



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón

**MANUAL DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE
HIDRAULICA Y MECANICA DE FLUIDOS PARA LAS
CARRERAS DE INGENIERIA DE LA ENEP ARAGON**

Sist. 29591

T E S I S

**Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

p r e s e n t a

ALBERTO ALARCON HERNANDEZ

**VICTOR MANUEL ESPARZA ORTIZ
Ingeniero Mecánico Electricista
Director de Tesis.**

**JUVENAL CARBALLIDO CHAVELAS
Ingeniero Civil
Director de Tesis**

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

ALBERTO ALARCON HERNANDEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 25 de agosto del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que los señores profesores, Ing. VICTOR ESPARZA O. e Ing. JUVENAL CARBALLIDO CH., puedan dirigirle el trabajo de Tesis denominado "ELABORACION DEL MANUAL DE PRACTICAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y MECANICA DE FLUIDOS, PARA LAS CARRERAS DE INGENIERIA DE LA ENEP ARAGON", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., septiembre 11 de 1981.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería.
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.
Director de Tesis.

A MIS PADRES:

Sr. Raúl Alarcón G.

Sra. Oliva Hernández de A.

A MIS HERMANOS:

María

Raúl

Enrique

Graciela

Balvina

Javier

Elena

A MI ESPOSA:

Yolanda Chagoya de A.

A TODOS MIS FAMILIARES Y AMIGOS.

MI AGRADECIMIENTO:

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron en mi formación profesional y especialmente a los Ingenieros Victor Esparza Ortíz y Juvenal Carballido Chavelas por su empeño e interés en la realización de este trabajo.

INDICE

	Página
PROLOGO	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION	3
I.1 Objetivos	
I.2 Aplicaciones	
CAPITULO II	
PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	8
II.1 Introducción	
II.2 Lineamientos Generales Sobre Los Programas De Aprendizaje	
II.3 La Práctica De Laboratorio. Sus Objetivos	
II.4 Metodología. Recursos Didácticos Para Prácticas de Laboratorio.	
II.4.1 Técnicas de Trabajo Individual.	
II.4.1.1 Introducción.	
II.4.1.2 Actividades de información.	
II.4.1.3 Actividades de ejercitación.	
II.4.1.4 Actividades de autocontrol.	
II.4.1.5 Actividades de recuperación.	
II.4.1.6 Actividades de profuncización.	
II.4.1.7 Recomendaciones al Maestro.	
II.4.2 Dinámicas de Grupo.	
II.4.3 Evaluación.	

CAPITULO III

EQUIPO E INSTRUMENTACION QUE CONSTITUYE EL
LABORATORIO

20

III.1 Introducción
III.2 Instrumentos

- III.2.1 Barómetro
- III.2.2 Manómetro para presiones relativas
- III.2.3 Manómetro diferencial
- III.2.4 Tubo piezométrico
- III.2.5 Manómetro tipo Burdon
- III.2.6 Tubo de Pitot
- III.2.7 Tubo de Prandtl
- III.2.8 Dinamómetros
- III.2.9 Freno de Prony
- III.2.10 Termómetros
- III.2.11 Tacómetros

III.3 Aparatos y Equipos de Pruebas

- III.3.1 Aparato de Hare
- III.3.2 Aparato de Reynolds
- III.3.3 Orificios de aforo
- III.3.4 Vertedores
- III.3.5 Turbosoplador
- III.3.6 Pérdidas de energía en tuberías
- III.3.7 Pérdidas de energía por accesorios
- III.3.8 Bomba centrífuga horizontal
- III.3.9 Rueda Pelton
- III.3.10 Turbina Francis
- III.3.11 Máquina universal de flujo radial
- III.3.12 Máquina universal de flujo axial
- III.3.13 Bomba de engranes
- III.3.14 Bomba de pistón
- III.3.15 Canal Universal
- III.3.16 Golpe de ariete

CAPITULO IV

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PRACTICAS	78
IV.1 Introduccion	
IV.2 Generalidades	
IV.3 Conceptos Fundamentales	
IV.3.1 Estudio de los Fluidos	
IV.3.1.1 Definición de fluido	
IV.3.1.2 Densidad	
IV.3.1.3 Densidad relativa	
IV.3.1.4 Peso específico	
IV.3.1.5 Viscosidad	
IV.3.1.6 Ecuaciones fundamentales	
IV.3.2 Máquinas hidráulicas	
IV.3.2.1 Turbomáquinas	
IV.3.2.1.1 Bombas	
IV.3.2.1.2 Turbinas	
IV.3.2.2 Máquinas de desplazamiento positivo	
IV.4 Desarrollo de Prácticas	
PRACTICA NO. 1 OBTENCION DE DENSIDADES RELATIVAS	95
PRACTICA NO. 2 OBTENCION DE LOS NUMEROS DE REYNOLDS	103
PRACTICA NO. 3 ORIFICIOS DE AFORO	112
PRACTICA NO. 4 VERTEDORES	125
PRACTICA NO. 5 TURBOSOPLADOR	143
PRACTICA NO. 6 PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS	147
PRACTICA NO. 7 PERDIDAS LOCALES	157
PRACTICA NO. 8 BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL	164

	Página
PRACTICA NO. 9 RUEDA PELTON	175
PRACTICA NO. 10 TURBINA FRANCIS	187
PRACTICA NO. 11 APARATO UNIVERSAL PARA TURBOMAQUINAS DE FLUJO RADIAL	196
PRACTICA NO. 12 APARATO UNIVERSAL PARA TURBOMAQUINAS DE FLUJO AXIAL	224
PRACTICA NO. 13 BOMBA DE ENGRANES	240
PRACTICA NO. 14 BOMBA DE PISTON	251
PRACTICA NO. 15 CANAL UNIVERSAL	261
PRACTICA NO. 16 GOLPE DE ARIETE	295
CONCLUSIONES	306
BIBLIOGRAFIA	310

P R O L O G O

Lo que con estas palabras comienza, representa la etapa final de mi Licenciatura.

Habiendo encontrado en mi propia Escuela la forma de culminar esta etapa final, y pensando al mismo tiempo en aportar algo útil para futuras generaciones de Ingenieros, presento aquí un trabajo que representa el desarrollo práctico de las teorías y principios que se estudian en las aulas correspondientes a Mecánica de Fluidos I, Mecánica de Fluidos II, Hidráulica I, Hidráulica II y Turbomaquinaria.

El objetivo principal de este trabajo, es dar una guía a Catedráticos y Alumnos para el desarrollo de las prácticas del Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica, de acuerdo a las materias que cursen. Como la mejor forma de desarrollar estas prácticas es conociendo el principio y funcionamiento de las máquinas y dispositivos que componen este Laboratorio, se explicarán aquí, específicamente los objetivos y aplicaciones que se persiguen; los métodos de enseñanza - aprendizaje aplicables a un laboratorio; el equipo e ins--

trumentación que compone este laboratorio y de todas las prácticas que se desarrollarán en el mismo. Esto, además de ayudar a comprender las teorías, servirá de estimulante al Alumno que tenga el interés de conocer maquinaria y equipo que se encuentran en la Industria. Sus principios de operación y funcionamiento son los mismos.

Por lo anteriormente expuesto, los laboratorios son una - parte fundamental en la formación de profesionistas para el área de Ingeniería. Esto me motivó a elaborar el "MANUAL DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y MECANICA DE FLUIDOS, PARA LAS CARRERAS DE INGENIERIA DE LA ENEP ARAGON."

ALBERTO ALARCON HERNANDEZ.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La ingeniería es la aplicación de los principios de las - Ciencias Naturales y Sociales, en conjunto de los principios de la Economía, a campos donde se realizan transformaciones a la materia y energía, hasta conseguir bienes satisfactorios de necesidades para la sociedad en general.

De lo anterior, se deduce que la ingeniería gira en torno a los medios necesarios que se utilizan para conseguir bienes satisfactorios para la sociedad. Por lo tanto, ésta es una de las actividades principales para lo que se deben preparar gran parte de futuros profesionistas.

Para las Escuelas e Institutos que imparten carreras de Ingeniería, los laboratorios se consideran como indispensables para - lograr que sus egresados se desempeñen mejor dentro del campo industrial, al que necesariamente ingresarán al concluir sus estudios - profesionales.

Es de esperarse que las instalaciones para este objetivo, completamente equipadas y operadas satisfactoriamente, ayudarán de la mejor forma a diversificar las actividades de los futuros Ingenieros hacia el desarrollo de Diseño e Ingeniería de otros equipos, otros sistemas, otras plantas industriales, actividad que en nuestra actualidad sigue siendo deficiente.

Los conocimientos teóricos de las ciencias básicas asimilados en las aulas, permite por una parte, que el alumno de ingeniería continúe su auto-desarrollo una vez concluidos sus estudios y, por otra parte, hacen posible comprender y adoptar nuevos desarrollos prácticos, tecnológicos y métodos de solucionar problemas.

Considerando que la mayoría de los egresados de esta especialidad los absorbe la industria, debe darse primordial atención al entrenamiento práctico de los ingenieros, con equipos que se asemejen en todo lo que sea posible a aquellos utilizados industrialmente.

Este entrenamiento puede llevarse a cabo de una manera eficaz, contando con los equipos adecuados en los laboratorios y pla-

neando las prácticas a realizar de acuerdo a los programas de estudios de cada materia en particular.

I.1 Objetivos

De acuerdo a las carreras de ingeniería y asignaturas específicas para las cuales se ha preparado este trabajo, los objetivos que se persiguen son los siguientes:

- A) Relacionar los conocimientos técnicamente con la práctica, siendo las prácticas de laboratorio una ayuda in dispensable para fijar los conceptos teóricos firmemente.

- B) Demostrar prácticamente que los equipos, aún cuando son en pequeña escala, representan a aquellos que se encontrarán en la industria, facilitando con esto la comprensión de su operación y funcionamiento, entendiendo todas y cada una de las variables que los gobiernan.

- C) Enseñar a los alumnos a trabajar con aparatos y equi-

pos, aprendiendo cómo modificar sus condiciones de operación y observando los fenómenos que suceden al operar.

D) Permitir a los alumnos manejar los equipos con una meta definida, con libertad de intentar con los medios disponibles, la obtención de datos y parámetros que pueda requerir la realización de un diseño específico.

E) Despertar un interés y sentido de juicio y proporción de algunos aspectos de la ingeniería, por medio de sus propios planes para el desarrollo de las prácticas.

F) Desarrollar la habilidad del alumno para escribir reportes técnicos, prácticos y efectivos, en los cuales se describan adecuadamente los procedimientos de las prácticas, la discusión de los resultados y las conclusiones obtenidas.

Es importante hacer mención que los objetivos anteriores especifican generalmente el fin de esta Tesis. Asimismo, por cada práctica se buscarán otros objetivos de acuerdo a la práctica en particular.

I.2 Aplicaciones

Para concluir con la información presentada en este capítulo, se presenta la Tabla I.2.A referente a la aplicación del laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica; es decir, hasta ahora se ha discutido en forma muy general, la utilidad y necesidad de laboratorios para la formación de ingenieros para cualquier especialidad. Sin embargo, este trabajo es muy específico y aplicable a las materias teórico-prácticas según las ramas de las carreras de ingeniería que se inscriben en la siguiente tabla:

LICENCIATURA	ESPECIALIDAD	MATERIA(S)
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA	MECANICA ELECTRICA	M. DE FLUIDOS I M. DE FLUIDOS II TURBOMAQUINARIA
INGENIERO INDUSTRIAL	INDUSTRIAL	TURBOMAQUINARIA
INGENIERO CIVIL	CIVIL	HIDRAULICA I HIDRAULICA II

TABLA I.2.A
APLICACIONES DEL LABORATORIO MECANICA
DE FLUIDOS E HIDRAULICA

CAPITULO II

PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

II.1 Introducción

Nuestra realidad implica un constante proceso de cambio y transformación en lo social, económico, político y cultural. La educación, como un proceso humano y social, participa y recibe el influjo de las mismas características que se operan en la circunstancia en la que ha de realizarse.

De la influencia que la circunstancia ejerce sobre el proceso educativo, surge inaplazable e imperativa la necesidad de que la educación responda tanto a las exigencias de un proceso científico y técnico en constante evolución, como a los anhelos e ideales más notables, justos y auténticos que viven en la conciencia del hombre actual.

El maestro debe ser el humanista perpicaz y comprensivo, cuya actuación aliente el esfuerzo reflexivo, el minucioso análisis, y la evaluación positiva que fomente la creatividad y la ar

monía social en las mentes juveniles, a fin de que se realicen en un mundo más técnico, más avanzado.

Los principios pedagógicos de una educación actualizada, parten de la unidad de cada persona como ser individual y social; buscan una educación que permita crecer al alumno, equilibrada y armónicamente en estas dos dimensiones; orientan al alumno hacia un crecimiento constante hacia la conquista de una madurez, es decir, aprender a aprender. Impulsan la capacidad de investigación que le permita conocer sus facultades mentales y elevarlas a un aprendizaje continuo: observar, analizar, comparar, sintetizar, enjuiciar, criticar, etc.; promueven una constante creatividad que permita la iniciativa, originalidad, fluidez, flexibilidad, además de favorecer una comunicación que retroalimenta la personalidad siempre en crecimiento.

Asímismo, inducen al maestro a que se capacite profesionalmente para hacer que el alumno desarrolle sus capacidades en la forma más completa; logre un aprovechamiento racional y mejoramiento del mundo que lo rodea, y participe en forma consciente y constructiva en la transformación de la sociedad.

II.2 Lineamientos Generales Sobre Los Programas De Aprendizaje:

Los programas de aprendizaje son el conjunto organizado de objetivos, métodos y sugerencias didácticas que, al aplicarse, provocan cambios en la conducta de los educandos para lograr tanto su desenvolvimiento integral, como las transformaciones del medio. - Los programas de aprendizaje desarrollarán los propósitos de cada plan de estudios, y por lo tanto:

- Serán estructurados de modo que se articulen lógicamente y adecuadamente con los programas de cada materia;
- Se deben articular coordinadamente para hacer del plan de estudios de cada especialidad, un todo orgánico en el cual cada programa logre sus objetivos y contribuya a lograr la formación específica de cada profesionista;
- Se deben formular con objetivos claros y precisos en términos observables;
- Deberán contemplar objetivos que un profesionista en formación alcance con facilidad y plenitud;
- Serán diseñados de tal modo que puedan ser evaluados sistemática y permanentemente entre lo alcanzado realmente

y lo propuesto;

- Deberán ser conocidos por los alumnos para que participen en el proceso de su aplicación y evaluación.

II.3 La Práctica De Laboratorio. Sus Objetivos.

La práctica es necesaria sobre todo en las carreras técnicas y objetivas, como lo es la ingeniería.

Aunque los objetivos de la práctica de laboratorio están relacionados con la situación teórica de clase, deben ser tales que la justifiquen y distinguan como otra situación diferente y necesaria.

Un objetivo es un fin concreto, inmediato, susceptible de evaluación. Define con precisión la actividad del alumno y paralelamente la actividad del maestro.

Algunos objetivos de la práctica de laboratorio pueden ser:

- Aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en clase.

- Ampliar el material y los fundamentos expuestos en la situación en clase.
- Resolver dificultades de la situación de clase.
- Proporcionar entrenamiento.
- Realizar una evaluación por pasos antes del examen, o equivalente al mismo.
- Descubrir otras fuentes de información además de las manejadas en clase y tener acceso a ellas.
- Permitir la experimentación y observación directa.
- Solución de problemas: elaboración de soluciones personales.
- Controlar el resultado de lo aprendido para tener seguridad de que se puede seguir adelante.
- Iniciar la investigación.

II.4 Metodología. Recursos Didácticos Para Prácticas De Laboratorio.

De acuerdo con la renovación didáctica, los procedimientos, las técnicas y los recursos didácticos, parten de una situación problemática, para que el alumno realice actividades intencionadas, que lo lleven a una reflexión crítica, a una planeación consciente

de su tiempo. Se considera al alumno como el motor de su propio aprendizaje y de su propia educación.

Por esto, las técnicas deben dar al aprendizaje un carácter dinámico, tanto en las actividades individuales como en las de equipos: el trabajo individual del alumno consiste en una investigación de hechos, causas, conceptos, etc.; en libros, revistas, manuales, instituciones, etc.; el trabajo colectivo (de equipo) consiste en dialogar, discutir, analizar, criticar, razonar y concluir.

II.4.1 Técnicas de Trabajo Individual.

II.4.1.1 Introducción:

Las técnicas de trabajo individual son un conjunto de sugerencias que en forma de secuencia, le son presentadas al alumno para realizar actividades que lo llevarán a la adquisición de conocimientos y desarrollo de múltiples capacidades personales.

Algunas actividades que se sugieren para el desarrollo de las técnicas de trabajo individual son de información; de ejercicios; de autocontrol; de recuperación y de profundización. Sus

aplicaciones y explicaciones se presentan a continuación.

II.4.1.2 Actividades de información:

Las actividades de información las programará el maestro de acuerdo al programa de prácticas que se establece para cada materia.

Sus características son:

- Orientar al alumno para la eficiente realización de su trabajo;
- Promueven el pensamiento reflexivo, la observación, investigación, experimentación y demostración anticipada del objetivo final.

Algunas recomendaciones son:

- No presentarle al alumno las cosas hechas; invitarle a que las realice por sí mismo.
- Cada alumno debe ser responsable de su propio trabajo.

II.4.1.3 Actividades de ejercitación:

Su característica principal es la conquista de una habi-

lidad o destreza que el alumno necesita para lograr el objetivo programado. Habilidad en el manejo de instrumentos y aparatos de medición de parámetros; manejo de cartas y diagramas; dominio en el manejo de modelos matemáticos, etc.

II.4.1.4 Actividades de autocontrol:

Estas actividades tienen como objetivo principal, obtener el mismo alumno una evaluación continua y progresiva de sus propias actividades de información y de ejercitación.

Es conveniente que el alumno, al terminar sus actividades de información y ejercitación, estime la calidad de lo realizado por medio de un autocontrol.

II.4.1.5 Actividades de recuperación:

Estas actividades son aplicables a los alumnos que por alguna razón no pueden o hacen menos. El autocontrol y/o el maestro señalarán actividades de recuperación correspondientes.

II.4.1.6 Actividades de profundización:

Como todos sabemos, existen alumnos que terminan antes su trabajo, además de satisfactorio.

Es recomendable para el maestro, estimular a este tipo de alumnos a alcanzar un desarrollo integral en este campo, profundizándose para ser ellos los futuros instructores.

II.4.1.7 Recomendaciones al Maestro:

- Ayudar al aprendizaje personal de cada alumno, con explicaciones claras, precisas, siempre que sea necesario;
- Apreciar los esfuerzos que el alumno hace para superarse.

Mientras los alumnos trabajan, el maestro:

- Debe de observar el ambiente y clima de trabajo;
- Debe orientar al alumno que lo solicite;
- Debe coordinar las actividades de los equipos.

El maestro debe transferir a los alumnos la responsabilidad del aprendizaje.

II.4.2 Dinámicas de Grupo.

Se aplican a trabajos por equipos tal y como se aconseja trabajar en un laboratorio. En general, las dinámicas de grupo son procedimientos que permiten reunir en equipos flexibles a los alumnos para informar, dialogar, analizar, discutir, juzgar, sintetizar y evaluar, sobre temas determinados que el maestro presenta.

Además, permiten afirmar y ampliar los conocimientos adquiridos en el trabajo individual; promueven una constante renovación y revisión crítica de conocimientos, medios, recursos y actividades; fomentan las relaciones humanas.

Las dinámicas de grupo se acompañan de técnicas de enseñanza las cuales se dejarán a criterio y capacidad del instructor, pues el trabajo aquí expuesto y las técnicas de trabajo individual, ayudarán al alumno y al maestro a conseguir los objetivos establecidos para cada práctica.

II.4.3 Evaluación.

De acuerdo con un enfoque moderno del aprendizaje, la eva-

ción es el proceso educativo que permite diagnosticar, revisar y apreciar los resultados alcanzados.

Se evalúa en el proceso enseñanza-aprendizaje, al alumno conociendo su situación de acuerdo con los objetivos previamente establecidos; a las técnicas y recursos didácticos al apreciar su uso correcto o incorrecto y al maestro ayudando a revisar sus actividades profesionales y humanas, favoreciendo su experimentación pedagógica.

Al aplicar las técnicas de trabajo individual, es importante lograr una auto evaluación por parte del alumno, es decir, permitir que el alumno analice sus actividades y características conforme a ciertos criterios y puntos de referencia; debe emitir sus propios juicios, comparar los resultados con los objetivos señalados y tomar las decisiones adecuadas.

Existen algunos métodos de evaluación como la evaluación sistemática la cual por aplicarse diariamente, de pronto es olvidada por maestros con poca experiencia, los cuales prefieren usar el método de evaluación mediata, ya que la aplicación de evaluaciones parciales a lo largo del período lectivo le es muy

fácil de controlar. Es importante no olvidar por parte del maestro, que todos los alumnos son un propio individuo que merece cada uno una adecuada técnica de enseñanza y un adecuado método de evaluación.

C A P I T U L O I I I

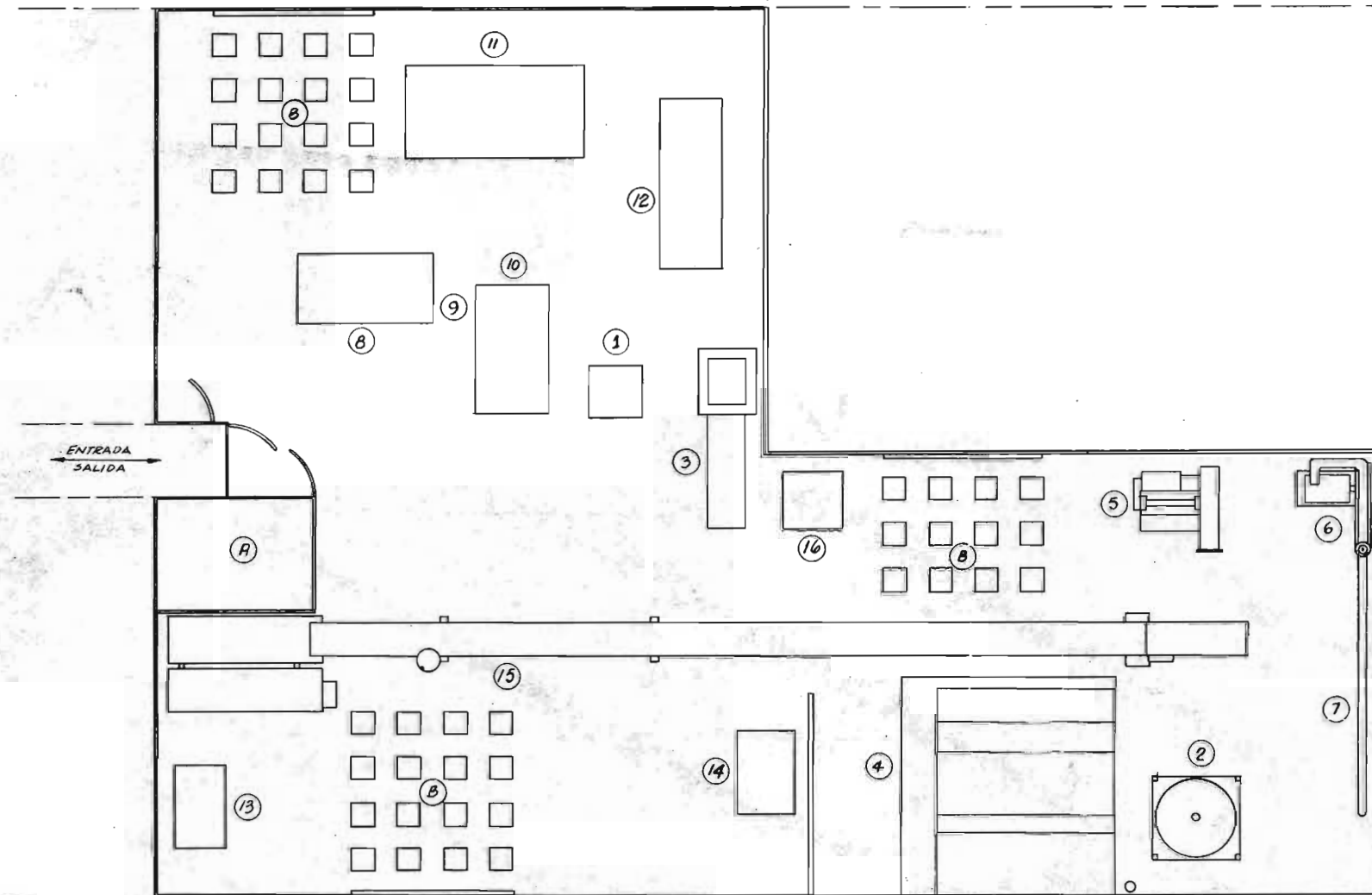
EQUIPO E INSTRUMENTACION QUE CONSTITUYE ESTE LABORATORIO.

II.1 Introducción.

En atención a uno de los principales objetivos de este trabajo, el cual consiste en el conocimiento de Instrumentos, Aparatos y Equipos de pruebas que componen el Laboratorio en estudio, por parte de Catedráticos y Alumnos, se presenta en este capítulo la explicación que ayudará a conocer su manejo y aplicación.

Para lograr este objetivo, se ha dividido este capítulo explicando primero los instrumentos y en su segunda parte a los equipos, instalaciones y sistemas autosuficientes, coordinando esta explicación con la presentación de las prácticas correspondientes al Capítulo IV.

Se ha incluido la Fig. No. 3.1.A correspondiente a la distribución de todas las instalaciones pertenecientes al Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica; como se podrá observar, el área asignada incluye tres espacios distribuidos estratégicamente



1	APARATO DE HARE.
2	APARATO DE REYNOLDS.
3	ORIFICIOS DE AFORO.
4	VERTEDORES.
5	TURBOPLADOR
6	PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS.
7	PERDIDAS MENORES.
8	BOMBA CENTRIFUGA.
9	RUEDA PELTON.
10	TURBIN FRANCIS.
11	MAQUINA UNIVERSAL DE FLUJO RADIAL
12	MAQUINA UNIVERSAL DE FLUJO AXIAL.
13	BOMBA DE ENGRANES.
14	BOMBA DE PISTON.
15	CANAL UNIVERSAL.
16	GOLPE DE ARIETE.
A	ALMACEN DE HERRAMIENTA E INSTRUMENTOS AUXILIARES.
B	AREAS DE INFORMACION Y CONSULTA.

DISTRIBUCION DE EQUIPO LABORATORIO DE MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA.

FIG. NO. 3.1. A

para que al mismo tiempo se impartan prácticas de laboratorio para las diferentes materias que previamente se han explicado.

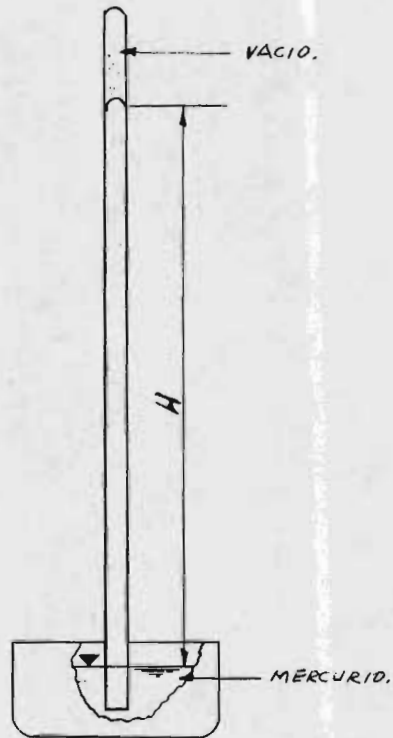
Asímismo, cabe hacer notar que las instalaciones y equipos con que cuenta este laboratorio, son modernos, completos y costosos, los cuales seguramente pretenderían otras Casas de Estudios Profesionales.

III.2 Instrumentos.

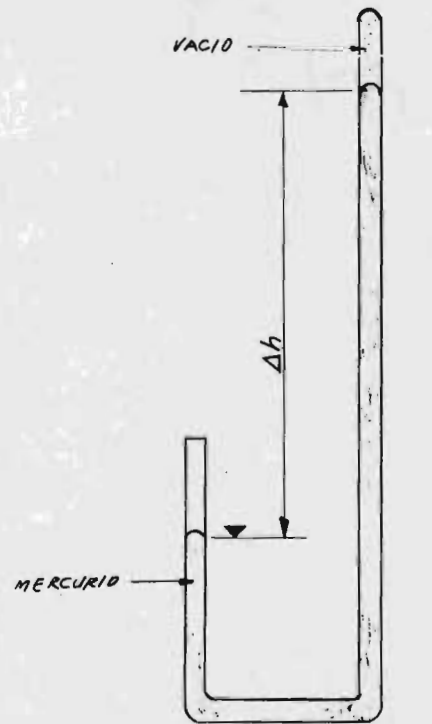
Los instrumentos son dispositivos auxiliares para la realización completa de una práctica, desde la experimentación y obtención de datos hasta la entrega de resultados en determinado reporte.

Por un lado, algunos instrumentos de los que se explican aquí se llevan a la instalación de pruebas mientras que algunos ya vienen incluidos en las máquinas.

Para estos instrumentos, se presenta una figura que facilitará su manejo; además se incluyen fórmulas cuando de los instrumentos se obtienen parámetros que se tienen que substituir para



A: DE CUBETA



B: EN FORMA DE "U"

EL BAROMETRO
FIG NO 3.2.1.

llegar al dato final. Todas las figuras y fórmulas han sido seleccionadas de los libros de texto de Mecánica de Fluidos e Hidráulica que se citan en la bibliografía.

III.2.1 Barómetro.

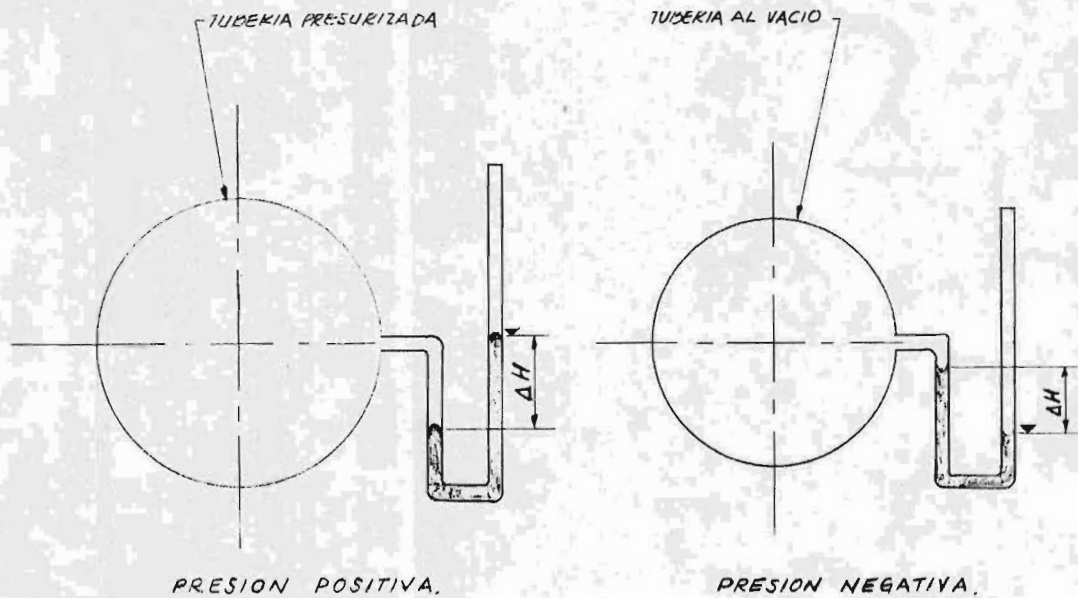
El barómetro se utiliza para conocer la presión atmosférica del lugar en que nos encontramos. Este instrumento utiliza mercurio (Hg) como líquido manométrico. En la Fig. No. 3.2.1 se presenta un barómetro de Cubeta, medio utilizado para determinar en forma experimental y momentánea la presión atmosférica, misma que varía de acuerdo al lugar donde estamos y a las condiciones climatológicas que imperan. Para tener siempre registrada la columna de Mercurio, fue diseñado el barómetro en forma de "U" que aparece en la Fig. No. 3.2.1. Para ambos manómetros, la siguiente ecuación simplificada determina la presión atmosférica, como sigue:

$$P_{atm} = P_e H$$

Dónde:

P_{atm} = Presión Atmosférica (Kg/cm^2).

P_e = Peso Específico del Mercurio a la temperatura de trabajo (Kg/cm^3).



MANOMETRO PARA PRESIONES RELATIVAS

FIG. NO. 3.2.2.

H = Altura medida entre los dos niveles de Mercurio (cm).

III.2.2 Manómetro para presiones relativas.

Una presión relativa es cuando no se toma en consideración la presión atmosférica. Puede ser positiva ó negativa. Como se muestra en la Fig. No. 3.2.2, este instrumento tiene forma de "U" con un extremo abierto a la atmósfera y el otro extremo interconectado al recipiente sujeto a presión positiva o negativa. Para calcular la presión a que nos referimos se presenta la siguiente ecuación:

$$Pr = Pe H$$

Dónde:

Pr = Presión relativa (Kg/cm^2).

Pe = Peso específico del líquido manométrico utilizado en el manómetro, tomando siempre en consideración que el fluido manométrico sea siempre de mayor Peso Específico que el fluido sujeto a presión (Kg/cm^3).

H = Altura medida entre los dos niveles del líquido manométrico (cm).

Si se desea conocer la presión absoluta, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_r$$

Dónde:

P_{abs} = Presión absoluta (Kg/cm^2).

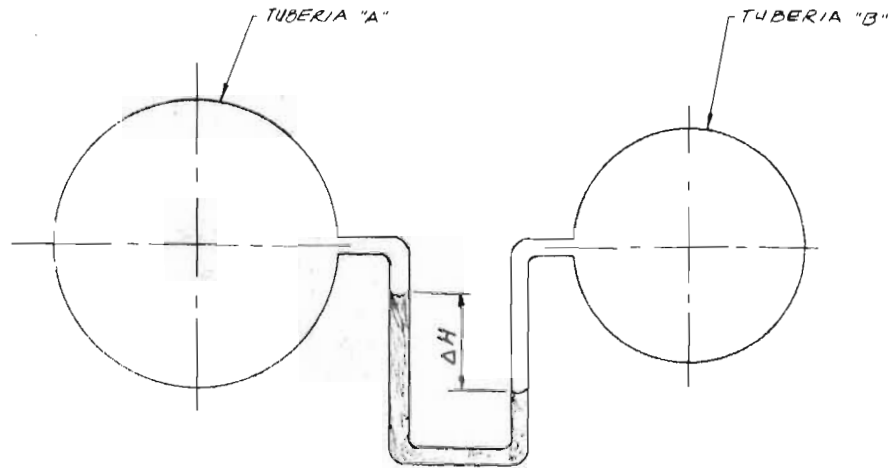
P_{atm} = Presión atmosférica (Kg/cm^2).

P_r = Presión relativa (Kg/cm^2).

III.2.3 Manómetro diferencial.

Cuando se desea conocer una caída de presión que sufre un fluido al pasar por un Venturi, una Tobera, una Reducción ó un accesorio cualquiera instalado en un conducto o red de distribución de un fluido, se coloca entre la entrada y la salida del accesorio un manómetro diferencial.

Aunque para algunas aplicaciones existen manómetros sofisticados, la Fig. No. 3.2.3 muestra un manómetro diferencial en forma de "U" donde sus extremos están interconectados uno a la entrada y otro a la salida del accesorio. La diferencia de presión que hay entre la entrada y la salida del accesorio o la caída de pre-



MANOMETRO DIFERENCIAL.

FIG. NO. 3.2.3.

sión que sufre un fluido al pasar por este accesorio, se determina por la siguiente ecuación:

$$P_2 - P_1 = (P_e - P_e')$$

Dónde:

$P_2 - P_1$ = Diferencia de presiones (Kg/cm^2).

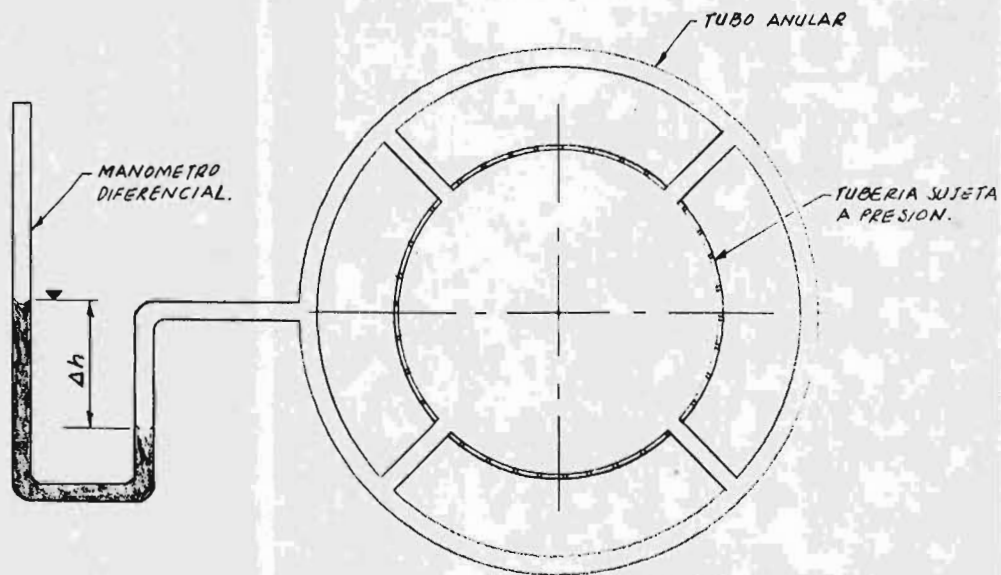
H = Altura existente entre los dos niveles del líquido manométrico (cm).

P_e = Peso específico del líquido manométrico (Kg/cm^3).

