velocidad en ese punto es:

$$V_o = \sqrt{2 g \Delta H} = \sqrt{2 g_c (p_i - p_o) / \rho}$$

que se deduce fácilmente de la fórmula Pi. Y está sujeta a las mismas limitaciones. El estudio que antecede sobre los orificios de choque y estáticos muestra claramente que casi la única causa de desviación con respecto a la fórmula teórica anterior que se encuentra en la práctica es el hecho de que el orificio estático no esté bien hecho, en una tubería o en un conducto; si el punto en que se efectúa la medida es presidido por al menos 50 diámetros de tubería recta, se obtiene la mayor precisión utilizando orificios estáticos bien hechos en la pared lateral en la sección transversal en la que está situada la punta del tubo de choque, éste último, preferible de forma aerodinámica, debe ser muy pequeño en relación con la sección transversal del conducto, para reducir al mínimo la interferencia con la corriente normal,

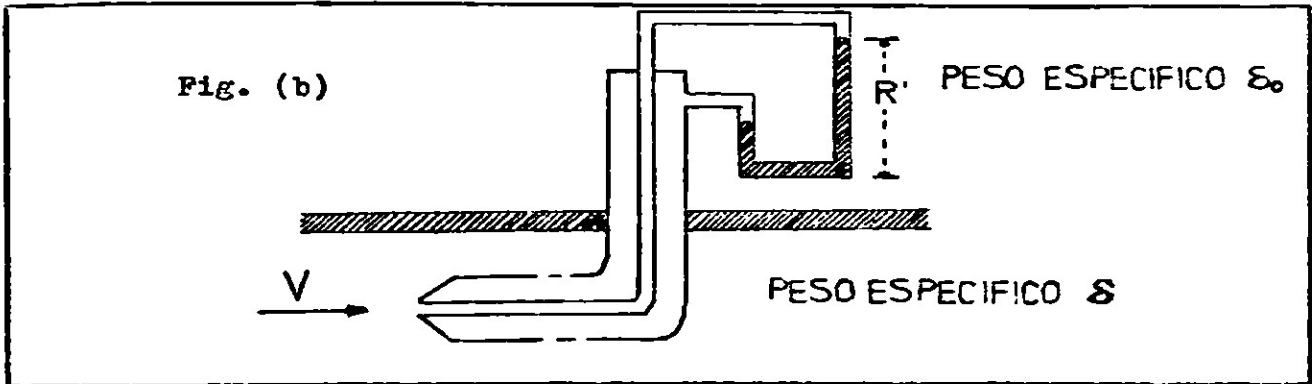
Se ha diseñado un gran número de tubos Pitot compactos y muy cómodos que se encuentran en ordinario en el mercado, uno de los tipos es el que aparece en la figura 3.4, en este tubo, los orificios estáticos son pequeños agujeros practicados en la pared exterior del tubo doble. El paso interior forma el tubo de choque propiamente dicho si se hace con cuidado los orificios estáticos y se colocan a una distancia de 6 veces el diámetro, a partir del punto en que la pared de tubo empieza a ser paralela a la corriente cuando el aparato está correctamente colocado, y por lo menos a 10-

diámetros de distancia de la barra de soporte, las lecturas estarán de acuerdo con la ecuación teórica en general, sin embargo, es conveniente suponer que la fórmula para un tubo comercial es de tipo compacto,* y determinar el coeficiente C calibrando el tubo en valor de C para tubos Pitot comerciales está comprendido por lo general entre 0.8 y 1.0 pero, para un tubo dado, C puede variar por la velocidad la viscosidad y la densidad del fluido que se estudia, el instrumento de tipo compacto se utiliza casi exclusivamente en los trabajos prácticos de ingeniería a causa de su comodidad, si se desea exactitud todos los tubos Pitot deben ir presididos por un trozo recto de canal lo más largo posible.

$$V = C \sqrt{2 g A H} \quad *$$

Con tubos Pitot compactos debe tenerse mucho cuidado con que la boca de choque mire exactamente -- aguas arriba, pues en muchos instrumentos de esta índole basta una ligera inclinación de la punta para -- que la boca quede en una posición incorrecta dando así lugar a un error importante en los resultados.

Es sumamente importante darse cuenta de que la orientación para la lectura máxima no corresponde por necesidad a la que le dá la lectura correcta; para uno de los mejores tubos compactos, la lectura máxima es de 15 % mayor que la lectura correcta y tiene lugar cuando el tubo esta desaliniado 30°



UNO O MAS ORIFICIOS DE 0.5 mm EN LAS PARTES DE ARRIBA Y ABAJO Y A CADA LADO DEL TUBO EXTERIOR.

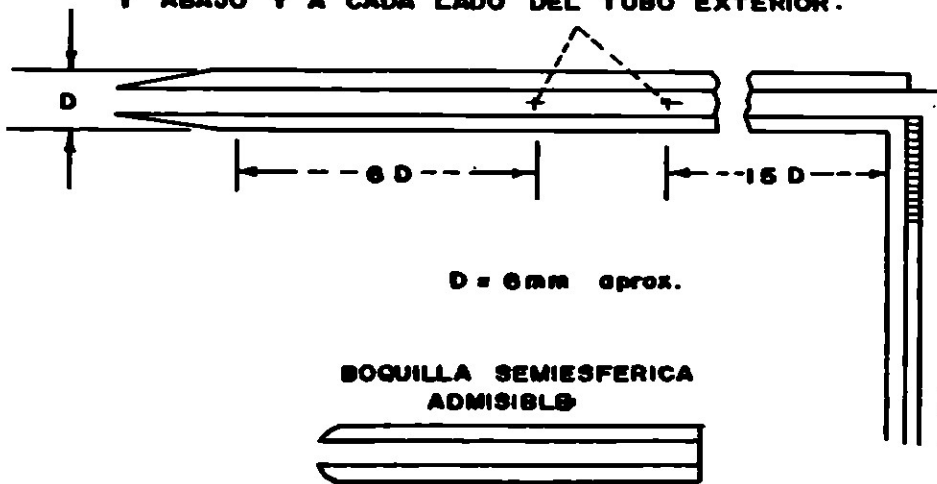


Fig. 3.4

Tubo Pitot compacto.

PROCEDIMIENTO PARA HALLAR LA VELOCIDAD MEDIA

Es evidente que cualquiera de los instrumentos para medir la velocidad local puede utilizarse para hallar la velocidad media en un conducto, o el gasto total del mismo, dividiendo la sección transversal en varias partes de igual área, hallando la velocidad local en un punto representativo de cada una y promediando los resultados, es evidente que cuanto mayor sea la subdivisión de la sección transversal mayor será la precisión.

Cuando, como en el caso del tubo Pitot, la lectura efectiva no es directamente la velocidad, debe observarse que hay que convertir las lecturas en velocidad antes de promediar. Es el caso de pasos rectangulares suele dividirse la sección transversal en pequeños cuadros o rectángulos y se halla la velocidad en el centro de cada uno de las tuberías circulares se divide la sección en varias coronas circulares y un círculo central de iguales áreas.

Las lecturas de velocidad se hacen en las intersecciones de un diámetro con la serie de circunferencias que dividen en dos áreas iguales cada una de las coronas y el círculo central.

Para una transversal de N puntos, se hacen lecturas a cada lado de la sección transversal en:

$$100 \times \sqrt{\frac{2n-1}{2}} \% \quad (n = 1, 2, 3, \text{ hasta } \frac{n}{2})$$

Del radio del tubo a partir de su eje. La figura 3.5 muestra la disposición para un transversal de 10 puntos. Cuando una tubería circular tiene que-

ser más minuciosamente explorado de lo que permite -- una sola transversal, es corriente efectuar medidas - en varios diámetros espaciados entre sí.

Con la distribución de velocidad normal en una tubería circular, una sola transversal de 10 puntos dá una velocidad media que es teóricamente 0.30 % demasiado alta y una transversal de 20 puntos dá un resultado de 0.1 % demasiado alto.

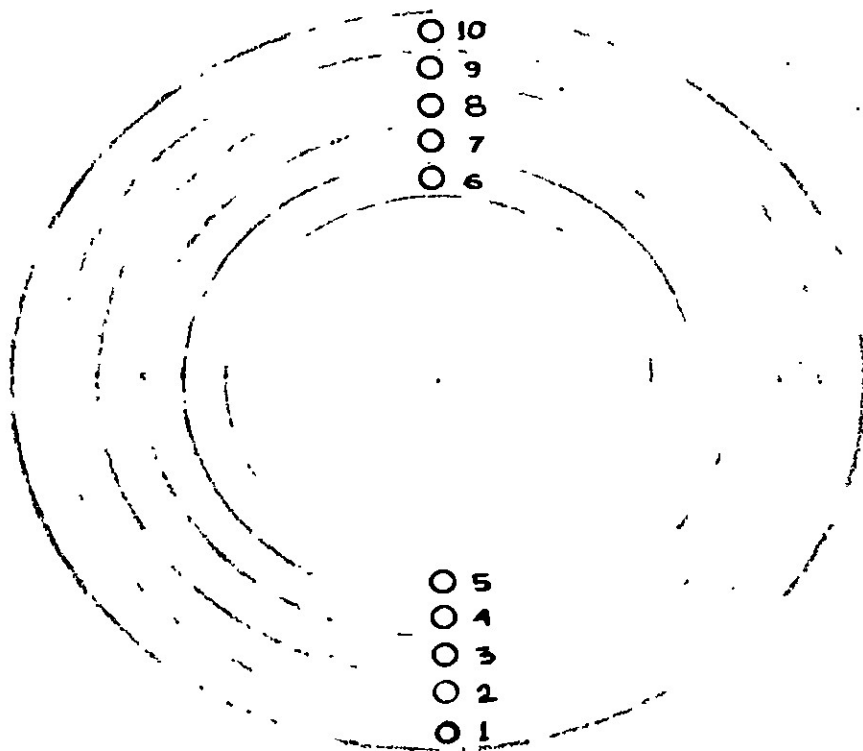


Fig. 3.5 Colocación del Tubo Pitot en una sección transversal de 10 puntos.