P_e' = Peso específico del fluido de trabajo (Kg/cm^3).

III.2.4 Tubo piezométrico.

Cuando por razones del diseño de una instalación hidráulica se requiere de accesorios grandes, como turbinas, filtros, intercambiadores de calor ó muchos otros y diversos equipos y accesorios que por la naturaleza de su aplicación se requiere conocer la caída de presión que origina determinado accesorio, se colocan dos tubos piezométricos, uno a la entrada y otro a la salida del accesorio. Un tubo piezométrico es un manómetro para presión relativa, excepto que con mayor precisión.



MANOMETRO PIEZOMETRICO.

FIG. NO. 3.2.4.

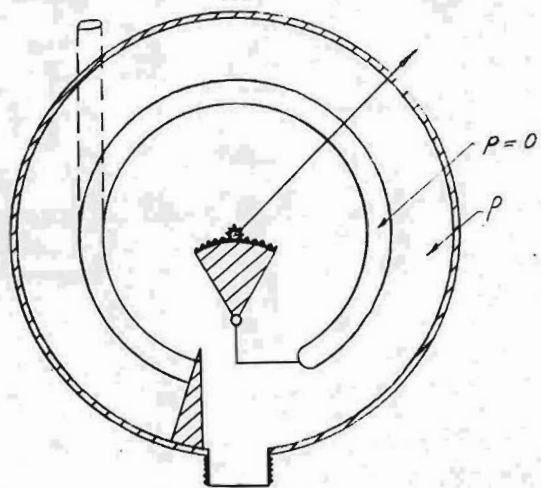
Siguiendo la fig. No. 3.2.4 se observa que muchas salidas se conectan a un tubo anular, mismo que tiene una sola salida que conecta a un manómetro en "U".

III.2.5 Manómetro tipo Burdon.

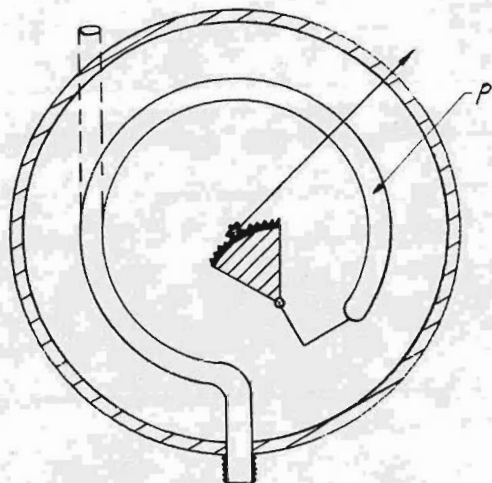
Sin embargo, los métodos en que se utilizan fórmulas, las lecturas pueden o no ser las efectivas por razones de evaporación del líquido manométrico ó formación de burbujas ó aparición de pequeñas basuras en tubos piezométricos, y la aplicación de esfuerzos, de paciencia para calcular presiones, pasan a la historia por razones de nuevos avances de estudios científicos en todos los campos.

Así aparece un manómetro en el que directamente se lee la presión que necesitamos, siempre y cuando se haya instalado un manómetro tipo Burdon en el lugar adecuado.

De acuerdo a la Fig. No. 3.2.5 se muestran las dos aplicaciones de Burdon que existen para medir presiones relativas y absolutas. Como se podrá observar, para presiones absolutas un tubo elíptico al vacío será actuado o sometido por la presión a medir,



PRESIONES ABSOLUTAS



PRESIONES RELATIVAS

MANOMETROS DE BURDON

FIG. NO 3.2.5.

transmitiendo así un movimiento a la aguja indicadora; para el caso de presiones relativas, la presión a medir actúa sobre el tubo elíptico provocando un desplazamiento de la aguja indicadora.

III.2.6 Tubo de Pitot.

El instrumento ideado por Pitot, se muestra en la Fig. No. 3.2.6. Este instrumento nos ayuda a determinar la presión de estancamiento, la cual representa la presión total de un fluido; es decir, la presión estática más la presión dinámica. Considerando que las pérdidas posibles son despreciables, siguiendo la Fig. No. 3.2.6 se concluye que:

$$P_{est} = P_e H$$

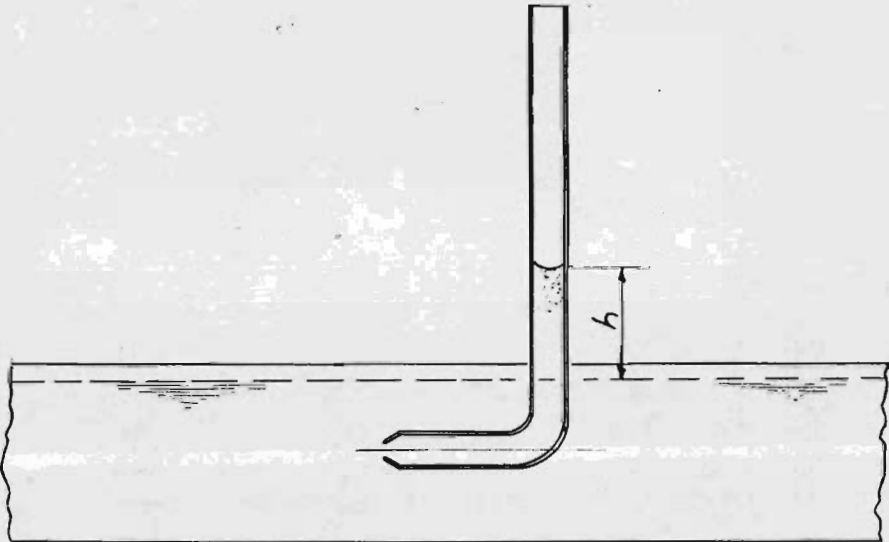
ecuación por la que se determina la presión de estancamiento en un fluido.

Dónde:

P_{est} = Presión de estancamiento (Kg/cm^2).

P_e = Peso específico del líquido manométrico (cm).

H = Altura entre los dos niveles del líquido manométrico (cm).



EL TUBO DE PITOT

FIG. NO. 3.2.6.

DIBUJO: A. A. H.

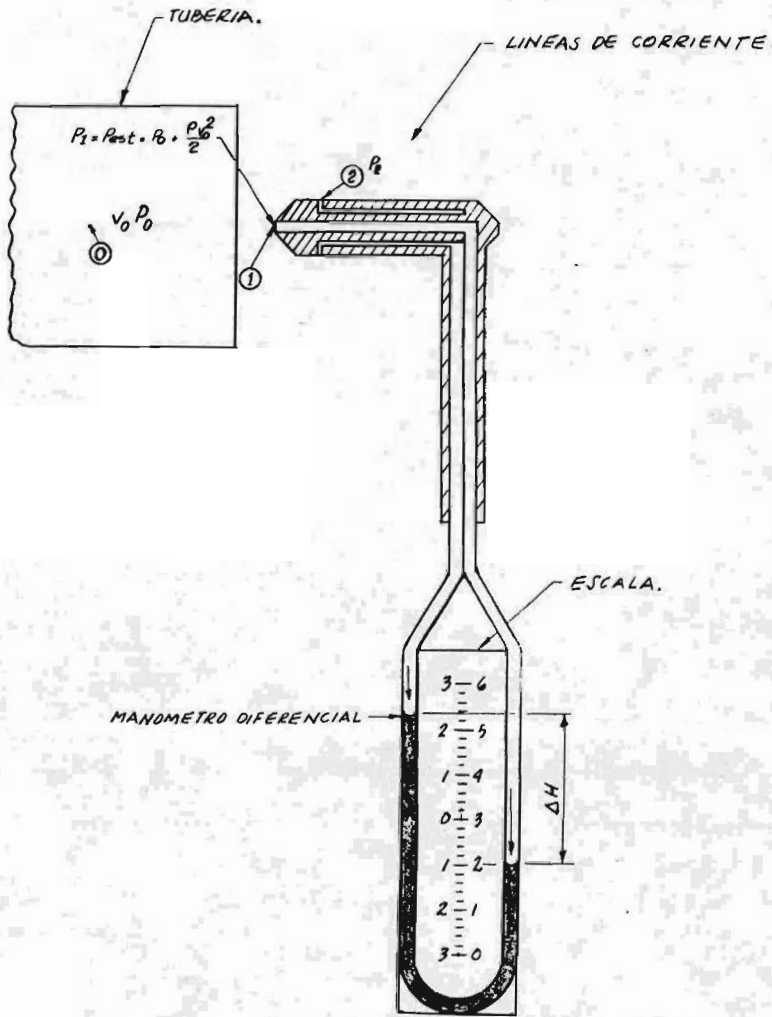
III.2.7 Tubo de Prandtl.

La combinación de un tubo de Pitot y un tubo piezométrico fue idea de Prandtl. Mientras que un tubo de Pitot nos da la presión total y el tubo piezométrico la presión estática, un tubo de Prandtl completado con un manómetro diferencial, dará el parámetro necesario para determinar la presión dinámica y la velocidad de la corriente de un fluido en general.

En la Fig. No. 3.2.7, se muestra un tubo de Prandtl introducido en la corriente de un fluido de peso específico " ρ_e " conectado a un manómetro diferencial cuyo líquido manométrico tiene un peso específico mayor que el correspondiente al fluido de trabajo.

Si se observan los puntos 0, 1 y 2 de la Fig. No. 3.2.7, el tubo de Prandtl produce una perturbación que se traduce en la formación en el punto 1 de una presión de estancamiento, de manera que:

En el punto "0" la corriente no perturbada tiene la presión " P_0 " y la velocidad " v_0 " que es la velocidad que se desea conocer y que se designa como v' .



TUBO DE PRANDTL

FIG NO. 3.2.7.

En el punto "1" está la entrada del tubo Pitot. Si se desprecian las diferencias en alturas que hay entre los puntos "1" y "2" que suelen ser muy pequeñas por ser un tubo muy fino y estar la corriente ya normalizada en "2" después de la perturbación sufrida en 1, se tendrán:

$$v_2 = v_0 = v' \quad P_2 = P_0$$

En el punto "2" lo que hay en realidad es un tubo piezométrico con diversas entradas laterales que no perturban la corriente y miden, por lo tanto, la presión estática.

Al interior del tubo de Prandtl y del manómetro diferencial ambos fluidos están en reposo; consecuentemente, se puede aplicar la ecuación fundamental de la hidrostática.

Como buena recomendación, al momento de experimentar con el tubo de Prandtl, verificar que el eje del mismo no esté inclinado con respecto a las líneas de corriente, pues otros resultados serían obtenidos.

III.2.8 Dinamómetros.

Para determinar el par torcional que sufre un eje al girar después de aplicarle una fuerza motriz, una fuerza de desplazamiento es registrada por un dinamómetro. El dinamómetro mostrado en la Fig. No. 3.2.8, determinará directamente la fuerza ejercida por el eje en rotación, mismo parámetro que ayudará a determinar el par producido por el eje en cuestión.

Los dinamómetros en este laboratorio, son instrumentos propios de los equipos de pruebas tipo autosuficientes, como las máquinas de flujo radial y axial.

III.2.9 Freno de Prony.

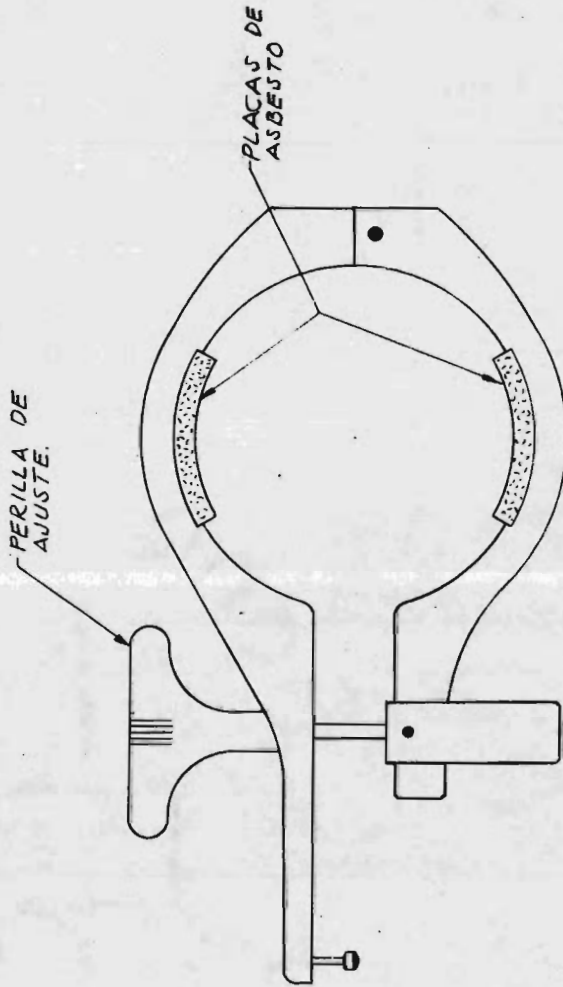
Para el conocimiento experimental de la potencia al freno transmitida por el agua a una turbina y registrado en el volante de la misma, sin considerar las posibles pérdidas de potencia mecánica por fricción, por transmisión de calor ó por incertidumbre del registro de datos, se utiliza un freno de Prony como el mostrado en la Fig. No. 3.2.9.



EL DINAMOMETRO.

FIG. NO. 3.2.8.

DIBUJO: A.A.H



EL FRENO DE PRONY.
FIG. NO. 3.2.9.

DIBUJO: A. A. H.

Su ajuste manual permite el conocimiento de el par torcional a cualquier velocidad con la siguiente fórmula:

$$T = N F L$$

Dónde:

T = Par torcional (N - m)

L = Longitud del brazo de palanca (m).

N = Velocidad del volante o eje (RPM).

F = Fuerza registrada por el manómetro (N).

III.2.10 Termómetros.

Con la finalidad de conocer el ambiente climatológico reirante donde se experimenta incluyendo las condiciones del fluido que se maneja, el laboratorio en cuestión cuenta con termómetros. Si se desea conocer la temperatura que se ha registrado en grados Fahrenheit; o en grados Kelvin o en grados Rankine, referirse a la tabla de conversiones que aparece al final de este trabajo.

III.2.11 Tacómetros.

Algunos equipos autosuficientes de este laboratorio traén integrado un tacómetro electrónico, el cual registra la velocidad de algún eje de motor, bomba o turbina, en un reloj de cristal ti po digital. Para estos equipos únicamente se registran las veloci dades directamente medidos por los mismos medios del aparato.

La otra manera de conocer la velocidad de un eje como los ya citados, es necesario auxiliarse de tacómetros manuales, los - cuales por medio de juegos de trenes de engranes pequeños, indi can la velocidad a que gira un eje en una carátula.

El juego de tacómetro consiste de una carátula del tacóme tro, la perilla para seleccionar rangos de velocidad, un juego de diferentes dispositivos para diferentes tipos de ejes, así como - su caja de protección. Las principales recomendaciones para un - uso adecuado del tacómetro manual son como sigue: coloque el se - lector de velocidades en el rango más amplio: (4,000 a 50,000 - RPM); aplique este instrumento en el orificio que para este fin traé el eje del cual se requiere conocer la velocidad; si en este rango no registra velocidad alguna o una velocidad difícil de en -

tender, seleccione el rango de velocidad de 500 a 5,000 RPM; si - en este rango aún no registra alguna velocidad, seleccione el último rango de velocidad de 40 a 500 RPM.

Los principales cuidados que se deben tener al usar un tacómetro son:

- Al aplicar este instrumento sobre un eje, ejercer solo la suficiente fuerza; si se exagera se deteriora el instrumento interiormente y no se obtiene un buen resultado.
- Mantener este instrumento en forma paralela a la línea de centros del eje del cual se requiere saber la velocidad.
- Evite con y en todo lo que esté a su alcance, que este instrumento sea golpeado y
- No se recomienda el uso de este instrumento en un rango menor a la velocidad que se desea medir.

III.3 Aparatos y Equipos de Pruebas.

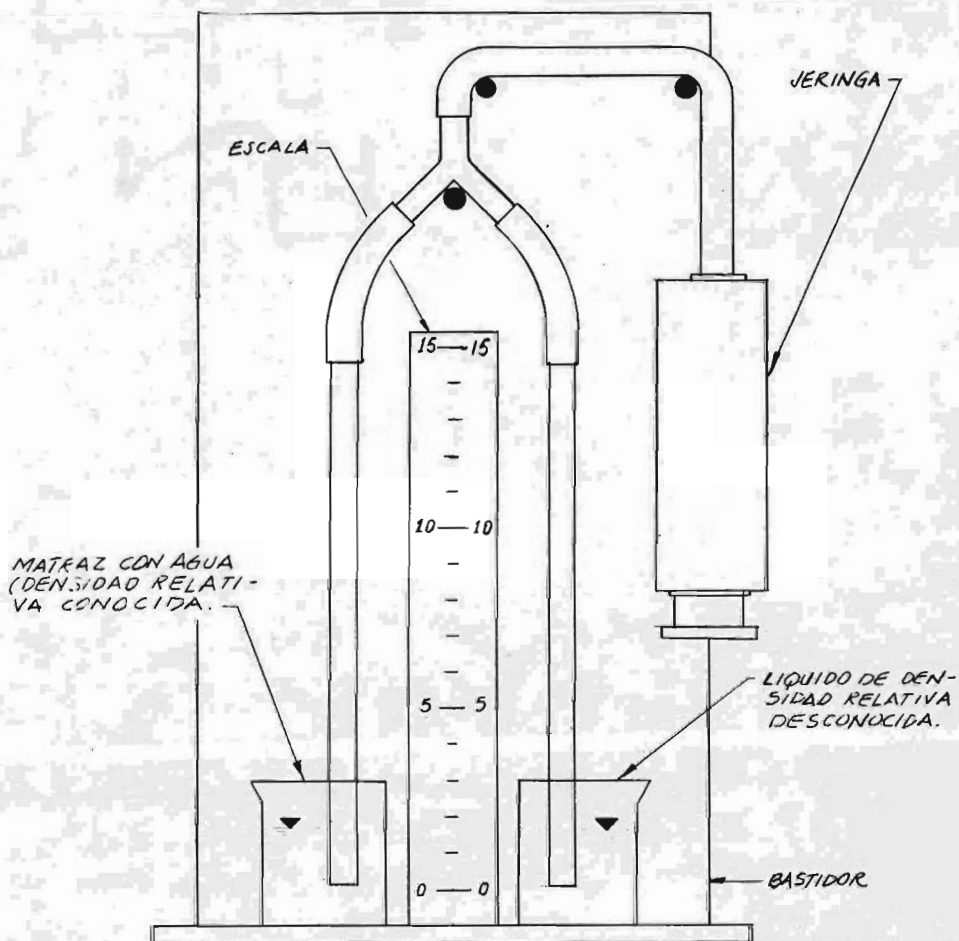
La Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Unidad Aragón, para el área de Ingeniería, en las especialidades mecánica y civil, cuenta con avanzados equipos de pruebas para fluidos en general, como lo son el estudio de densidades de diferentes líquidos;

observación de las diferentes líneas de corriente de un fluido incompresible; estudio de orificios de aforo; comportamiento del aire; análisis de las pérdidas de energía en la conducción de un fluido por un conducto cerrado; estudio de vertedores; estudio del comportamiento de bomba centrífuga horizontal, bombas de desplazamiento positivo tipo engrane y pistón, sistemas de flujo axial y radial y de un canal de flujo modulable. Toda esta serie de equipos de pruebas desarrollados con la más moderna tecnología, adecuados para avanzados planes de estudio vigentes en esta escuela de Ingeniería.

A continuación se expone el objetivo general que se persigue con cada equipo de pruebas, explicando también en forma general sus componentes básicos con la ayuda de una figura que muestra cada equipo.

III.3.1 Aparato de Hare.

A partir de un fluido como lo es el agua, se puede determinar en forma experimental la densidad de otro líquido; la densidad experimentada es la densidad relativa. Para este fin el laboratorio cuenta con un aparato a escala como el diseñado



APARATO DE HARE

FIG. NO. 3.3.1.

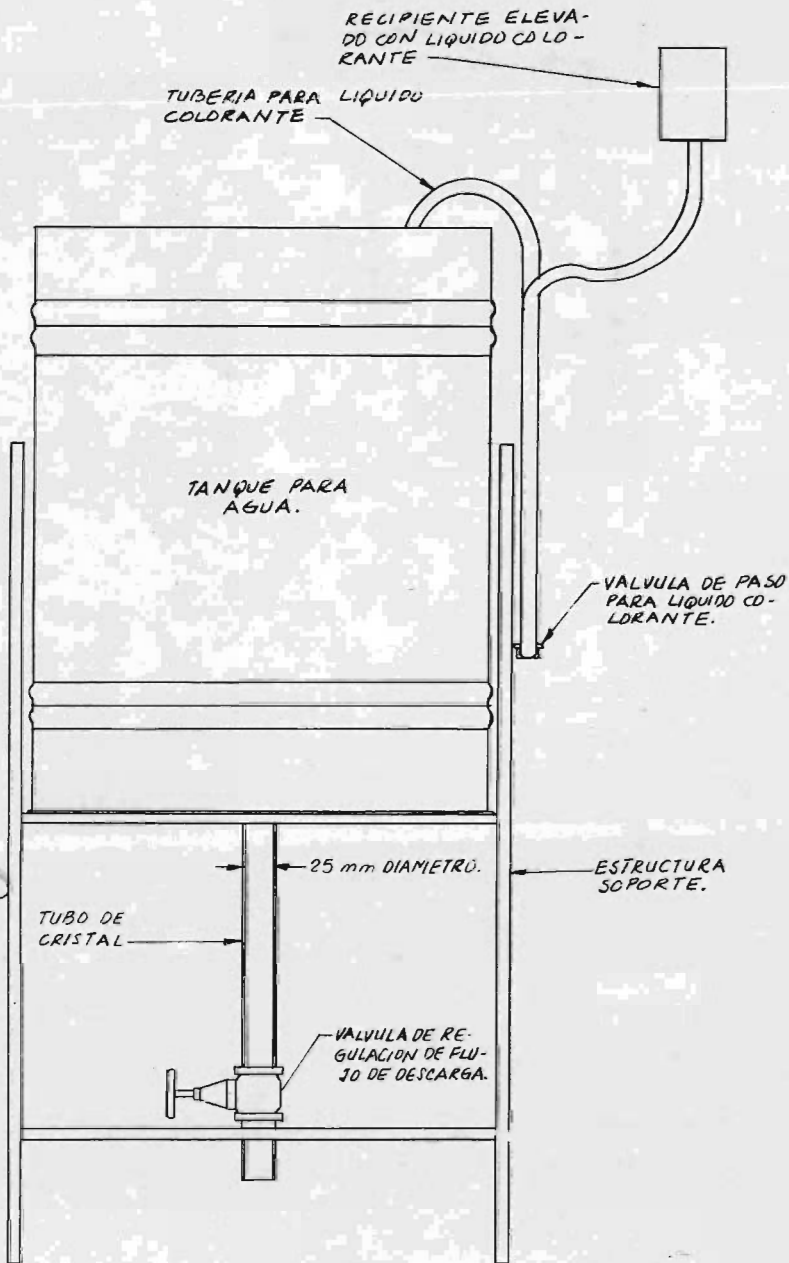
DIBUJO: A. A. H.

por el científico Hare. Básicamente, este aparato consiste de - dos tubos de cristal de 1 cm. de diámetro comunes en un extremo por una "Y" la cual se conecta a una jeringa de succión. El - otro extremo de los tubos está abierto para ser introducido uno al recipiente que contenga el líquido de densidad conocida y - el otro al recipiente que contenga el líquido de densidad conocida y el otro al recipiente que contenga el líquido con densidad a determinar. La estructura soporte fabricada de acrílico - transparente, tiene cementadas idénticas escalas para cada tubo de cristal, según se muestra en la Fig. No. 3.3.1.

III.3.2 Aparato de Reynolds.

Con el objeto de observar físicamente y verificar a través de un Diagrama de Moody las líneas de corriente tipo laminar, turbulento y de transición de un fluido incompresible, se fabricó para el laboratorio un Aparato de Reynolds, denominado así - por el objetivo que se persigue.

Este equipo de pruebas consiste de un tanque principal - con indicador de nivel, con un tubo transparente de descarga colocado al fondo del tanque y que incluye una válvula de regula--



APARATO DE REYNOLDS.
 FIG. NO. 3.3.2

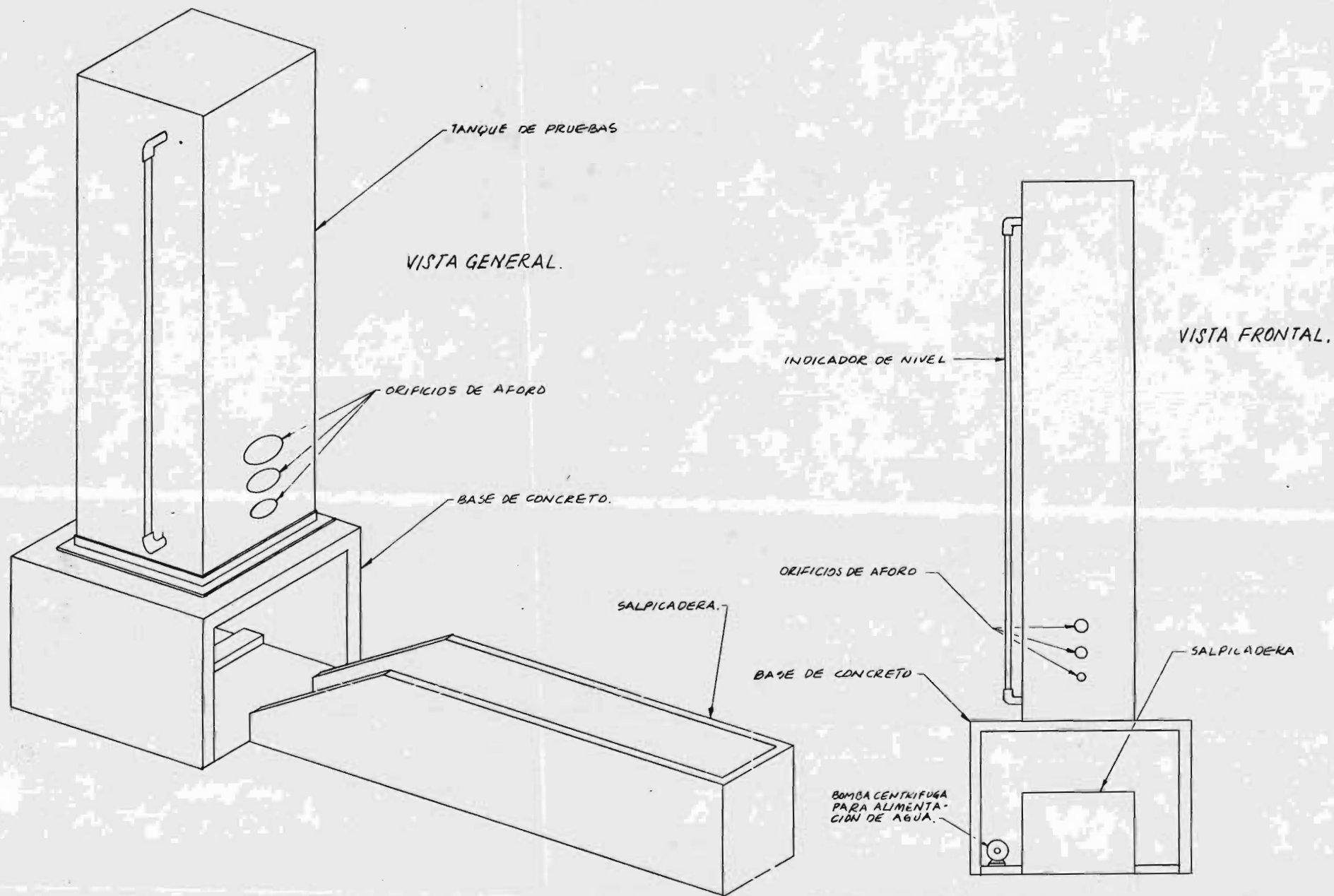
ción del fluido que descarga; un recipiente pequeño interconectado al tanque principal con una tubería de cobre la cual merece nuestra atención ya que contiene el líquido colorante que servirá para observar las líneas de corriente. Entre el principio y el final tiene una válvula de paso; al final e interconectado a la tubería del tanque principal y sin obstruir el flujo, termina en una pequeña aguja misma que descarga solo el líquido suficiente para formar las líneas de corriente deseadas.

Como se muestra en la Fig. No. 3.3.2, antes de la descarga final de la tubería de descarga del tanque principal, se encuentra una válvula de globo, con la cual se regula el gasto necesario para la obtención de las líneas citadas.

La instrumentación requerida para realizar un experimento completo en el Aparato de Reynolds, son una probeta graduada y un cronómetro.

III.3.3 Orificios de aforo.

Los orificios de aforo son el medio comúnmente utilizado para conocer el gasto transportado por una tubería. Para el



EQUIPO DE PRUEBAS DE ORIFICIOS DE AFORD.
 FIG. NO. 3.3.3

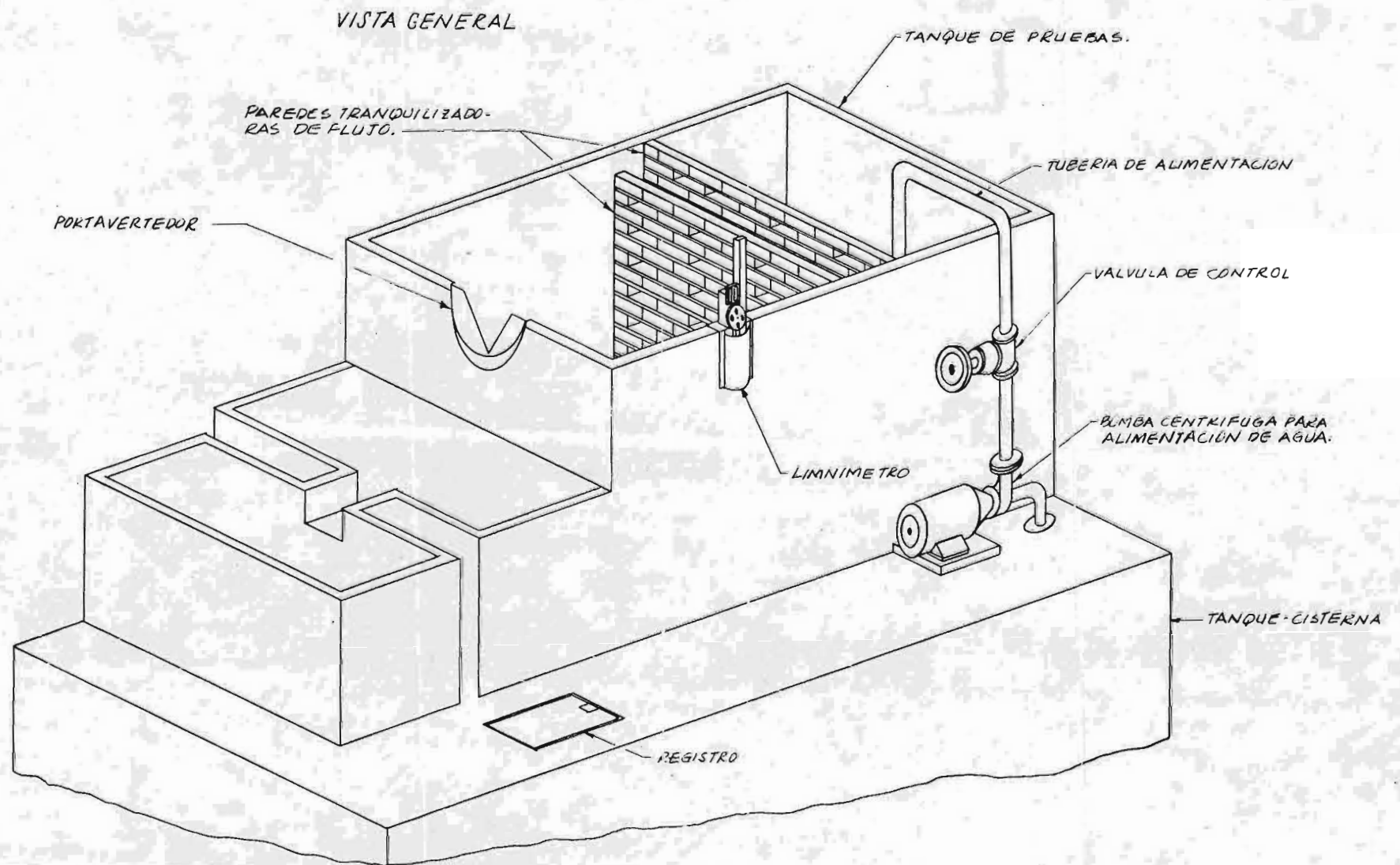
DIBUJO: A.A.H

laboratorio en cuestión, se construyó una instalación para realizar pruebas sobre los coeficientes que gobiernan el funcionamiento de los orificios de aforo, la cual se muestra en la Fig. No. 3.3.3 y que consiste de lo siguiente: un tanque en forma de paralelepípedo soportado en una base de concreto. Este tanque contiene por un costado un indicador de nivel graduado y por otro costado, tres orificios de aforo de los siguientes diámetros: 19 mm; 25 mm y 38 mm, cada uno con su respectivo tapón. Como se sabe, la trayectoria del chorro de agua que se descarga al probar un orificio, es grande; por tal motivo se incluye en la instalación una especie de caja receptora que recibe el chorro evitando salpicaduras que molestarían a los alumnos. Esta caja drena la totalidad del agua hacia una cisterna situada en el lado inferior de la base soporte del tanque, desde donde una bomba centrífuga transporta al agua hasta un recipiente elevado que distribuye el agua por tuberías hasta dos instalaciones de pruebas, una de las cuales se explica posteriormente. La tubería de alimentación desde el recipiente elevado hacia el tanque que contiene los orificios, tiene una válvula de compuerta que permite la regulación del fluido de trabajo.

III.3.4 Vertedores.

Otro de los medios que se utilizan en instalaciones hidráulicas para determinar el gasto que fluye a través de ductos, canales, etc., son los vertedores. Un vertedor es una obstrucción que se coloca al paso natural de una corriente de un fluido; esto obliga al fluido a estancarse detrás del vertedor y a verter por encima del mismo.

De acuerdo a la Fig. No. 3.3.4, la instalación construída en el laboratorio para el estudio de vertedores, se compone básicamente de lo siguiente: una cisterna para agua; una unidad de bombeo compuesta por bomba centrífuga horizontal con succión y descarga de 38 mm de diámetro, accionado por un motor eléctrico, acoplado directamente; tubería de succión y descarga, incluyendo válvula manual para regulación del gasto entregado por la unidad de bombeo; una cámara de pruebas donde se recibe el agua bombeada desde la cisterna, la cual contiene un par de mamparas tranquilizadoras de flujo; la sección de vertedores y un limnómetro que se ha colocado en la pared de frente para que con ayuda del vertedor, se determine el gasto. Una vez que el agua pasa por el vertedor, entra en una cámara en la cual, por cuyas dimensiones e indicador de nivel, se ten-



INSTALACION PARA PRUEBAS DE VERTEDORES
 FIG. NO. 3.3.4

DIB. JO. A. A. H.

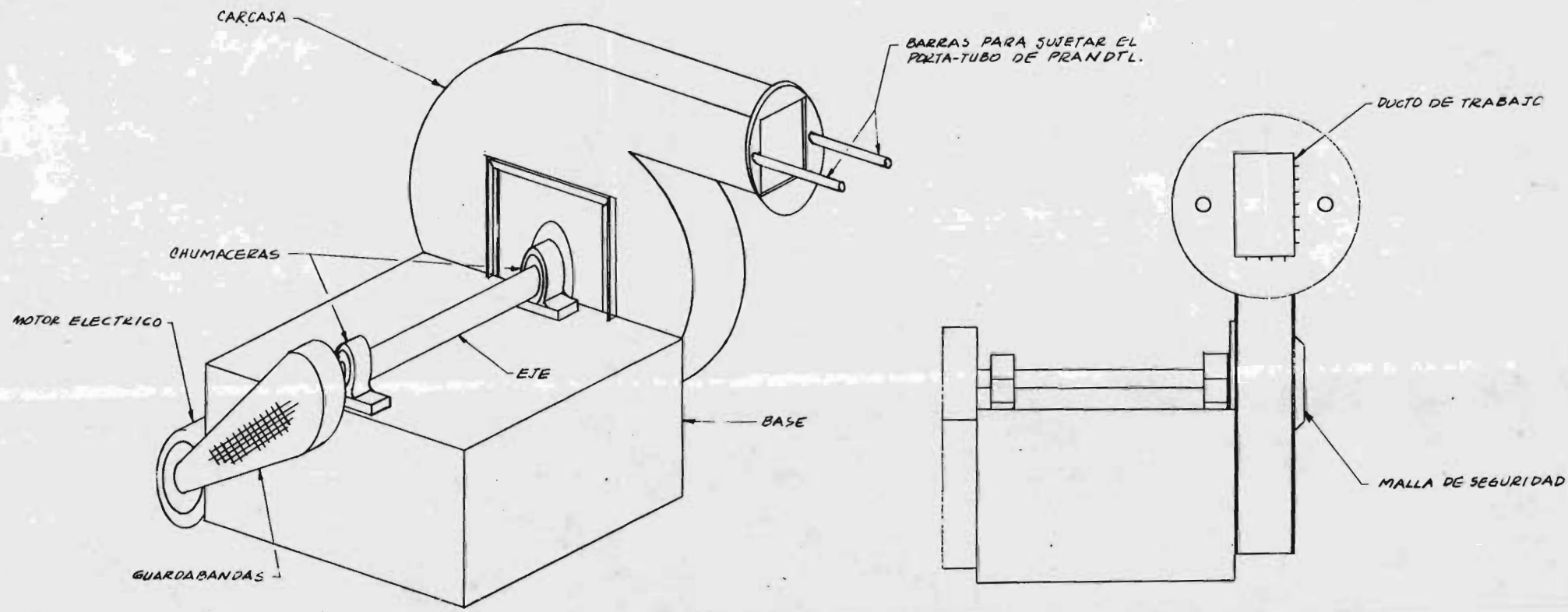
drá la forma de verificar el gasto determinado por el vertedor y el limnómetro. Esta instalación tiene sistema propio de drenaje, de tal suerte que el agua puede ser retornada a la cisterna ó descargado directamente al sistema de drenaje de la escuela.

III.3.5 Turbosoplador.

Para poder conocer en forma experimental y auxiliados de un tubo de Prandtl con su respectivo manómetro diferencial, de las diferentes velocidades con que circula un fluido a través de un conducto, así como para determinar el gasto entregado a determinadas condiciones, el laboratorio en cuestión cuenta con un turbosoplador.

Como se muestra en la Fig. No. 3.3.5, este equipo de pruebas es un ventilador tipo centrífugo turbo, completo con impulsor, carcasa, malla en la succión, descarga birdada, base antivibratoria, motor eléctrico y transmisión por poleas y bandas para velocidad fija e incluye guardabandas.

Los instrumentos auxiliares citados en un principio han sido descritos en su oportunidad.



VISTA GENERAL

VISTA FRONTAL

TURBOSPLADOR
FIG. NO. 3.3.5

DIABLO: A.A.H.

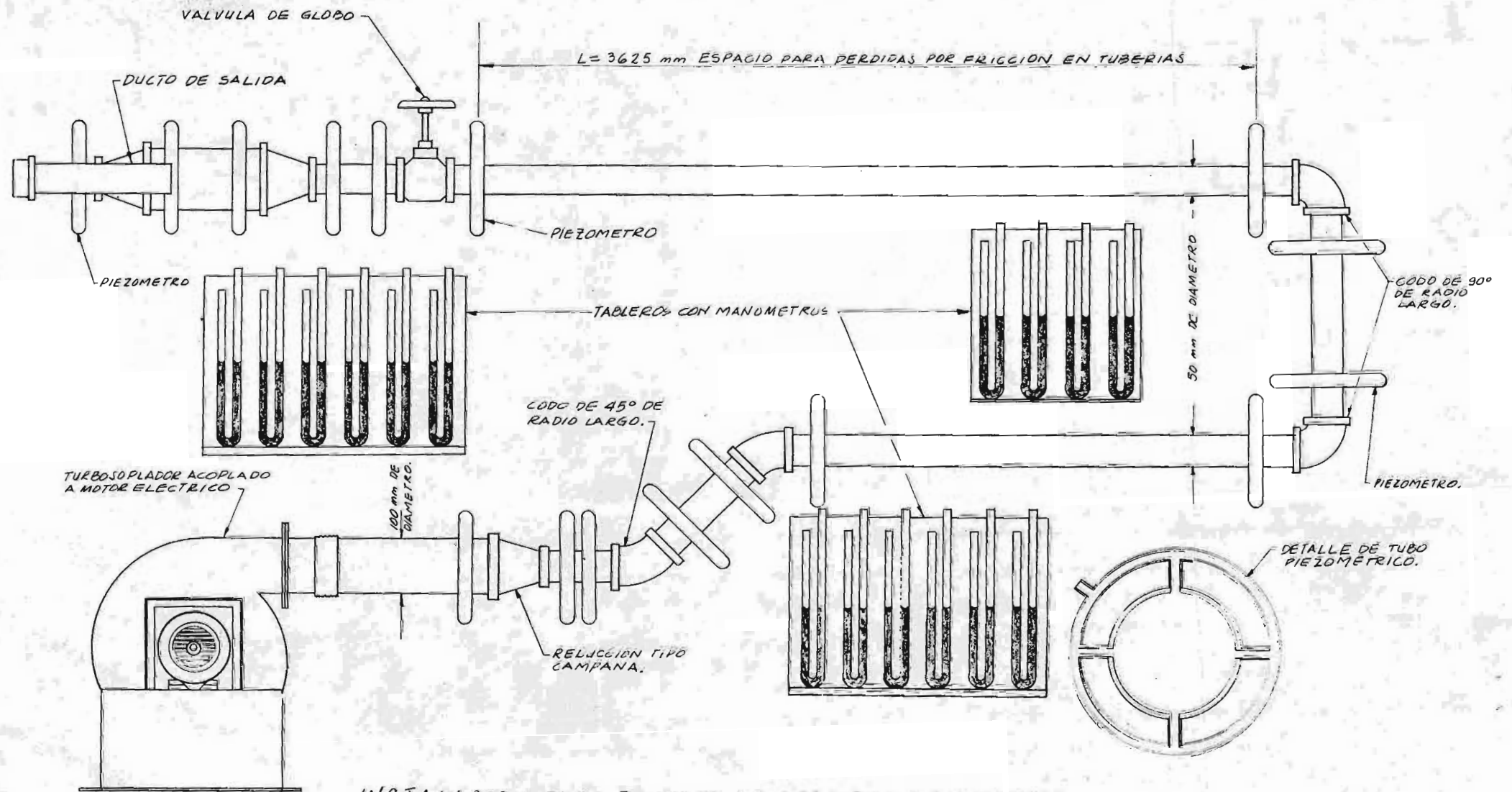
III.3.6 Pérdidas de energía en tubería.

III.3.7 Pérdidas de energía por accesorios.

Dada la importancia que significa el diseño y selección de equipos adecuados para el manejo de fluidos en general, es conveniente estudiar oportunamente las pérdidas de energía de presión y de velocidad que sufre un fluido al pasar por conductos y accesorios tales como válvulas, codos, tes, reducciones, etc.

Siendo este un tema de gran importancia para ingenieros civiles y mecánicos, el laboratorio cuenta con una instalación apropiada para la determinación experimental y analítica de tales pérdidas de energía.

Siguiendo la Fig. No. 3.3.6, esta instalación cuenta con lo siguiente: un turbosoplador como el descrito en la sección 3.5; una manga flexible; tubería de interconexión de 100 mm y 50 mm de diámetro; una reducción tipo campana de 100 a 50 mm de diámetro; dos codos de 45 grados de 50 mm de diámetro tipo radio largo; una válvula de globo de 50 mm de diámetro; dos codos de 90 grados de 50 mm de diámetro tipo radio largo y un niple para la descarga del fluido.



INSTALACION PARA ESTUDIO DE PERDIDAS DE ENERGIA EN UN CONDUCTO CERRADO.

FIG. NO. 3.3.6

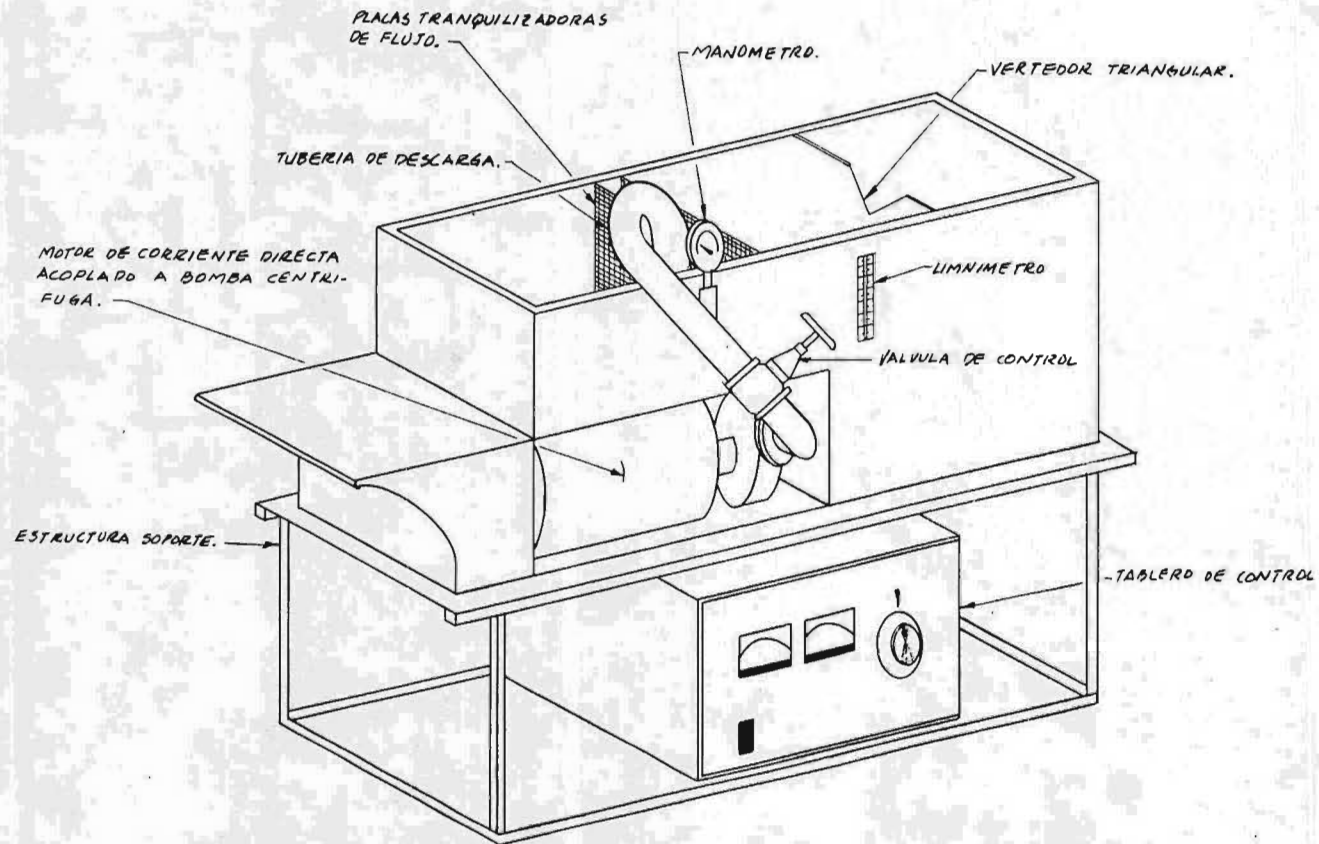
En este equipo, el fluido de trabajo es el aire. Antes y después de cada accesorio, existe un piezómetro con manómetro diferencial.

III.3.8 Bomba centrífuga horizontal.

Con este inciso, comenzamos con cada uno de los equipos de pruebas tipo autosuficientes, construídos con la más avanzada tecnología para fines educacionales.

Para el estudio de una bomba centrífuga, se han adquirido dos equipos compactos, autosuficientes, para realizar un estudio completo de su comportamiento, en todos sus aspectos.

De acuerdo a la Fig. No. 3.3.8, estos son los componentes del equipo de pruebas: estructura soporte con tornillos para nivelación (este equipo de pruebas debe operarse totalmente nivelado); tanque para almacenamiento y succión de la bomba; motor eléctrico tipo dinamométrico, de corriente directa; bomba centrífuga de un paso con succión y descarga bridadas; tubería de descarga con válvula de globo y manómetro de presión tipo burdon; tanque de recepción con dos tranquilizadores de fluido, vertedor de sección - -



APARATO DE PRUEBAS PARA BOMBA CENTRIFUGA.
 FIG. NO. 3.3.8

triangular con su propio medidor de gasto ajustable.

Otras partes importantes son un dinamómetro de mercurio para medición de la fuerza ejercida al fluido; tablero de control y monitorio de la unidad que incluye arrancador de 15 Amperes, amperímetro, voltmetro y perilla de control.

Para realizar la experimentación que se indicará en otro capítulo, auxiliarse de un tacómetro manual, el cual ha sido descrito en otra sección.

III.3.9 Rueda Pelton.

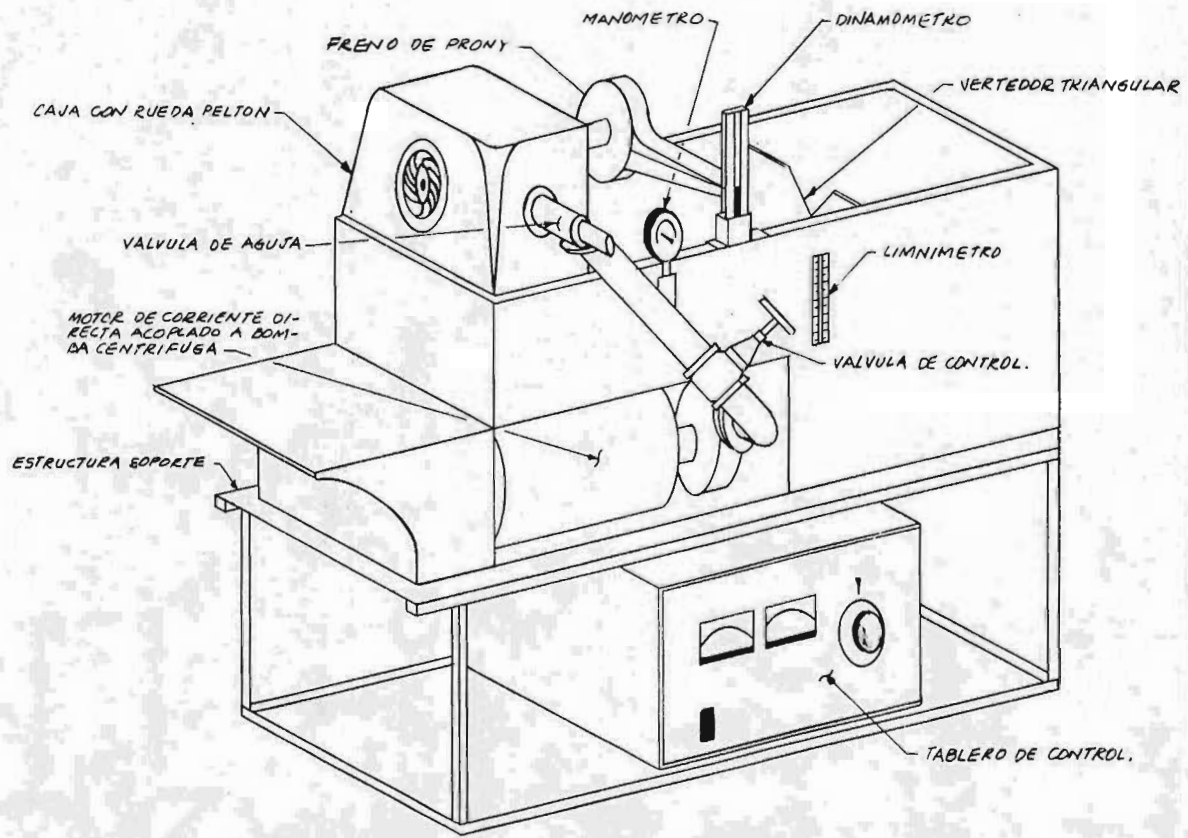
La energía potencial del agua es aprovechada en algunas instalaciones hidráulicas para su transformación en energía eléctrica. Estas instalaciones en algunas ocasiones utilizan la rueda Pelton como medio transductor de la energía de presión que posee el agua para transformarla en energía de velocidad, la cual es aprovechada en instalaciones hidráulicas para mover un generador de corriente alterna y para mover una bomba centrífuga que se utiliza como retroalimentador a la turbina.

Observando la Fig. No. 3.3.9, se aprecia que es muy similar a la Fig. No. 3.3.8. La razón es muy sencilla: el equipo de pruebas referente a esta sección solo es una adaptación al equipo descrito como bomba centrífuga. Los cambios que se realizan son como sigue: se ha hablado de tanque de almacenamiento; de bomba centrífuga acoplada a motor dinamométrico; de tablero de control y monitoreo; de tanque con tranquilizadores, vertedor e indicador de gasto ajustable, etc.; la adaptación realizada es la siguiente: se ha cambiado la tubería de descarga por otra del mismo diámetro que incluye igualmente una válvula de regulación y manómetro de presión, juego de turbina Pelton con chiflón regulable y tubo de descarga y flecha motriz adaptada para colocarle el freno de Prony.

El freno de Prony incluye un dinamómetro de mercurio para medir el par torcional desarrollado por la flecha de la turbina.

Auxiliarse de un tacómetro manual para medición de las velocidades del eje de la turbina.

61



DIBUJO: A.A.H.

EQUIPO DE PRUEBAS PARA RUEDA PELTON.
FIG. NO. 3.3.9

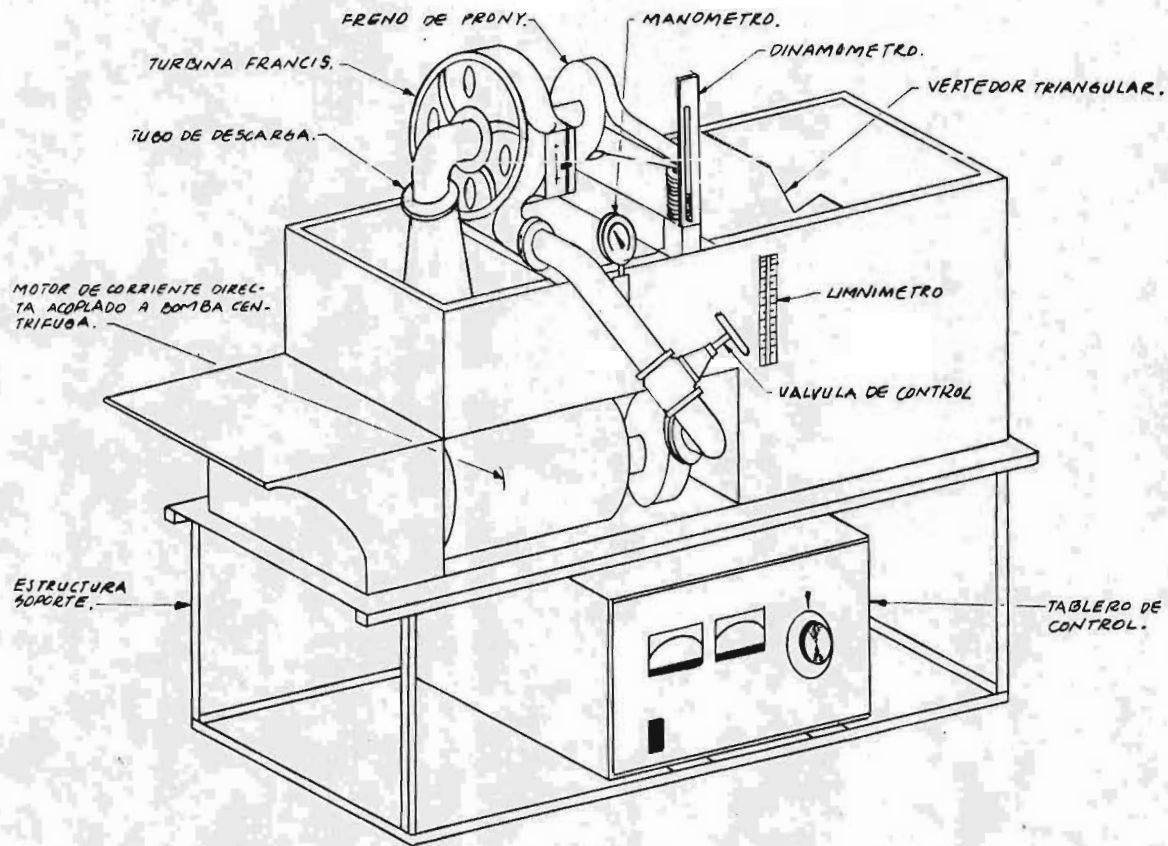
III.3.10 Turbina Francis.

Aplicable también a instalaciones hidráulicas de gran importancia son las turbinas Francis. Para el estudio del comportamiento de un equipo de esta naturaleza, el laboratorio tiene un equipo autosuficiente, muy parecido al equipo descrito en el punto III.3.8. El único cambio realizado ha sido colocar sobre la estructura del equipo de la bomba centrífuga, un equipo de turbina Francis donde se puede observar el cambio de energía que sufre el agua. Los álabes de esta turbina son ajustables manualmente, con objeto de determinar a diferentes ángulos la reacción de la rueda por la acción del agua a determinada velocidad y con determinada presión de descarga.

Cabe señalar que la medición del par torcional desarrollado por esta turbina, se realiza en forma idéntica a la rueda Pelton.

III.3.11 Máquina universal de flujo radial.

Para el conocimiento por similitud dimensional del funcionamiento dos bombas geoméricamente similares; de los efectos que

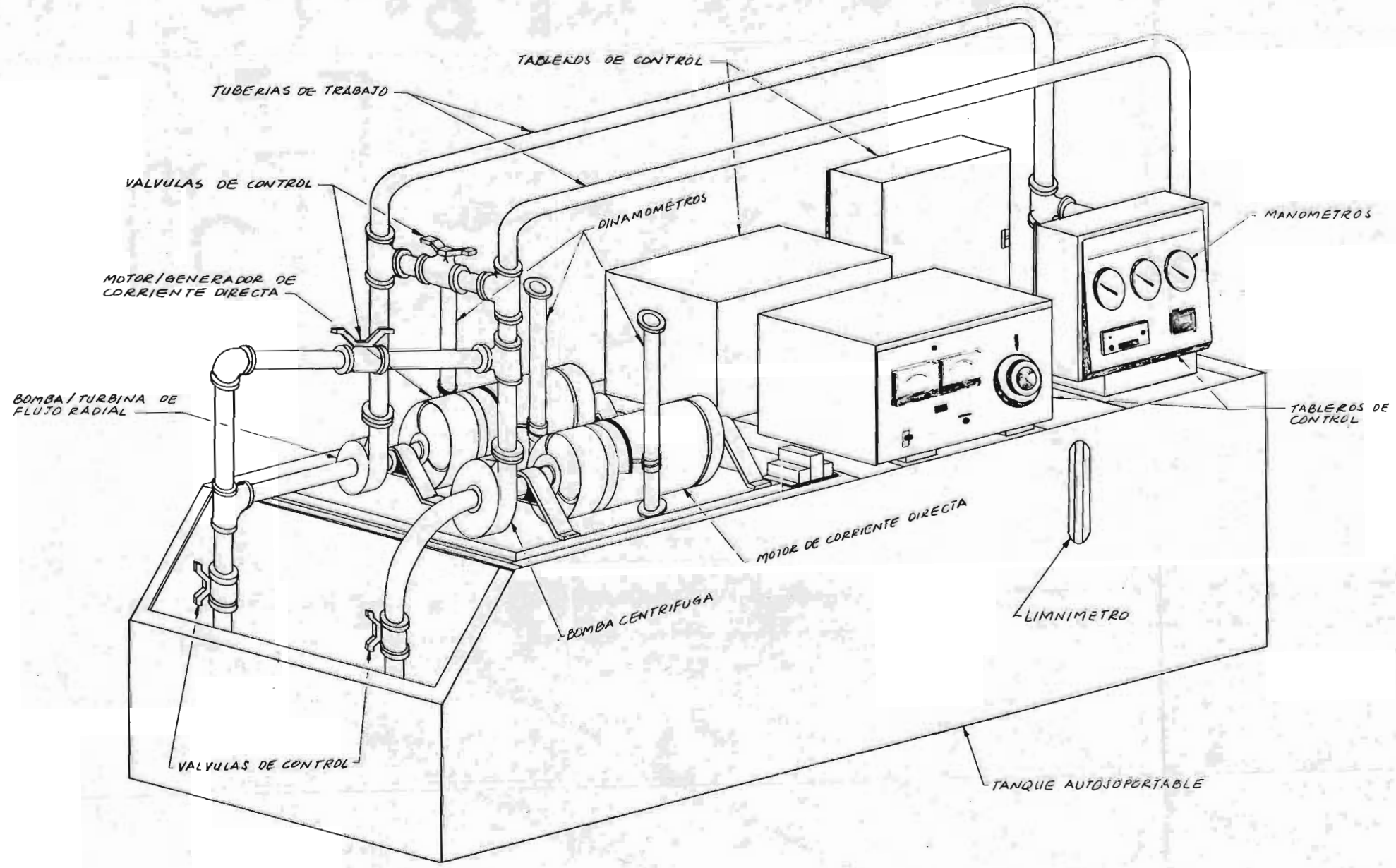


APARATO DE PRUEBAS PARA TURBINA FRANCIS.
 FIG. NO. 3. 3. 10

puedan originarse al operar dos bombas ya sea en serie o paralelo ó inclusive las diferentes características H - Q operando una bomba en sentido correcto ó incorrecto, el laboratorio en cuestión - cuenta con un sistema autosuficiente, compacto, desarrollado con el mayor ingenio y creatividad para aplicaciones estudiantiles, - denominado 'Máquina universal de flujo radial.'

El término radial se refiere al desplazamiento que sufre el fluido manejado. Es decir, para cualquier caso específico de - este sistema en cuestión, el fluido será solicitado por el centro de la bomba y desplazado en forma radial hacia el orificio de descarga.

Como se muestra en la Fig. No. 3.3.11 esta máquina universal es autosuficiente ya que cuenta con su propio tanque de almacenamiento; dos bombas centrífugas dimensionalmente simétricas - operadas cada una y en forma independiente por motores eléctricos tipo dinamométricos de corriente directa, cada uno con su propio dinamómetro para conocer el par torcional transmitido al fluido; tubería de succión y descarga en ambas bombas con interconexiones especiales operadas con válvulas manuales de paso, tablero de control independiente por cada bomba que incluye arrancador para



MAQUINA UNIVERSAL DE FLUJO RADIAL
 FIG. NO. 3.3.11

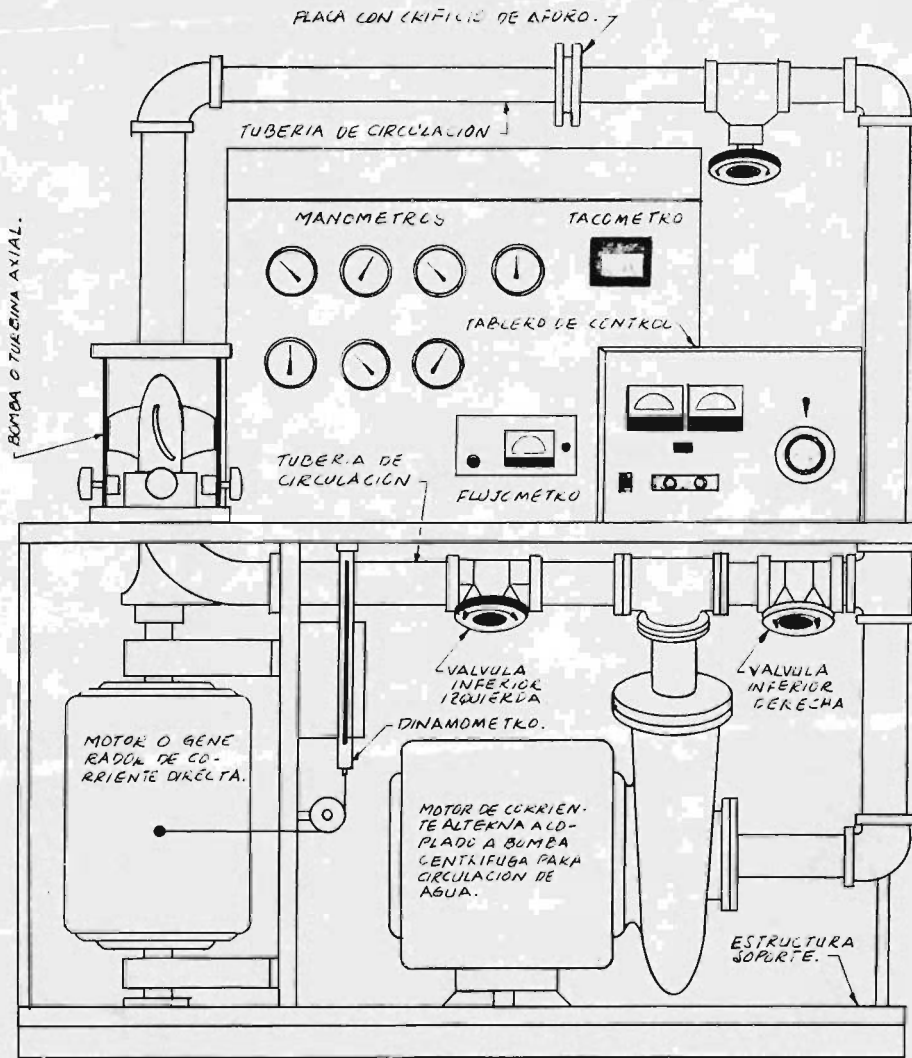
DIBUJO: A.A.H.

motor, perilla de ajuste de velocidad, manómetros de succión y -
descarga, voltmetro y ampérmetro, luz de servicio; y tacómetros -
digitales. El tanque es autosoportable y tiene un drenaje para su
limpieza.

III.3.12 Máquina universal de flujo axial.

Sabemos de la importancia que implica el estudio de las -
turbomáquinas en la preparación de profesionistas en el área de in-
geniería mecánica y civil; acorde con los planes en vigencia para
estas áreas, la escuela adquirió un moderno sistema universal a es-
cala para experimentar el comportamiento de una turbina como bom-
ba. Es decir, cambiando el sentido de circulación del fluido se -
puede: suministrar energía o recibir energía; es decir, trabajar -
como bomba ó como turbina, en ambos casos del tipo axial, de aspas
ajustables.

La unidad es la apropiada para observar el fenómeno de ca-
vitación ya que en la zona de trabajo, el sistema cuenta con un cu-
bo de cristal transparente. Este sistema universal es del todo su-
ficiente que se compone de la siguiente manera: estructura de ace-
ro de gran rigidez; bomba centrífuga para circulación del fluido,



MAQUINA UNIVERSAL DE FLUJO AXIAL.

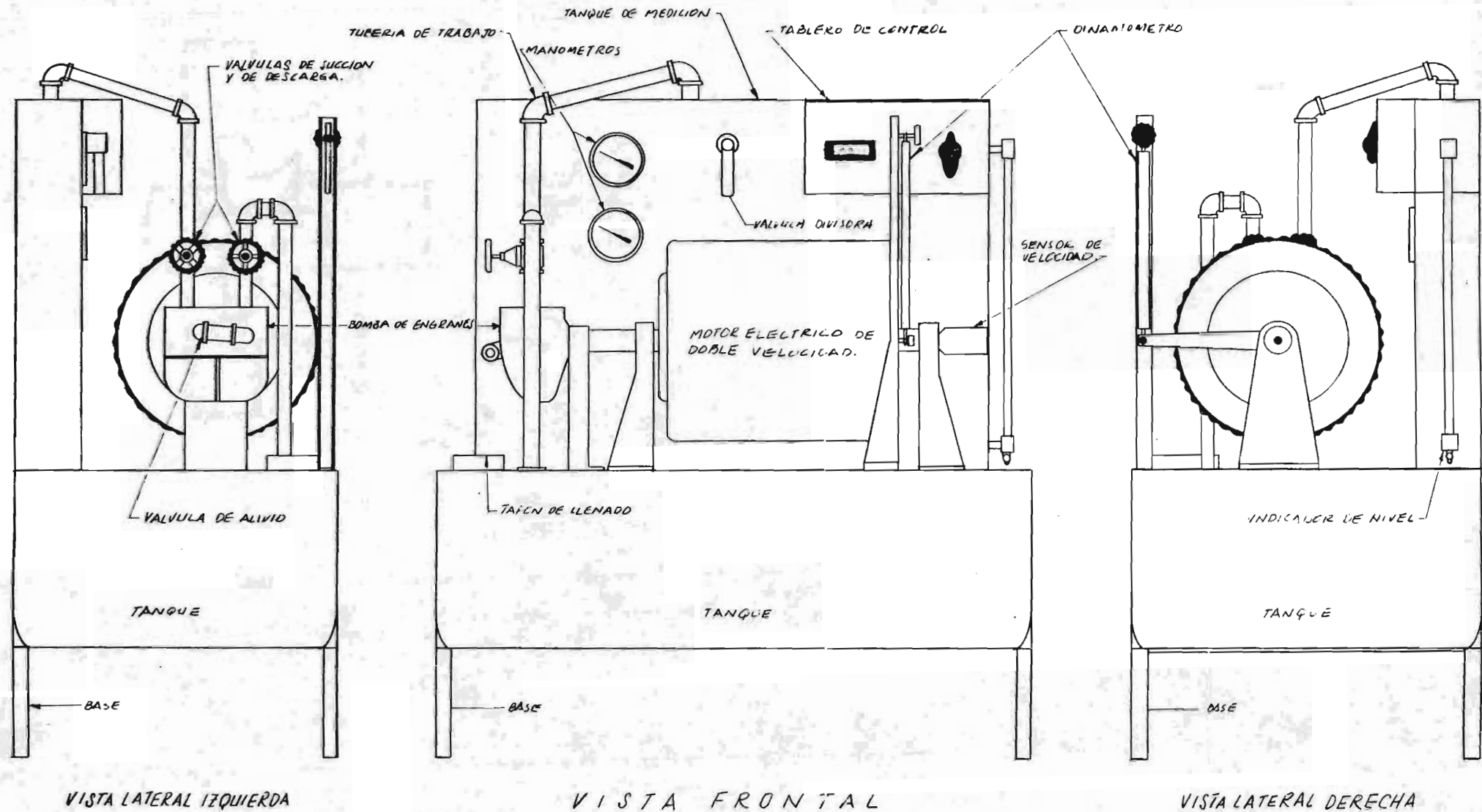
FIG. NO. 3.3.12

acoplada directamente a motor eléctrico de una sola velocidad, de corriente alterna; arrancador para este motor eléctrico, motor-generador de corriente directa acoplado directamente a una rueda axial que dependiendo de su giro será bomba o turbina (es decir, operará como motor o generador, respectivamente); dinamómetro para motor-generador para medir el par torcional aplicado o ejercido por el fluido al dinamogenerador; tablero de control y monitoreo de este sistema que incluye selector para motor-generador, perilla para control de velocidad vóltmetro, ampémetro, tacómetro, y manómetros de presión y medidor de gasto.

III.3.13 Bomba de engranes.

Otros de los equipos importantes para el manejo de fluidos especiales, es una bomba de engranes. Las bombas de engranes pueden ser de engranes interno ó externos; el equipo con que cuenta este laboratorio es una bomba de engranes internos.

La Fig. No. 3.3.13 muestra los componentes del equipo de pruebas denominado Bomba de Engranes, los cuales son: una base so porte fácilmente desplazable en el laboratorio; bomba de engranes con válvula de alivio integrada al cabezal, acoplada directamente



EQUIPO DE PRUEBAS PARA BOMBA DE ENGRANES

FIG. NO. 3.3.13

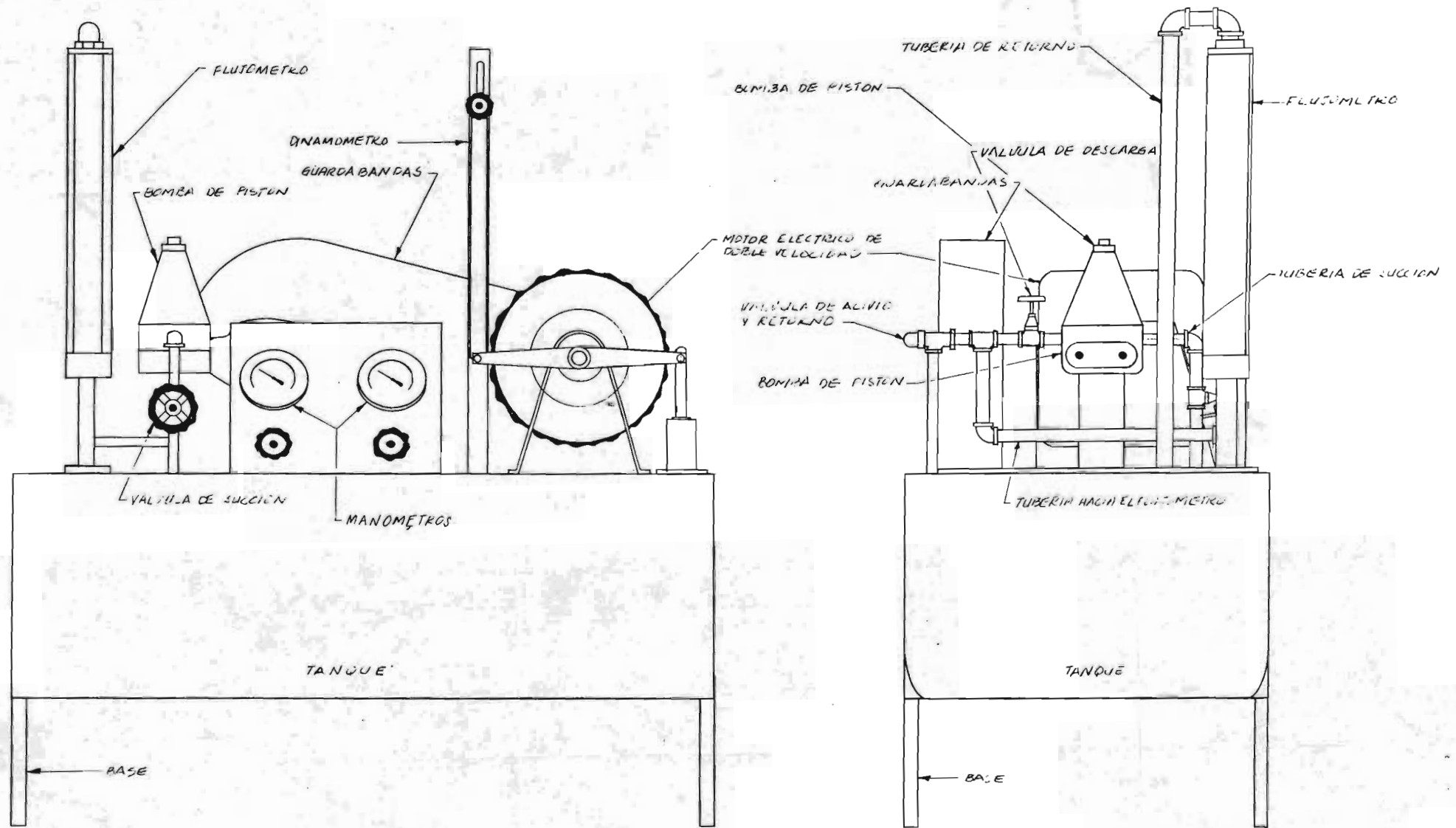
a motor eléctrico de dos velocidades tipo dinamométrico; tablero de control con arrancador y selector de velocidades de operación - así como tacómetro digital; válvulas de succión y de descarga; compartimiento para descarga de la bomba para conocer el gasto desplazado a través de un indicador de nivel; manómetros de succión y - descarga; válvula manual desviadora de flujo y retorno del fluido al tanque de reserva.