Una transversal de 3 puntos basada en el método de integración numérica de Gauss exige una lectura en el centro (V_c) y en puntos a cada lado del centro velocidad media es entonces $V = 4/9V_c + 5/18 (v_a + v_b)$. El resultado es de una exactitud suficiente para la mayoría de los fines si las distribuciones de velocidad es simétrica con respecto al diámetro utilizado.

EN lo que respecta a la distribución de velocidad en una tubería recta circular en puntos promedios por un tramo de por lo menos 50 diámetros sin ningún accesorio ni obstrucciones de ninguna clase de gráfica de la figura 3.6 muestra la relación de V (Velocidad Media) a V_{max} . (Velocidad efectiva en la línea central) transportada en función de DV_{max} / ν y DV_{max} .

Con ésta gráfica, y una lectura de tubo Pitot en el centro de una tubería, puede determinarse fácilmente la velocidad media. Para mayor exactitud y siempre que haya motivo para sospechar que la distribución de la velocidad sea normal debe averiguarse los valores del factor de la tubería V/V_{max} , en el sitio en que se efectúan las medidas, haciéndolo en varias transversales a diferentes velocidades. Después, utilizando la relación determinada experimentalmente, bastará con una lectura en el centro de la tubería. El factor en la tubería debe hallarse siempre por éste método en el caso donde se halle que DV_{max} , está comprendido entre dos mil y cinco mil; para valores del número de Reynolds menores que 2000, V/V_{max} es 0.50.

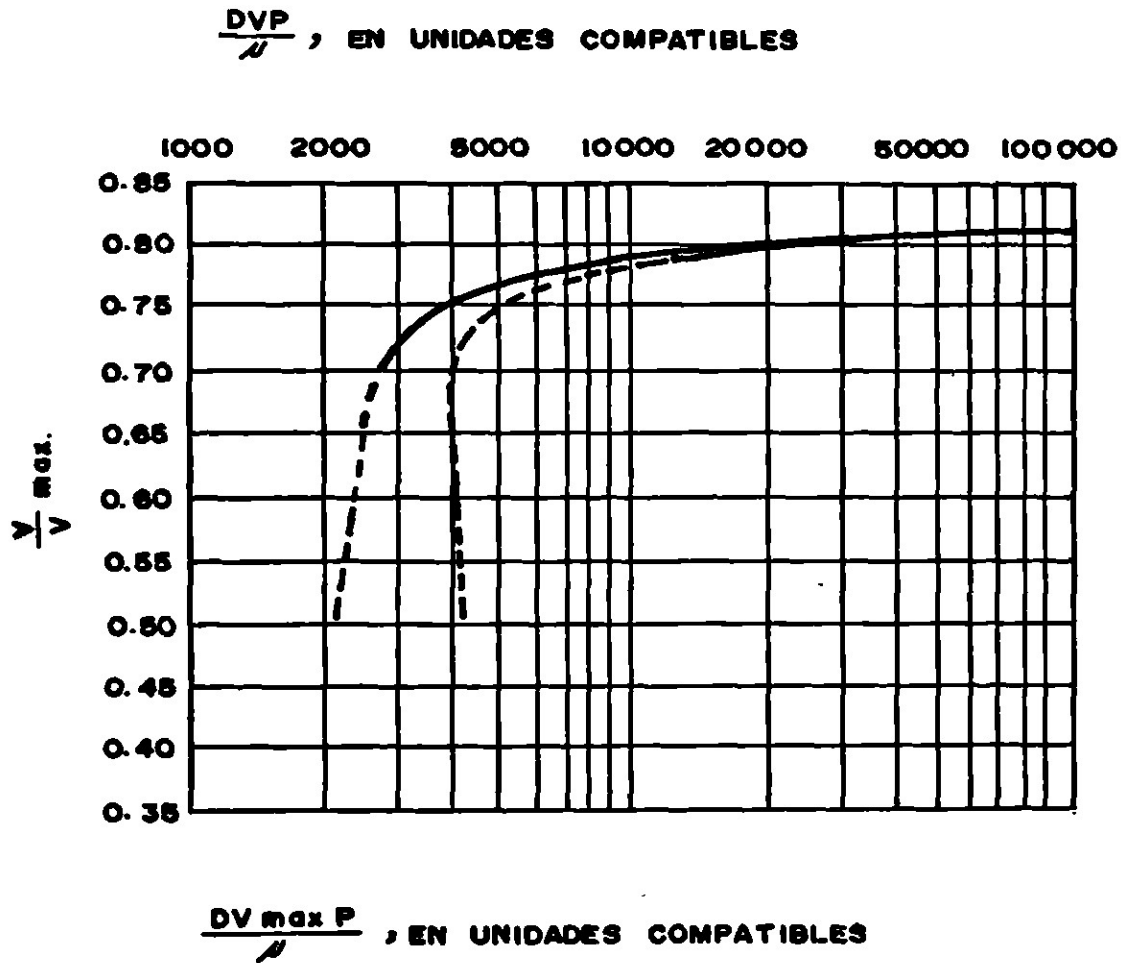


Fig. 3.6 Factor de la tubería de tubos circulares, (McAdams, Heat Transmission, McGraw-Hill, Nueva York, 1933)

FLUJO DE CONDUCTOS

El principal objetivo de ésta sección es -- calcular los cambios de presión que se tienen en un - flujo incompresible a través de un tubo o conducto, y en general en sistemas dónde el flujo se encuentra - - confinado. Los cambios de presión en un sistema de - ésta naturaleza pueden deberse, por una parte, a cambios en el nivel o bien a cambios en la velocidad (debido a cambios en el área de la sección transversal), y por otra parte; al rozamiento. Anteriormente, al estudiar el flujo sin rozamiento, el empleo de la ecuación de Bernoulli permitió tener en cuenta los efectos de los cambios de nivel y en la velocidad de flujo. Se concluye entonces que el principal interés en el análisis de los flujos reales es tener en cuenta - ahora el efecto del rozamiento; este efecto consiste en una disminución de la presión, es decir, en la - - existencia de una pérdida de presión comparada con el caso ideal de flujo sin rozamiento. Para simplificar el análisis, las pérdidas se dividirán en pérdidas mayores (debido al rozamiento en un flujo completamente desarrollado que pasa a través de segmentos con área de sección transversal constante) y pérdidas menores (debidas a la presencia de válvulas, bifurcaciones, - codos y a los efectos de rozamiento en aquellos segmentos del sistema cuya área de la sección transversal no es constante).

Para desarrollar las expresiones matemáticas que relacionan la. pérdidas mayores debidas al rozamiento en conductos de área de sección transversal constante, consideraremos flujos completamente desarrollados, es decir, flujos en los cuales el perfil

C A P I T U L O I V
P E R F I L E S D E V E L O C I D A D

de las velocidades no cambia en la dirección del flujo. La caída de presión que se presenta a la entrada de un tubo se considerará cómo una pérdida menor.

Puesto que los conductos de sección transversal circular son los más comunes en las aplicaciones de la Ingeniería, el análisis básico se referirá a geometrías circulares. Los resultados se pueden extrapolar a otras geometrías teniendo en cuenta el concepto de diámetro hidráulico.

PERFILES DE VELOCIDAD EN UN FLUJO A
TRAVES DE UN CONDUCTO

EL flujo en un tubo puede resultar laminar ó turbulento dependiendo del número de Reynolds. Para un flujo laminar completamente desarrollado, el perfil de la velocidad es parabólico. De éste modo.

$$u = - \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Pero $u = u \text{ máx.} = U$ para $r=0$
es decir,

$$U = - \frac{R^2}{4\mu} \frac{dp}{dx} \quad \therefore \quad \frac{u}{U} = 1 - \frac{r^2}{R^2} \quad (2)$$

Para el flujo laminar a través de un conducto. Por otra parte según la ecuación, la velocidad promedio es igual a la velocidad a la línea del centro, es decir,

$$\frac{\bar{v}}{U} = 1/2 \quad (3)$$

Exceptuando el flujo de un fluido muy viscoso a través de un conducto de diámetro pequeño, los flujos internos son en general turbulentos. Como se señaló en el análisis de flujo laminar y turbulento, en un flujo turbulento no existe una relación universal entre campo de esfuerzo y el campo de velocidades medias. Es necesario entonces basarse en los resultados experimentales.

El perfil de la velocidad para un flujo - -

turbulento a través de un tubo liso se puede representar mediante la ecuación empírica muchas veces conocida como " Ley de Potencia ",

$$\frac{u}{U} = \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/n} \quad (4)$$

Donde el exponente, N, varía con el número de Reynolds. El valor de dicho exponente es 6 para un número de Reynolds de 4.0×10^3 . Para un número de Reynolds de 1.1×10^5 , n vale 7; el valor de N, aumenta hasta 10 para un número de Reynolds de 3.2×10^6 . Puesto que la velocidad promedio $V=Q/A$ y

$$Q = \int_A \bar{v} \cdot d\bar{A}$$

FLUJO VISCOSO INCOMPRESIBLE

Se puede calcular la razón de la velocidad promedio entre la velocidad de la línea del centro -- utilizando la ecuación (4) , se obtiene.

$$\frac{\bar{v}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (5)$$

Se observa en la ecuación 5 que conforme N, crece (debido a que el número de Reynolds aumenta) la razón de la velocidad promedio entre la velocidad en la línea del centro también aumenta, es decir, el perfil de la velocidad se vuelve más "achatado". Para -- $n=6, V/U=0.79$, mientras que para $n=10, V/U=0.87$)

En la figura 4 se muestran los perfiles de velocidad para un flujo turbulento (ecuación 4). Ambos para el mismo valor del número de Reynolds ($RE=4.0 \times 10^3$). Los perfiles tienen la misma velocidad media y en consecuencia el mismo gasto volumétrico; no tiene sin embargo, la misma velocidad en la línea del centro.