Auxiliarse de un cronómetro en el momento de realización - de pruebas para medir correctamente la velocidad de la bomba y el tiempo de llenado del tanque con indicador de nivel para la medi-
ción correcta del gasto desplazado por la bomba.

III.3.14 Bomba de piston.

El comportamiento de todos los fluidos, no siempre es el mismo. Se requiere de diferentes equipos para su manipulación y - transporte. Una bomba de pistones es un equipo para el manejo de fluidos que requieren de especial atención.

La Fig. No. 3.3.14, muestra el equipo autosuficiente para el estudio de una bomba de desplazamiento positivo tipo de pistón



VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL IZQUIERDA

EQUIPO DE PRUEBAS PARA BOMBA DE PISTON

FIG. NO. 3.3.14

simple, cuyos componentes son: estructura soporte fácilmente des-
plazable a cualquier sitio de este laboratorio; tanque de almace-
namiento que sirve de succión y descarga de la bomba; una bomba
de un pistón de simple efecto, accionada por un motor eléctrico
de dos velocidades y transmisión final de poleas y banda denta-
das; tablero eléctrico con arrancador para motor y selector de -
velocidades y tacómetro digital; ta-
l-lero con manómetros de pre-
sión de succión y descarga; válvulas de succión y descarga de la
bomba y válvula de alivio; y un indicador de gasto tipo rotáme-
tro con flotador.

Para la realización de experimentos, auxiliarse de un -
cronómetro, con el objeto de medir correctamente la velocidad -
de la bomba en cuestión.

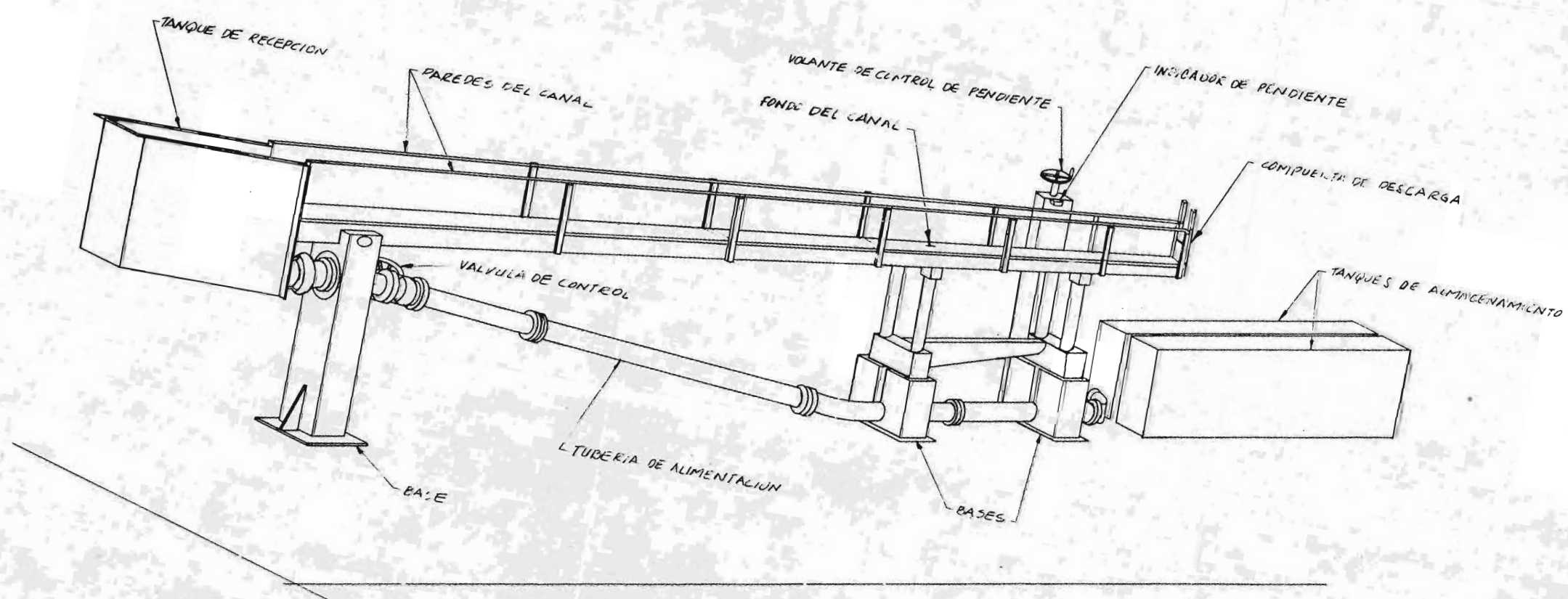
III.3.15 Canal Universal.

Los recursos naturales como ríos, caídas naturales de -
agua, grandes almacenamientos de agua, etc., son estudiados por
profesionistas para encausarlos en el desarrollo de un país, ya
sea aprovechándolos para transformar su energía potencial en -
energía eléctrica o en algunas ocasiones para el desarrollo agrí

cola, con grandes y costosos sistemas de irrigación de parcelas por medio de canales artificiales.

La denominación de universal para un aparato, es consecuencia de poder experimentarlo bajo muy variadas condiciones. Solo como referencia se citan fenómenos que ocurren en corrientes naturales cuando las condiciones sufren un cambio: salto hidráulico, curvas de remanzo, diferentes velocidades de arrastre, entre otras.

La Fig. No. 3.3.15 muestra el sistema citado en esta sección, que básicamente consta de lo siguiente: dos tanques de almacenamiento interconectados entre sí: un equipo de bombeo incorporando bomba centrífuga acoplada por transmisión de poleas y bandas a motor eléctrico de corriente alterna; tubería de interconexión de 127 mm de diámetro incorporando entre la descarga de la bomba y la descarga al canal, una placa con orificio de aforo que incluye un manómetro diferencial para medir el gasto que descarga la bomba, y una válvula de compuerta para regulación y variación del gasto entregado al canal; cabezal de recepción del fluido proveniente de la bomba; canal de 20 cm de ancho por 30 cm de profundidad por 8 m de longitud de trabajo,



VISTA GENERAL
 CANAL UNIVERSAL DE FLUJO MODULABLE
 FIG. NO. 3.3.15

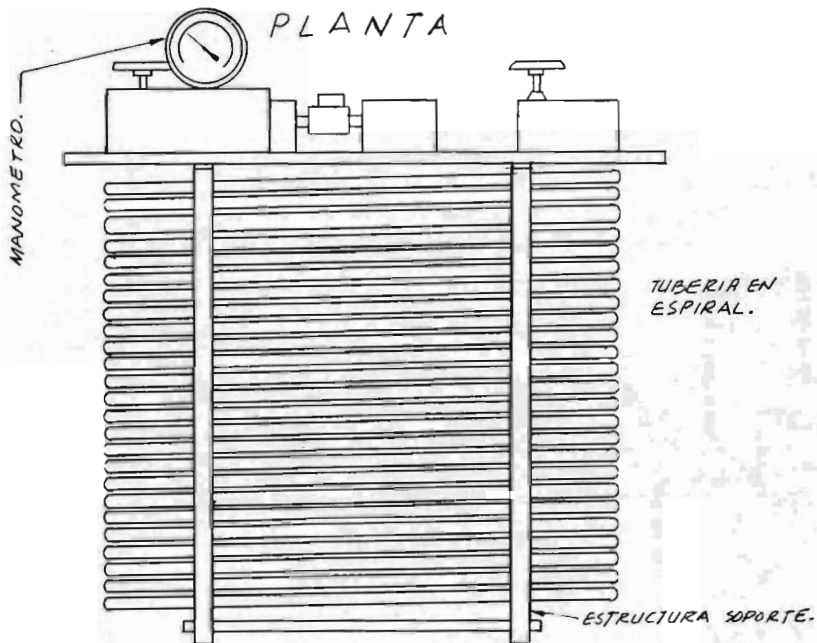
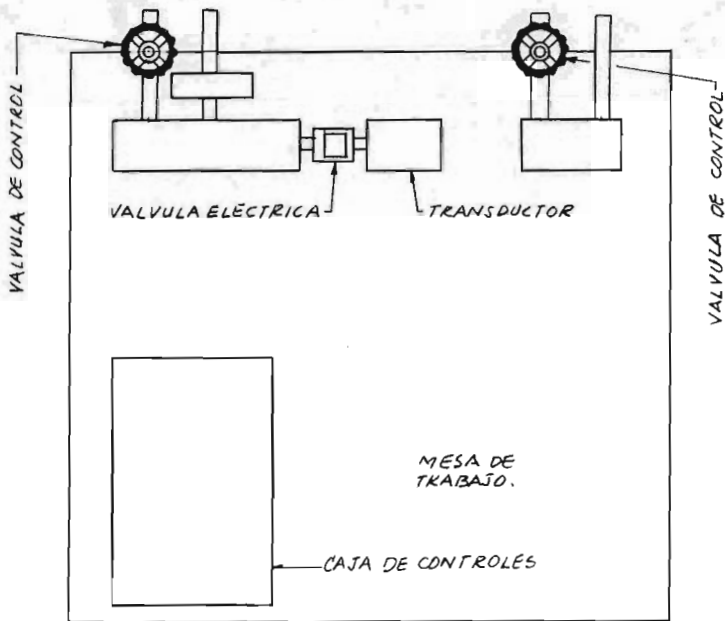
con fondo de acero inoxidable paredes de acrílico y carretes de aluminio endurecido; compuerta en la descarga; sistema mecánico con manivela para efectos de nivelación y variación de la pendiente de trabajo, y estructura soporte de eficiente seguridad.

Para el desarrollo de una gran variedad de experimentos con este canal, el sistema trae un juego de elementos auxiliares de buena calidad tales como tubo de Pitot, Venturi, Vertedor, carro porta instrumentos, indicadores de profundidad y elementos de sujeción.

III.3.16 Golpe de Ariete.

Para observar las ondas de presión originadas en el fenómeno denominado Golpe de Ariete, el laboratorio en cuestión cuenta con un equipo compacto representado en la Fig. No. 3.3.16.

Los componentes de este equipo de pruebas son un serpentín de tubería de cobre; válvulas de alimentación y salida de agua; una válvula eléctrica tipo solenoide; un transductor electrofluidizador; un manómetro de presión y luz indicadora de servicio, así como su estructura autosoportable con mesa de trabajo.



ELEVACION
 APARATO PARA GOLPE DE ARIETE.
 FIG. NO. 3.3.16

Los instrumentos auxiliares para la observación y registro de un experimento, son un osciloscopio y una cámara fotográfica tipo instantánea.

C A P I T U L O I V

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PRACTICAS

IV.1 Introducción.

La razón más importante de este trabajo, es sin duda este Capítulo.

Los instrumentos, aparatos e instalaciones como el de Hare, Reynolds, vertedores, orificios de aforo, etc., ya han sido diseñados al igual que los sistemas autosuficientes de pruebas para bombas y turbinas. Sin embargo, el término "Diseño e Implementación" se encausará al aprovechamiento humanamente posible de realizar prácticas con el laboratorio en cuestión.

IV.2 Generalidades.

Desde el inicio de actividades de esta descentralización de la Universidad Nacional, las autoridades de la ENEP Aragón han deseado y realizado excelentes instalaciones para un mejor aprovechamiento de las teorías transmitidas a estudiantes. Rea-

lizando un esfuerzo adicional, se dió oportunidad de optimizar el entendimiento en corto tiempo y oportuno tanto a catedráticos como a estudiantes al autorizar la realización de este manual de prácticas.

La realización de este capítulo no pretende ser un texto que lo incluya todo. Sin embargo, se incluyen los principios elementalmente necesarios para el fácil acceso a los equipos e instalaciones de laboratorio.

Para la realización de este trabajo, se han tomado en consideración definiciones comunes que aparecen en diversos libros de texto de Mecánica de Fluidos e Hidráulica, así como la experiencia de catedráticos en el área. Los parámetros de cada ecuación y sus unidades respectivas son apegadas al sistema internacional de unidades, es decir, las utilizadas en la actualidad.

Si los instrumentos de medición indican otras unidades, referirse a la tabla de equivalencias o a la bibliografía.

Como recomendación importante, antes de experimentar con cualquier equipo de pruebas, asegurarse una vez más del ob

jetivo que se persigue; identificar el equipo e instrumentos auxiliares; conocer debidamente las instrucciones de operación, identificar los puntos de medición; memorizar el procedimiento y secuencia de pruebas y realizar los ejercicios requeridos. Esto como buen hábito, nunca estará de sobra en las actividades profesionales. Por ninguna causa o razón injustificada, juegue o utilice en otros fines tanto su tiempo de laboratorio como sus instrumentos y equipos de pruebas. Tenga presente que son el medio eficaz para su formación y capacitación profesional.

IV.3 Conceptos Fundamentales.

El laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica cuenta con dos tipos de equipos y sistemas básicamente:

- 1) Para el estudio de Fluidos;
- 2) Para el estudio de las Máquinas hidráulicas.

A continuación se presentan en forma muy general los conceptos generales manejados en la división antes señalada. Cabe informar que existen otros sistemas cuyos principios fundamentales no están incluidos en la anterior división, los cuales se expli-

can por separado en cada práctica.

IV.3.1 Estudio de los fluidos.

IV.3.1.1 Definición de fluido.

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente - cuando es sometido por una fuerza, por pequeña que sea.

IV.3.1.2 Densidad.

La densidad de un fluido es definida como su masa por unidad de volumen.

Cuando la masa es expresada por UTM, ρ tiene UTM/m^3 como - unidades. Si la masa del fluido se expresa en Kg, ρ estará en Kg/cm^3 .

La relación de estas unidades es dada por:

$$\rho_{\text{UTM}} = \frac{\rho_{\text{Kgm}}}{9.81}$$

Por ejemplo, para agua en condiciones normales:

$$\rho_{H_2O} = 101.94 \text{ UTM/m}^3 \text{ ó } 1.0 \text{ Kg m/cm}^3$$

IV.3.1.3 Densidad relativa.

La densidad relativa r de un fluido es la relación entre la masa o peso de un fluido cualquiera y la masa o peso de un volumen de agua en condiciones normales. Las condiciones normales del agua son 4°C de temperatura y al nivel del mar.

Como especial atención a la densidad relativa, el método utilizado por Hare para obtener este concepto será el utilizado en este laboratorio.

IV.3.1.4 Peso específico.

El peso específico " ρ_e " de una sustancia es el peso por unidad de volumen. Es decir:

$$\rho_e = \rho_{\text{UTM}} g = \frac{\text{Kg m}}{9.81} g \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Dónde: " g " es el valor de la gravedad.

IV.3.1.5 Viscosidad.

De todas las propiedades de los fluidos, es la viscosidad la que requiere mayor atención en el estudio del movimiento de los fluidos.

La viscosidad es la propiedad del fluido en virtud de la cual este ofrece resistencia a las tensiones de cortadura.

La Ley de viscosidad de Newton establece que para una velocidad angular de deformación dada del fluido, la tensión de cortadura es directamente proporcional a la viscosidad.

La viscosidad de un gas aumenta con la temperatura, mientras que la viscosidad de un líquido disminuye con la temperatura. Este distinto comportamiento con las variaciones de temperatura puede explicarse examinando las causas de la viscosidad. La resistencia de un fluido a la tensión de cortadura depende de su cohesión y del grado de transferencia de cantidades de movimiento de sus moléculas. Un líquido, con moléculas más cercanas que un gas, tiene unas fuerzas de cohesión mayores que este. La cohesión parece ser la causa predominante de la viscosidad en un líquido, y co

mo la cohesión disminuye con la temperatura, a la viscosidad le su cederá lo mismo. Por otro lado, un gas tiene fuerzas cohesivas muy pequeñas. La mayor parte de su resistencia a la tensión de cortadu ra es el resultado de la transferencia de cantidades de movimiento moleculares.

Los movimientos moleculares en los gases dan lugar a una - tensión de cortadura aparente que es más importante que las fuer-- zas cohesivas, y como los movimientos moleculares aumentan con la temperatura, la viscosidad también aumenta con la temperatura.

Para presiones ordinarias, la viscosidad es independiente de la presión y depende únicamente de la temperatura. Para gran-- des presiones, algunos aceites tienen variaciones erráticas de la viscosidad con la presión.

Las dimensiones de la viscosidad se determinan por la Ley de Newton de la viscosidad:

$$\mu = \frac{\sigma}{v/t} \quad \text{cuyas dimensiones son: Kg-seg/m}^2$$

μ suele llamarse viscosidad absoluta o dinámica para evitar confundirla con la viscosidad cinemática " ν " que es:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{con m}^2/\text{seg. como unidades.}$$

Como especial mención, se utiliza la viscosidad cinemática en la obtención del número de Reynolds. Ver la tabla correspondiente al final de este trabajo para obtención de las viscosidades.

IV.3.1.6 Ecuaciones fundamentales.

Como parte importante de esta sección, conviene tomar en consideración que las expresiones matemáticas resumidas en cada práctica, han sido originadas de las siguientes ecuaciones fundamentales:

A) Ecuación de continuidad.

La ecuación de continuidad tiene diferentes expresiones, todas aplicables a determinado campo. Aquí solo se cita, que se trata de la conservación de masa; es decir, que lo que entra por

un lugar no se crea ni se destruye, sale por otro lugar, quizas a diferentes condiciones.

Así: $Q = vA$, dónde: $Q =$ Caudal o gasto (m^3/seg).

$v =$ Velocidad del gasto (m/seg).

$A =$ Area de la sección transversal por donde pasa el gasto. (m^2).

B) Ecuación de Bernoulli.

De la ecuación de Euler a lo largo de una línea de corriente se deduce la ecuación de Bernoulli, aplicable en todo momento tan to en mecánica de fluidos como hidráulica.

La ecuación de Euler es: $\frac{d\rho}{\rho} + gdz + v dv = 0$

Si se integra para densidad constante, dará:

$$\frac{p}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} = \text{cte.}$$

y si ρ es constante, ya que $\mu = \rho g$, resulta:

$z + \frac{p}{\mu} + \frac{v^2}{2} = \text{cte.}$ que es la ecuación fundamental de la Hidráulica o ecuación de Bernoulli.

Cada término de la ecuación anterior, puede ser interpretado como una forma de energía; energía potencia; energía de flujo; energía cinética, respectivamente.

IV.3.2 Máquinas hidráulicas.

La máquina hidráulica es un dispositivo que sirve para intercambiar energía entre un fluido en movimiento y un sistema mecánico.

Las máquinas hidráulicas se clasifican según el principio de funcionamiento, en:

- 1) Turbomáquinas.
- 2) Máquinas de desplazamiento positivo.

IV.3.2.1 Turbomáquinas.

En las turbomáquinas el intercambio de energía se realiza en base a fuerzas hidrodinámicas que se desarrollan entre el medio fluido en movimiento y las partes móviles y fijas de la máquina; es decir, se comportan de acuerdo a la ley de impulso de don-

de se deduce la ecuación fundamental de las turbomáquinas, o de Euler.

Considerando su función o sentido de intercambio de energía, que puede ser del medio líquido al sistema mecánico o viceversa, todas las turbomáquinas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1) Máquinas generatrices o Bombas.
- 2) Máquinas motrices o Motores hidráulicos o Turbinas.

IV.3.2.1.1 Bombas.

Las bombas son máquinas de reacción, y se clasifican a su vez atendiendo a la dirección del flujo dentro de los conductos del elemento móvil, de acuerdo a lo siguiente:

- BOMBAS DE FLUJO RADIAL O CENTRIFUGAS.
- BOMBAS DE FLUJO MIXTO O TIPO FRANCIS.
- BOMBAS DE FLUJO AXIAL O TIPO HELICE.

En el laboratorio en cuestión se cuenta con sistemas para

probar bombas radial y axial.

Las características de flujo para una bomba centrífuga siguen una trayectoria sensiblemente radial, desde la entrada hasta la salida del rodete, aunque al ser admitido el líquido en la zona del ojo del impulsor de la bomba hay un cambio rápido en un ángulo de 90° . El líquido no es accionado por los álabes hasta que las líneas de corriente siguen la trayectoria radial ya citada.

Para las bombas de flujo axial, las líneas de corriente siguen una trayectoria en dirección paralela a la flecha motriz de la máquina, desde la entrada hasta la salida de los conductos del rodete.

Todas y cada una de las bombas tienen un rango de aplicación dentro del cual funcionan a alta eficiencia y depende de los siguientes elementos hidráulicos:

Q = gasto o caudal.

H = carga total.

N = velocidad angular

IV.3.2.1.2 Turbinas.

Las máquinas motrices denominadas turbinas se dividen en dos clases bien definidas, atendiendo a la forma en que se efectúa la alimentación del elemento móvil de la máquina y al tipo de energía que transforman; es decir:

- TURBINAS DE IMPULSO.
- TURBINAS DE REACCION.

En las turbinas de impulso, la alimentación se hace sobre uno o varios puntos localizados sobre la circunferencia externa del rodete y el tipo de energía que transforman en trabajo es exclusivamente cinética. Este tipo de turbina se representa por la rueda Pelton.

En las turbinas de reacción, la alimentación se lleva a cabo por medio de un conducto en forma de espiral que rodea al elemento móvil en toda su circunferencia proporcionando una alimentación uniforme sobre la misma. En este caso la energía se va transformando gradualmente desde la energía de presión hasta la cinética, con recuperación simultánea de energía potencial y re-

sidual que se escapa del mismo rodete.

Las turbinas de reacción se clasifican en dos tipos que se definen por las líneas de corriente en el interior del elemento móvil:

- TURBINAS DE FLUJO MIXTO;
- TURBINAS DE FLUJO AXIAL.

Para las turbinas de flujo mixto o Francis, el líquido entra en dirección radial en el momento en que es accionado por los álabes del elemento móvil; sale de éste para entrar al tubo de succión en dirección axial cambiándose así la dirección del flujo en aproximadamente 90° .

Las turbinas de flujo axial operan de igual forma que las bombas axiales.

Como se indica para las bombas, las turbinas también operan en rango en el cual son altamente eficientes, con la combinación adecuada de los siguientes elementos hidráulicos:

Pf = Potencia al freno.

H = Carga total.

N = Velocidad angular.

IV.3.2.2 Máquinas de desplazamiento positivo.

En las máquinas de desplazamiento positivo la transferencia de energía se efectúa en base al trabajo mecánico directo, al desplazarse un volumen determinado de fluido bajo la acción de una presión, tratándose en todo momento de energía de flujo, como podrá observarse en las ecuaciones de cada práctica.

Aunque estas máquinas son consideradas para campos más especializados y no de uso general, se dividen en recíprocas y rotatorias; de pistón y diafragma; de rotor simple y rotor múltiple; de simple o múltiple efecto. Respectivamente en todos los casos. Posteriormente en este capítulo se hablará de bombas recíproca y rotatoria.

IV.4 Desarrollo de Prácticas.

Las prácticas son la parte medular de este trabajo. En

ellas se ha trabajado un sin número de horas y en conjunto con profesores de hidráulica y mecánica de fluidos y se ha llegado a lo siguiente: Aunque una práctica puede parecer muy extensa, queda por parte de los profesores el tomar la decisión de subdividirla en partes necesarias.

Para cada práctica se indica el objetivo ú objetivos a conseguir; se habla de los principales antecedentes del tema; si no se ha explicado con anterioridad el equipo requerido y auxiliar, se hace referencia al mismo lo más ampliamente posible; si es una práctica sobre la cual no se haya hablado sobre sus principios fundamentales en otra sección de este capítulo, se aclaran en su oportunidad, así como la secuencia de mediciones, cálculos, resultados requeridos y conclusiones.

Es muy común y conviene aclararlo en la medida posible, que a determinada edad nos pase que al ver los equipos o aparatos o sistemas pequeños, compactos, nos de la impresión de que solo son juguetes como los de nuestra infancia que jugamos de una manera y otra. Despertemos de una vez. Los laboratorios son el mejor medio físico para nuestro desarrollo e integración profesional. Estemos seguros de qué es lo que deseamos en un sitio como lo es

el laboratorio, cuando penetremos en él. Que en ningún momento -
solo sea un medio más de nuestra distracción.

PRACTICA NO. 1

OBTENCION DE DENSIDADES RELATIVAS.

OBJETIVO:

El alumno determinará, después de realizar mediciones experimentales y cálculos matemáticos, la densidad relativa de un líquido, en función de otro líquido de densidad relativa conocida.

GENERALIDADES:

En muchos de los problemas a que se enfrenta el ingeniero de diseño, el concepto densidad interviene en las consideraciones que determinan el dimensionamiento de equipos para el manejo de fluidos y materiales. De aquí su importancia. La presente experimentación puede ser de gran ayuda a estos ingenieros tomando en consideración que aunque existen densidades tabuladas en libros y manuales técnicos de ingeniería, puede presentarse alguna vez una mezcla o compuesto indeterminado que requiera de conocerse su densidad.

La forma empleada comunmente para determinar la densidad relativa de un líquido, es obteniendo el cociente de comparar el peso o masa de un volumen de un líquido determinado, con respecto a el peso o masa de un volumen igual pero de agua destilada a 4°C de temperatura, al nivel del mar. Como el laboratorio no tiene altitud idéntica al nivel del mar ni es fácil obtener temperatura estable de 4°C para experimentar por este medio, es difícil utilizar este método.

EQUIPO REQUERIDO:

Se requiere del aparato de Hare (Fig. No. 3.3.1) además de un termómetro, un barómetro y seis matraces de cristal con fondo plano, todos con líquidos diferentes, incluyendo el que contenga agua.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO APARATO DE HARE.

El aparato de Hare ha sido descrito en cuanto a sus componentes principales en la sección No. III.3.1

Una vez que han sido colocados dos matraces en su sitio - (uno contiene agua) e introducido los tubos de cristal en su interior, ambas presiones la exterior e interior de los tubos es la misma; es decir, la presión atmosférica del lugar. Al accionar la jeringa, el volumen que ocupaban las moléculas del aire en el interior de los tubos hasta la jeringa, es aumentado, originando que la presión interior de los tubos sea disminuida, cumpliéndose una ley importante de la física. Como consecuencia de lo anterior, la presión atmosférica exterior aplicada sobre los líquidos, actúa sobre los mismos desplazándolos por el interior de los tubos hasta igualar nuevamente las presiones; es decir, hasta que los líquidos establecen un nivel, el cual depende del tamaño de la succión realizada con la jeringa.

SECUENCIA DE MEDICIONES.

Con el termómetro, medir la temperatura del agua, registrándola, así como la temperatura de los otros líquidos. Verifique que las temperaturas de todos los líquidos sean iguales. Esto permitirá que las viscosidades de cada líquido, aunque sean diferentes, tiene un punto en común.

Con el barómetro mida y registre la columna de mercurio existente en el laboratorio.

Verifique que todos los matraces tengan el mismo volumen del líquido.

Coloque en posición de trabajo dos matraces uno al lado derecho y otra al lado izquierdo. El del lado derecho que sea el que contiene agua. Introduzca los tubos de cristal al interior de los matraces. Ajuste la escala de tal manera que el cero de la escala, coincida con los niveles que deben ser los matraces. Una vez que haya realizado lo anterior, los datos restantes se obtienen de la siguiente manera: Succione con la jeringa con poca fuerza; al realizar esta operación, sucederá el fenómeno explicado al principio de esta práctica. El nivel de ambos líquidos se estabilizará procediendo a medir y registrar ambas columnas desde el nivel del líquido de cada matraz hasta el nivel alcanzado por los líquidos en los tubos de cristal. Registre las lecturas en una tabulación como la que se muestra en la tabla No. 4.1.1 que se encuentra al final de esta práctica, colocando en "X" (abscisas) el valor de la columna del agua y en "Y" (ordenadas) el valor leído del otro líquido. Repita esta operación

por lo menos otras cinco veces más, aplicando cada vez más fuerza en la jeringa, procurando que las lecturas a obtener sean arbitrariamente distribuidas en la mayor parte de la escala.

Como recomendación importante, volver el émbolo de la jeringa a su posición normal después de registrar cada lectura, levantando cuidadosamente los tubos de cristal, permitiendo con esto que los líquidos escurran al matraz correspondiente, por unos segundos.

SECUENCIA DE OPERACIONES.

Con la columna de mercurio leída en el barómetro, determine la presión atmosférica y por consiguiente el valor correspondiente a "g" aceleración de la gravedad.

Con los resultados obtenidos en el aparato de Hare, grafique los puntos en una hoja de papel milimétrico, trazando la recta más apropiada que pase por todos los puntos graficados.

De la recta trazada, la densidad relativa ρ_r del líquido en cuestión, será:

$$r = \frac{y}{x} = \text{Tan } \theta$$

dónde " θ " es el ángulo que forma la recta trazada con respecto al eje de las abscisas.

El peso específico relativo (gravedad específica) γ_{xr} del líquido en cuestión sera:

$$\gamma_{xr} = \rho_{rg}$$

dónde " g " es el valor de la gravedad obtenido previamente.

El peso específico γ_x del líquido en cuestión, será:

$$\gamma_x = \gamma_{xr} \gamma_{H_2O}$$

dónde γ_{H_2O} es el peso específico del agua utilizada, obtenido de tablas con base en la temperatura que fue registrada en un principio.

RESULTADOS:

Se requiere de una gráfica por líquido que incluya la tabulación así como las operaciones que determinan la densidad relativa de cada líquido.

Se requiere una tabla que contenga tabulados los siguientes resultados:

DENSIDAD RELATIVA DE CADA LIQUIDO;
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE CADA LIQUIDO;
PESO ESPECIFICO DE CADA LIQUIDO;
PESO ESPECIFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA.

CONCLUSIONES:

El alumno deberá incluir, después de haber consultado en los libros indicados en la bibliografía de este trabajo, las densidades y pesos específicos de los líquidos, una tabla comparativa indicando sus conclusiones en caso de haber obtenido resultados no confiables.

X	Y

TABULACION

GRAFICA

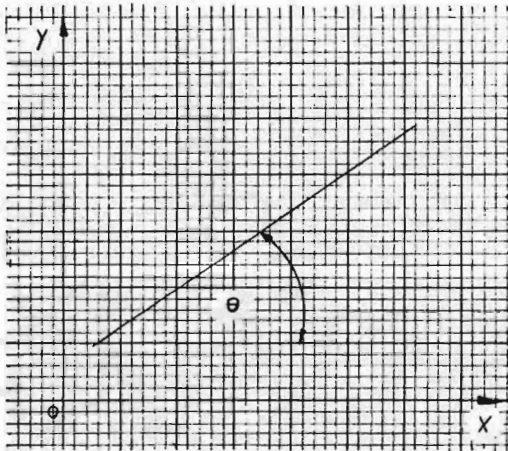


TABLA DE RESULTADOS

TABLA NO 4.1.1

PRACTICA NO. 2

OBTENCION DE LOS NUMEROS DE REYNOLDS

OBJETIVO:

El alumno determinará, después de realizar mediciones y los cálculos necesarios, los números de Reynolds correspondientes a las líneas de corriente tipo laminar y turbulento del agua cuando fluye por un tubo de cristal.

GENERALIDADES:

Reynolds, importante Físico Inglés del siglo XIX, realizó experimentos con fluidos determinando así que la trayectoria de una molécula de un fluido al ser transportado por un conducto, depende del diámetro del conducto, velocidad y viscosidad del fluido.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Se define el flujo laminar como aquel en el cual el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose en una fina capa sobre la adyacente con un solo intercambio molecular de cantidades de movimiento. La tendencia hacia la inestabilidad y la turbulencia es

frenada por las fuerzas viscosas que resisten los movimientos relativos de las capas fluidas adyacentes. El flujo turbulento tiene un movimiento de partículas con un violento intercambio transversal de cantidades de movimiento. La naturaleza de un fluido, es decir, el que sea laminar o turbulento se define por el número de Reynolds.

Con cuidadosas manipulaciones, Reynolds logró obtener un valor de $R = 12.000$ antes de comenzar la turbulencia, en una instalación similar a la del laboratorio en cuestión. Posteriormente, otro investigador usando el mismo aparato de Reynolds obtuvo un valor de 10.000 permitiendo reposar el agua por unos días y tomando precauciones para evitar vibraciones del agua o aparato. Estos números denominados "Números Críticos Superiores de Reynolds" no tienen valor práctico dadas las irregularidades que las tuberías ordinarias presentan, las cuales originan turbulencias para valores mucho menores del número de Reynolds.

Sin embargo, Reynolds encontró que para una tubería de cristal, existiría flujo laminar cuando "R" fuera menor a 2.000 ; el flujo cambiará de laminar a turbulento en un intervalo de 2.000 a 4.000 .

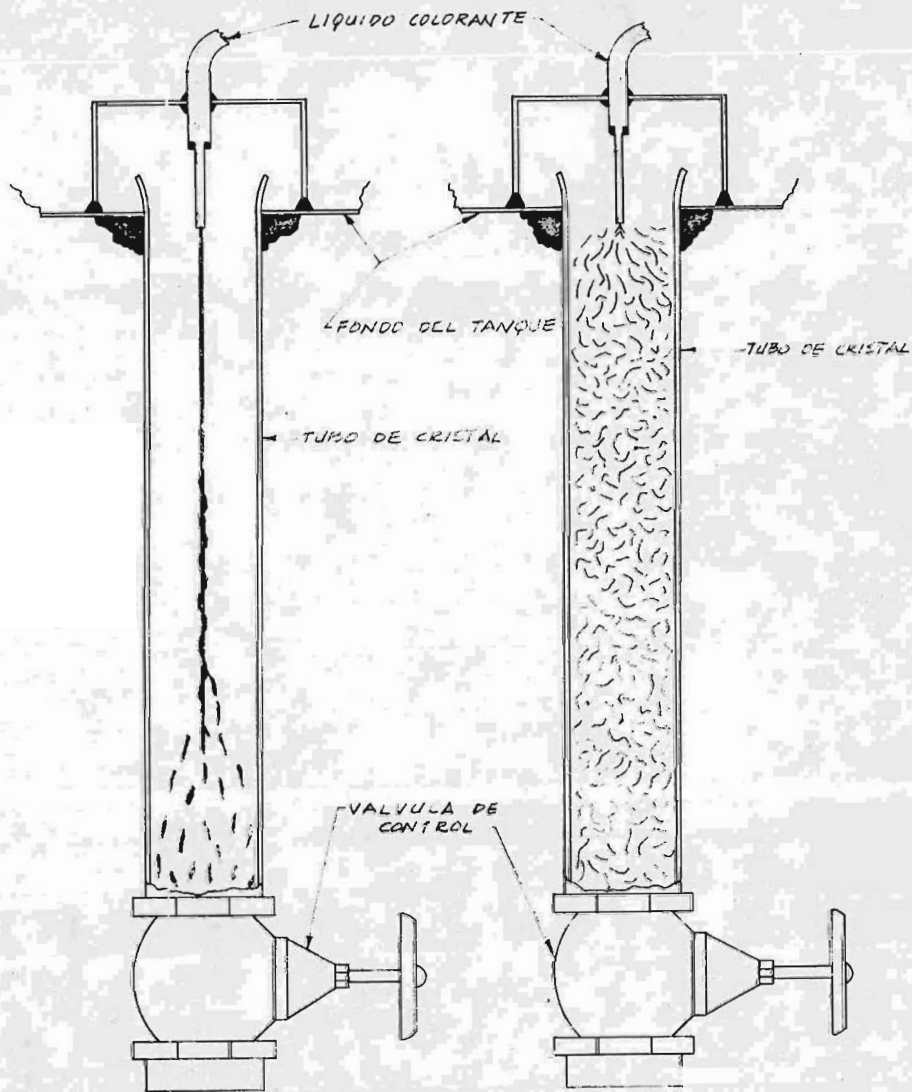
EQUIPO REQUERIDO:

El equipo e instrumentación requerido para lograr el objetivo de esta práctica es el aparato de Reynolds; una probeta graduada; un termómetro y un cronómetro.

Todo este equipo e instrumentación ha sido descrito en el Capítulo III donde se muestra el aparato de Reynolds en la Fig. No. 3.3.2.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO APARATO DE REYNOLDS:

Como se describió en el capítulo anterior, el aparato de Reynolds consta de un tanque principal que descargará agua por el fondo, por medio de un tubo de cristal de 25 mm de diámetro con una válvula de control al final; un recipiente de líquido colorante interconectado en el principio del tubo de cristal, con un orificio de descarga muy pequeño; en el intermedio de la tubería del líquido colorante, existe una válvula de control.



LAMINAR

TURBULENTO

TIPOS DE FLUJO

FIG. NO. 4.2.1

Para lograr las líneas según el tipo de flujo que se desea, turbulento o laminar, abrir primero la válvula de control colocada en el tubo de cristal y después la válvula de paso del líquido colorante. De acuerdo a la Fig. No. 4.2.1 regule con precaución la válvula de control del agua (ya que la del líquido colorante es válvula de paso) para lograr el flujo laminar ó el flujo turbulento.

SECUENCIA DE MEDICIONES.

Abra la válvula de control del tubo de cristal y recolecte agua en la probeta graduada. Usando el termómetro mida la temperatura del agua.

Con el cronómetro se determina el tiempo en que tarda en llenarse a cierto nivel la probeta graduada. El nivel de la probeta no debe ser muy bajo ni tampoco que se tire el agua originando una medida errónea.

Siguiendo la secuencia de mediciones, abriendo un poco la válvula de control del agua y abriendo el paso al líquido colorante, se observa, si se tiene la precaución de provocar mínimas vi-

braciones al aparato de Reynolds, un flujo laminar. Usando la probeta graduada, al mismo tiempo que colecta agua con la misma haga funcionar el cronómetro parando éste una vez que la probeta esté más o menos llena. Registre el volumen de agua de la probeta y el tiempo cronometrado en la tabla No. 4.2.2 que aparece como referencia al final de esta práctica. Para no perder la corriente del experimento, abra ligeramente la válvula de control del agua, tratando de conservar el flujo laminar, repitiendo el procedimiento anterior para la lectura del volumen y tiempo. Abriendo nuevamente la válvula de control del agua observará que aumenta la cantidad de agua descargada y que se irá perdiendo el flujo laminar - convirtiéndose en flujo turbulento. Para lograr lo último, realice el experimento un mínimo de diez (10) veces registrando en toda ocasión volumen de agua y tiempo, contando como primera vez la ocasión citada para obtener flujo laminar.

SECUENCIA DE CALCULOS:

Con la temperatura originalmente registrada, obtenga de algún texto de Hidráulica, la viscosidad cinemática.

Con los datos tabulados de volumen de agua y tiempo, con-

vertir el volumen a metros cúbicos para obtener el gasto (m^3).

Usando la ecuación de continuidad ya que el diámetro del tubo de cristal es conocido y constante, se obtiene la velocidad de las líneas de corriente:

$$Q = vA$$

Dónde:

Q = gasto (m^3).

v = velocidad de las líneas de corriente (m/seg).

A = área de la sección transversal del tubo (m^2).

Una vez que se determina la velocidad "v" de las líneas de corriente, el número de Reynolds se obtiene de la siguiente ecuación

$$R = \frac{vD}{\nu}$$

Dónde:

R = Número de Reynolds (adimensional).

v = Velocidad de las líneas de corriente (m/seg).

ν = Viscosidad cinemática del agua (m^2/seg).

D = Diámetro del tubo de cristal (m).

RESULTADOS:

Los resultados requeridos son el cálculo de los números de Reynolds incluyendo la tabulación de la tabla No. 4.2.2. que aparece en la siguiente página.

Es muy importante emitir por parte del alumno un juicio en que se observen conclusiones de la comparación de los resultados.

HOJA DE LABORATORIO.

PRACTICA NO. 2.

TIPO DE FLUJO: _____

TEMPERATURA DEL AGUA: _____ °C.

NO. DE EXPERIMENTO	V	t	Q	v	v	R	

TABLA NO: 4.2.2

PRACTICA NO. 3

ORIFICIOS DE AFORO.

OBJETIVO:

El alumno determinará, con ayuda de la instalación denominada "orificio de aforo" el coeficiente de contracción, la velocidad y el gasto que fluye por un orificio circular.

GENERALIDADES:

En la actualidad, el ingeniero utiliza varios métodos para conocer el gasto transportado por un conducto. Unos aplicables a gases y otros a líquidos. Las placas de aforo son el medio más común que se utiliza para determinar la cantidad de fluido transportado por cualquier conducto cerrado.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Un medidor de caudal es un dispositivo que determina, generalmente por una simple medida, la cantidad que por unidad de tiem

po pasa a través de una sección transversal determinada. Entre los medidores de caudal más comunes están el orificio de aforo, la tobera, el venturi, el rotámetro y los vertedores de aforo los cuales se analizan en la práctica No. 4

El orificio de aforo se utiliza para medir el caudal que sale de un recipiente ó que pasa a través de una tubería. El orificio, en un recipiente, puede hacerse en una pared o en el fondo. Es una abertura generalmente redonda, que puede ser de arista viva o redondeada. El área del orificio es el área de la abertura. Con el orificio de arista viva el chorro fluido se contrae a una distancia corta de aproximadamente un diámetro y medio aguas afuera del orificio. Esto se origina como consecuencia de que el fluido que se aproxima al orificio a lo largo de la pared, no puede torcer en ángulo recto, tomando así una trayectoria radial que origina tal fenómeno. La sección transversal en la que la contracción es mayor se denomina sección contraída. En este punto las líneas de corriente son paralelas y la presión es la atmosférica.

EQUIPO REQUERIDO:

El equipo y auxiliares necesarios para determinar este ob

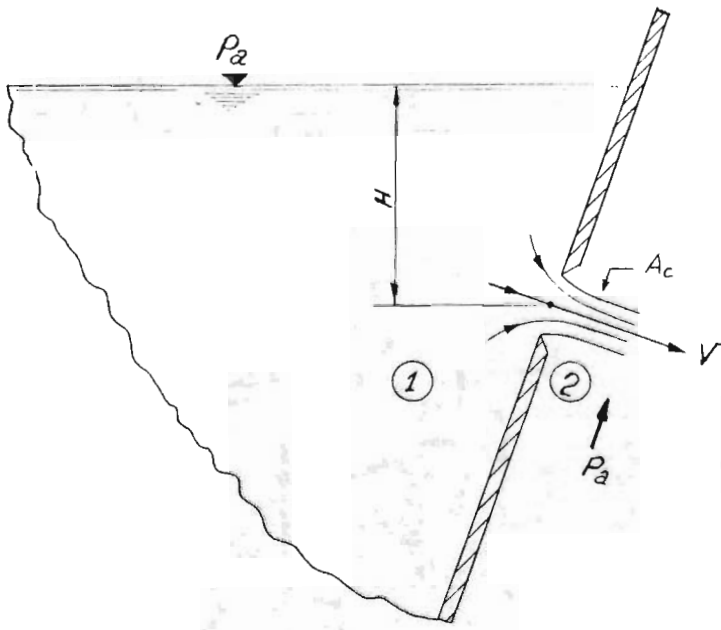
jetivo, es la instalación para estudio de orificios de aforo; una probeta; un cronómetro; un vernier y una cinta métrica (flexómetro).

El material citado, se ha descrito en el Capítulo anterior.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

La instalación existente en el laboratorio para lograr el objetivo de esta práctica, se ha descrito en el capítulo anterior y presentado en la Fig. No. 3.3.3. Si se observa la Fig. No. 4.3.1 las líneas de corriente que se aproximan al orificio, tienen una trayectoria recta. Si se considera que los fluidos siempre toman el camino más fácil, las líneas de corriente cambian su trayectoria recta por una radial formando una especie de unión comprimida lo que se denomina sección contraída o comúnmente vena contracta.

Los medidores de flujo que se van a instalar en una línea de fluido líquido o gaseoso, han sido diseñados para operar en un rango para el cual sus coeficientes de contracción veloci-



ORIFICIO DE PARED DELGADA.

FIG. NO. 4.3.1

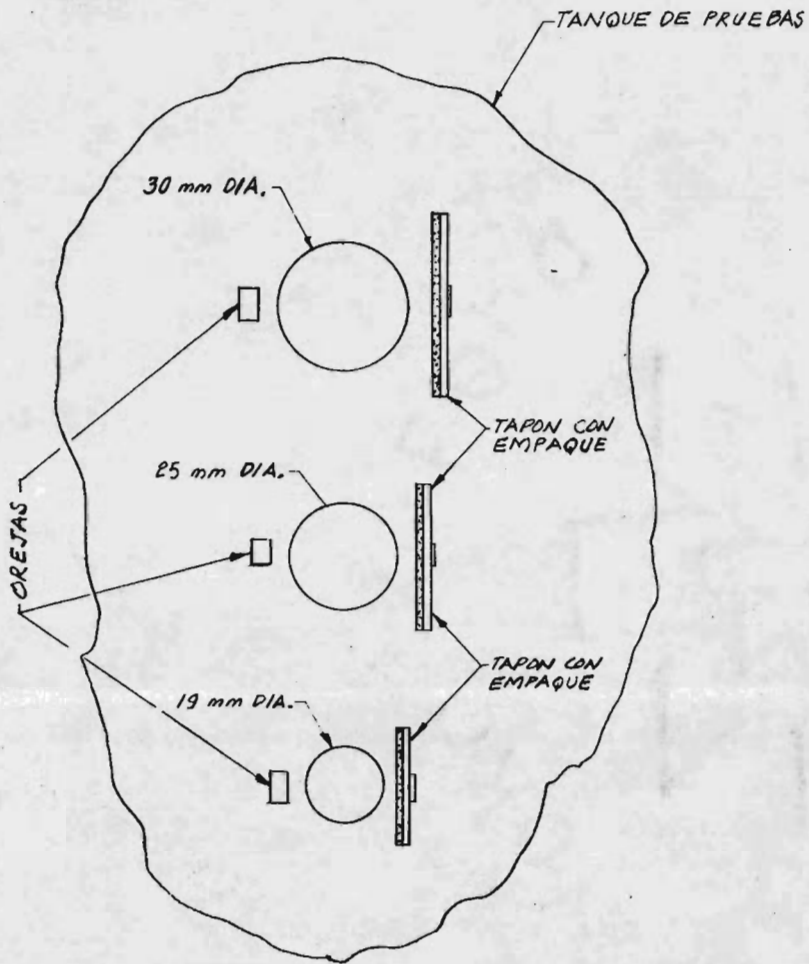
UNIVERSIDAD: A.A.H.

dad y gasto son eficientes, los cuales se han determinado experimentalmente.

La instalación en estudio cuenta con tres orificios de aforo, cada uno de diferente diámetro. El tanque elevado es alimentado por una bomba con cantidad descargada controlada por una válvula de globo. Es necesario e indispensable mantener un nivel constante entre el punto de descarga (orificio de aforo) y el nivel del tanque (H) que se decida.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

Energice el motor que acciona la bomba. Abra la válvula de control localizada en la línea de descarga de la bomba y que suministra el fluido al tanque elevado. Seleccione un orificio de pruebas de los tres disponibles, registrando el diámetro respectivo según la Fig. No. 4.3.2. Seleccione una altura adecuada entre el centro del orificio a probar y el nivel decidido en el tanque elevado. Abra el orificio de pruebas; como consecuencia de esta acción, el nivel descenderá o aumentará según se haya abierto la válvula de control.



DIAMETRO DE ORIFICIOS

FIG. NO. 4.3.2

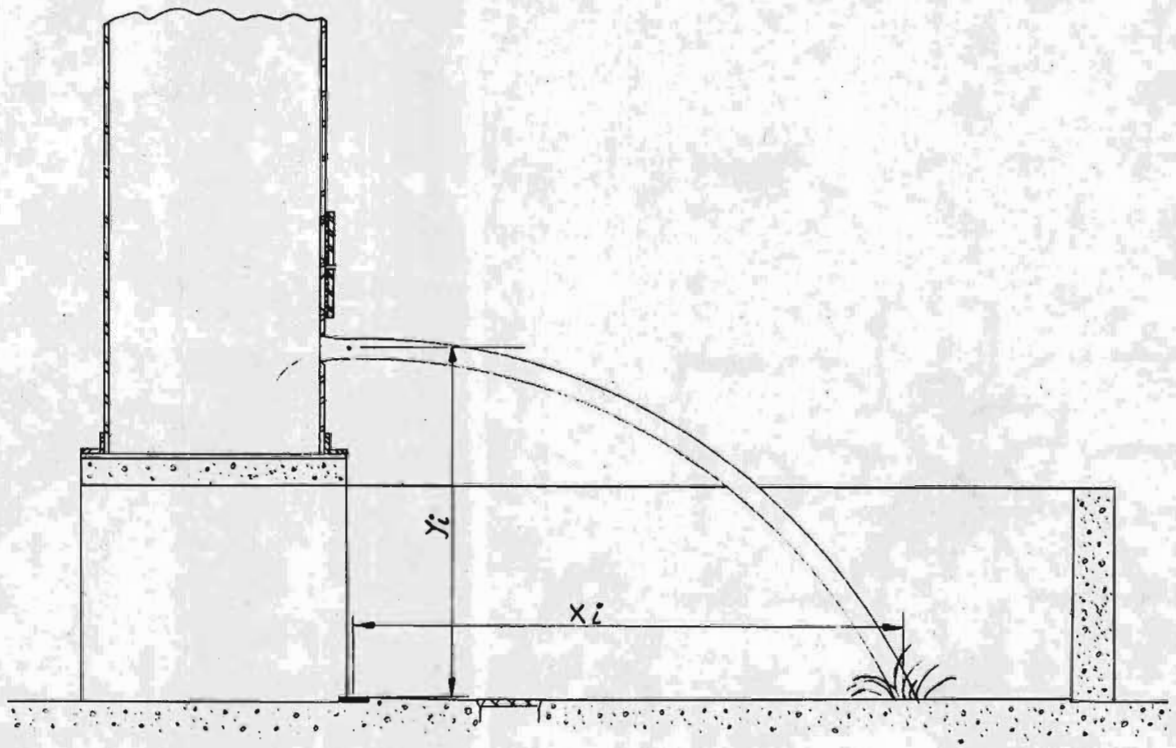
En este momento se tienen los datos "H" altura y "D" diámetro de orificio de aforo. En seguida y con la ayuda de un vernier, proceder a medir el diámetro de la sección contraída "d" - producida a uno y medio veces el diámetro de orificio de aforo. - Conviene vigilar constantemente la altura medida ya que esto permitirá mayor exactitud del diámetro de la sección contraída "d".

El siguiente paso es medir la distancia horizontal "Xi" desde la marca "O" (que está localizada en el piso a un sitio - promediado donde se formará la sección contraída de los tres orificios de aforo disponibles) hasta el lugar donde choca el agua contra el piso, como lo indica la Fig. No. 4.3.3. La altura "Yi" que se mide desde el nivel del piso donde choca el agua que descarga por el orificio de pruebas hasta el centro de dicho orificio, se puede obtener de la misma figura.

Para experimentar con los demás orificios de aforo, proceder conforme a lo anteriormente expuesto.

SECUENCIA DE CALCULOS:

Para alcanzar el objetivo de esta práctica, se procederá con la secuencia de cálculos que permita, para cada orificio ex-



METODO DE LA TRAYECTORIA
FIG. NO. 4.3.3

CIBUCO A.4.1.

perimentado, determinar sus coeficientes de contracción, velocidad y gasto.

Aplicando la ecuación de Bernoulli sobre la Fig. No. 4.3.1 entre los puntos "1" y "2", tomando como origen de presiones y alturas la atmosférica y el punto "2" ("H"), respectivamente, y despreciando las pérdidas, se tendrá:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (1)$$

En la cual, sustituyendo valores, se obtiene:

$$H = \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{o sea} \quad v_2 = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

ecuación que determina la velocidad teórica " v_t " ya que se han despreciado las pérdidas existentes entre los dos puntos:

La relación entre la velocidad real " v_r " y la velocidad teórica, se denomina coeficiente de velocidad " C_v ", es decir:

$$C_v = \frac{v_r}{v_t} \quad (3)$$

y sustituyendo la ecuación "3" en la ecuación "2" se obtiene:

$$v_{r2} = C_v \sqrt{2gH} \quad (4)$$

El gasto real "Q_r" que fluye por el orificio de pruebas, será el producto de la velocidad real del fluido en la sección contraída por el área del chorro "A₂". La relación entre el área del chorro "A₂" en la sección contraída y el área del orificio de pruebas "A_o" se expresa por otro coeficiente denominado coeficiente de contracción "C_c". Es decir:

$$C_c = \frac{A_2}{A_o} \quad (5)$$

Analíticamente, el área de la vena

$$A_2 = C_c A_o \quad (6)$$

Substituyendo las ecuaciones "4" y "6" en la ecuación de continuidad, se tiene:

$$Q_r = C_v C_c A_o \sqrt{2gH} \quad (7)$$

Por otra parte, se acostumbra reunir dos coeficientes en uno denominado coeficiente de gasto "Cq". Es decir:

$$C_q = C_v C_c \quad (8)$$

y substituyendo finalmente la ecuación "8" en "7", resulta:

$$Q_r = C_q A_o \sqrt{2gH}$$

ecuación que determina el gasto real que fluye por un orificio de aforo.

En seguida se presentan dos métodos prácticos para determinar los coeficientes anteriores, basados en las fórmulas expuestas:

Método de la Trayectoria: Midiendo la posición de la trayectoria aguas abajo de la sección contraída ("Xi" e "Yi"), puede determinarse la velocidad real si se desprecia la resistencia del aire.

La distancia que recorrerá el chorro estará dada por:

$$X_i = v_r t$$

Dónde "t" es el tiempo en el cual una partícula recorre la distancia "Xi" desde la sección contraída hasta el punto "3" según la Fig. No. 4.3.3.

Sin embargo, el tiempo en que una partícula recorre la distancia "Yi" bajo la acción de la gravedad, sin velocidad inicial, está dado por:

$$t = \sqrt{\frac{2Y_i}{g}}$$

Despejando el tiempo "t" de ambas ecuaciones e igualando estos, se obtiene que:

$$V_r = \frac{X_i}{\sqrt{\frac{2Y_i}{g}}}$$

determina la velocidad real y con ésta, los valores de los coeficientes anteriormente explicados:

Medida Directa del Diámetro: Midiendo directamente el diámetro "d" con un vernier, se podrá determinar el coeficiente de -

contracción y sucesivamente los coeficientes de velocidad y gasto. Se sabe que este método es el menos preciso por las dificultades que presenta el medir el diámetro de la sección contraída en forma directa.

RESULTADOS:

Los resultados requeridos son el cálculo de los coeficientes por ambos métodos expuestos.

El alumno deberá emitir como conclusión un juicio que analice los resultados obtenidos y agregando cómo podrían ser mejorados.

P R A C T I C A N O. 4

VERTEDORES

OBJETIVO:

Al concluir esta práctica, el alumno estará capacitado para medir gastos con vertedores.

GENERALIDADES:

Cuando la descarga de un líquido se efectúa por encima de un muro ó de una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que sucede este fenómeno se llama Vertedor. Los vertedores pueden construirse de una gran variedad de formas geométricas; así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedor se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de pared gruesa.

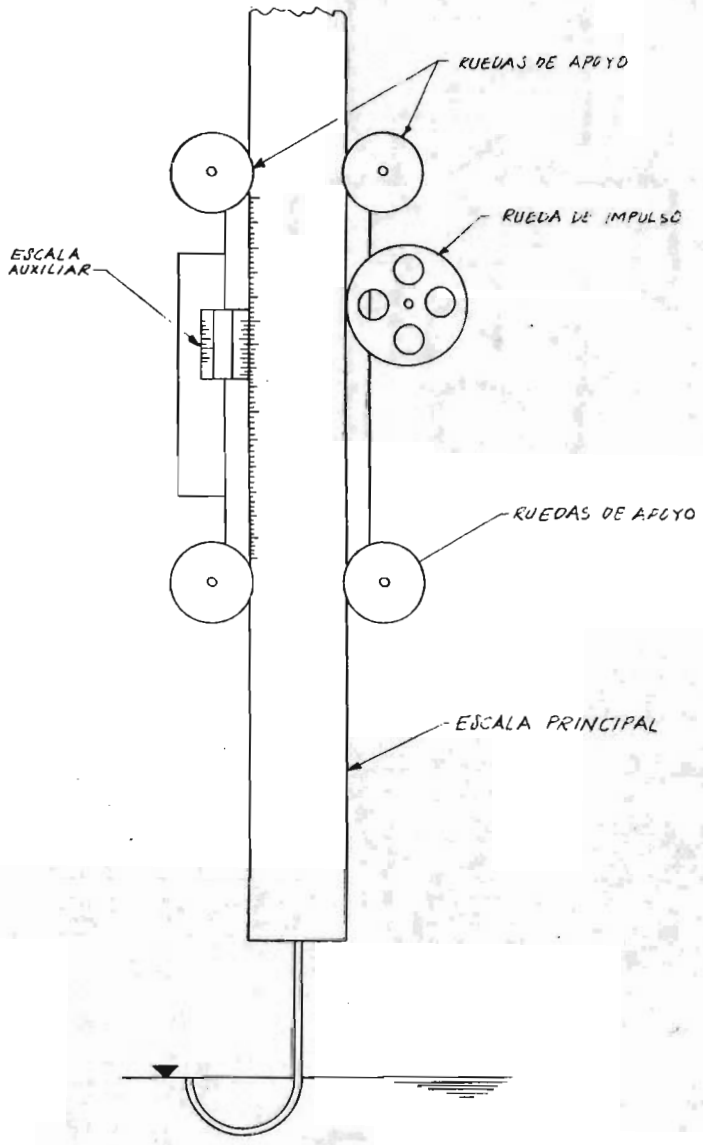
EQUIPO REQUERIDO:

En la sección III.3.4 se describió el dispositivo denominado "Equipo para prueba de vertedores".

USO Y CALIBRACION DEL LIMNIMETRO:

La Fig. No. 4.4.1 muestra el limnómetro ubicado en el aparato de pruebas para vertedores. Su manejo y calibración es como leer un vernier. Lo importante de este aparato auxiliar es que una vez calibrado, mide la carga sobre la cresta del vertedor. Esta es la forma de calibrarlo.

- 1º Colocar el vertedor para medir el gasto.
- 2º Suministrar agua con la bomba al tanque de pruebas, logrando un nivel tal que esté justamente al ras de la cresta del vertedor.
- 3º Según se muestra en la Fig. No. 4.4.1, haga coincidir la punta del limnómetro con el nivel del agua registrando la lectura de la escala principal únicamente en enteros y décimos (por ejemplo 113.3). Ajustar el vernier para alcanzar la lectura de un centésimo; es decir, la lectura a obtenerse será en enteros y centési-



LIMNIMETRO
FIG. NO. 4.4.1

DIBUJO: 6AH.

mos (por ejemplo 113.35). Registrar esta lectura.

4º Al valor que se ha registrado en el punto anterior, se le debe restar otro valor obtenido mediante el mismo procedimiento pero con el equipo aforando. A este valor se le identifica con la letra "h" y se denomina "carga del vertedor".

USO DE DIVERSOS VERTEDORES:

Los vertedores (todos del tipo pared delgada) que se utilizan para aforo en el laboratorio en cuestión, son de pared delgada y con contracciones laterales. Sus nombres son rectangular, triangular, trapezoidal, circular y paraboloidal.

La ecuación general del gasto para los vertedores se considera conocida por los alumnos; sin embargo, a continuación se muestra, ya que se hará referencia sobre la misma.

$$Q = 2 \sqrt{2g} \mu \int_0^h x (h - y)^{1/2} dy \quad 1$$

Dónde:

Q = Gasto aforado (Li/seg).

μ = Coeficiente adimensional.

h = Carga del vertedor (m).

y = diferencial de carga del vertedor (m).

$x = f(y)$

A) Vertedor Rectangular:

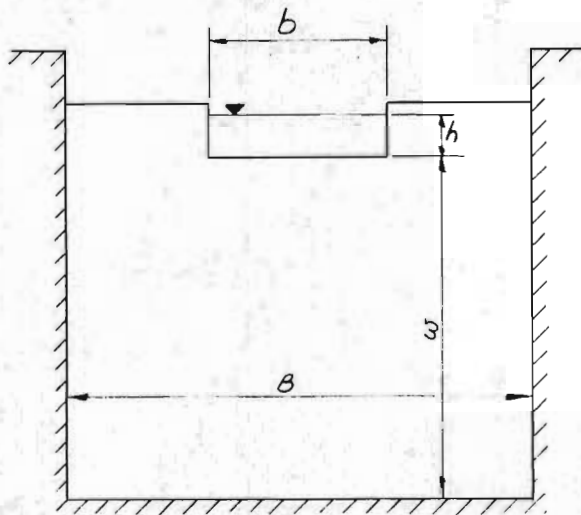
Para los vertedores rectangulares, $x = f(y)$ tiene la forma de $x = b/2$ donde "b" es la longitud de la cresta. Si se substituye ésta en la ecuación "1" se obtiene que:

$$Q = -\mu \sqrt{2g} b \int_0^h (y-h)^{1/2} (-dy)$$

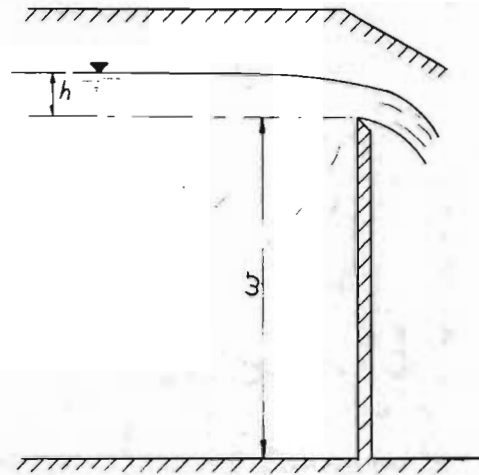
es la ecuación particular para vertedor rectangular, cuya solución es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b h^{3/2} \quad (2)$$

dónde, para determinar el valor de " μ ", se ha incluido la Fig. No. 4.4.2 y la tabla No. 4.4.3.



SECCION TRANSVERSAL



ELEVACION

VERTEDOR RECTANGULAR CON CONTRACCIONES LATERALES

FIG. NO. 4.4.2

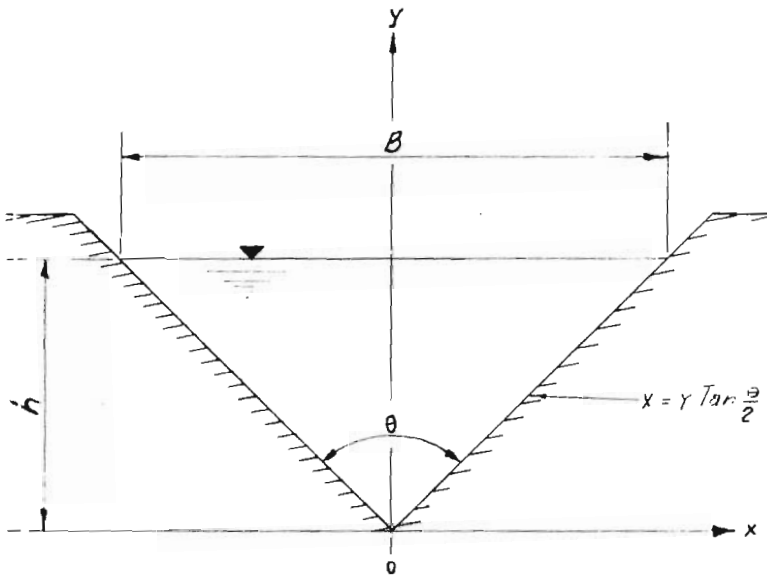
DIBUJO: A. A. H.

Autor	Fórmula	Límites de aplicación	Observaciones
Hegly (Ref. 30) (1921)	$\mu = \left[0.6075 - 0.045 \left(\frac{B-b}{B} \right) + \frac{0.0041}{h} \right] \times$ $\times \left[1 + 0.55 \left(\frac{b}{B} \right)^2 \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right]$	$0.10 \text{ m} \leq h \leq 0.60 \text{ m}$ $0.50 \text{ m} \leq b \leq 2.00 \text{ m}$ $0.20 \text{ m} \leq w \leq 1.13 \text{ m}$	El primer límite de aplicación es el más importante. Para $h/b > 0.13$ tiene mayor precisión que la fórmula SIAS.
Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Ref. 9) (Fórmula SIAS)	$\mu = \left[0.578 + 0.057 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3(b/B)^2}{1000h + 1.6} \right] \times$ $\times \left[1 + 0.5 \left(\frac{b}{B} \right)^4 \left(\frac{h}{h+w} \right)^4 \right]$	$0.025 \leq h \leq 0.80 \text{ m}$ $b \leq 0.3 B$ $w \geq 0.30 \text{ m}$ $\frac{h}{w} \leq 1$ en el caso de contracciones laterales	Para vertedores sin contracciones laterales los límites son: $0.025 \text{ m} \leq h \leq 0.80 \text{ m}$ $0.30 \text{ m} \leq w$ $\frac{h}{w} \leq 1$ Para $h/b \leq 0.13$, es más precisa que la de Hegly.
Hamilton-Smith	$\mu = 0.616 \left(1 - \frac{b}{10B} \right)$	$0.075 \text{ m} \leq h \leq 0.60 \text{ m}$ $0.30 \text{ m} \leq b$ $0.30 \text{ m} \leq w$ $h \leq \frac{w}{2}$ $b \leq (B - 2h)$ $\frac{h}{b} \leq 0.5$	Si $B(h+w) < 10bh$, se deberá reemplazar en la Ec. (7.5) el valor de h por h' donde $h' = h + 1.4 \left(\frac{V_o^2}{2g} \right)$ donde: $V_o = \left[\frac{Q}{B(h+w)} \right]$ es la velocidad de llegada
Francis (Ref. 31)	$\mu = 0.623 \left[1 - 0.1n \frac{h}{b} \right] \left[\left(1 + \frac{V_o^2}{2gh} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_o^2}{2gh} \right)^{1/2} \right]$	$0.18 \text{ m} \leq h \leq 0.50 \text{ m}$ $2.40 \text{ m} \leq b \leq 3.00 \text{ m}$ $0.60 \text{ m} \leq w \leq 1.50 \text{ m}$ $b \geq 3h$	$V_o = \frac{Q}{B(h+w)}$ velocidad de llegada. $n = 2$ en vertedores con contracciones laterales $n = 0$ en vertedores sin contracciones laterales.
Rebbeck (1929) (Ref. 9)	$\mu = \left[0.6035 + 0.0813 \left(\frac{h + 0.0011}{w} \right) \right] \left[1 + \frac{0.0011}{h} \right]^{3/2}$	$0.01 \text{ m} \leq h \leq 0.80 \text{ m}$ $b \geq 0.30 \text{ m}$ $w \geq 0.06 \text{ m}$ $\frac{h}{w} \leq 1$	Vale sólo para vertedores sin contracciones laterales. Es muy precisa y de las más utilizadas, por su sencillez.

FORMULAS EXPERIMENTALES PARA

VERTEDORES RECTANGULARES

TABLA NO. 4.4.3



VERTEDOR TRIANGULAR

FIG. NO. 4.A.4

Autor	Fórmula	Límites de aplicación	Observaciones
Universidad Católica de Chile (Ref. 24).	$C = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan(\theta/2) \mu K$	Vale para $15^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ La profundidad w no tiene influencia en el coeficiente de gasto.	μ , coeficiente experimental que depende de h y θ según la Fig. 7.9. K es otro coeficiente que depende de B/h según la Fig. 7.10 y vale 1 si $B/h \geq 5$ para $\theta = 90^\circ$ y si $B/h \geq 2.75$ para $\theta = 45^\circ$.
Gourley y Crimp (Ref. 31).	$C = \frac{1.32 \tan(\theta/2)}{h^{0.68}}$	Vale para ángulos θ de $45^\circ, 60^\circ$ y 90° y para profundidades w grandes.	Esta fórmula, substituida en la ecuación (7.11b), conduce a la ecuación: $Q = 1.32 \tan(\theta/2) h^{2.68}$
Hegly (1921) (Ref. 31).	$\mu = \left[0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right] \left\{ 1 + \left[\frac{h^3}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	Vale para $\theta = 90^\circ$ $0.10 \text{ m} \leq h \leq 0.50 \text{ m}$ y profundidades w pequeñas	Es de las fórmulas más precisas para vertedores con ángulo en el vértice $\theta = 90^\circ$.
Barr (1909) (Ref. 22).	$\mu = 0.565 + \frac{0.0087}{h^{0.8}}$	Vale para $\theta = 90^\circ$ con cargas $0.05 \text{ m} \leq h \leq 0.25 \text{ m}$ $w \geq 3h$ $B \geq 8h$	El valor medio $\mu = 0.593$ que resulta de esta fórmula corresponde bastante al resultado de Thompson (1861) y que substituido en la Ec. (7.11a), conduce a la ecuación: $Q = 1.42 h^{3/2}$
Koch (1923) Yarnall (1926)	$\mu = 0.58$	Vale para $\theta = 90^\circ$ con cargas muy grandes. $w \geq 3h$ $B \geq 8h$	No se limita con precisión el rango de validez.
Heyndrickx (Ref. 30).	$\mu = [0.5775 + 0.214 h^{1.8}] \times \left\{ 1 + \left[\frac{h^3}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	Vale para $\theta = 60^\circ$ y cargas normales.	Es bastante precisa.

FORMULAS EXPERIMENTALES PARA
VERTEDORES TRIANGULARES.

TABLA NO. 4.4.5

B) Vertedor Triangular:

La Fig. No. 4.4.4 corresponde a este tipo de vertedor, y muestra que $x = f(y)$ tiene la siguiente forma:

$$x = Y \operatorname{Tan} \frac{\theta}{2}$$

Substituyendo este valor en la ecuación general, resulta que:

$$Q = 2 \sqrt{2g} \mu \operatorname{Tan} \frac{\theta}{2} \int_0^h (h - Y)^{1/2} Y dy$$

es la ecuación particular correspondiente a vertedores triangulares, cuya solución es:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \operatorname{Tan} \frac{\theta}{2} \mu h^{5/2} \quad (3)$$

Se anexa la tabla No. 4.4.5 para determinar el factor " μ "

C) Vertedor Trapezoidal:

El gasto medido por un vertedor trapezoidal, se puede calcular suponiendo la suma del gasto de vertedor rectangular con longitud de cresta "b" y el triángulo formado por las dos orillas, es decir:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu_r b h^{3/2} + \frac{8}{15} \sqrt{2g} \operatorname{Tan} \frac{\theta}{2} \mu_r h^{5/2} \quad 4.$$

Debido a que este tipo de vertedor tiene escaso interés, se utiliza en valor encontrado por Cipolletti al trazar un trapecio regular con taludes de 0.25 a uno. Es decir, substituyendo el valor de $M = 0.63$ en la ecuación "2" se tiene que:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} (0.63) b h^{3/2}$$

que se reduce a:

$$Q = 1.0528 b h^{3/2} \dots (5)$$

con las siguientes limitantes:

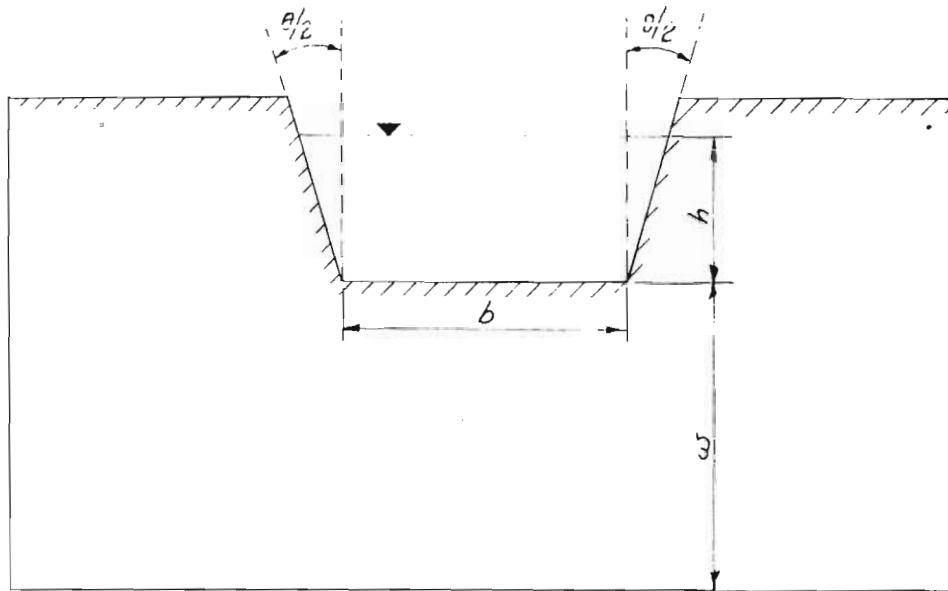
$$0.08 \text{ m} \leq h \leq 0.60 \text{ m}$$

$$a \geq 2h$$

$$b \geq 3h$$

$$w \geq 3h$$

Para identificar el valor de las literales se muestra la Fig. No. 4.4.6 correspondiente al vertedor trapezoidal.



VERTEDOR TRAPEZOIDAL
FIG. NO. 4.4.6

DR. A. A. H.

D) Vertedor Circular:

De acuerdo a la Fig. No. 4.4.7 y la teoría de Stauss, se tiene que $x = f(y)$ tiene la forma:

$$x = \sqrt{Y(D-h)}$$

que sustituida en la ecuación No. 1, resulta:

$$Q = 2\sqrt{2g} \mu \int_0^h [Y(D-Y)(h-Y)]^{1/2} dY$$

ecuación integral en la que haciendo $t = h/D$ $z = y/D$ resulta:

$$Q = \frac{4}{15}\sqrt{2g} [2(1-t+t^2)E - (2-3t+t^2)k] \mu D^{5/2}$$

dónde "K" y "E" son dos integrales elípticas. Esta ecuación se reduce a:

$$Q = \phi \mu D^{5/2}$$

y según Stauss y Jorissen:

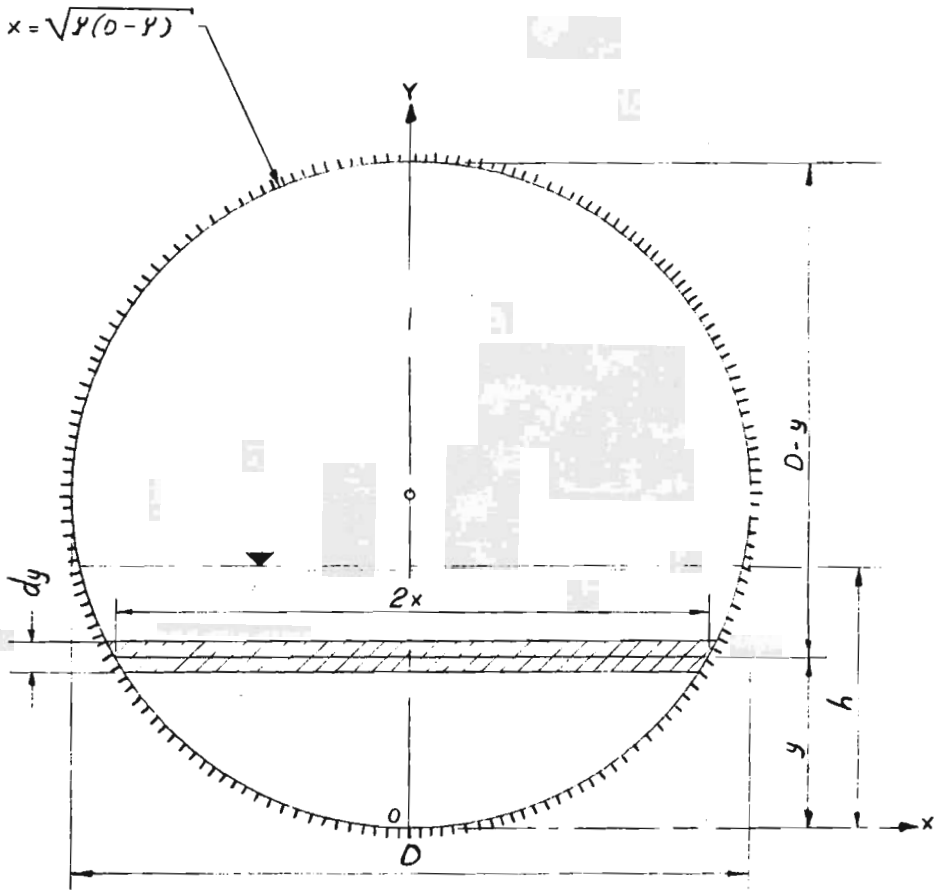
$$\mu = 0.555 \frac{D}{110h} + 0.141 \frac{h}{D}$$

ecuación válida para:

$$0.20 \text{ m} \leq D \leq 0.30 \text{ m}$$

$$0.075 \text{ m} \leq \frac{h}{D} \leq 1 \text{ m}$$

Se anexa la tabla No. 4.4.8 para la obtención del coeficiente ϕ .