Se observa en la figura 4, que el perfil turbulento tiene una pendiente mucho más pronunciada cerca de la pared que el perfil laminar.

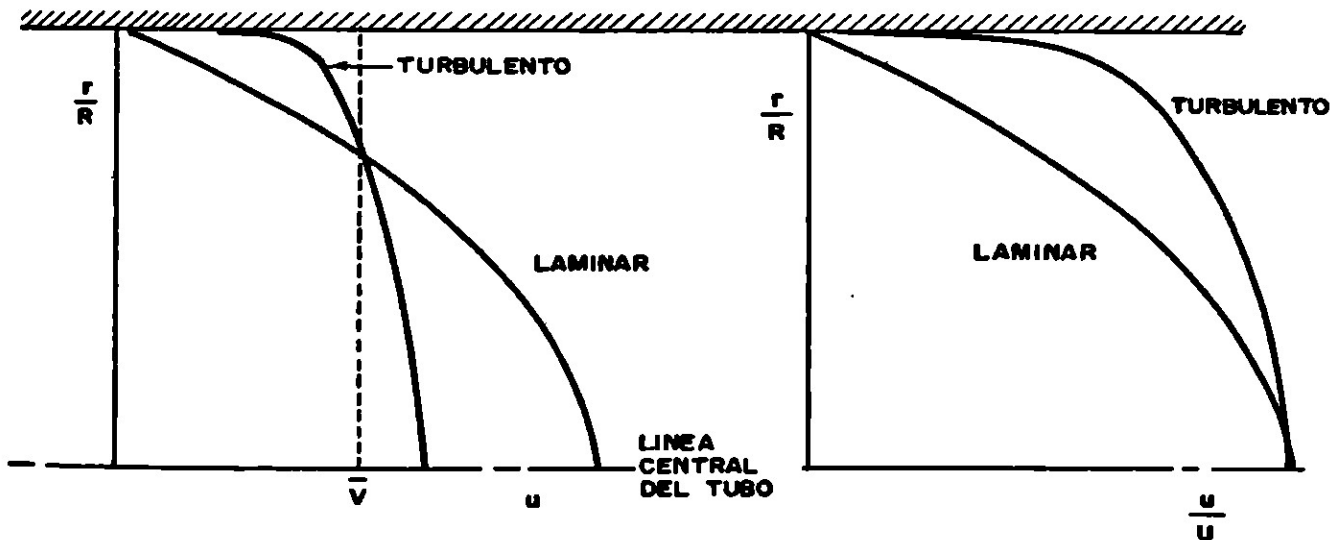


Fig. 4. Perfiles de velocidad para un flujo laminar y uno turbulento en un conducto liso con un número de Reynolds, $Re = 4 \times 10^3$.

PERFILES DE VELOCIDAD EN REGIMEN TURBULENTO
ESTACIONARIO

En el caso del fluido que circulan en estado de régimen con flujo laminar, suele ser posible efectuar la precisa predicción teórica de la distribución de velocidades que adopta el fluido en configuraciones geométricas sencillas, es decir: tubos rectos con secciones circular tales distribuciones de velocidades es necesario expresar exactamente la "densidad de flujo de cantidad de movimientos en el régimen laminar". Tales expresiones vienen dadas por la ley de viscosidad debida a Newton, para el caso de los fluidos newtonianos y por diversos modelos empíricos para el caso de los otros fluidos.

En el caso de flujo turbulento en régimen la naturaleza complicada de la "densidad de flujo de cantidad de movimiento en el flujo turbulento" ha impedido predecir exactamente la distribución de las velocidades del fluido, de tiempo ajustado sin embargo, se han implicado diversas relaciones empíricas y semiempíricas al caso de tales distribuciones de velocidad de tiempo ajustado. Para ilustrar elementales la naturaleza del régimen turbulento y para compararla con la del laminar se medirán y luego se procederá a analizar, para diversos caudales, las distribuciones de velocidad y velocidades de transferencia de impulso que se presentan en el agua que recorre un tubo liso bajo condiciones de turbulencia.

De las relaciones empíricas que han sido propuestas para describir la "densidad de flujo en régimen turbulento" las debidas a Prandlt y a Deissler han

sido utilizadas para describir las distribuciones de velocidad que tiene lugar en flúidos incomprensibles que circulan por dentro de tubos.

Estas dos relaciones empíricas, combinadas con la ecuación de movimiento de tiempo ajustado y con los datos experimentales permiten obtener las siguientes expresiones para las distribuciones de velocidad en el tiempo, correspondiente a valores del número de Reynolds por encima de 20.000.

$$v^+ = s^+ , \quad 0 < s^+ < 5 \quad (1a-1)$$

$$v^+ = \int_0^{s^+} \frac{ds^+}{1 + 0.0154 v^+ s^+} \frac{1 - \exp(-0.0154 v^+ s^+)}{1 - \exp(-0.0154 v^+ s^+)} \quad (1a-2)$$

$0 < s^+ < 26$

$$v^+ = \frac{1}{0.36} \ln s^+ + 3.8 , \quad s^+ > 26 \quad (1a-3)$$

Siendo

R = el radio del conducto

r = la distancia radial

$S^{\pm} = (R-r) (T_0 e)^{1/2} / u$

\bar{V}_z = la velocidad de tiempo constante en el punto, r.

$v^+ = \bar{V}_z (e)^{1/2} / (T_0)^{1/2}$

T_0 = el esfuerzo constante en la interfase fluido sólido;

ρ = la densidad del fluido;

μ = la viscosidad del fluido.

Bird, Stewart y Lightfoot resumen las Esc. I.a-I; - - I.a-2; y I.a-3 en forma gráfica.

Schlichting ha propuesto la siguiente ecuación empírica, que cumple los puntos experimentales y que describe la distribución de velocidades para el caso de flujo en tubos redondos.

$$\bar{v}_z = \bar{v}_z \max (1-r/R)^{1/n}$$

Siendo:

M= una constante

R= radio del tubo

r= la distancia radial;

\bar{v}_z = el promedio de la velocidad de tiempo constante en el punto r;

$\bar{v}_z \max$ = la velocidad de tiempo constante en el centro del conducto.

Schlichting encontró que la constante n varía, en el número de Reynolds, en la forma que se resume en la tabla 1.a-1 :

Re	4×10^3	7.3×10^4	1.1×10^5	1.1×10^6	2.0×10^6	3.2×10^6
n	6.0	6.6	7.0	8.88	10	10

Esta expresión si bien extremadamente sencilla y conveniente desde muchos puntos de vista, desde otros resulta poco satisfactorio.

Uno de los métodos más sencillos que permitan medir velocidades puntuales en el seno de un fluido que se mueve, es constituido por el empleo del tubo Pitot. La velocidad puntual está relacionada con la diferencia que existe entre la presión sobre el tubo de impacto (una de las ramas del Pitot), y la presión-

estática del fluido en el punto de impacto (segunda -
rama del Pitot), según la siguiente relación (válida -
cuando ambas ramas del manómetro están en un mismo --
plano y son paralelas);

$$V_z = \left[2g \Delta h \text{ factor Sen } \theta \right]^{1/2}$$

Siendo g la aceleración de la gravedad;

C A P I T U L O V
DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL TUBO DE PITOT DESPLAZABLE

Para llevar a cabo el diseño de el tubo Pitot se debe considerar el tipo de material a utilizar puesto y el comportamiento del flujo depende de éste aumentando ó disminuyendo la caída de presión. Así como la toma de velocidad puntual para la presión dinámica y para la toma de presión estática puesto que deben hacerse con exactitud y precisión para obtener eficiencia en las lecturas manométricas.

EL diseño de este equipo el cuerpo es de -- bronce el cuál se une con tubería de cobre en la entrada del flujo (agua) con una extensión presidida a las tomas de presiones dinámica y estática de 50 diámetros de tubería recta con respecto a el diámetro de la entrada del caudal para obtener mejores resultados en los perfiles de velocidad a diferentes radios de la tubería y comparando gráficamente datos teóricos vs. experimentales.

La toma de presión dinámica es através de un conducto de cobre de 1/8 pulg. de diámetro exterior colocado en ángulo recto (90°) y en posición vertical el diámetro interior es de 3/64 de pulg. y una longitud de 1 1/2 pulg. (38.10 mm) en línea paralela a las paredes de la tubería (este tubo de choque debe colocarse cuidadosamente sin que se forme un ángulo mayor de 15° con respecto a la toma ya que originaría un -- error considerable).

La toma de presión estática está colocada - en la pared de la tubería de cobre situada en forma - perpendicular a la toma de presión dinámica pasa a -- través de un pequeño orificio de 3/64 pulg, y un ducto de 1/8 de pulgada de diámetro exterior.

Ambas tomas de presión se unen a un ducto - de mayor diámetro (5/16 de pulg.) y éstas a su vez pa san a cada extremo del manómetro diferencial de agua- sobre tetracloruro de carbono (CCL₄). Utilizando en- la medición de alturas una pequeña escala en mm. (AH) Ver diagrama de flujo de la fig. 5.1 el cual muestra- en forma esquemática la secuencia del caudal compues- to por un tanque de alimentación y a través de una -- bomba centrífuga lo impulsa haciendolo pasar por vál- vulas y accesorios hasta llegar a el tubo Pitot y de- ahí llega al Rotámetro para control de éste llegando- así a un tanque de recirculación el cuál evita el con- sumo ó desperdicio excesivo de agua.