VERTEDEDOR CIRCULAR
 FIG. NO. 4.4.7

DIBUÑO: A.A.H.

h/D	ϕ	h/D	ϕ
0.05	0.0272	0.55	2.8205
0.10	0.1072	0.60	3.2939
0.15	0.2380	0.65	3.7900
0.20	0.4173	0.70	4.3047
0.25	0.6428	0.75	4.8336
0.30	0.9119	0.80	5.3718
0.35	1.2223	0.85	5.9133
0.40	1.5713	0.90	6.4511
0.45	1.9559	0.95	6.9756
0.50	2.3734	1.00	7.4705

COEFICIENTE ϕ

TABLA NO. 4.4.8

F) Vertedor Parabólico:

La Fig. No. 4.4.9 muestra la geometría de un vertedor parabólico en el que $x = f(y)$ tiene la siguiente forma:

$$x = \sqrt{\frac{y}{a}}$$

Al sustituir este valor en la ecuación general, se tiene que:

$$Q = \frac{2}{\sqrt{a}} \sqrt{2g} \mu \int_0^h (hy - y^2)^{1/2} dy$$

Al resolver esta integral, resulta que:

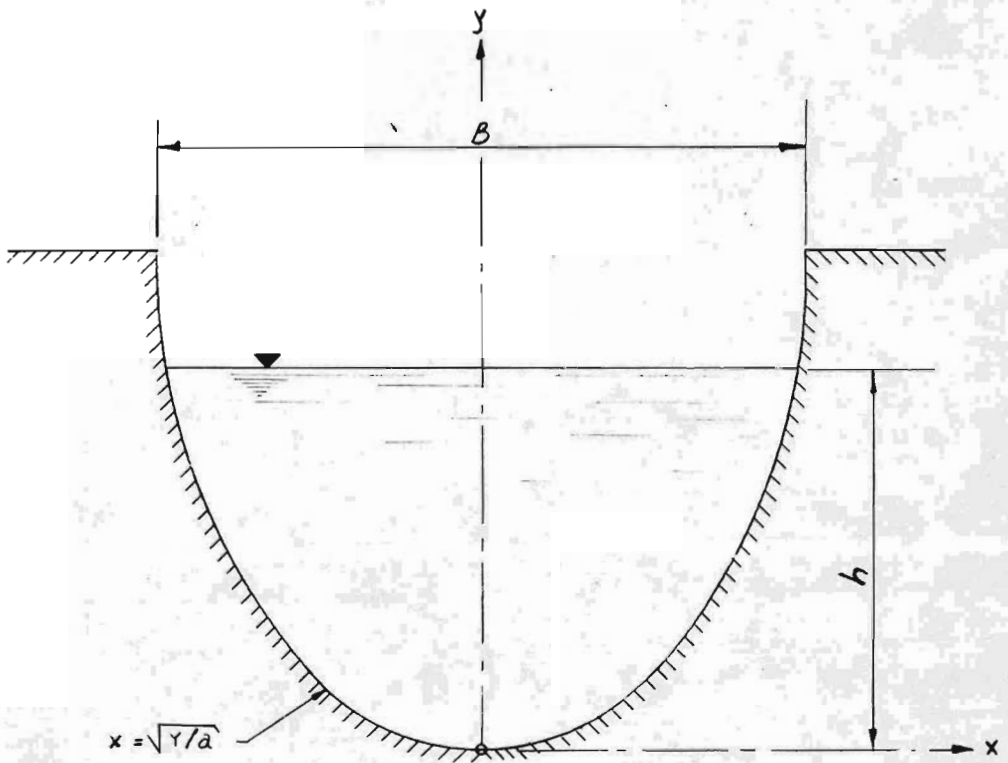
$$Q = \frac{2}{\sqrt{a}} \sqrt{2g} \mu \left[\frac{1}{2} \left(x - \frac{h}{2} \right) (hy - y^2)^{1/2} + \frac{h^2}{8} \operatorname{arcsen} \frac{y - \frac{h}{2}}{\frac{h}{2}} \right]_0^h$$

es decir:

$$Q = \frac{\pi}{4} \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{a}} \mu h^2$$

MEDICIONES Y RESULTADOS:

Como se ha explicado anteriormente, para aforar con vertedores en este dispositivo de pruebas, el equipo auxiliar de gran importancia es el limnómetro.



VERTEDOR PARABOLICO
FIG. NO. 4.4.9

En todos los casos, calibrar el vertedor con el limnómetro siguiendo las instrucciones explicadas para obtener la carga "h" sobre el vertedor.

Todos los vertedores se pueden probar a diferentes cargas, regulando éstas con la válvula de control del equipo de bombeo que suministra el agua.

Los resultados que se requieren son en todos los casos el gasto aforado. Presentar estos resultados en una tabulación.

CONCLUSIONES:

Es muy importante emitir juicios constructivos. Solicitamos esta vez a los alumnos concluir sobre la instalación; sus probables mejoras y sus posibles usos adicionales.

PRACTICA NO. 5

DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN AIRE

OBJETIVO:

El alumno determinará en forma experimental con ayuda de un ventilador industrial tipo centrífugo, la distribución de velocidades en un ducto.

EQUIPO REQUERIDO:

Para lograr el objetivo aquí expuesto, se utiliza el turbosoplador centrífugo descrito en la sección No. III.3.5. Este equipo es el más sencillo y consta únicamente del turboventilador completo con motor y transmisión de poleas y bandas a velocidad fija. En la descarga se le ha colocado un dispositivo para deslizamiento y localización con firmeza del tubo de Prandtl, instrumento auxiliar que se utiliza para determinar las velocidades locales.

PROCEDIMIENTO:

La práctica se reduce a determinar las velocidades del aire distribuidas en la sección transversal de la descarga de este ventilador, así como conocer el gasto máximo manejado.

El procedimiento que se recomienda es como sigue:

- 1º Colocar cuidadosamente el tubo de Prandtl interconectándolo al manómetro diferencial.
- 2º Utilizando la mitad del área de descarga, distribuir puntos equidistantes de medición.
- 3º Energizar el motor del turbosoplador y esperar por unos segundos a que las condiciones de operación se normalicen.
- 4º Comenzar a registrar lecturas con el tubo de Prandtl y su manómetro diferencial.

SECUENCIA DE CÁLCULO:

La velocidad en cada punto experimentado será:

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

Dónde:

v_i = Velocidad en un punto (m/seg).

g = Constante gravitacional.

H = Carga dinámica registrada por el tubo de Prandtl (m).

La velocidad media del flujo será:

$$v_m = v_i/n$$

Dónde:

v_m = Velocidad media (m/seg).

v_i = Velocidad en cada punto (m/seg).

n = Número de puntos experimentados.

Utilizando la ecuación de continuidad:

$$Q = v_m A$$

Dónde:

Q = Gasto manejado (m^3 /seg).

v_m = Velocidad media del fluido (en m/seg).

A = Area de la sección transversal de descarga (m^2).

se determina el gasto manejado por el ventilador en estudio.

RESULTADOS:

Realizar una gráfica en que se muestre la distribución de ve locidades experimentada. Explicar la razón por la que en la parte superior de la descarga del ventilador existen mayores velocidades. Concluir si se pueden mejorar los resultados indicando cómo se realizaría el trabajo.

PRACTICA NO. 6

PERDIDAS EN TUBERIA POR FRICCION

OBJETIVO:

Al concluir esta práctica, el alumno determinará en forma experimental, las pérdidas de energía de un fluido originadas por la fricción de corrientes turbulentas de un fluido en un conducto cerrado.

GENERALIDADES:

Adicional a la atención que merecen las pérdidas locales, las pérdidas por fricción en tuberías son de gran importancia para el diseño y selección del tamaño, tipo de turbomáquina y de tubería que manejará el fluido.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES:

Antes de indicar lo que deben saber los alumnos para alcanzar el objetivo de esta práctica, es importante señalar que si

las lecturas registradas así como los resultados obtenidos de la práctica No. 7 son correctos, estos complementarán y facilitarán precisamente el desarrollo de esta práctica.

Es decir, solo habrá que aplicar fórmulas, consultar gráficas y obtener resultados requeridos.

En 1850, Darcy, Weisbach y otros científicos dedujeron - experimentalmente una fórmula para calcular en una tubería las - pérdidas de energía por fricción. Esta ecuación es:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

h_f = Pérdida por fricción (m).

f = Factor de fricción adimensional.

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

v = Velocidad media de fluido (m/seg).

g = Constante gravitacional (m/seg²).

El factor de fricción "f" está en función de la rugosidad del tubo " ξ " y el número de Reynolds "R", es decir:

$$f = f(\xi, R)$$

A continuación se indican las investigaciones de varios científicos, para la determinación del factor de fricción "f".

Poiseuille, en 1846, dedujo matemáticamente que el factor de fricción "f" para un flujo laminar en tubos lisos o rugosos, con Número de Reynolds menor a 2300, se determina por:

$$f = 64/R$$

Blasius, formuló la siguiente expresión:

$$f = 0.316/R^{1/4}$$

válida para tuberías lisas y flujo turbulento con Números de Reynolds hasta 100,000.

Nikuradse, trabajó con tubos de rugosidad artificial verificada en laboratorio, adheriendo arenas de diferentes diámetros a tubos de diferentes diámetros. Una combinación juiciosa de " ξ " y

"D" le permitieron establecer distintos valores de rugosidad relativa " ξ/D "; asimismo, dedujo la expresión válida para tubos rugosos y flujos turbulentos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.71D}{\xi}$$

Es decir, Nikuradse comprueba que:

$$f = f(R, \xi/D)$$

es decir que el factor de fricción es función exclusiva de el - Número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Colebrook y White comprobaron los resultados Nikuradse y presentaron la siguiente fórmula empírica para la zona de transición (entre laminar y turbulencia) en tubos comerciales:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\xi/D}{3.71} + \frac{2.51}{\sqrt{f}} \right)$$

Con base a los resultados de estos investigadores, Moody preparó el diagrama que aparece en la Fig. No. 4.6.1 (el cual - lleva su nombre), para determinar los coeficientes de fricción - 'F' en tuberías de rugosidad comercial que manejan cualquier -- fluido. La precisión en el uso del Diagrama de Moody depende de la selección de " ξ " según el material de que esté contruido

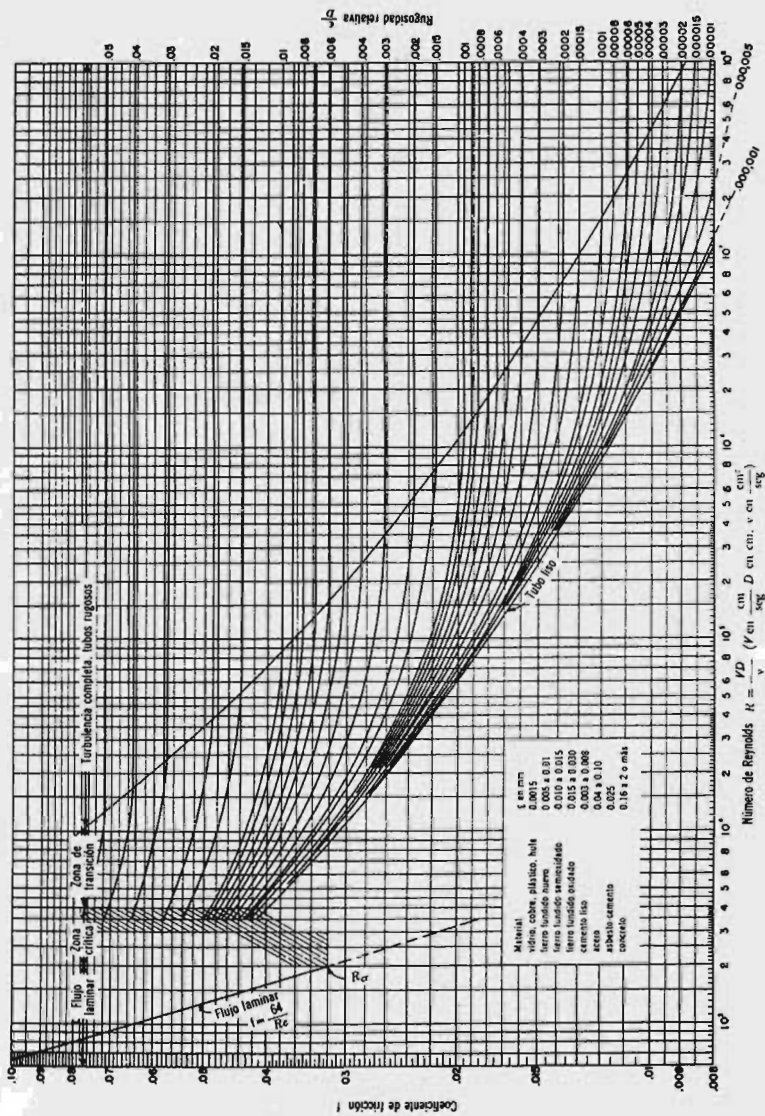


DIAGRAMA UNIVERSAL DE MOODY

FIG. NO. 4.6.1

el tubo. Los textos de mecánica de fluidos e hidráulica que aparecen en la bibliografía traen tabuladas las rugosidades de los tubos comerciales así como rugosidades relativas " ϵ/D " para los materiales más comunes.

EQUIPO REQUERIDO:

El equipo necesario para esta práctica se ha descrito en las secciones III.3.6 y III.3.7 y es el que se utilizará en la práctica No. 7

SECUENCIA DE MEDICIONES:

Seguir la secuencia explicada en la práctica No. 7

SECUENCIA DE CALCULO:

El punto de trabajo de la instalación en que se realiza esta práctica es el tramo de tubería de acero comercial existente entre el último codo de 90° y la válvula de compuerta. Esta tubería tiene 50 mm de diámetro y mide 3,625 de longitud. Ver la Fig. No. 3.3.6

Experimentalmente, la pérdida de energía por fricción es:

$$h_f = \Delta H = H_2 - H_1$$

Dónde:

h_f = Pérdida de energía por fricción (m).

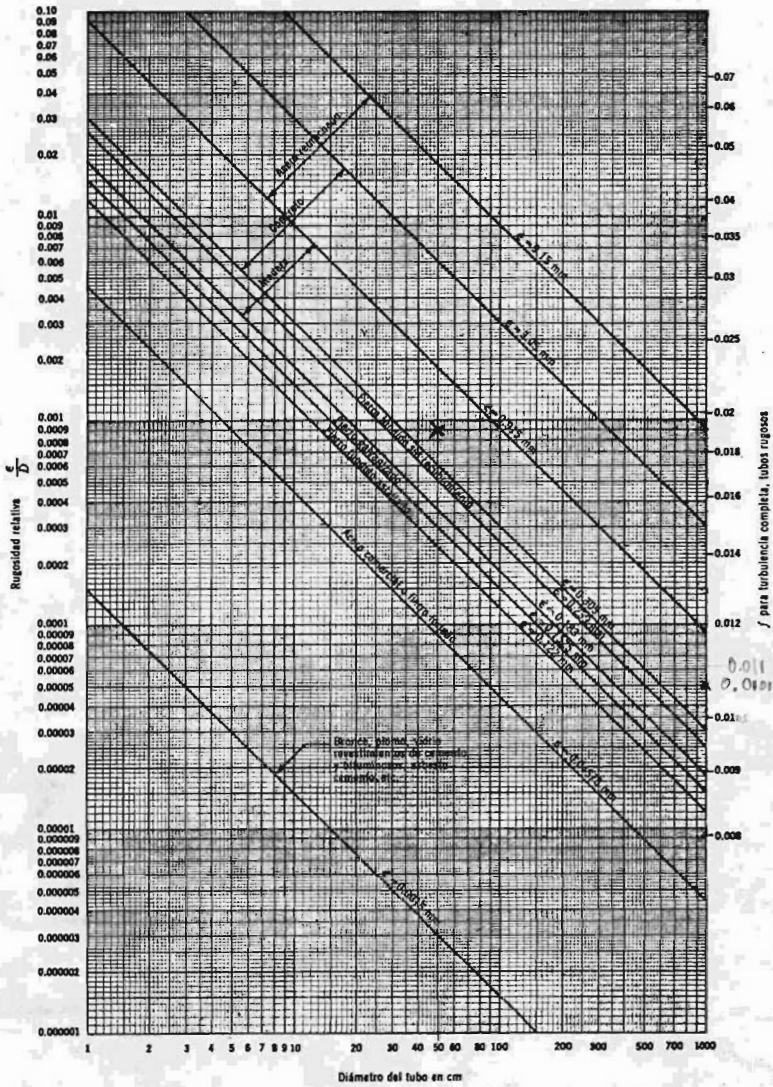
H_2 = Lectura del piezometro localizado antes de la válvula de compuerta (m).

H_1 = Lectura del piezómetro localizado después del último codo de 90° (m).

Válido para cada uno de los rangos de abertura de la válvula, con que se experimente en la práctica No. 7

Matemáticamente, se aplica directamente la ecuación de Darcy Weisbach.

El factor de fricción "f" se determinará utilizando la tabla No. 4.6.2 de donde se obtiene ξ/d a partir de que se sabe que la tubería es de acero comercial con rugosidad de 0.04576 mm y diámetro de 50 mm.



RUGOSIDAD RELATIVA PARA
 TUBOS NUEVOS
 FIG. NO. 4.6.2

El Número de Reynolds se determina por:

$$R = \frac{v D}{\nu}$$

Dónde:

R = Número de Reynolds (adimensional).

v = Velocidad del fluido (m/seg). calculada con ayuda del tubo de Prandtl.

D = Diámetro de la tubería (m).

ν = Viscosidad cinemática.

Como ya conocemos la rugosidad relativa de la tubería y el Número de Reynolds correspondiente al fluido manejado, el factor de fricción "f" se determina con el diagrama de Moody.

Substituyendo valores en la ecuación de Darcy-Weisbach se obtiene la pérdida de energía por fricción en el tramo de tubería citado.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

Como resultados, el alumno deberá de presentar una tabla comparativa de resultados experimentales y matemáticos, incluyendo

memoria de cálculos respectivos así como copias del diagrama de -
Moody indentificando cada caso en que obtuvo el factor de fric--
ción. El alumno deberá, como conclusión, emitir sus comentarios al
comparar resultados teóricos con los experimentales, justificando
sus causas.

PRACTICA NO. 7

PERDIDAS LOCALES

OBJETIVO:

El alumno determinará las pérdidas de energía ocasionadas por los cambios en la dirección del flujo en un conducto cerrado.

GENERALIDADES:

Las tuberías que se utilizan para el manejo de fluidos, generalmente están compuestas por tramos rectos y curvos para ajustarse a locales y accidentes topográficos del terreno y los diferentes accesorios que se utilizan para el cambio de dirección del flujo, su distribución y control del mismo. Estos cambios de dirección originan pérdidas de energía, adicionales a las pérdidas por fricción en espacios rectos.

Este tipo de pérdida se conoce como pérdida local o pérdida menor.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

Todos los casos las pérdidas menores se determinan experimentalmente; para determinar analíticamente estas pérdidas, se utiliza la siguiente fórmula general:

$$h = K (v^2/2g)$$

Dónde:

h = Pérdida de energía (m).

K = Coeficiente adimensional que depende del accesorio de que se trate (donde está implícito el Número de Reynolds y la rugosidad del accesorio).

$v^2/2g$ = Carga de velocidad después de la zona de alteración (m).

Los valores de "K" se obtienen de tablas que incluyen los textos citados en la bibliografía de este trabajo.

EQUIPO REQUERIDO:

La instalación para lograr el objetivo de esta práctica, se ha descrito en la sección No. III.3.7. El instrumento auxiliar es -

el tubo de Prandtl con su manómetro diferencial.

PRINCIPIO DE OPERACION:

El sistema ha sido diseñado para operar a presión positiva; es decir, el turbosoplador (y su motor principalmente) - trabajará eficientemente para vencer cargas positivas impuestas por una reducción, 4 codos, una válvula, así como los tramos de tubería.

Este sistema se controla por la válvula de compuerta - localizada al final. Practicar antes de experimentar, el número de vueltas que tiene esta válvula desde totalmente abierta hasta totalmente cerrada, para que al momento de efectuar la prueba, el rango de esta válvula sea igualmente dividida en un mínimo de cuatro aberturas evitando el cierre total, condición a la cual no se obtienen resultados.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

La secuencia para obtener los datos que permitan conocer las pérdidas locales, es la siguiente:

1. Energizar el motor del turbosoplador manteniendo la válvula de descarga totalmente abierta. Dejar que el turbosoplador alcance su velocidad de operación esperando para registrar datos por un minuto, aproximadamente.
2. Con el tubo de Prandtl, determinar la presión dinámica a estas condiciones.
3. Registrar lecturas que marcan los manómetros diferenciales de los piezómetros existentes para cada accesorio.

Continúe experimentando con los tres rangos de abertura siguientes, registrando la presión dinámica con el tubo de Prandtl y las alturas piezométricas respectivas a cada accesorio.

SECUENCIA DE CALCULOS:

Experimentalmente, la pérdida de energía en cada accesorio es:

$$h = \Delta H = H_2 - H_1$$

Dónde:

h = Pérdida de energía originada por el accesorio (m).

H_2 = Lectura indicada en el piezómetro posterior al accesorio (m).

H_1 = Lectura indicada en el piezómetro anterior al accesorio (m).

La velocidad del fluido es:

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

Dónde:

v = Velocidad del fluido (m/seg).

g = Constante gravitacional (m/seg²).

H = Carga dinámica (m) registrada por el tubo de Prandtl.

De la ecuación de continuidad, es gasto será:

$$Q = v A$$

Dónde:

Q = Gasto de Aire en el sistema (m³/seg).

v = Velocidad del fluido (m/seg).

A = Area de la sección transversal de la tubería (m^2).

Según Kisieliev, la fórmula general para determinar la pérdida de energía en cualquier accesorio es:

$$h = K (v^2 / 2g)$$

Dónde:

h - Pérdida por fricción (m).

K = Coeficiente adimensional que se obtiene de tablas.

v = Velocidad teórica que existe después del accesorio
(m/seg).

g = Constante gravitacional (m/seg^2).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

Los alumnos presentarán las pérdidas de energía experimentadas y los calculados analíticamente en una tabulación.

Como conclusiones el alumno deberá emitir su juicio sobre la instalación tomando en consideración los resultados teóricos y

los experimentales. Sugerir si estuviese diseñando la instalación, cuales de los resultados utilizaría para efectos de selección del turbosoplador y motor.

P R A C T I C A N O . 8

BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL

OBJETIVO:

El alumno deberá determinar, después de experimentar y hacer cálculos, los parámetros que gobiernan el funcionamiento de una bomba centrífuga horizontal.

GENERALIDADES:

En la actualidad, dos terceras partes de las bombas utilizadas en el orbe son tipo dinámico, como consecuencia de la sustitución del vapor por la energía eléctrica, como fuente motriz. Significa que el progreso en motores eléctricos ha propiciado el desarrollo de las bombas centrífugas.

Aunque en un principio las bombas centrífugas presentaban desventajas de eficiencia con respecto a las reciprocantes, las mejoras obtenidas a base de investigaciones continuas las han colocado en ventaja. Esto explica ampliamente su preferencia.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Algunos conceptos fundamentales se han expuesto al principio de este Capítulo. Aquí suponemos que el alumno previamente ha recibido teoría respecto a bombas; ha resuelto problemas e incluso, se ha interesado en el campo de las mismas. Esto facilitará considerablemente el cumplimiento de esta práctica.

EQUIPO REQUERIDO:

El equipo requerido para desarrollar esta práctica se ha descrito en la sección No. III.3.8. El instrumento auxiliar es un tacómetro manual.

Cabe señalar que existen dos equipos idénticos en el laboratorio en cuestión, lo que significa que se puede realizar la práctica por dos equipos o grupos al mismo tiempo, sin interferirse.

FUNCIONAMIENTO:

En forma breve se expone el funcionamiento de este equipo:

A) Calibración.

Se tratará como primer paso la calibración del equipo, ya que de esto depende la precisión de los re--sultados.

Este equipo requiere calibración en su estructura metálica; en la cantidad de agua a utilizar y en el manómetro que registra la fuerza que aplica el motor a la -bomba para desplazar el agua.

Para la calibración de la estructura metálica es necesario auxiliarse de un nivel de gota, así como de una llave maestra para tuercas hexagonales. La operación -es sencilla y se realiza como sigue: desplace el equi-po tomando en consideración que el lugar más parejo -tendrá las mayores ventajas. Manipule los tornillos gato como lo requiera el nivel de gota, siempre y cuando el aparato quede sin apoyarse en alguna rueda y total-mente suspendido en los cuatro tornillos. Es deseable no mover esta unidad por lo menos durante el período -de pruebas.

La cantidad de agua requerida es tal que una vez lleno el tanque de descarga de la bomba, el tanque general -tenga suficiente agua para cubrir la tubería de succión de la bomba. Si rebasa estos niveles mínimos, el siste-ma operará satisfactoriamente, considerando que los tan

ques de autocontenido de agua nunca se llenarán totalmente.

En virtud de que el tanque de descarga está lleno, dejar escurrir suficiente agua de manera que cuando el nivel de agua quede justo al vértice del vertedor triangular, ajustar el limnómetro haciendo coincidir el nivel del agua con el cero (ó algún otra marca, registrando ésta para ser restada a la lectura que se obtenga cuando se realicen mediciones de gasto). El limnómetro es fácil de ajustar, auxiliándose de un desatornillador plano.

Para calibrar el manómetro de Mercurio que registra la fuerza ejercida por el trabajo que transmite el motor a la bomba, se ajusta la escala (auxiliarse de un desatornillador plano) ó se le agrega alguna cantidad de mercurio al tubo si es necesario, haciendo coincidir el nivel del mercurio con el cero de la escala.

B) Partes de control:

Las partes de control de este equipo son dos: La perilla del gabinete de control del motor (perilla) y la válvula de la tubería de descarga de la bomba. La perilla

lla tiene un indicador y divisiones que van desde 0-110 correspondiente al desarrollo total de la capacidad del motor, con 10 por ciento de margen de potencia. Esta perilla regula la velocidad del motor aunque no hay relación entre el avance que se pueda lograr por razones de gasto y presión.

La válvula de control que existe en la tubería de descarga de la bomba regula el gasto entregado por la bomba así como presión a la descarga de la bomba

Como recomendación especial, antes de operar este equipo es necesario que la perilla y la válvula de descarga estén en cero y totalmente cerrada, respectivamente.

C) Puntos de medición:

Los puntos de medición de este equipo es la velocidad de la bomba medida en la flecha del motor auxiliándose de un tacómetro manual; la fuerza que ejerce el motor dinamométrico para conducir la bomba medida en el manómetro de mercurio; la presión de descarga de la bomba medida en el manómetro existente en la línea de descarga; el gasto que maneja la bomba medido en el limnómetro en combinación con el vertedor de sección triangu-

lar; la corriente eléctrica medida en el amperímetro y el voltaje eléctrico registrado en el voltmetro.

Es importante que los alumnos identifiquen los puntos de control y medición de este equipo, antes de comenzar a experimentar.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

Para un registro de datos, seguir la siguiente secuencia:

- Energizar el gabinete de control observando que la perilla de control esté en cero. Girar esta perilla en sentido positivo hasta un 50 por ciento de avance.
- Abrir la válvula que regula al gasto colocada en la tubería de descarga. Esperar a que las condiciones de flujo se estabilicen.
- Con el tacómetro, registrar la velocidad de la bomba.
- Registrar la fuerza indicada en manómetro de mercurio.
- Registrar el gasto que pasa por el vertedor y que se lee directamente en el limnómetro.
- Registrar la presión entregada por la bomba, en el manómetro existente en la tubería de descarga.
- Registrar voltaje y corriente indicados en el tablero de control.

- Llenar la tabla 4.8.1 con los anteriores datos.

Para realizar pruebas específicamente, éstas se deben llevar a cabo para determinada abertura de la válvula, recordando que a válvula totalmente cerrada no se obtienen resultados. Usar desde muy altas velocidades hasta la mínima velocidad observable.

SECUENCIA DE CALCULOS:

Con los datos registrados en la tabla 4.8.1 se realizan las siguientes operaciones:

La potencia mecánica de la bomba, será la potencia suministrada por el motor. Hay dos procedimientos para determinarla:

El método más simple es con la siguiente fórmula:

$$W_e = V I$$

Dónde:

W_e = Potencia eléctrica (W).

V = Voltaje (Volts).

I = Corriente (Ampers).

El otro método involucra la fuerza aplicada por el motor dinamométrico sobre la bomba. Para calcular la potencia mecánica se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_m = \frac{2 \pi N F L}{60}$$

Dónde:

W_m = Potencia (W).

N = Velocidad de la bomba (RPM).

L = Brazo de palanca (0.160 m).

F = Fuerza (N).

La potencia hidráulica de la bomba se determina con la siguiente fórmula:

$$W_h = Q H P_e$$

Dónde:

W_h = Potencia hidráulica (W).

Q = Gasto entregado por la bomba (m^3 /seg).

P_e = Peso específico del agua (N/m^3).

H = Carga de la bomba (m).

Finalmente, la eficiencia del equipo es la siguiente relación:

$$\eta = \frac{W_h}{W_m} \quad \text{o} \quad \eta = \frac{W_h}{W_e}$$

Dónde:

η = Eficiencia global.

W_h = Potencia hidráulica (W).

W_e = Potencia mecánica (W).

W_m = Potencia eléctrica (W).

En esta práctica no se ha hecho ninguna consideración con respecto a pérdidas mecánicas originadas por eficiencias propias de motor, sistema de control y bomba, así como razonamientos.

Una de las formas de distinguir en una bomba centrífuga - (puede ser otro tipo) el tipo de impulsor de que está provista es conociendo su velocidad específica. La velocidad específica se determina con la siguiente fórmula:

$$N_s = \frac{N_n \sqrt{Q_n}}{H_n^{3/4}}$$

Dónde:

N_s = Velocidad específica (adimensional).

N_n = Velocidad de la bomba a la que la bomba es más eficiente.

Q_n = Gasto en el punto de mayor eficiencia.

H_n = Presión de descarga de la bomba donde es más eficiente.

RESULTADOS REQUERIDOS:

Los resultados requeridos son:

- Por lo menos cuatro tablas No. 4.8.1 incluyendo secuencia de operaciones.
- Las gráficas de isoeficiencias $H - Q$ originadas por la investigación realizada en las cuatro aberturas de la válvula de control, indicando los puntos N , Q y H donde es más eficiente la bomba así como las velocidades específicas calculadas.

El alumno emitirá como conclusiones, sus comentarios sobre la confiabilidad de los resultados, su criterio para mejorarlos y principalmente, desarrollar un nuevo objetivo para desarrollarse con este equipo.

HOJA DE LABORATORIO
PRACTICA NO: 8

RANGO DE VELOCIDAD	F	H	Q	V	I		W_m	W_h	W_e	η	N_s

TABLA NO. 4.8.1

05:14:41

PRACTICA NO. 9

RUEDA PELTON

OBJETIVO:

El alumno conocerá, después de realizar las experimentaciones concernientes a una máquina motriz, los parámetros que la diferencian de una máquina generatriz.

GENERALIDADES:

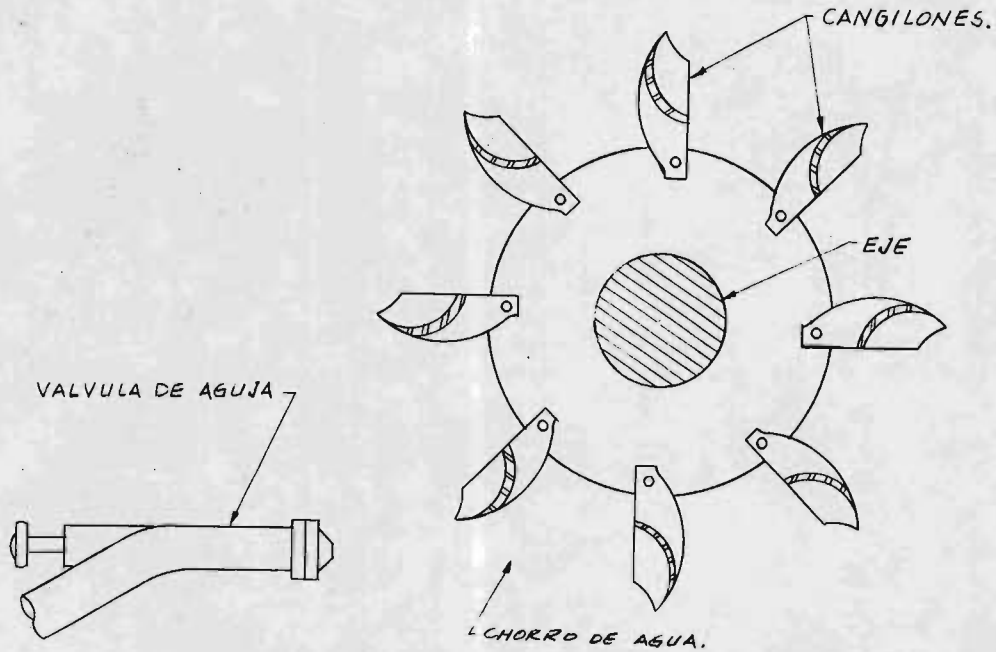
Al tratar sobre máquinas hidráulicas al principio de este capítulo, se explico la principal diferencia entre una máquina hidráulica motriz y una generatriz. Las máquinas hidráulicas motrices como la rueda Pelton fueron diseñadas para el aprovechamiento de grandes cauces y almacenamientos naturales para que su trabajo se transformará en energía eléctrica al servicio de la comunicad, desde hace mucho tiempo. El desarrollo tecnológico a nuestro tiempo ha mejorado la eficiencia de cada turbina, basados en la experimentación con modelos. Los laboratorios de pruebas en las Universidades e Instituciones de enseñanza superior

son muy importantes, ya que el educador impulsa al alumno a desarrollarse y éste último, motivado por su propio deseo de superación, busca, investiga y concluye con las mejoras a instalaciones existentes y de nueva creación.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES:

Todas las ruedas Pelton, consisten de un volante macizo de acero forjado, provisto en toda su periferia de cangilones, que reciben la acción del chorro proveniente de uno o varios chiflones. En la Fig. No. 4.9.1 se muestra una rueda Pelton.

El chiflón que alimenta a cada cangilón consiste simplemente en una tobera cuyo diámetro de entrada es igual al diámetro de la tubería de presión, que termina en una boquilla. Esta transforma la energía de presión del agua en energía cinética. Para variar la alimentación a la rueda, el chiflón está provisto de una válvula de aguja que se desplaza hacia adelante o hacia atrás, variando en esta forma el área de descarga sin producir pérdidas apreciables de energía. Cada cangilón toma una porción del chorro, de tal forma que en el paso sucesivo de estos desvían la totalidad del gasto, efectuándose un cambio de cantidad de mo-



RUEDA PELTON
FIG. NO. 4.9.1

DIBUJO: AAH.

vimiento que induce una fuerza total que origina al par motor que produce el movimiento de la rueda.

La eficiencia de la turbina es independiente de la carga y del gasto; depende exclusivamente de las constantes geométricas y constructivas de la turbina. Luego las ruedas se comportan siempre igual independientemente de su tamaño, si sus constantes son las mismas.

Finalmente, para que la rueda soporte los esfuerzos en los materiales, se limita la velocidad específica máxima permisible con respecto a la carga neta de trabajo.

EQUIPO REQUERIDO:

Para desarrollar esta práctica y cumplir el objetivo señalado en un principio, se utiliza el equipo mostrado en la Fig. No. 3.3.9 adaptado para realizar pruebas a una turbina Pelton y un tacómetro manual.

Como se señala en la práctica No. 8, existen dos sistemas autosuficientes como el que se utiliza para esta práctica. Uno de

estos equipos tiene la adaptación para turbina Pelton.

Esta práctica se realciona con la Práctica No. 8, en lo que se refiere a algunos componentes del sistema y al funcionamiento de los mismos.

FUNCIONAMIENTO:

"Calibración": Realizarse como en la Práctica No. 8 adicionando la calibración en el manómetro accionado por el freno Prony, siguiendo las indicaciones para el manómetro correspondiente al motor dinamométrico de la bomba que ahora alimenta a la turbina.

"Partes de control": Las partes de control para el desarrollo de esta práctica son la perilla del gabinete de control del motor de la bomba, siguiendo las instrucciones de la Práctica No. 8 y la válvula de aguja que regula la alimentación del chiflón a los cangilones de la turbina. Como se podrá observar en el equipo, el cabezal de esta válvula está graduado en espacios iguales correspondientes desde totalmente cerrada hasta totalmente abierta. Se recomienda, al momento de realizar las pruebas al

equipo, escoger un mínimo cuatro aberturas igualmente distribuidas, siempre comenzando con la válvula totalmente abierta, pero nunca terminando con válvula cerrada ya que no se obtienen resultados en esta condición.