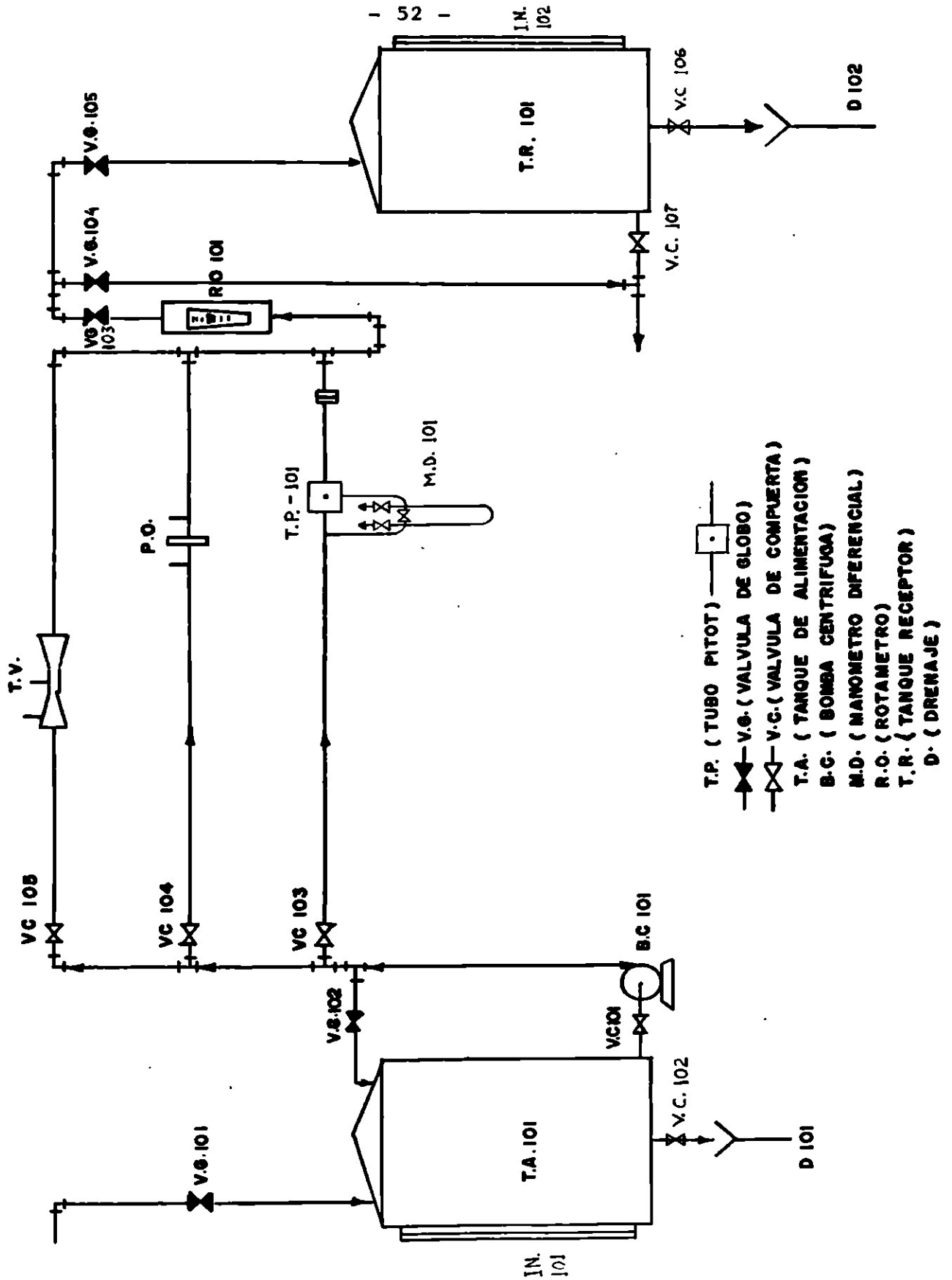
Cómo podemos ver en el esquema 5.2 el tubo- Pitot es desplazable el cuál esta comprendido por una escala vertical de 7 puntos (diferentes radios en el- diámetro del tubo). Separados 3mm c/u todo el movi- miento lo realiza girando la perilla la cuál mueve -- una cremallera que sube o baja el tubo de la toma de- velocidad puntual ó de choque el cuál lo coloca en di- ferentes radios con respecto a el centro dela tubería y así mide la velocidad puntual ó perfiles de veloci- dad.

El esquema 5.3 presenta las partes secciona

les del tubo de Pitot el cuál se armó cuidadosamente--
debido a la colocación de las tomas de presiones en --
cuanto a la dinámica esta colocada a 1 1/2 pulg. con--
respecto a el bástago y paralela a las paredes, ya --
que sabemos es un tubo en forma de ángulo recto y la--
distorsión en grados debe ser mínima, al igual que la
estática está colocada a la misma distancia con res--
pecto a el bástago pero en la pared de la tubería y --
de ahí por un ducto de 1/8 de pulg. a el manómetro di--
ferencial. El diámetro interno de la tubería de co--
bre por la que llega el caudal es de 1.06225 pulg. el
cuál dividimos en 7 posiciones para obtener los perfí--
les de velocidad.

Debemos tomar en cuenta que las válvulas y--
conecciones, así como el rotámetro se encuentra en --
perfecto estado para la obtención de resultados satis--
factorios del equipo.

DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL



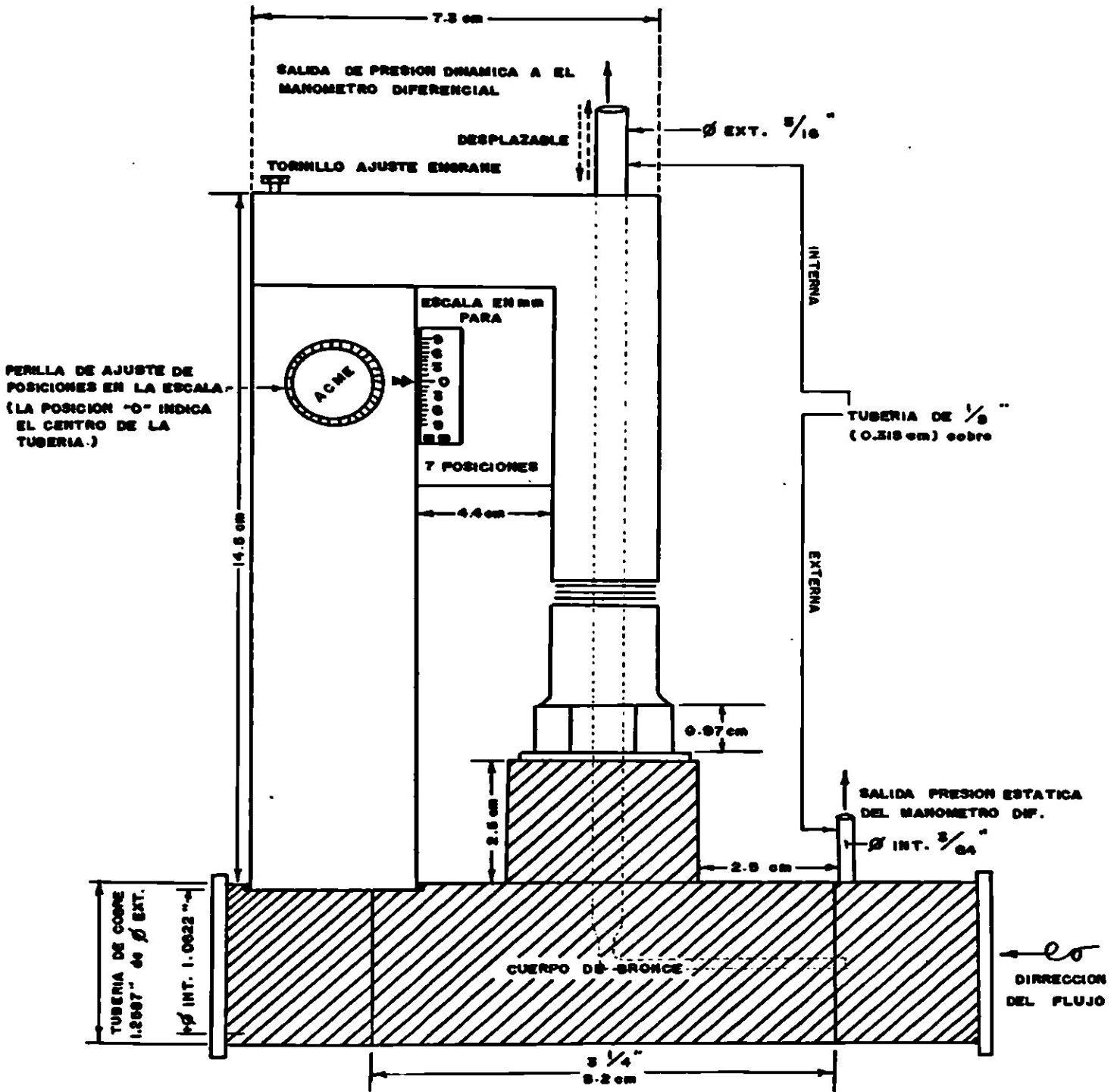


Fig. 5.2 Vista frontal del Tubo Pitot

Escala 1:1

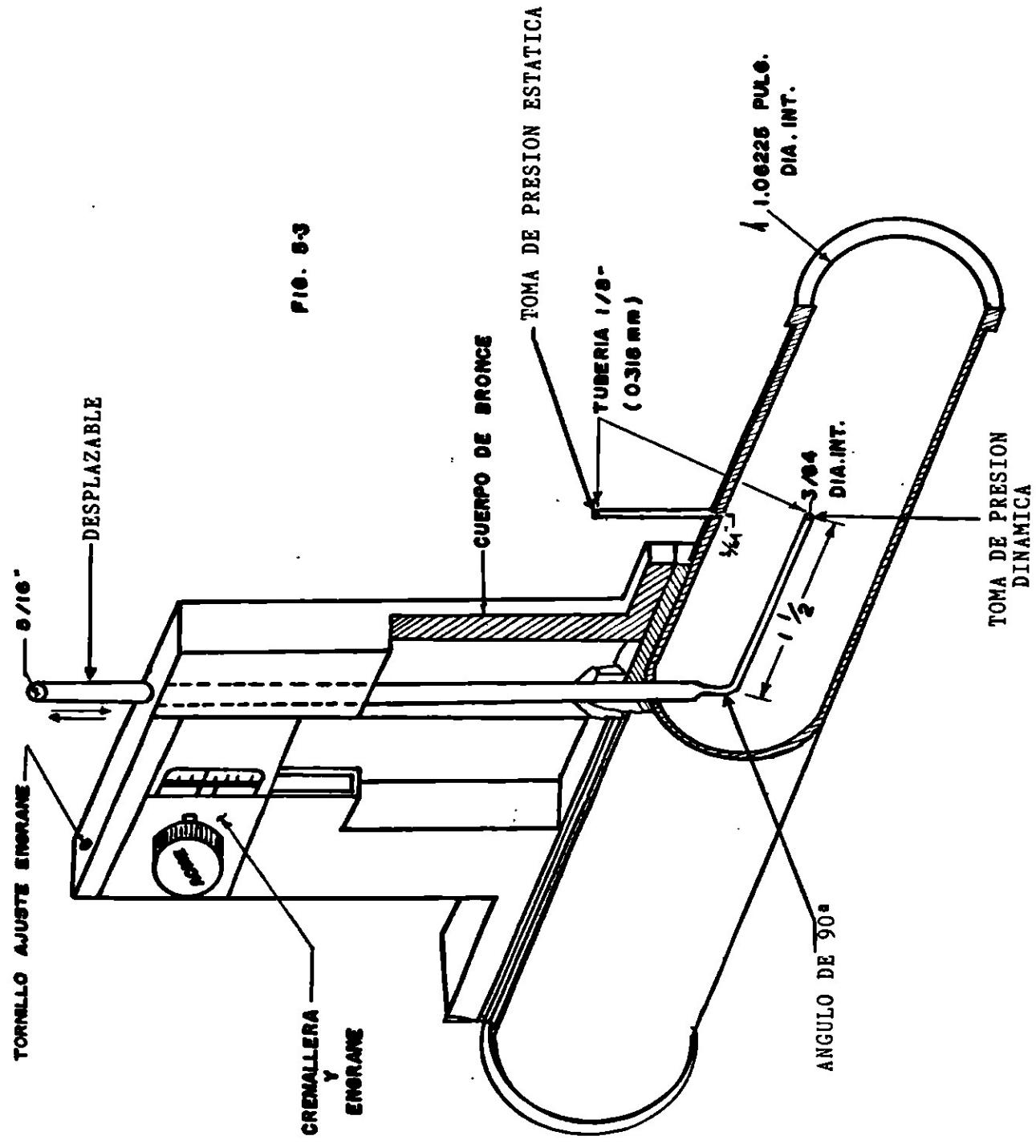


FIG. 8-3

DIBUJO SECCIONAL TUBO PITOT (DE IMPACTO)

C A P I T U L O VI

PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

" DETERMINACION DE PERFILES DE VELOCIDAD "

OBJETIVO :

Medir velocidades de fluidos, compresibles - e incompresibles, en el interior de un tubo, y mediante los resultados obtenidos determinar el perfil de velocidad de los fluidos tanto teóricos como experimentales.

FUNDAMENTO.

Medidores de velocidad.

Los tubos Pitot miden las velocidades locales ó puntuales mediante la diferencia entre la presión de impacto y la presión estática. El tubo Pitot consta de un tubo de impacto cuya abertura queda directamente frente a la corriente para medir la presión de impacto y de una ó más tomas o derivaciones de pared laterales para medir la presión estática local.

.

DESCRIPCION DEL EQUIPO :

T.A. - 101 Tanques de alimentación.
V.C. - 101 Válvula de paso general.
B.C. - 101 Bomba centrífuga.
V.G. - 102 Válvula de alivio.
V.C. - 103 Válvula de paso a la tubería.
T.C. - 101 Tubería de cobre de 1" de diámetro.
T.P. - 101 Tubo de Pitot.
R.O. - 101 Rotámetro con capacidad 32.2 lts./min.
V.G. - 103 Válvula de control de flujo general.
V.G. - 104 Válvula de recirculación.
V.G. - 105 Válvula de paso al depósito.
V.C. - 106 Válvula de descarga.

DIAGRAMA DE FLUJO :

PROCEDIMIENTO DE OPERACION:

- 1.- Revise que todas las partes del equipo se encuentren en buen estado.
- 2.- Abra la válvula de alimentación VG-101, la válvula de alivio VG-102, la válvula de paso a la tubería a trabajar VE-103, la válvula de control VG-103, - la válvula VG-104 de recirculación a el tanque - - TA-101.
- 3.- Nivele el manómetro diferencial (CCl_4), MD-101.
- 4.- Coloque el tubo de Pitot TP-101, en la posición -- inicial.
- 5.- Ponga a funcionar la bomba BC-101, conectando el - interruptor de la corriente eléctrica.
- 6.- Ajuste el gasto deseado por medio de la válvula de control auxiliándose en la medición por el rotámetro RO-101.
- 7.- Deje transcurrir un pequeño lapso de tiempo hasta que se nivele el manómetro diferencial, posteriormente mida la diferencia de alturas en las ramas.
- 8.- Desconecte el sistema de bombeo.
- 9.- Repita el procedimiento anterior a partir del No.- 6 cambiando cada vez la posición del tubo de Pitot hasta completar 7 mediciones.
- 10.- Modifique el gasto y realice nuevamente las operaciones del paso 6 al 9.
- 11.- Tome la temperatura del agua en el depósito del -- fluido.

CALCULOS REPRESENTATIVOS:

Ecuaciones a utilizar:

$$\bar{V}_z = \sqrt{2g\Delta h \rho^* \text{ Sen } \theta} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

\bar{V}_z = Velocidad del flujo local instantanea. $\frac{\text{cm}}{\text{seg}}$

h = Diferencias de alturas del manómetro |cm|

* = Factor de corrección de densidades. $\frac{\text{gr}}{\text{cc}}$

θ = Angulo del manómetro respecto a la horizontal = 90°.

g = Aceleración de la gravedad. $\frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$

$$\rho^* = \frac{\rho_{\text{cc1}_4} - \rho_{\text{H2O}}}{\rho_{\text{H2O}}} \dots\dots\dots(2)$$

$$r=R \left[1 - \left(\frac{V_z}{V_{z\text{max}}} \right)^n \right] \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

r = Cualquier posición del tubo de impacto con respecto al centro de la tubería.

R = Radio del ducto.

n = Constante en función del no. Re.

Re	4(10) ³	7.3(10) ⁴	1.1(10) ⁵	1.1(10) ⁶	2(10) ⁶
n	6.0	6.6	7.0	8.8	10

DATOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES:

- Diámetro nominal = 1" (Tubería de cobre).
- Diámetro interior = 2.64 cm.
- Temperatura de operación = 25°C.
- Densidad del CCl₄ = 1.595 gr/cm³.
- Densidad del agua = 0.99707 gr/cm³.
- Viscosidad del agua = 0.00894 gr/cm seg.
- Gasto = 40 %, 70 % 80 % (capacidad del Rotámetro 32.2 lts/min.)

DIFERENCIAS DE ALTURAS DEL MANOMETRO:

Gasto en lts/min	Posición en la escala y z en cm.						
	1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-
80 %	6.9	7.6	8.0	8.2	8.5	7.6	7.0
70 %	4.25	5.45	5.85	6.3	6.25	5.7	4.45
40 %	2.2	2.4	2.5	2.7	2.6	2.5	2.20

VALOR DE "r" EN LAS POSICIONES;

Gasto en lts/min		Posición del "r" en mm.						
		1.-	2.-	3.-	4.-	5.-	6.-	7.-
80 %	mm.	9	6	3	0	3	6	9
70 %	mm.	9	6	3	0	3	6	9
40 %	mm.	9	6	3	0	3	6	9

Tenemos:

Será constante para los tres gastos, utilizando la EC. (2).

$$\rho^* = \frac{\rho_{\text{CCl}_4} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\rho^* = \frac{(1.595 - 0.99707) \text{ gr/cm}^3}{0.99707 \text{ gr/cm}^3}$$

$$\rho^* = 0.59698$$

PARA UN GASTO DE 12.88 lts/min. (40% del Rotámetro).

Calculando \bar{v}_{z_1} mediante la Ec. (1) :

$$\bar{v}_{z_1} = \sqrt{2 g \Delta h \rho^* \text{ Sen } \theta}$$

$$\bar{v}_{z_1} = 2(9.81\text{m/seg}^2) (0.022\text{m}) (0.59968) (\text{sen } 90^\circ)$$

$$\bar{v}_{z_1} = 0.5088 \text{ m/seg}$$

y así, para las 6 posiciones restantes.

Calculando "r" teórico utilizamos la Ec.(3), pero se necesita evaluar "n".

$$12.88\text{lts/min} \frac{1000\text{cm}^3}{1 \text{ lt}} \frac{1\text{min}}{60\text{seg}} = 214.6667 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

Calculando $G = \bar{V} A$, por lo tanto,

$$\bar{V} = G/A$$

$$\bar{V} = \frac{214.6667 \text{ cm}^3/\text{seg}}{\underline{(2.64)}^2 \text{ cm}^2 (0.7854)}$$

$$\bar{V} = 39.2163 \text{ cm/seg.}$$

Calculando $Re = \frac{\bar{V} \rho D}{\mu}$

$$Re = \frac{(39.2163 \text{ cm/.seg}) (0.99707 \text{ gr/cm}^3) (2.64 \text{ cm})}{0.00894 \text{ gr/cm seg}}$$

$$Re = 11,546.7028$$

Interpolando para valuar "n" :

Re	4(10) ³	11,546.7028	7.3(10) ⁴
n	6	X	6.6

Tenemos que "n" : $X = 6.0771$

Sustituyendo valores en la Ec.(3) :

$$r_1 = R \left(1 - \frac{V_z}{V_{max}} \right)^n$$

$$r_1 = 1.32 \left(1 - \frac{0.5088 \text{ m/seg}}{0.5636 \text{ m/seg}} \right)^{6.0771}$$

$$r_1 = 0.6111 \text{ cm.}$$

De forma similar para las 6 posiciones restantes.

PARA UN GASTO DE 22.54 lts/min. (70 % del Rotámetro).

Se realiza de la misma forma:

Posición No. 1 $V_z 1 = 0.4995 \text{ m/seg}$

Evaluando "n" y conversiones:

$$22.54 \text{ lts/min} = 375.6666 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$\bar{V} = 68.6286 \text{ cm/seg.}$$

$$Re = 22.524.7540$$

$$n = 6.1611$$

Interpolando "n" mediante Ec.(3) $r_1 = 1.2030 \text{ cm.}$

PARA UN GASTO DE 25.76 lts/min. (80% DEL ROTAMETRO).

Calculando \bar{V}_z mediante la Ec. (1)

$$\bar{V}_z = \sqrt{2 g \Delta h C \text{ Sen } \theta}$$

1.- $\bar{V}_z = 0.9010 \text{ m/seg}$

y así para las 6 posiciones restantes.

Calculando "r" teórico utilizamos la Ec. (3), una vez evaluado "n".

$$25.76 \text{ lts/min} = 429.3333 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

Tenemos que $G = V A$, por lo tanto;

$$\bar{V} = G/A$$

$$\bar{V} = 78.4326 \text{ cm/seg.}$$

$$Re = 25,758.8461$$

Interpolando $n = 6.1892$

"r" teórico $r_1 = 0.5432 \text{ cm.}$

RESULTADOS :

GASTO 18.88 lts/min (40%)

Lectura	r (cm)	Δh (cm)	\bar{V}_z (m/seg)	r teórico (cm)
1.-	0.9	2.2	0.5088	0.6111
2.-	0.6	2.4	0.5313	0.3979
3.-	0.3	2.5	0.5423	0.2755
4.-	0	2.70	0.5636	0.
5.-	0.3	2.60	0.5531	0.1426
6.-	0.6	2.50	0.5426	0.2720
7.-	0.9	2.20	0.5088	0.6111

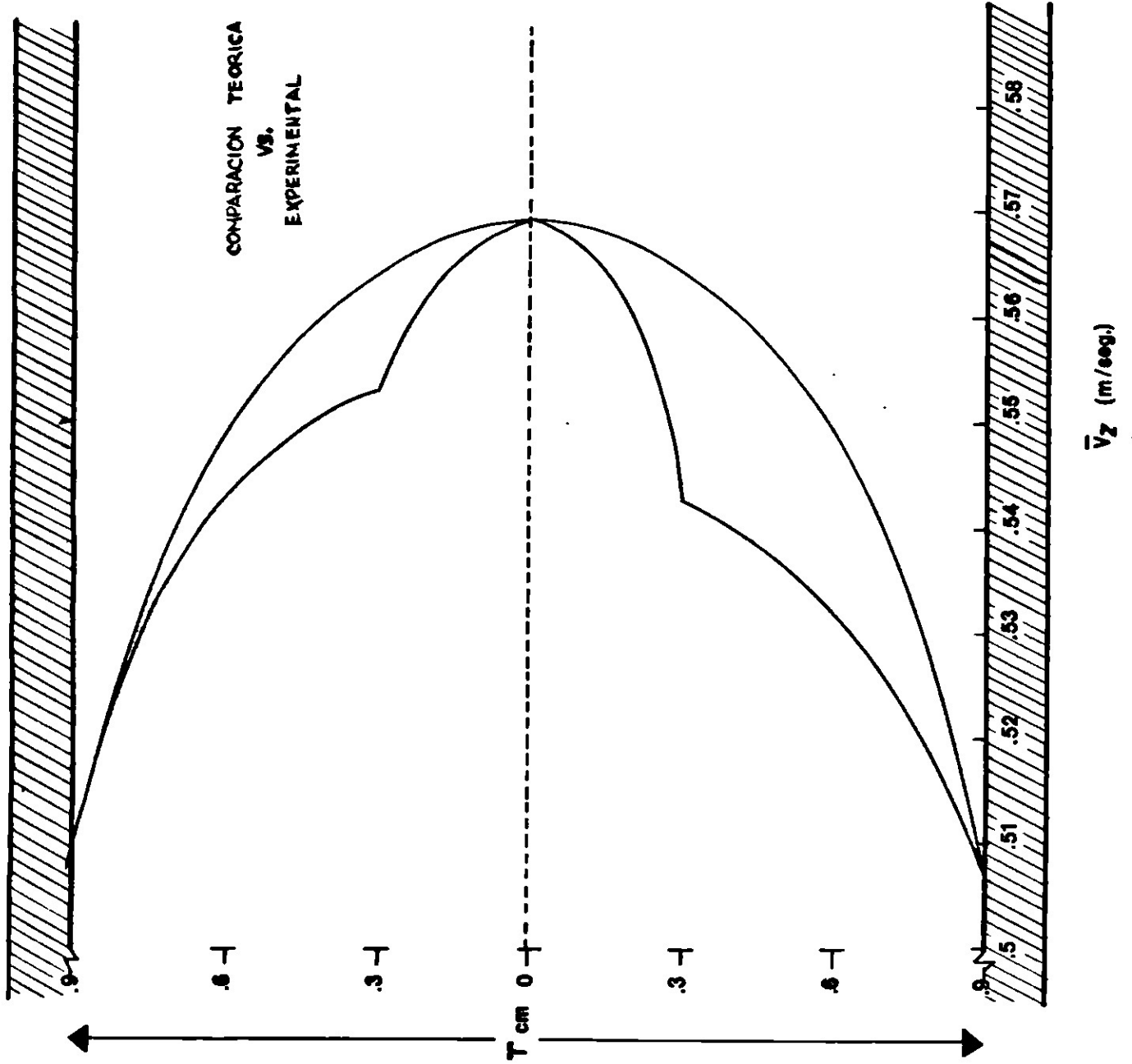
GASTO 22.54 lts/min (70%)

Lectura	r (cm)	Δh (cm)	\bar{V}_z (m/seg)	r teórico (cm)
1.-	0.9	4.25	0.4995	1.2037
2.-	0.6	5.45	0.6409	0.7797
3.-	0.3	5.85	0.6886	0.4792
4.-	0	6.30	0.7409	0
5.-	0.3	6.25	0.7350	0.0634
6.-	0.6	5.70	0.6703	0.6078
7.-	0.9	4.45	0.5233	1.1650

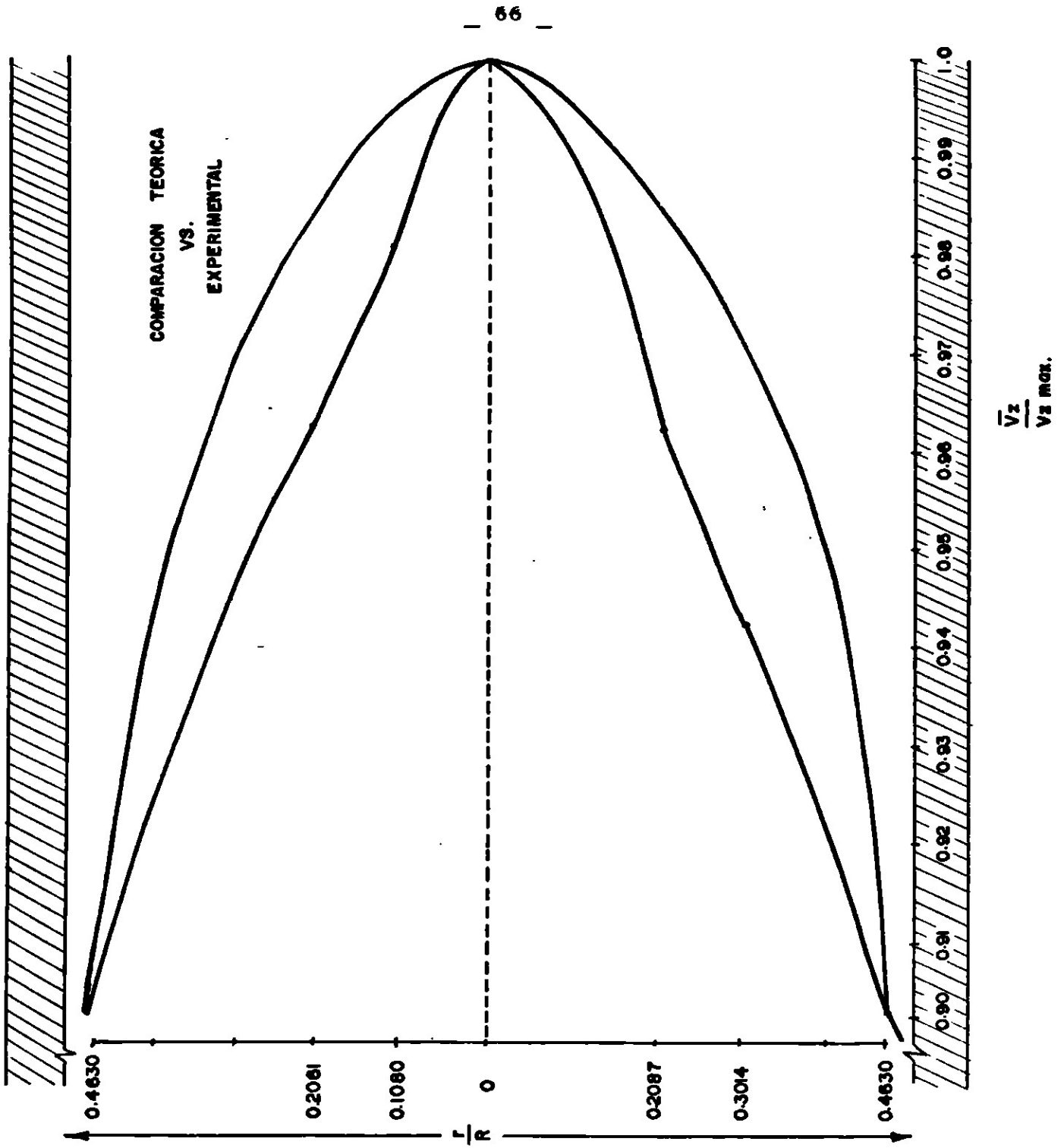
GASTO 25.76 lts/min. (80%)