"Puntos de medición": Los puntos donde se registrarán lecturas son los siguientes: la velocidad de la turbina, medida con el tacómetro manual directamente en el orificio que para tal efecto esta provisto en el volante de la turbina; la fuerza del freno Prony registrada en el manómetro de mercurio; la carga total que suministra la bomba a la turbina; medida con el manómetro de Burdon existente en la tubería de alimentación; y el gasto utilizado para la turbina o alimentado por el sistema de bombeo, medido con el vertedor, como se explica en la Práctica No. 8

Siempre en los experimentos se deben tener cuidados: primero, es muy importante cuidar la transmisión de calor entre el freno de Prony y el manómetro de mercurio. El exceso de calor hace que las condiciones de medición de la fuerza afecten en gran medida los resultados. Aplicar después de cada hora de uso continuo, unas gotas (tres máximo) de aceite lubricante sobre las pla

cas de asbesto del freno de Prony. Se recomienda a los alumnos estudiar detenidamente el sistema antes de realizar pruebas, para conocer e identificar los puntos de control y de medición que se han explicado.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

Para alcanzar el objetivo de esta práctica, seguir las instrucciones de este procedimiento:

- 1º Seleccionar una carga definida, ajustándola con la perilla que controla el motor de la bomba.
- 2º Seleccionar una abertura de la válvula de aguja, siempre comenzando con la válvula totalmente abierta y decidiendo sobre los demás rangos sin llegar a totalmente cerrada donde no se obtienen resultados.
- 3º Con ayuda del tacómetro manual, seleccionar un mínimo de cinco velocidades de operación obteniendo éstas al accionar el freno Prony. La primera velocidad será la máxima que se obtenga al aplicar el tacómetro cuando la rueda de la turbina gira libremente.

Cuidando estos tres aspectos y registrando: la abertura de la válvula; las velocidades registradas; las fuerzas originadas por el freno Prony; la carga aplicada en cada caso y el gasto manejado por la turbina, se obtienen los resultados requeridos.

SECUENCIA DE CALCULO:

Los resultados obtenidos se registran en la tabla No. 4.9.2.

La potencia al freno de la turbina, se determina con la siguiente expresión:

$$W_m = \frac{2 \pi N F L}{60}$$

Dónde:

W_m = Potencia al freno (W).

N = Velocidad de la turbina (RPM).

F = Fuerza del freno Prony. (N).

L = Brazo de palanca constante (0.160 m).

La potencia hidráulica de la turbina, está dada por la siguiente expresión:

$$W_h = \rho_e H Q$$

Dónde:

W_h = Potencia hidráulica (W).

H = Carga suministrada a la turbina (m).

ρ_e = Peso específico del agua (N/m^3).

Q = Gasto suministrado por la bomba (m^3/seg).

Es conveniente determinar el peso específico del agua utilizada, conforme se ha explicado al principio de este capítulo.

La eficiencia del sistema será:

$$\eta = \frac{W_h}{W_m}$$

Dónde:

η = Eficiencia del sistema.

W_h = Potencia hidráulica (W).

W_m = Potencia al freno (W).

Con los resultados que se obtengan en cada experimentación, se obtendrá un rango de máxima eficiencia que se observa en las curvas de isoeficiencia. La velocidad específica de la turbina para las condiciones de alta velocidad, se determina por:

$$N_s = \frac{N_m \sqrt{W_m}}{H_m^{5/4}}$$

Dónde:

N_s = Velocidad específica (adimensional).

N_m = Velocidad de la turbina (RPM).

W_m = Potencia al freno de la turbina (W).

H_m = Carga suministrada a la turbina (m).

RESULTADOS REQUERIDOS:

Los resultados requeridos son:

- Por lo menos cuatro tablas No. 4.9.2 incluyendo secuencia de operaciones.
- Las cuatro gráficas de isoeficiencia H - Q generadas por los datos y resultados de las tablas anteriores, indican-

do los datos "N", "Q" y "H" donde la turbina es más eficiente, así como el cálculo de la velocidad específica correspondiente.

CONCLUSIONES:

El alumno emitirá sus conclusiones sobre la confiabilidad de los resultados obtenidos, así como sus comentarios de cómo mejorarlos.

HOJA DE LABORATORIO
PRACTICA NO. 9

NO. DE ABERTURA.	N	H	Q	V	I	F	W_m	W_h	W_e	η	N_s

TABLA NO. 4.9.2

ENBORN AME

PRACTICA NO. 10

TURBINA FRANCIS

OBJETIVO:

El alumno conocerá, después de obtener resultados, la razón por la cual una turbina es una máquina motriz.

GENERALIDADES:

Las máquinas hidráulicas motrices se dividen en turbinas de impulso y turbinas de reacción. Las turbinas de reacción pueden ser de flujo mixto (turbina Francis) y un flujo axial. En esta práctica se experimenta con una turbina Francis.

COMPONENTES ESPECIFICOS DE UNA TURBINA:

Los componentes específicos de una turbina Francis, son los siguientes:

- Espiral o voluta, que sirva para distribuir el gasto suministrado en toda la circunferencia del rodete móvil.

- Persiana Fink, que es el dispositivo que controla el gasto, formada de una serie de álabes directrices móviles que se accionan exteriormente por un anillo deslizante a través de pernos y eslabones.
- Elemento móvil, que consiste de un cabezal con una flecha motriz, en este caso acoplada a un volante. Este cabezal está provisto de una sucesión de álabes perimetrales cubiertos por la banda del rodete formando todo el conjunto. La posición del rodete es tal que la admisión se hace a la altura de los álabes directrices de la persiana Fink.
- Carcasa, la cual forma la envoltura de toda la máquina y consiste de: el puente de la persiana que liga la espiral con la tapa del cabezal del rodete y la tapa de la banda del rodete; la tapa del cabezal que sirve de apoyo a la caja de sello de la flecha motriz y del cojinete de fijación lateral de la flecha; y la tapa de la banda del rodete que liga al puente de la persiana Fink con el tubo de succión.

EQUIPO REQUERIDO:

Para cumplir el objetivo de esta práctica, se utiliza el equipo marca "GILKES TUTOR" con los aditamentos de una turbina Francis previamente instalados, tal como se describe en la sección No.

III.3.10 Se requiere adicionalmente de un tacómetro manual para medir la velocidad de la turbina.

Como se indicó en las prácticas No. 8 y 9, existen dos equipos marca "GILKES TUTOR", los cuales, por su versatilidad, pueden adaptarse como turbina Pelton o Francis. Es recomendable tener siempre disponible un sistema de pruebas para turbina Francis y el otro como turbina Pelton, aunque se puede disponer de los dos equipos para experimentar con las bombas; o las turbinas Francis; o las turbinas Pelton. También se aprovechará que esta práctica se relaciona con las prácticas anteriores 8 y 9, en cuanto a componentes y funcionamiento.

Los componentes son como se describen en la práctica No. 9 excepto que se cambia la turbina Francis por la rueda Pelton. La alimentación de agua a la turbina Francis se realiza con el posicionador de las persianas Fink, el cual se puede dividir en cuatro aberturas.

FUNCIONAMIENTO:

Se energiza el tablero de control y se acciona la perilla

de control girándola en sentido positivo; se abre la válvula que existe en la tubería de descarga y el posicionador de persianas se sube o baja hasta observar que el volante de la turbina gira. Los aspectos de "Calibración", "Puntos de medición" y las "Partes de control" son como se ha indicado en las prácticas No. 8 y 9.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

En base a la experiencia que se tiene con las pruebas de la bomba centrífuga y de la turbina Pelton realizadas con el mismo equipo, para la experimentación a la turbina Francis, seguir la siguiente secuela:

1. Seleccionar una presión de trabajo. Esta presión se puede ajustar con la perilla del tablero que controla el motor dinamométrico de la bomba.
2. Seleccionar una abertura de las persianas Fink, siempre comenzando con persianas totalmente abiertas y graduando las posteriores aberturas (cuatro por lo menos) sin llegar a persianas cerradas, ya que en esta condición no se obtienen resultados.
3. Con el tacómetro manual, registre la velocidad alcanzada

por la rotación libre de la turbina. Seleccionar por lo menos seis rangos de velocidad de la turbina, siempre menores a la inmediata inferior, controlando estas velocidades por la aplicación del freno de Prony, como se ha explicado en la práctica No. 9

Al lograr estos tres aspectos anteriores, registrar los siguientes datos en la tabla No. 4.10.1: presión aplicada por la bomba; velocidad; la fuerza del freno Prony y el gasto manejado.

SECUENCIA DE CALCULO:

Con los datos que se obtienen de la experimentación, calcular lo siguiente:

Potencia al freno entregada por la turbina, utilizando la siguiente fórmula:

$$W_m = \frac{2\pi N F L}{60}$$

Dónde:

W_m = Potencia de la turbina (W).

N = Velocidad de la turbina (RPM).

F = Fuerza (N).

L = Longitud del brazo de palanca (0.160 m).

La potencia hidráulica suministrada a la turbina será:

$$W_h = QH P_e \eta_r$$

Dónde:

W_h = Potencia hidráulica (W).

H = Carga suministrada a la turbina (m).

P_e = Peso específico del agua (N/m).

η_r = Eficiencia de diseño de la turbina.

La eficiencia del equipo se determina por:

$$\eta = \frac{W_m}{W_h}$$

Dónde W_m y W_h son los resultados que se han obtenido.

Con los resultados obtenidos en cada abertura de persianas Fink, trazar las curvas de isoeficiencia Q - H de la turbina, obteniendo así el punto de mayor eficiencia de la instalación. Para el rango de mayor eficiencia, determinar H_n , Q_n y N_n , correspondientes a carga, gasto y velocidad de máxima eficiencia. Con estos resultados se determina la velocidad específica de la turbina, con la si--

guiente fórmula:

$$N_s = \frac{N_n \sqrt{W_m}}{H_n^{3/4}}$$

Dónde:

N_s = Velocidad específica.

N_n = Velocidad de la turbina.

W_m = Potencia de la turbina.

H_n = Carga aplicada a la turbina.

Una vez que el alumno conoce los rangos de velocidades específicas de la bomba centrífuga, turbina Pelton y turbina Francis, puede realizar una tabla comparativa con los rangos que se especifican en los textos de Mecánica de Fluidos e Hidráulica.

RESULTADOS REQUERIDOS:

Los resultados requeridos, son:

- Cuatro tablas No. 4.10.1 incluyendo secuencia y memoria de cálculo.
- Las cuatro gráficas de isoeficiencia $H - Q$ originadas por las tablas anteriores, identificando los datos N_n ,

H_n y Q_n , donde la turbina es más eficiente, incluyendo el cálculo de velocidades específicas respectivas.

CONCLUSIONES:

Al comparar las velocidades específicas de la bomba y turbinas Pelton y Francis, el alumno establecerá sus conclusiones indicando el motivo de las diferencias si éstas existieran, así como la forma de obtener mejores resultados.

HOJA DE LABORATORIO
PRACTICA NO. 10

NO. DE ABERTURA	N	H	Q	V	I	F	W_m	W_h	W_e	η	N_s

TABLA NO. 4.10.1

PRACTICA NO. 11

APARATO UNIVERSAL PARA TURBOMAQUINAS DE FLUJO RADIAL

OBJETIVO:

El alumno conocerá, después de realizar esta práctica y obtener los resultados que se especifican, el funcionamiento de un aparato universal de pruebas para turbomáquinas de flujo radial.

GENERALIDADES:

Para el manejo de fluidos y aprovechamiento de la energía natural de los fluidos, es necesario sistemas complejos de bombeo ó una serie de turbinas, las cuales pueden ser de un paso ó de varios pasos. El bombeo de un líquido a determinadas condiciones de gasto y presión, se realiza con sistemas de bombeo en serie ó en paralelo.

La presente práctica se puede experimentar, entre otras cosas, bombeo en serie y bombeo en paralelo. Algunos conceptos fundamentales que los alumnos deben tener con relación al equipo

de pruebas que se utiliza en esta práctica, se presentan en la siguiente sección.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

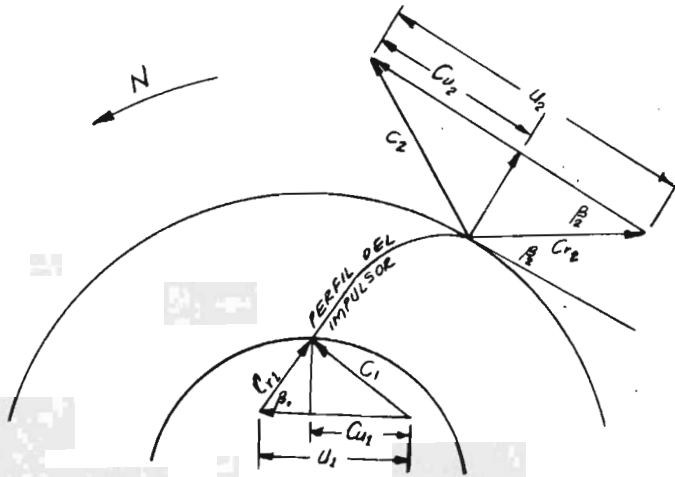
Los conceptos que se exponen a continuación, parten de la base de que los alumnos que realizarán esta práctica han sido oportunamente instruidos en clase con los principios y conceptos fundamentales de las bombas y turbinas de flujo radial. Asimismo, tienen la finalidad de facilitar la realización de experimentos con este equipo.

1. ECUACION DE EULER:

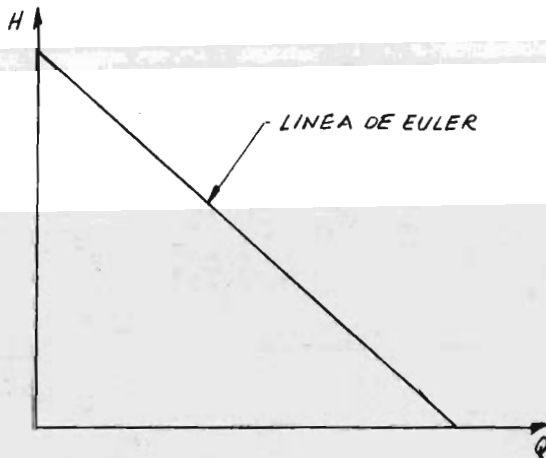
La ecuación de Euler se deriva del triángulo de velocidades de diseño teórico del impulsor de una bomba centrífuga, al seguir la dirección del fluido manejado, los ángulos y lados componen tes que lo forman. Observar esto en la Fig. No. 4.11.1

2. EFECTOS QUE MODIFICAN LA ECUACION TEORICA DE EULER:

El análisis realizado por Euler para concretar los resultados



FLUJO TEORICO



TRIANGULO DE VELOCIDADES Y
LINEA DE EULER
FIG. NO. 4.11.1

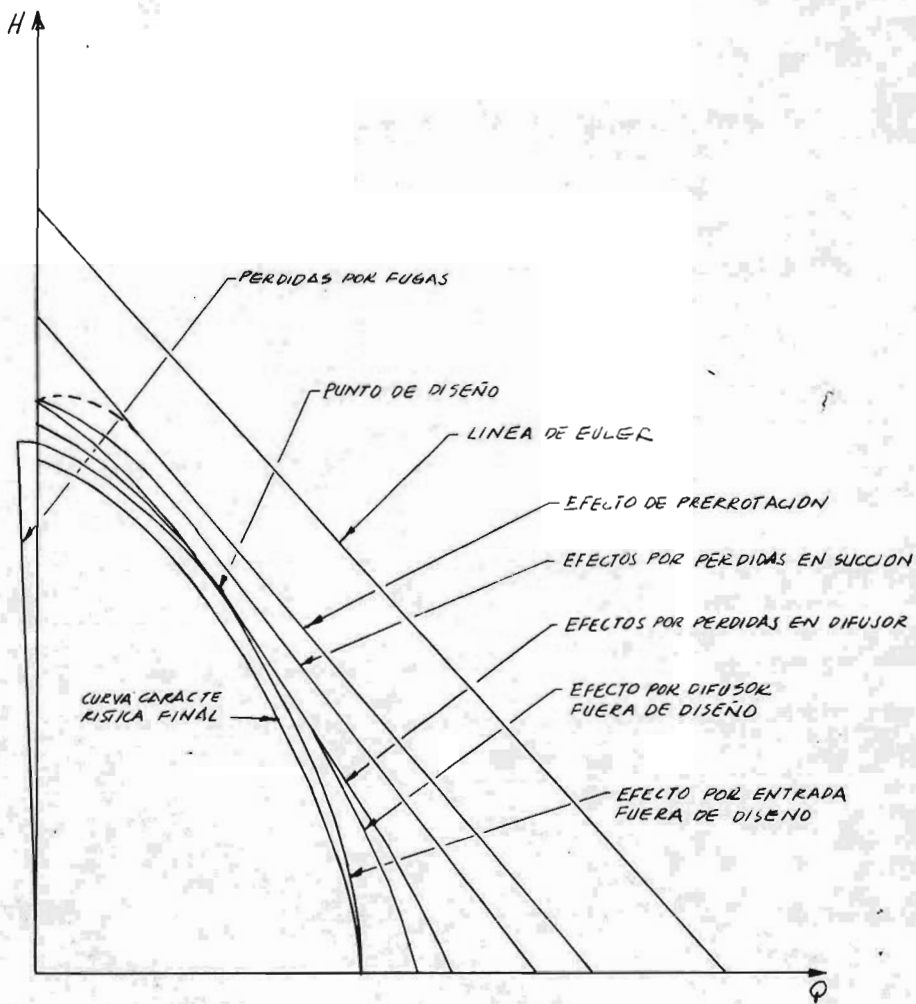
DIBUJO: A.A.A.

indicados en la Fig. No. 4.11.1, pertenecen a la teoría. Cuando el impulsor está en operación, los siguientes efectos modifican los resultados que se pretenden: A: Pre-rotación; B: Pérdida de entrada; C: Pérdidas en el difusor o carcasa; D: Pérdidas por mal diseño de la entrada; E: Pérdidas por mal diseño del difusor; F: Pérdidas por fugas. En relación a los incisos "D" y "E", los álabes del impulsor se diseñan para usarse eficientemente a unas condiciones determinadas de gasto presión y velocidad. A cualquier otra condición, la eficiencia se disminuye. La Fig. No. 4.11.2 muestra estos efectos sobre la línea de Euler.

Hasta ahora se ha analizado el funcionamiento de una bomba. Los siguientes conceptos se relacionarán con dos bombas operadas al mismo tiempo.

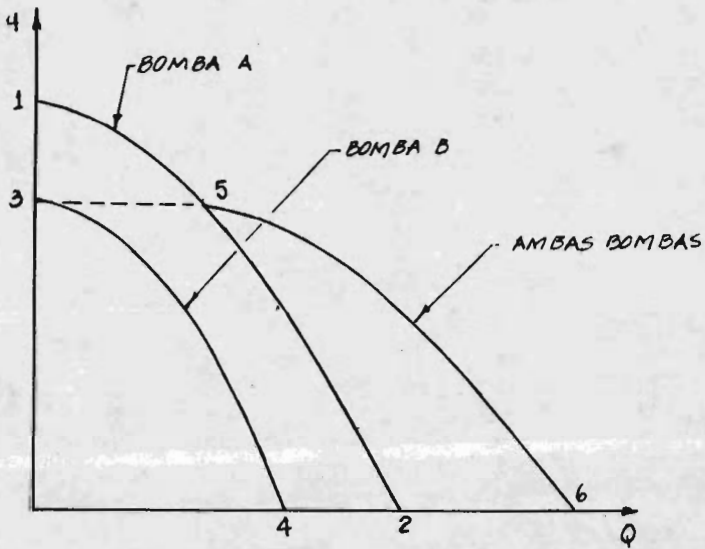
3. OPERACION EN PARALELO:

La Fig. No. 4.11.3 muestra las curvas características de dos bombas "A" y "B". Al trabajar con las dos bombas y descargar sobre la misma línea (operación en paralelo), se obtienen características como las mostradas en la curva 1-5-6 de la Fig. No. 4.11.3. Obsérvese que la bomba "B" no contribuye al gasto bombeado por la bomba "A" hasta que la carga ha caído al punto "5".



CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRIFUGA
 FIG. NO. 4.11.2

CURVAS CARACTERISTICAS DE
DOS BOMBAS OPERANDO EN
PARALELO.



BOMBEO EN PARALELO.

FIG. NO. 4.11.3

Los efectos que ocasiona esto se aclaran en otra sección.

4. OPERACION EN SERIE:

La Fig. No. 4.11.4 muestra las curvas características de dos bombas "A" y "B" operando en serie. La descarga de la bomba "A" es alimentada a la entrada de la bomba "B". Analizando la curva 5-6-7, se observa que los cambios ocurren entre los puntos "6" y "7" por el hecho de que el flujo pasado a través de la bomba "B" es mayor que el gasto manejado por dicha bomba. En otra sección se analiza lo anterior en forma más detallada.

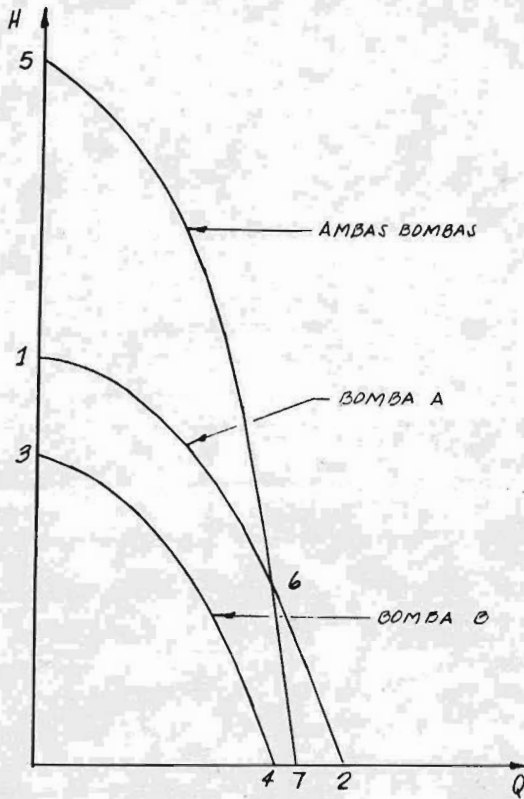
5. ANALISIS DIMENSIONAL:

El método para investigar el funcionamiento de una bomba y para diseñar un modelo de pruebas usado para predeterminar el funcionamiento de un prototipo, se denomina análisis dimensional.

La ecuación general del análisis dimensional es:

$$f(Q, N, D, \rho, \mu, E) = 0$$

CURVAS CARACTERISTICAS DE DOS BOMBAS OPERANDO EN SERIE.



BOMBEO EN SERIE

FIG. NO. 4.11.4

DIBUJO: A. A. H.

De esta ecuación, se determina que:

$$\text{Parámetro de flujo} = Q/ND^3$$

$$\text{Parámetro de carga} = H/(ND)^2$$

$$\text{Velocidad específica} = \frac{N \sqrt{Q}}{(g H)^{3/4}}$$

Los alumnos ejercitarán cómo llegar a estos resultados.

6. SIMILITUD DIMENSIONAL:

Los resultados del análisis dimensional y otros que aquí se exponen, facilitan el análisis de dos bombas de diferente tamaño, geoméricamente similares. La tabla No. 4.11.5 muestra algunas proporcionalidades para escalar resultados y características particulares de una bomba a otra, con la característica de ser geoméricamente similar.

CONSTANTE	GASTO Q	CARGA H	POTENCIA W	COMENTARIOS
N	$\propto D^3$	$\propto D^2$	$\propto D^5$	Escalonamiento del tamaño de una bomba a otra.
D	$\propto N$	$\propto N^2$	$\propto N^3$	Escalonamiento de las características de velocidad de una bomba a otra.

TABLA 4.11.5

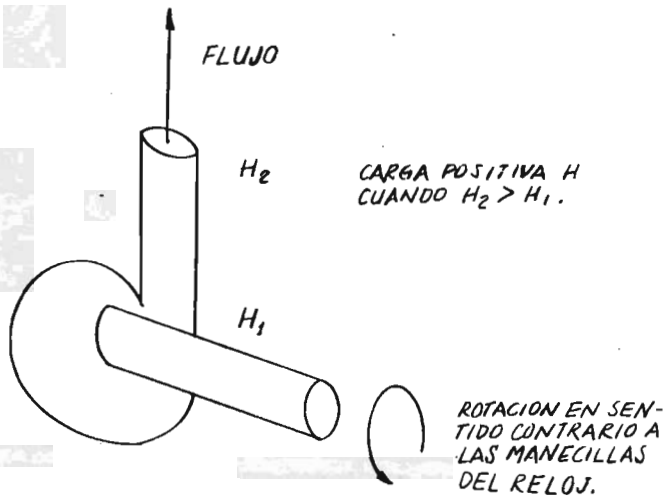
SIMILITUD DIMENSIONAL

7. OPERACION FUERA DEL ESTANDAR DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS:

La rotación normal de operación de una bomba se muestra en la Fig. No. 4.11.6. Como puede observarse, la rotación normal es en sentido contrario a las manecillas del reloj; a esta rotación le denominaremos positivo. Así el sentido contrario a éste será negativo. También al flujo dirigido hacia el tubo de descarga será positivo, como el flujo que va de la descarga a la succión será negativo. De la misma manera, siempre que haya incremento en la presión de descarga, será positivo, como cuando no exista presión será negativo (presión de succión ó presión no detectada en manómetros). Todo lo anterior se explica para identificar el significado de los signos más/menos que aparecen en la tabla 4.11.7 que muestra las posibles variaciones en el funcionamiento de una bomba. El análisis completo de esta tabla se explica en los siguientes párrafos.

8. MODO "B" DE OPERACION. CASO "1" DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA:

En este caso la bomba está operando normalmente en cuanto a rotación y dirección del flujo se refiere, pero hay una pérdida de carga entre succión y descarga. En realidad esta bomba está



OPERACION NORMAL DE UNA
BOMBA CENTRIFUGA

FIG. NO. 4.11.6

ROTACION	DIRECCION DEL FLUJO	INCREMENTO DE CARGA	MODO DE OPERACION
+	+	+	A BOMBA NORMAL
		-	B CASO 1 DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA (TURBINA DE FLUJO EXTERNO).
	-	+	C CASO 2 DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA.
		-	D NO EXISTE
-	+	+	E BOMBA CON ROTACION CONTRARIA.
		-	F CASO 3 DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA.
	-	+	G CASO 4 DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA (TURBINA DE FLUJO INTERNO.
		-	H NO EXISTE.

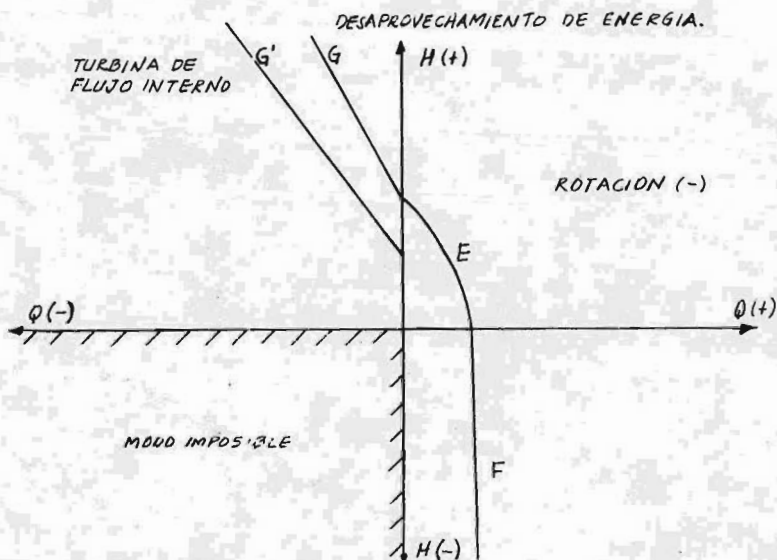
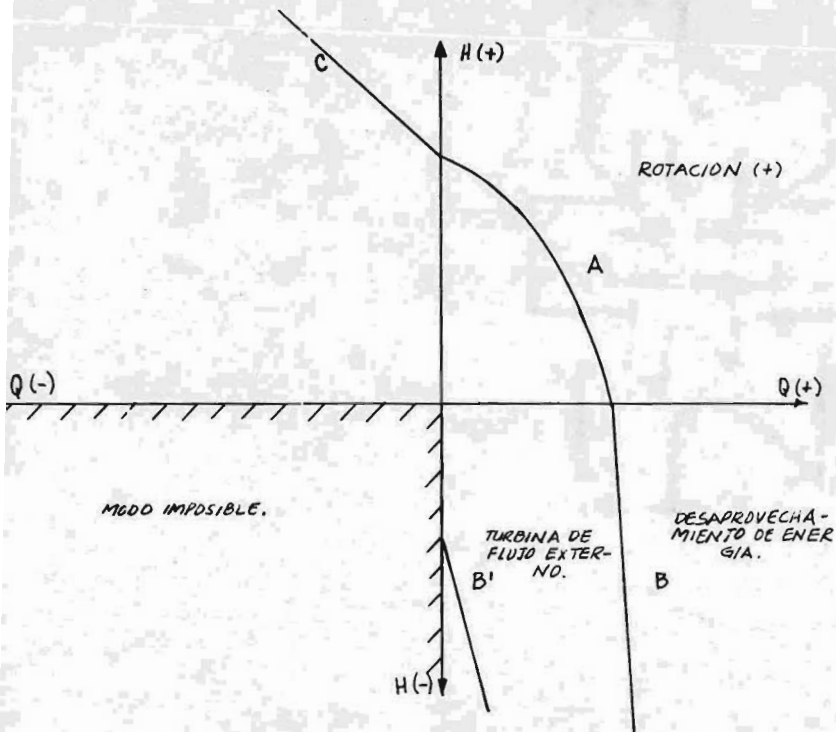
TABLA NO. 4.11.7
 POSIBLES MODOS DE OPERACION DE
 UNA BOMBA CENTRIFUGA.

desperdiciando energía. Estas condiciones se observan en la Fig. No. 4.11.4. Entre los puntos 6-7 de bombeo en serie; - la bomba "B" no puede bombear más flujo que el mostrado en el punto 4 de esta curva. Sin embargo, en la misma porción 6-7 está pasando más flujo por la bomba, que el máximo posible. Esto solamente ocurre a la pérdida de carga de la bomba "B". Por lo tanto, es posible obtener una curva de operación de la bomba Q - H bajo estas condiciones. Ver la Fig. No. 4.11.8.

Si el motor de la bomba fuera desenergizado entonces tam-
bién puede considerarse este modo de operación como una -
turbina de flujo exterior. Ver curva "B" de la Fig. No. -
4.11.8. Sin embargo, para bombas centrífugas pequeñas, la
eficiencia como turbina de flujo exterior es mínima.

9. MODO "C" DE OPERACION. CASO "2" DE DESAPROVECHAMIENTO DE - ENERGIA:

En este caso la bomba está rotando normalmente, pero el flu-
jo es negativo y consecuentemente con una carga positiva.



MODOS DE OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

FIG. NO. 4.11.8

Este caso puede ocurrir durante el bombeo en paralelo. Ver la Fig. No. 4.11.3. Según el rango 1-5 de estas curvas, la carga a la descarga de la bomba "B" es mayor que la máxima carga manejada por la bomba. Esto origina que el flujo retorne por la bomba y produzca la curva característica "C" de la Fig. No. 4.11.8.

10. MODO "E" DE OPERACION. BOMBA CON ROTACION CONTRARIA.

La mayoría de las bombas centrífugas bombearán cuando operan con rotación contraria. Sin embargo, el porcentaje del flujo normal de bombeo mientras opera en rotación contraria depende del diseño y tamaño de la bomba. La curva "E" de la Fig. No. 4.11.8 muestra características típicas.

11. MODO "F" DE OPERACION. CASO "B" DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA:

Este es un caso correspondiente al modo "B", excepto que la bomba tiene rotación contraria. Esto puede ocurrir también en bombeo en serie donde la segunda bomba está operando en rotación contraria.

12. MODO "G" DE OPERACION. CASO "4" DE DESAPROVECHAMIENTO DE ENERGIA. TURBINA DE FLUJO INTERNA:

Este es un caso correspondiente al modo "C". Puede ocurrir en bombeo en paralelo. La curva característica H - Q se muestra en la Fig. No. 4.11.8 con la marca "G". Si el motor de la bomba es desenergizado y substituido por un generador, entonces este modo de operación se transforma en una turbina de flujo interno o tipo Francis. La eficiencia de la turbina es razonablemente elevada. Este es el caso en que generalmente una bomba producirá una mejor turbina, como una turbina producirá una eficiente bomba.

EQUIPO REQUERIDO:

Para la experimentacion y obtención de resultados relacionados con:

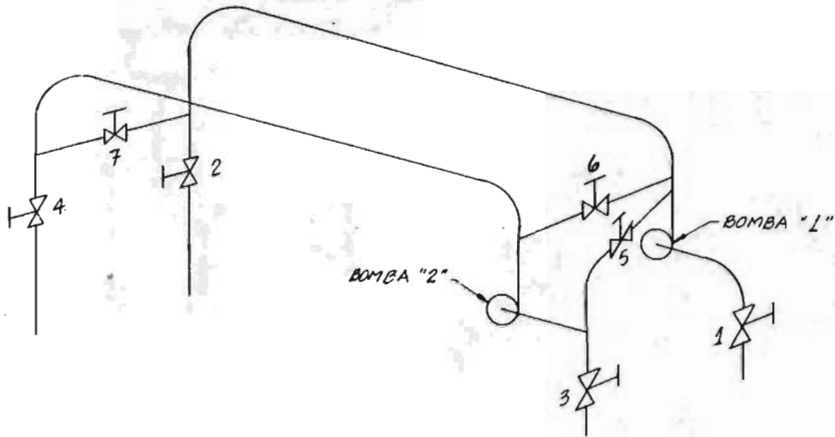
- Las características H - Q de una bomba a diferentes valores de "N";
- Similitud dimensional al realizar pruebas de dos bombas geométricamente similares;

- Los efectos de operación de sistemas de bombeo en serie y paralelo;
 - Las diferencias en curvas características H - Q de una bomba operando en rotación correcta o incorrecta;
- se necesita del aparato universal para máquinas de flujo radial, el cual se muestra en la Fig. No. 3.3.11 y se ha descrito ampliamente en la sección III.3.11

PRINCIPIO DE OPERACION:

Para facilitar el manejo de este aparato universal, se anexa la Fig. No. 4.11.9 mostrando esquemáticamente la localización de las válvulas que controlan el sistema. Lo siguiente son los pasos requeridos para el cebado de las bombas:

- 1º Llenar con agua ambos compartimientos del sistema cuidando que el nivel del agua llegue hasta la parte inferior del indicador y medidor de gasto. Asegurarse de que ninguna válvula de la tubería del sistema esté abierta.
- 2º Retirar el tapón de purga de la bomba "A". Llenar con agua el cuerpo de la bomba a través de este orificio y colocarlo nuevamente en su lugar. Auxiliarse de herramienta adecuada.
- 3º Energizar el tablero de control de la bomba "A" verificando



OPERACION	NUMERO DE VALVULA						
	1	2	3	4	5	6	7
BOMBA NO. "1" UNICAMENTE	○	○*	●	●	●	●	●
BOMBA NO. "2" UNICAMENTE. ROTACION (+) Y (-)	●	●	○	○*	●	●	●
OPERACION EN PARALELO.	○	○*	○	●	●	●	○
OPERACION EN SERIE.	○	●	●	○*	○	●	●
BOMBA NO. "2" TURBINA DE FLUJO INTERNO.	○	●	○	●	●	●	○
BOMBA NO. "2" TURBINA DE FLUJO EXTERNO.	○	●	●	○	○	●	●

○ VALVULA ABIERTA.
 ● VALVULA CERRADA.
 * VALVULAS PARA REGULACION DE PRESION DE TRABAJO.

DIAGRAMA DE VALVULAS.
 FIG. NO. 4.11.9

- que se encienda el foco correspondiente. Retorne la perilla de control hasta cero. Energice el indicador de flujo observando el encendido del foco correspondiente.
- 4º Gire la perilla de control hasta el 50 para que la bomba trabaje aproximadamente a 1,500 RPM. El manómetro P_1 deberá registrar una presión de vacío.
 - 5º Si se ha registrado presión de vacío, abrir la válvula No. 1 y los manómetros P_2 y P_3 deberán registrar alguna presión. Utilice la Fig. No. 4.11.9 para identificar las válvulas.
 - 6º Lentamente abra al 30% aproximadamente la válvula No. 2. El agua pasará entonces al sistema.
 - 7º Si no se ha registrado alguna presión en los manómetros P_2 y P_3 y gasto en el indicador de gasto, regrese la perilla de control a cero. Repita desde el paso 3º en adelante.
 - 8º Para cebar la bomba "B" cuando la bomba "A" opera correctamente hasta el paso 6º, con el equipo operando, abrir la válvula No. 7. Abrir lentamente la válvula No. 3 y el aire que exista en las tuberías será expulsado.
 - 9º Cuando el aire que exista en las tuberías se haya expulsado y se escuche el paso del agua, cierre las válvulas 3 y 7.
 - 10º Energice el tablero de control de la bomba "B" (verificando -

que la perilla de control esté en cero) seleccionando la operación "motor" con el interruptor "motor-generator".

- 11º Energice el medidor de flujo (Q_2) verificando el encendido de la luz correspondiente.
- 12º Gire la perilla de control correspondiente a la bomba "B" hasta el 50 y abra la válvula No. 3.
- 13º Abra lentamente la válvula No. 4 y el medidor de flujo (Q_2) - deberá registrar flujo. Ahora ambas bombas están cebadas y listas para los experimentos.
- 14º Regrese ambas perillas de control a cero y desenergice los tableros. Las bombas retienen su cebado a menos que exista algún taponamiento en las tuberías. Para retener el cebado, cierre las válvulas 1 al 4.