Lectura	r (cm)	ΔH (cm)	\bar{V}_z (m/seg)	r teórico (cm)
1.-	0.9	6.9	0.9010	0.5432
2.-	0.6	7.6	0.9456	0.2764
3.-	0.3	8.0	0.9704	0.0951
4.-	0	8.2	0.9822	0
5.-	0.3	8.05	0.9732	0.0731
6.-	0.6	7.6	0.9456	0.2764
7.-	0.9	7.0	0.9075	0.5110

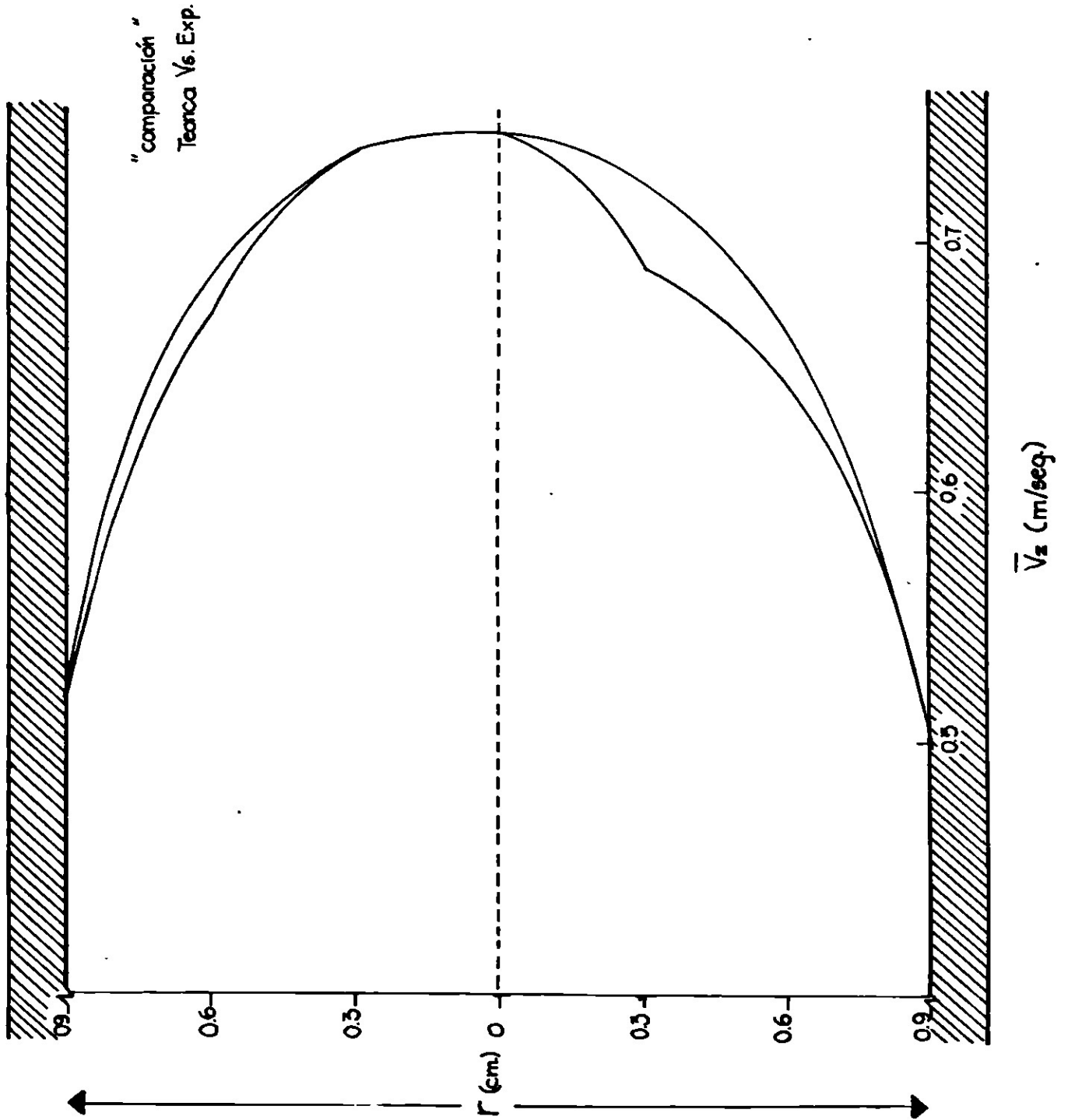
GRAFICA CON FLUJO DE 18.88 lt/min. (40% del Rotámetro)



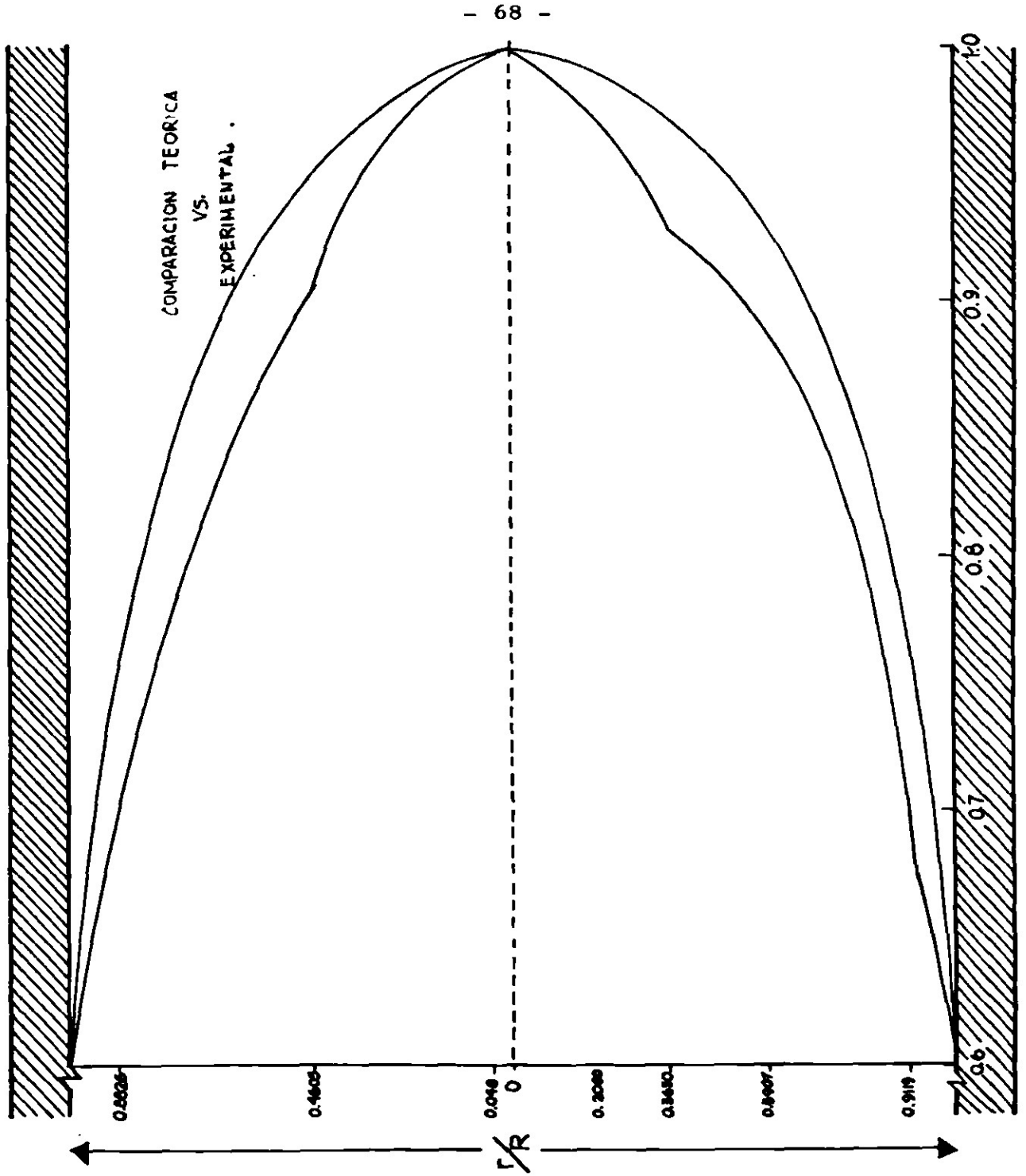
GRAFICA CON FLUJO DE 18.88 lts/min (40%)



GRAFICA CON FLUJO DE 22.54 lts/min. (70% del Rotámetro)



GRAFICA CON FLUJO DE 22.54 lts/min. (70% del Rotámetro)



GRAFICA CON FLUJO DE 25.76 lts/min. (80% del Rotámetro)

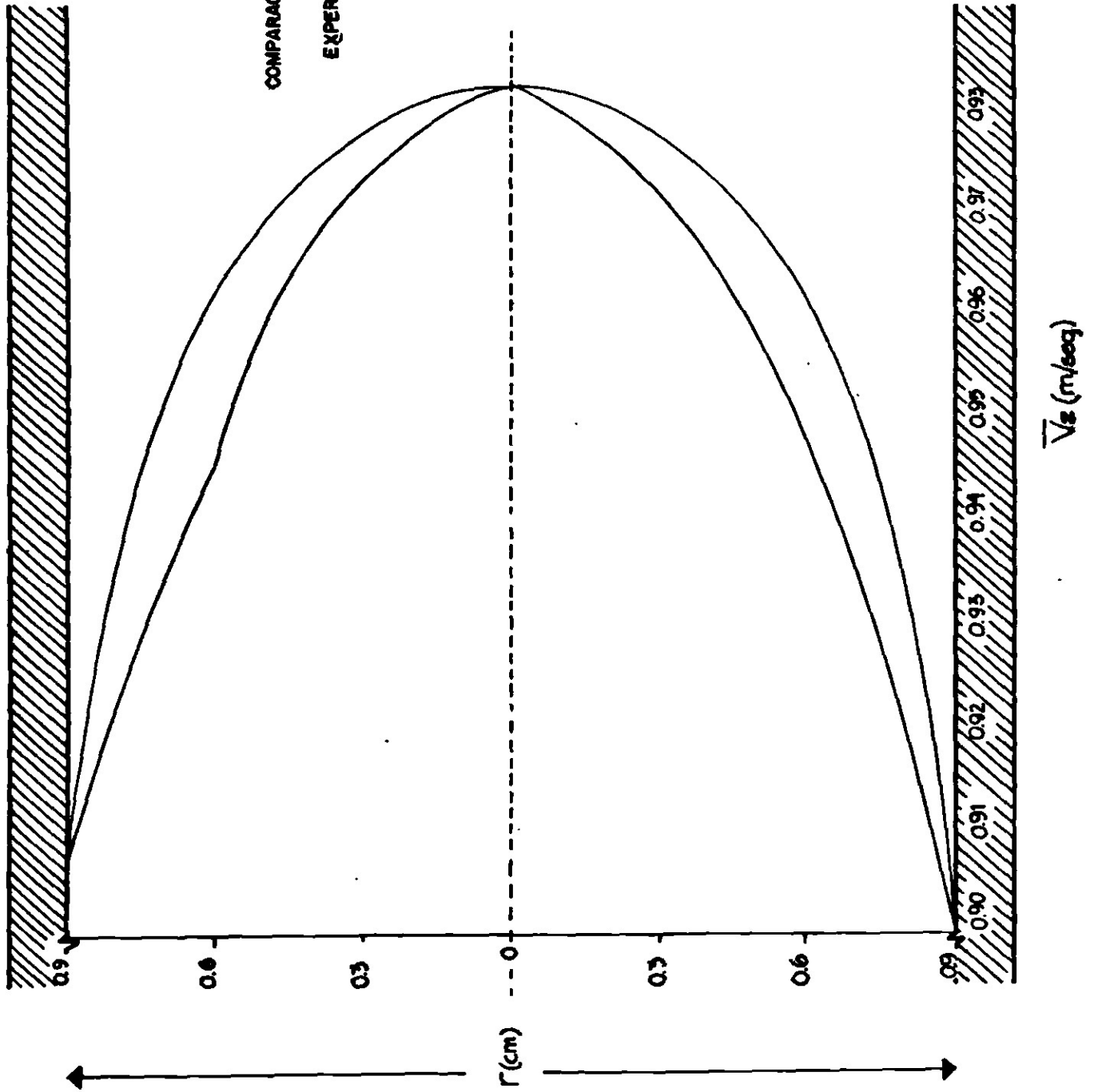
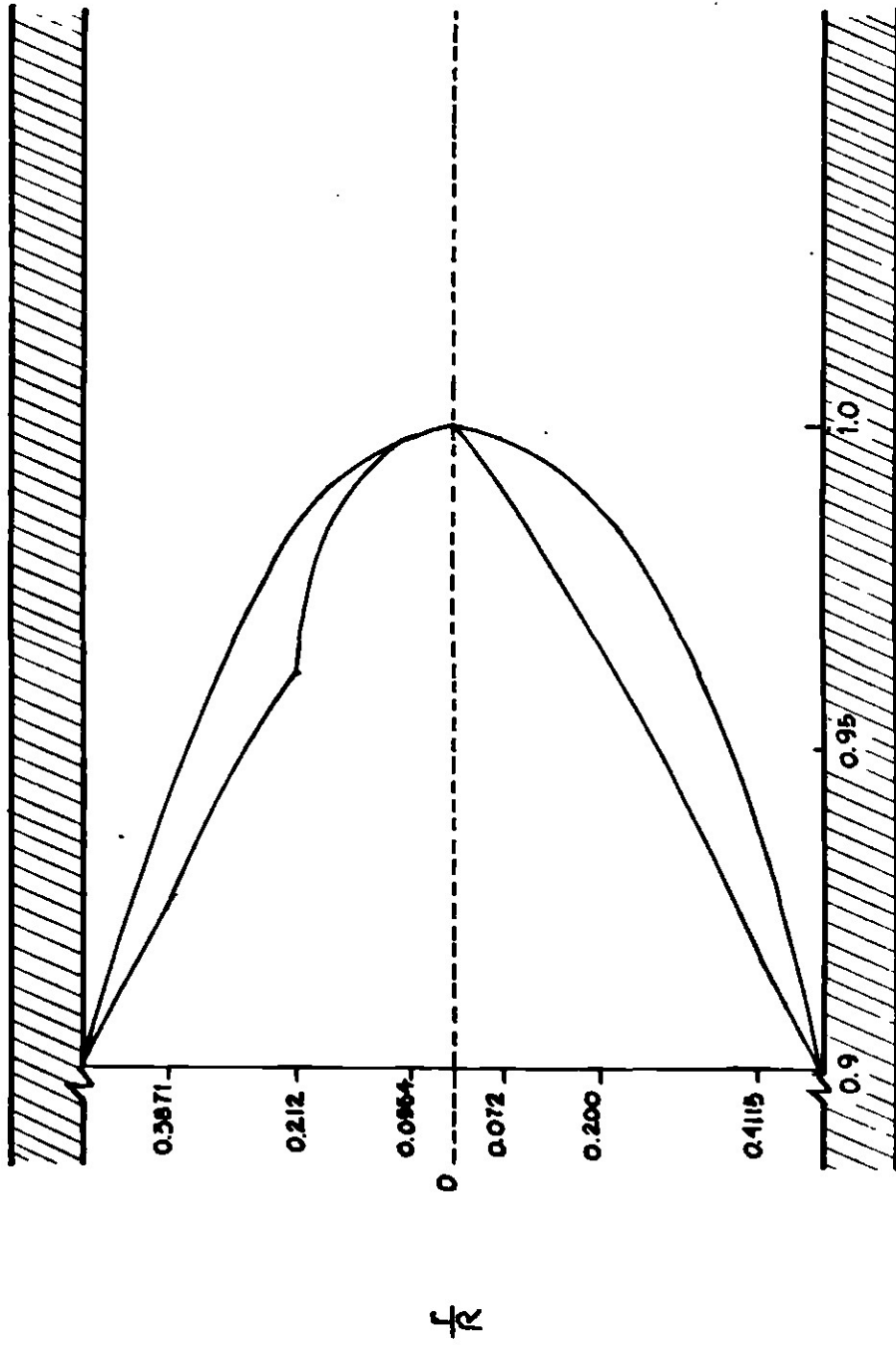


GRAFICO CON FLUJO DE 25.76 lts/min. (80% del Rotámetro)



C A P I T U L O V I I
C O N C L U S I O N E S :

En el diseño del equipo se debe considerar el tipo de tubería y material a utilizar puesto que de ello depende el aumento ó disminución de caída de presión y por lo tanto en parte la eficiencia.

Por lo regular para el medidor tubo Pitot - se consideran aceptables líquidos no muy viscosos - (agua) y gases, puesto que la toma de presión dinámica en el tubo de choque es por medio de un orificio - muy pequeño, además que el tubo de choque es paralelo con las paredes de la tubería y no debe tener una variación de 20° ya que es aceptable sin error 0° a 15° aguas arriba y, perpendicular a la toma de presión dinámica se mide la presión estática y ambas conducidas a un extremo de un manómetro diferencial amortiguado - con CCL_4 .

Se puede concluir que el tubo de Pitot es - uno de los métodos más sencillos que permite medir velocidades puntuales en el seno de un fluido en movi-miento y que también se puede hacer desplazable para medir perfiles de velocidad.

Así pues los resultados obtenidos en la mediación de los perfiles de velocidad del fluido líquido, después de comparar las gráficas teóricas con las experimentales, se consideran aceptables principalmente para un gasto del 22.54 lt/min (que corresponde al 70 % del Rotámetro utilizado). Teniendo en cuenta que - en la realización de la práctica, las lecturas obtenidas del manómetro diferencial se presentó una dificultad en la obtención del equilibrio de las dos faces - presentes en el manómetro diferencial, y otra de poca

consideración fué en el control de la válvula de flujo para mantener éste constante (control del gasto en el Rotámetro).

Se recomienda vigilar que el equipo se mantenga en buen estado así como la revisión periódica - de las tuberías, válvulas y conexiones con respecto a alguna fuga ó fisura, así como el buen funcionamiento del Rotámetro.

C A P I T U L O VIII

- 1.- Robert H Perry, Cecil H Chilton
MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
Ed. Mc. Graw Hill. 5ta. Edición.
pp 5-8, 5-9, 5-24, 5-25, 5-26, 5-27, 5-28.
- 2.- Victor L. Streeter
MECANICA DE FLUIDOS
Ed. Mc. Graw Hill 4ta. Edición.
pp 431, 432, 433, 434.
- 3.- Bird R. B Stewart. W. E. y Lightfoot, E. N.
TRANSPORT. FLUIDOS
John Wiley, 1960.
- 4.- R. W. FOX/AT
FENOMENOS DE TRANSPORTE
Ed. Limoja, S.A.
- 5.- Zimmerman:
CHEMICAL ENGINEER LABORATORY
pp. 27-31
- 6.- Shepherd D.G. ELEMENTS DE MECANICA DE FLUIDO,
Harcourt, Brace & Nodld, 1965.
- 7.- Mc. Cabe-Smith/ Operaciones Básicos de
Ingeniería Química.
Ed. Reverté México 1973
- 8.- Shlichtine H/ Boundary Layer Thaory "Traducción -
por J. Kestin G C.
Graw Hill N. York (1055) pp. 402-403
- 9.- Li W.H. y Lam, S.H. Principles of Fluid Mechanics.
addison Wesley, 1964.
- 10.- Ocon Tojo.

*David de los Santos
Arista 270, C.P.78000
San Luis Potosi, SLP.*