Adicionalmente, la Fig. No. 4.11.9 indica también las posiciones de las válvulas para pruebas específicas y las válvulas que se controlan para variar la presión de descarga de las bombas.

Cabe señalar que el rango de velocidad de la bomba "A" - (bomba más grande) es de 0-3000 RPM aproximadamente y se recomienda usarla entre 2000-3000 RPM. Esta bomba es irreversible. La bomba "B" y su tablero de control están diseñadas para operar de la

siguiente manera:

- I. Como bomba (rotación normal);
- II. Como bomba (rotación negativa);
- III. Como turbina de flujo interno (rotación negativa);
- IV. Como turbina de flujo externo (rotación positiva).

Para los casos "I" y "II" se recomiendan velocidades hasta de 3500 RPM, mientras para el caso III, la velocidad alcanzada es determinada por la velocidad de la bomba "A". Para el caso IV la potencia desarrollada por la turbina es casi insignificante y no produce suficiente rotación al impulsor.

Es indispensable que el motor de la bomba "B" esté parado cuando la rotación del motor se modifique usando el interruptor correspondiente del tablero de control.

De los tableros de control de esta máquina universal, las perillas de control tienen que estar en cero antes de comenzar a trabajar. Esto es para asegurar la posibilidad de energizar la bomba con la perilla de control cuando esté colocada a una velocidad correspondiente a 3000 RPM.

Un selector de presiones está fijado junto al motor de la bomba "A". Este es usado para seleccionar una de las cuatro presiones que pueden ser leídas en el manómetro P_1 . Cada presión diferente es identificada por los siguientes números:

1. Derivación para presión de succión de la bomba.
11. Derivación a un radio de 32.5 mm indicando la presión sobre la cara del impulsor.
12. Derivación a un radio de 41.5 mm indicando la presión sobre la cara del impulsor.
13. Derivación a un radio de 54.5 mm indicando la presión sobre la cara del impulsor.

Además, un detector magnético está fijado a la rueda tacométrica de la bomba "A". Este dispositivo provee un pulso por revolución y puede ser usado para disparar el estroboscopio (modelo G.164, con base). La base del estroboscopio se adapta en la caja sobre el lado derecho del tanque. Los efectos de la cavitación se pueden visualizar en el estroboscopio únicamente en la bomba "A".

SECUENCIA DE MEDICIONES Y CALCULOS.

En la Fig. No. 4.11.9 se señalan las válvulas que regulan la presión de descarga. Con las perillas de control de ambos tableros, seleccionar cinco rangos de operación desde 2000 a 3000 RPM de la bomba "A" y ajustar a 500 RPM menos la bomba "B" cuando se opere como bomba. Para cada velocidad, realizar la prueba con las válvulas abiertas y estrangular las que indica la Fig. No. 4.11.9 para el caso que aplique obtener otra presión de descarga.

Las mediciones que se deben tomar para las bombas "A" y "B" son como sigue:

Presiones en metros columna de agua:

- P_1 = Presión de succión de la bomba "A".
- P_2 = Presión de descarga de la bomba "A".
- P_3 = Presión de descarga combinada (ambas bombas).
- P_4 = Presión de succión de la bomba "B".
- P_5 = Presión de descarga de la bomba "B".
- P_6 = Presión de descarga combinada (ambas bombas).

Leer adicionalmente las presiones P_{11} ; P_{12} y P_{13} para cada velocidad de operación.

Velocidades en RPM.

N_1 = Velocidad de la bomba "A".

N_2 = Velocidad de la bomba "B".

Fuerzas en N:

F_1 = Fuerza en el dinamómetro de la bomba "A".

F_2 = Fuerza en el dinamómetro de la bomba "B".

NOTA: Esta lectura puede ser positiva o negativa de
pendiendo de la rotación de la bomba "B".

Gasto en Li/seg:

Q_1 = Lectura del medidor de gasto de la bomba "A".

Q_2 = Lectura del medidor de gasto de la bomba "B".

h = Altura en el medidor por nivel en mm de columna de
agua. Usando la gráfica 90/1 del fabricante de este
equipo, se determina el gasto (Q).

Carga total de cada bomba, en metros columna de agua:

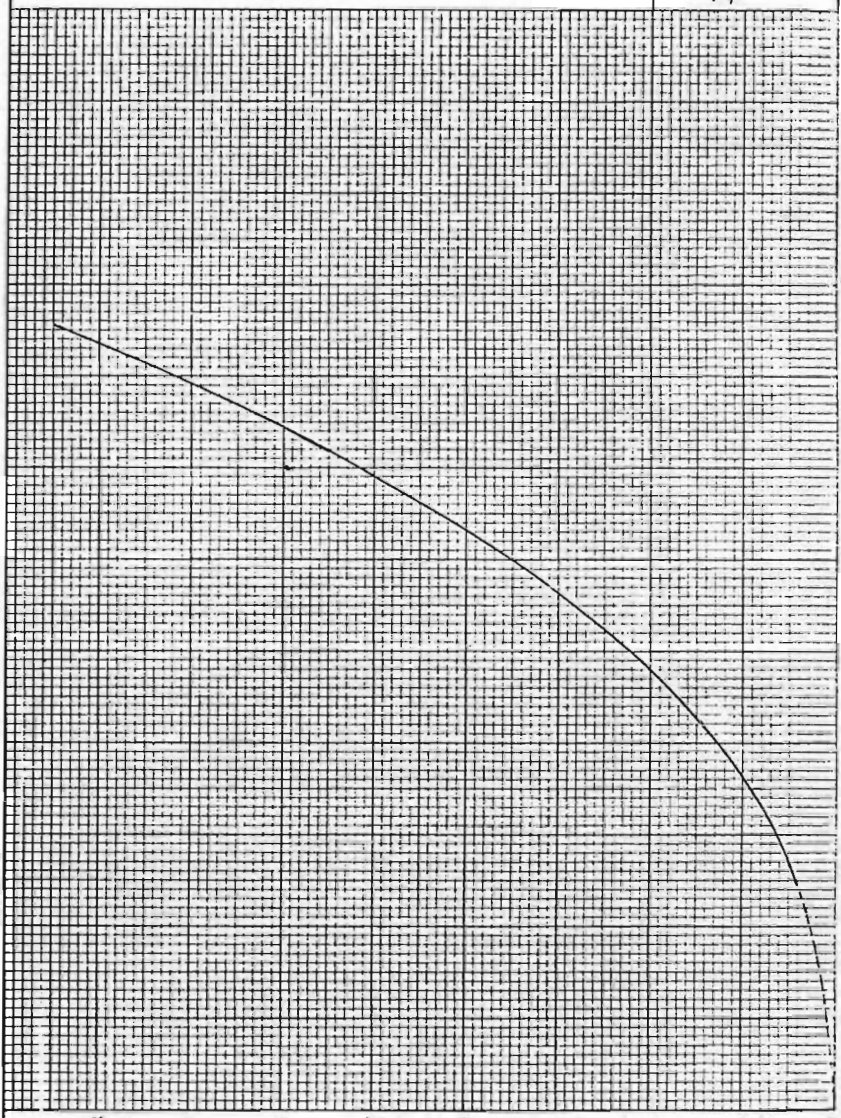
$H_1 = P_2 - P_1$ para la bomba "A";

$H_2 = P_5 - P_4$ para la bomba "B".

NOTA: Estos cálculos proporcionan la diferencia de
carga estática entre los dos puntos de medición.

TITLE: H-Q CURVE FOR 1/2 90° V NOTCH

90/1



GILBERT, GILKES & GORDON LTD.
KENDAL, ENGLAND

ORDER/TENDER
DATE JAN 76
DRAWN

CURVE No.
90/1

Carga como sistemas de bombeo, en metros columna de agua:

$$H_{sp} = P_3 \text{ para bombeo en paralelo.}$$

$$H_{ss} = P_6 \text{ para bombeo en serie.}$$

La potencia mecánica (W_m) se determina por:

$$W_{m1} = \frac{2 \pi N_1 T_1}{60} \quad W_{m2} = \frac{2 \pi N_2 T_2}{60}$$

Dónde:

W_{m1} y W_{m2} (W) corresponden a la potencia mecánica de las bombas "A" y "B", respectivamente.

N_1 y N_2 (RPM) son las velocidades de las bombas "A" y "B" respectivamente; y

$T_1 = 0.165F_1$; $T_2 = 0.165F_2$ (N-m) son el par originados por las bombas "A" y "B", respectivamente.

La potencia eléctrica (W_e) generada por la bomba "B" cuando opera como turbina, se obtiene directamente del voltímetro (V) y amperímetro (A) localizados en el tablero de la bomba "B". Usar la siguiente expresión:

$$W_e = V A \quad (W)$$

La eficiencia de cada bomba estará dada por:

$$\eta = \frac{9.81 \rho Q H}{1000 W} \times 100$$

Dónde "Q" está en Li/seg y ρ es el peso específico del agua (Kg/m^3).

RESULTADOS REQUERIDOS:

Con los datos registrados, obtener los resultados según las fórmulas expuestas en la anterior sección. Se recomienda con densarlos en una tabla. Con los datos obtenidos, efectuar las si guientes gráficas en papel milimétrico.

- H - Q bombeo paralelo mostrando la curva de la bomba "A"; de la bomba "B" y la curva como sistema.
- H - Q bombeo en serie, mostrando la curva de la bomba "A", de la bomba "B" y la curva como sistema.
- W - N (Potencia contra velocidad) para la bomba "B" operando como turbina de flujo interno, mostrando potencia mecánica y eléctrica.
- H - Q curva completa de la bomb "B" integrada por bombeo en para lelo, bombeo normal y bombeo en serie.

- H - Q curvas de las bombas "A" y "B" operando ambas a 3000 RPM.
Realizar una curva escalada si el diámetro del impulsor fuera de 140 mm.

Finalmente, operando la bomba "A" a 3000 RPM, trazar las curvas correspondientes presión-distancia radial (m - mm) y gasto (Li/seg) utilizando los resultados del manómetro P_1 así como P_{11} , P_{12} y P_{13} . El centro del impulsor está a 20 mm y el diámetro del impulsor es de 70 mm.

El alumno deberá de señalar la forma de aprovechar en mayor porcentaje el equipo. Sugerir sobre otras prácticas que resulten de los avances que sobre estudios de bombas se han realizado.

P R A C T I C A N O. 12

APARATO UNIVERSAL PARA TURBOMAQUINAS DE FLUXO AXIAL

OBJETIVO:

El alumno conocerá después de experimentar y obtener los resultados especificados, las características de operación de una turbomáquina axial al funcionar como bomba ó como turbina.

GENERALIDADES:

El aparato de pruebas para turbomáquinas de flujo axial es un equipo sofisticado y funcional que incorpora los medios mecánicos y electrónicos más modernos de tipo educacional que facilitan su aprovechamiento incluyendo la rápida obtención de resultados algebraicos y gráficos.

Los conocimientos necesarios para obtener datos y resultados con este equipo de pruebas, se exponen en las siguientes secciones, mientras que se supone que las teorías de máquinas axiales (bombas y turbinas) se han asimilado oportunamente en clase.

EQUIPO REQUERIDO:

Para la experimentación y obtención de resultados relacionados con:

- Las características del funcionamiento de una turbina de hélice;
- Las características del funcionamiento de una bomba de hélice;

se requiere el Aparato Universal para Turbomáquinas de Flujo Axial, el cual se ha descrito en la sección No. III.3.12

MODO DE OPERACION:

Para facilitar el manejo de este aparato universal, en la siguiente página aparece la Fig. No. 4.12.1 mostrando el diagrama de flujo de este sistema.

Las siguientes instrucciones son básicas para conocer el manejo de este aparato, antes de realizar cualquier experimento:

- 1º Asegúrese de que el agua contenida en el sistema sea limpia. - Para saber el nivel requerido, verifique que éste sea aproximadamente hasta la mitad del tubo superior transparente.

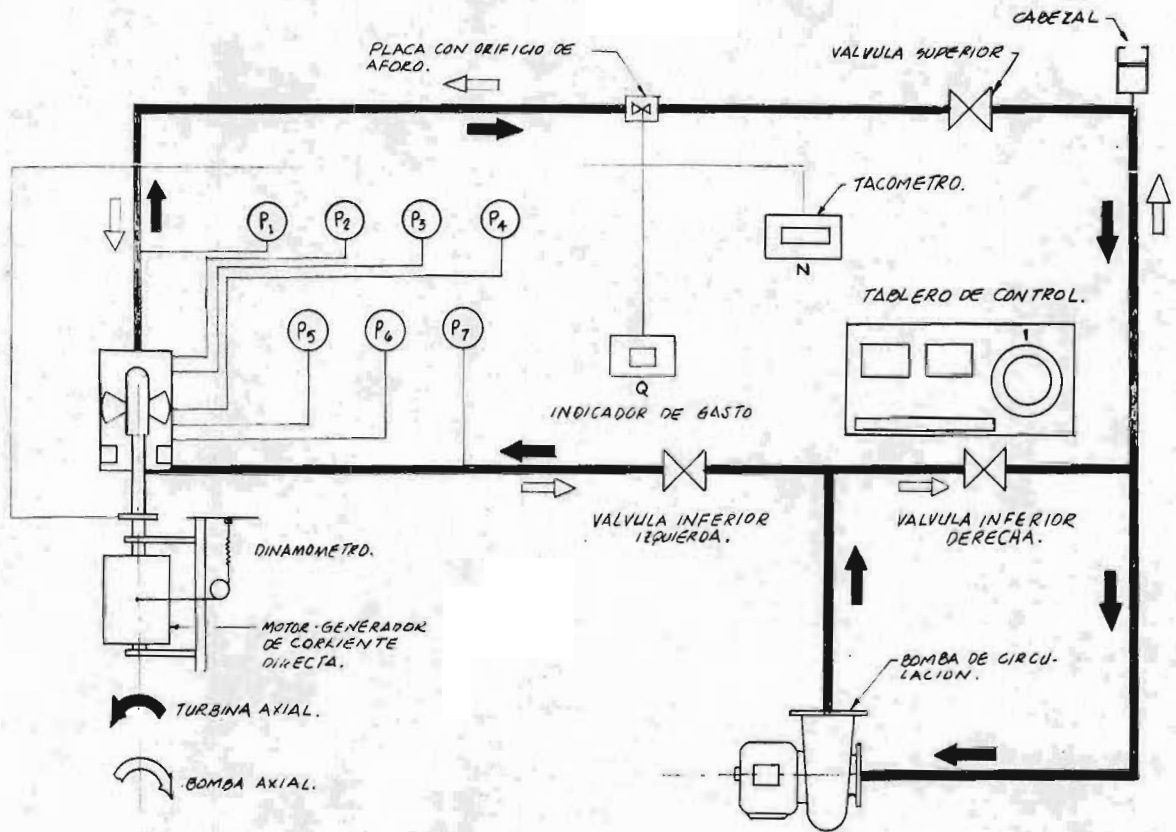


DIAGRAMA DE FLUJO - MAQUINA AXIAL

FIG. NO. 4.12.1

D. G. M. O. A. A. M.

- 2º Energice el sistema con el interruptor general colocado en la estructura del equipo; energice el flujómetro. Luces piloto - color rojo se encenderán indicando que el sistema está energizado. El tacómetro digital mostrará 0000 y el flujómetro estará establecido en cero gasto.
- 3º Asegúrese de que el interruptor del voltímetro y el amperímetro estén hacia arriba y que el interruptor "Motor-Generador", esté en posición "motor".
- 4º Verificar que la perilla del tablero de control del motor esté en cero. Gire la perilla en sentido de las manecillas del reloj hasta el número 50 y verifique que los siguientes parámetros se estén registrando:
 - velocidad en el tacómetro;
 - gasto en el flujómetro;
 - voltaje y amperaje en el voltímetro y amperímetro respectivo (si nota que cualquiera de estas dos lecturas se registran en dirección opuesta, use el interruptor para corregir la falla).
- 5º Asegúrese de que las tres válvulas de control estén totalmente abiertas.
- 6º Trabaje el sistema en esta velocidad por un período de cinco - minutos para remover el aire que existiera en el sistema.

- 7º Incremente la velocidad (con la perilla) hasta 3000 RPM y verifique la operación de todos los indicadores (velocidad, gasto, presiones, voltaje, amperaje).
- 8º Lentamente, disminuya la velocidad hasta cero. Cuando la unidad esté parada, cambie el interruptor "motor-generador" a la posición "generador" y cierre la válvula inferior derecha. Con el interruptor reversible del voltímetro, ponga en servicio este dispositivo colocándolo en posición contraria a la indicada anteriormente. Energice el motor de la bomba de circulación con el arrancador que se encuentra cercano a la bomba sobre la estructura de la unidad.
- 9º En cuanto sea energizada la bomba, gire la perilla del tablero de control para aplicar alguna carga a la turbina. Con la perilla del tablero de control coloque la turbina a 2,000 RPM aproximadamente y verifique la correcta operación del voltímetro y el amperímetro y todos los demás instrumentos de medición.
- 10º Desenergice la bomba de circulación y retorne a cero la perilla del tablero de control.
- 11º Coloque el interruptor "motor-generador" en posición "motor" y cambie de posición el interruptor reversible del voltímetro.
- 12º Abra la válvula inferior derecha.

Repita esta rutina las veces que considere necesarias para el total conocimiento del sistema.

A: SISTEMA OPERANDO COMO BOMBA AXIAL.

Coloque los controles como sigue:

- Interruptor "Motor-Generador" en posición "motor";
- Interruptor reversible del voltímetro hacia arriba;
- Interruptor reversible del amperímetro hacia arriba;
- Abra todas las válvulas de control;
- Interruptor general del tablero de control, energizado;
- Energice el interruptor del flujómetro;
- Coloque el ángulo decidido a los álabes del difusor;
- Coloque el ángulo decidido a los álabes del rotor;
- Gire la perilla del tablero de control a la velocidad deseada;
- Ajustar la válvula inferior de la izquierda a la presión de descarga seleccionada.

Se sugieren las siguientes combinaciones de ángulos de álabes a 3000 RPM, para 4 ó 5 presiones diferentes:

ROTOR	DIFUSOR
10°	+ 10°
10°	0°
10°	- 10°
20°	+ 10°
20°	0°
20°	- 10°
30°	+ 10°
30°	0°
30°	- 10°

El gasto y fuerzas registradas deberán de obtenerse a varias presiones de descarga con velocidad constante.

Realizar las mismas pruebas a 2500 RPM y a 2000 RPM u otras velocidades decididas por el instructor del laboratorio.

B: SISTEMA OPERANDO COMO TURBINA AXIAL.

Situe los controles de la siguiente manera:

- Interruptor "Motor-Generator" en posición "Generator";
- Interruptor reversible del voltímetro, hacia abajo;

- Interruptor reversible del amperímetro, hacia abajo;
- Cierre la válvula de control inferior del lado derecho mientras las otras permanecen totalmente abiertas;
- Interrutpr del tablero de control, energizado;
- Interruptor del flujómetro, energizado;
- Coloque el ángulo deseado a los álabes del difusor;
- Coloque el ángulo deseado a los álabes del rotor;
- Energice el motor de la bomba de circulación;
- Gire la perilla del tablero de control hasta la velocidad seleccionada;
- Ajuste la válvula de control inferior izquierda para - cambiar las presiones de entrada a la turbina.

Se sugieren las siguientes combinaciones de ángulos de los álabes usados todos a caída de presión constante:

ROTOR	ALABES DE ENTRADA
10°	+ 10°
10°	0°
10°	- 10°
20°	+ 10°
20°	0°

ROTOR	ALABES DE ENTRADA
20°	- 10°
30°	+ 10°
30°	0°
30°	- 10°

Las diferentes presiones, gastos, fuerzas, voltajes, amperajes y fuerzas registradas por los instrumentos, deberán ser obtenidos a un ángulo de rotor y álabes de entrada con caída de presión constante.

Algunos valores de caída de presión pueden ser 0.22 Bar; 0.18 Bar; 0.14 Bar u otros especificados por el instructor del laboratorio.

Se puede presentar que el aparato experimental no funcione o alguna señal no se detecte perfectamente; esto significa que alguna de sus protecciones eléctricas tenga que ser restablecida. El alumno por ningún motivo debe intentar hacer alguna reparación; debe reportar cualquier falla al instructor de laboratorio para que el equipo se haga revisar por la persona encargada de este tipo de servicios.

Las siguientes instrucciones ayudan en forma preeliminar a encontrar alguna falla:

- Si la turbina/bomba axial para repentinamente: - Posiblemente ha fallado el fusible "HRC" por exceso de velocidad o cambio del interruptor "Motor-Generador" a cualquier posición - sin estar la unidad totalmente parada. Cambiar el fusible.
- Si el motor de la bomba que recircula el agua para repentinamente: - Posiblemente ha fallado el fusible de la línea trifásica originado por altibajos en el suministro eléctrico. - Reemplace los fusibles.
- Si las lecturas del voltímetro o amperímetro son menores que cero: - Use los interruptores reversibles de estos instrumentos.
- Si el flujómetro no muestra ninguna señal o lectura: - Revise si la luz de neon (foco) está encendido y el estado del fusible interno. - Remueva el tapón de drenaje localizado por debajo de la bomba de circulación. Después de un minuto de drenar, reponga el agua retirada rellenando hasta la mitad del recipiente transparente ubicado en la parte superior izquierda del sistema.
- Si no detectara medición de velocidad: - Verificar el claro existente entre el detector magnético y la rueda dentada. Es

te claro deberá ser de 0.25 a 0.37 mm (0.010" a 0.015"). - Ajuste la sensibilidad del tacómetro con el potenciómetro localizado en la cubierta posterior del tacómetro.

SECUENCIA DE MEDICIONES Y CALCULOS.

Los rangos de operación ya han sido señalados en la sección anterior en cuanto a ángulos del difusor y los álabes así como el ajuste de presiones.

Las medidas que se deben de registrar para obtener los cálculos y curvas características de una turbina ó bomba axial son los siguientes:

Fuerza "F" (N): Ajustar cada vez el dinamómetro al punto fijo central de la unidad.

Velocidad "N" (RPM): Lectura directa en el tacómetro electrónico digital. (turbina o bomba).

Gasto "Q" (Li/seg): Lectura directa en el flujómetro (turbina o bomba).

Voltaje "V" (V-lts): Lectura directa en el voltímetro, usando el interruptor reversible para bomba o turbina.

Amperaje "I" (Amperes): Lectura directa en el amperímetro, usando -

el interruptor reversible para bomba o turbina.

Presión " P_1 " (Bar): Succión de la bomba axial o descarga de la turbina leída directamente en el manómetro " P_1 ".

Presión " P_2 " (Bar): Entrada de la bomba axial ó salida de la turbina leída directamente en el manómetro " P_2 ".

Presión " P_3 " (Bar): Succión de los álabes de la bomba axial ó descarga en los álabes de la turbina, leída directamente en el manómetro " P_3 ".

Presión " P_4 " (Bar): Centro de los álabes, leída directamente en el manómetro " P_4 ".

Presión " P_5 " (Bar): Descarga en los álabes de la bomba axial ó succión en los álabes de la turbina, leída directamente en el manómetro " P_5 ".

Presión " P_6 " (Bar): Succión en el difusor de la bomba axial o descarga en los álabes de entrada de la turbina, leída directamente en el manómetro " P_6 ".

Presión " P_7 " (Bar): Descarga de la bomba o succión de la turbina, leída directamente en el manómetro " P_7 ".

Los cálculos son los que a continuación se solicitan:

Carga total de la bomba axial/caída de presión a través de la tur-

bina: despreciando las pequeñas diferencias de carga estática entre los puntos de detección de presiones, usar la siguiente expresión:

$$H = P_7 - P_1 \text{ (Bar) } \delta$$

$$H = 10.194 (P_7 - P_1) \text{ (m de C.A.)}$$

Distribución de presiones en el rotor axial: las presiones pueden usarse en cualquiera de las dos formas siguientes: directamente ó relacionadas a la presión " P_1 " usando las siguientes relaciones:

P_1'/P_1' = Relación en la succión de la bomba axial = relación de descarga de la turbina.

P_2'/P_1' = Relación de entrada de la bomba = relación de salida de la turbina.

P_3'/P_1' = Relación de succión en los álabes de la bomba axial = relación de descarga en los álabes de la turbina.

P_4'/P_1' = Relación al centro de los álabes.

P_5'/P_1' = Relación de descarga en los álabes de la bomba axial = relación en succión de los álabes de la turbina.

P_6'/P_1' = Relación a la succión del difusor de la bomba axial = relación de descarga en los álabes de entrada de la turbina.

P_7'/P_1' = Relación de descarga de la bomba axial = relación de succión de la turbina.

En todos los casos se debe usar la presión absoluta, de tal manera que:

$$P_1' = P_1 + P_{atm}$$

$$P_2' = P_2 + P_{atm}$$

$$P_3' = P_3 + P_{atm}$$

$$P_4' = P_4 + P_{atm}$$

$$P_5' = P_5 + P_{atm}$$

$$P_6' = P_6 + P_{atm}$$

$$P_7' = P_7 + P_{atm}$$

donde "Patm" es la presión atmosférica.

W_m potencia mecánica (W) para bomba axial o turbina.

$$W_m = \frac{2 \pi N T}{60}$$

donde: $T = 0.165 F$ (N-m)

W_e potencia eléctrica (W). El voltímetro y amperímetro dan la corriente directa eléctrica suministrada al motor cuando éste opera

como motor (bomba axial); para el caso turbina axial (motor como generador), estos instrumentos indican la corriente directa generada por la armadura del generador. Todos los motores de corriente directa tienen una excitación de campo y como ésta es muy pequeña, se considera despreciable. Es decir:

$$W_e = V A \text{ (W)}$$

donde "We" es potencia de entrada a la bomba axial o potencia de salida de la turbina.

Eficiencia de la bomba = cociente de potencia equivalente de la carga generada y potencia mecánica de entrada. Es decir:

$$\gamma_p = \frac{9.81 \rho Q \Delta H}{1000 W_m}$$

dónde:

ρ = Densidad del agua (Kg/m^3).

Q = Gasto (Li/seg).

H = Carga generada por la bomba (En m columna de agua).

Eficiencia de la turbina = cociente de la potencia eléctrica o mecánica de salida y la potencia hidráulica de entrada. Es decir:

$$\eta_{Te} = \frac{1000 W_e}{9.81 \rho Q \Delta H} \quad \text{ó} \quad \eta_{Tm} = \frac{1000 W_m}{9.81 \rho Q \Delta H}$$

RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

Los alumnos deberán presentar los datos registrados y los resultados obtenidos en una tabla. Con los resultados obtenidos, realizar en papel milimétrico las gráficas H - Q correspondientes a operación como turbina o como bomba. Determinar la velocidad específica correspondiente a una turbomáquina axial, con la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{g \Delta H^{3/4}}$$

indicando si el valor calculado corresponde a una bomba ó turbina axial. Dar sus comentarios al respecto.

Con las velocidades específicas obtenidas en las prácticas No. 8, 9, 10, 11 y 12, haga una tabla y sepárelas identificando su correspondencia.

PRACTICA NO. 13

BOMBA DE ENGRANES

OBJETIVO:

El alumno conocerá después de experimentar, obtener resultados y gráficas correspondientes, los parámetros que gobiernan el funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo tipo rotatoria.

GENERALIDADES:

Las bombas se han clasificado a través de la historia en dinámicas y de desplazamiento positivo. En esta práctica, se experimenta con una bomba de desplazamiento positivo tipo engranes externos y reciprocantes.

Como particular diferencia entre las bombas dinámicas y las de desplazamiento positivo, el fluido que se maneja está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un diente de engrane, un pistón, etc., y la carcasa de la bomba.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Por lo general todas las bombas de engranes son de pequeñas dimensiones, comparadas con las bombas centrífugas.

Este tipo de bombas se utilizan en aplicaciones específicas, donde se requiere manejar gastos pequeños de líquidos viscosos y a altas presiones.

EQUIPO REQUERIDO:

Para cumplir el objetivo de esta práctica, se utiliza el equipo para pruebas de bomba de engranes, que se muestra en la Fig. No. 3.3.13 y que se ha descrito en cuanto a sus principales componentes en el Capítulo III.

FUNCIONAMIENTO:

La unidad de pruebas está equipada con una bomba de engranes simple helicoidales tipo externos. Está acoplada en forma directa a un motor de doble velocidad con potencia nominal de 0.75 kW. Este motor está soportado en dos chumaceras y está fijado a la estructura con un dinamómetro, el cual mide la fuerza que el -

motor aplica a la bomba para que ésta maneje el fluido. El eje del motor está provisto de un sensor digital que detecta la velo cidad de la bomba. El motor, la bomba y otros componentes como el tanque de almacenamiento y el tanque de medición, se soportan en una estructura de acero.

La bomba succiona el aceite desde el recipiente principal por una tubería, misma que tiene una válvula de paso para variar la presión de succión. De la misma manera, en la línea de descar ga de la bomba existe una válvula de paso para regular tanto presión como gasto descargado. En esta línea existe un divisor de flujo que al operarse manualmente, dirige el aceite al tanque de medición ó al recipiente principal. La unidad tiene manómetros pa ra presión de succión y descarga de la bomba.

Antes de experimentar y obtener resultados con este equipo es conveniente realizar la siguiente rutina:

Nivelación: se recomienda nivelar la unidad para obtener mejores lecturas en el indicador de nivel del tanque de medición de gas to. Esto permitirá que el menisco formado en el tubo indicador de nivel sea exactamente registrado por el alumno. Como se expli

có en otra práctica, para nivelación se utiliza un nivel de gota así como algunas calzas entre el piso y la estructura de la unidad.

Calibración: En este sistema se requiere calibración únicamente en el dinamómetro de acuerdo al requerimiento del motor. Se recomienda hacer una pausa entre una velocidad y otra al efectuar un cambio de velocidad.

Puntos de control y medición del sistema: Los puntos de control son:

- El selector de velocidades del motor es de fácil uso; solo basta energizar el circuito y girar al selector en el sentido de las manecillas del reloj para obtener los siguientes resultados: baja velocidad; apagado; alta velocidad; apagado. Evite girar este selector en sentido contrario al indicado.
- Válvulas de paso en succión y descarga; al regular estas válvulas se recomienda evitar que la válvula de succión sea cerrada totalmente al igual que la válvula de descarga.

Los puntos de medición son: los manómetros de presión de succión y descarga; el tacómetro con ayuda del cronómetro; y el in

dicador de nivel.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

Antes de energizar el motor, cerciorarse de que ambas válvulas de succión y descarga estén abiertas. Energice el motor en la condición de baja velocidad y espere por un lapso de dos minutos; esto permitirá que la bomba desplace el líquido y el aire - que exista en el sistema y además calentarse.

Si así se decide, seleccionar la condición de alta velocidad y la presión de descarga deseada auxiliándose para ello de la válvula de descarga y el manómetro correspondiente. Considerar - que el retorno de aceite ocurre a 800 kN/m^2 , presión a la que está calibrada la válvula de alivio de la bomba.

Seguir las siguientes instrucciones para el registro de - un juego de diez lecturas por cada una de las dos velocidades del motor, desde cero hasta la máxima presión de descarga:

1. Registrar presiones de succión y descarga.
2. Ajustar el dinamómetro con el punto fijo de la estructura metá

lica de la unidad para este propósito y registrar la fuerza indicada en dicho dinamómetro.

3. Oprimir el sensor de velocidad sobre el eje del motor al mismo tiempo que hace funcionar el cronómetro. Después de 60 segundos suelte el sensor de velocidad y pare al mismo tiempo el cronómetro. Registre los números del contador digital y el tiempo cronometrado. Esto permitirá mayor exactitud en la medición de la velocidad de la bomba.
4. Usando la válvula de drenar de tanque medidor, fijar un nivel y registrarlo.
5. Utilizando la válvula divisora de flujo, dirigir el flujo hacia el tanque de medición, al mismo tiempo que hace funcionar un cronómetro. Cuando el tanque esté casi lleno, dirigir el divisor de flujo hacia el tanque principal al mismo tiempo que para el cronómetro. Registre ambos niveles y el tiempo cronometrado. Utilizando la válvula de drenar, el sistema está listo para la siguiente rutina.

Utilizar la tabla 4.13.1 para registrar los datos que se obtienen de la anterior secuencia.

Muy importante: Cuando la válvula de succión de la bomba es gradualmente cerrada, se disminuye la presión de succión y la presencia de la cavitación es indicada por el incremento del ruido de la bomba y una disminución de gasto entregado.

SECUENCIA DE CALCULO:

El funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo tipo rotatoria puede ser analizada sobre la base de una ecuación de energía de flujo estable donde el fluido es incompresible. Esta ecuación es:

$$P_1 Q - P_2 Q = - W_1 + L$$

Dónde:

P_1 = Presión de succión (kN/m^2).

P_2 = Presión de descarga (kN/m^2).

Q = Volumen desplazado por la bomba (Li/seg).

W_1 = Potencia del motor (kW).

L = Pérdidas de potencia (kW).

Esta ecuación establece que el trabajo que la bomba reali-

za sobre el fluido, ignorando energía cinética y diferencias entre niveles de succión y descarga de la bomba por ser una unidad muy compacta, es la potencia aplicada por el motor a la bomba menos las pérdidas de potencia.

La potencia hidráulica (W_2) de la bomba es determinada por:

$$W_2 = (P_2 - P_1) Q$$

La eficiencia volumétrica de la bomba, es dada por:

$$\eta_v = \frac{60 Q}{N v}$$

Dónde:

Q = Volumen desplazado por la bomba (Li/seg).

N = Velocidad de la bomba (RPM).

v = Volumen desplazado por la bomba en una vuelta (Li/revolución).

η_v = Eficiencia volumétrica de la bomba.

La eficiencia η global de la bomba es determinada por:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

La potencia W_1 aplicada por el motor a la bomba es:

$$W_1 = FN/k$$

Dónde:

F = Fuerza registrada por el dinamómetro.

N = Velocidad del motor (RPM).

k = 53.35 (constante).

El volumen desplazado por la bomba está dado por:

$$Q = (q_2 - q_1)/t$$

Dónde: q_2 y q_1 son los volúmenes de aceite registrados en el tanque de medición, al principio y final de la experimentación, en un período de "t" segundos.

q_1 y q_2 se determina como sigue:

$$q_1 = 0.111 h_1$$

$$q_2 = 0.111 h_2$$

dónde h_1 y h_2 son las alturas del indicador de nivel del tanque de

medición y 0.111 es un factor en Li/mm del tanque de medición obtenido por el fabricante del equipo.

RESULTADOS:

El alumno entregará por lo menos dos tablas 4.13.1 incluyendo la memoria de cálculos respectiva a los resultados obtenidos en las tablas.

HOJA DE LABORATORIO.

PRACTICA NO. 13

VELOCIDAD: ○ ALTA ○ BAJA

P_1 KN/m ²	P_2 KN/m ²	F NEWTON	REV	t seg	N RPM	W_1 WATTS	h_1 mm	h_2 mm	q_1 Li	q_2 Li	t seg	Q Li/seg	W_2 WATTS	η	η_v

TABLA NO. 4.13.1

PRACTICA NO. 14

BOMBA DE PISTON

OBJETIVO:

El alumno conocerá, después de realizar mediciones y cálculos, las funciones características de una bomba de desplazamiento positivo, tipo reciprocante.

GENERALIDADES:

De las bombas aquí estudiadas, las bombas reciprocantes han sido desplazadas para aplicaciones muy especiales en el manejo de fluidos. Las razones son muy simples: bajo rendimiento; alto costo; gastos y presiones limitadas y equipos voluminosos. Esto ha permitido el desarrollo de las bombas centrífugas.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Las bombas reciprocantes pueden ser de simple o doble efecto. La bomba del laboratorio en cuestión es de doble efecto. El

principio de funcionamiento de este tipo de bombas no está basado en la ecuación de Euler, sino en el principio del desplazamiento positivo, en que un émbolo se desplaza a una velocidad "v", y en su interior hay un fluido a una presión "P". El cilindro y el émbolo son rígidos o indeformables y el fluido es incompresible. El movimiento del émbolo se debe a la fuerza "F" aplicada. El émbolo al moverse, desplaza al fluido por el orificio. Si el émbolo recorre una distancia " l " hacia la izquierda, el volumen que ocupa el líquido se reducirá con un valor igual a "A1" (dónde "A" es el área transversal del émbolo). Como el fluido es incompresible, el volumen de fluido que sale por el orificio también será "A1".

El tiempo "t" utilizado en recorrer la distancia "l" es:

$$t = l/v$$

El gasto "Q" ó volumen desplazado por unidad de tiempo - será:

$$Q = A1/t = Av$$

Si no hay fricción, la potencia (Pot) transmitida al fluido será:

$$\text{Pot} = F V$$

pero, la fuerza es igual a la presión por el área "A", es decir:

$$F = P A$$

entonces: $\text{Pot} = P A v$ ó $\text{Pot} = Q P$

De acuerdo a estas expresiones, se concluye que la máquina puede absorber potencia (trabajar como bomba) ó restituir potencia (trabajar como motor).

Por lo tanto, el principio del desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara, donde el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo, sino que también puede tener rotativo.

EQUIPO REQUERIDO:

Para lograr el objetivo señalado al principio de esta práctica, se necesita del equipo marca "PLINT and PARTNERS" correspondiente a la bomba de pistón. Este equipo se ha descrito en el Capítulo III.

FUNCIONAMIENTO:

De acuerdo a la Fig. No. 3.3.14, el sistema consiste de un diseño apropiado para fácil acceso por parte de Alumnos y Catedráticos.

La bomba es un cilindro horizontal de doble efecto, acoplada a través de una transmisión auxiliar de poleas y bandas dentadas, por un motor dinamométrico de corriente alterna, de dos velocidades, de 0.75 kW. Este motor se soporta en un eje por dos chumaceras fijadas a la estructura. Adicionalmente cuenta con un tacómetro de carátula digital, el cual auxiliado por un sensor de velocidad que los alumnos accionan, registra la velocidad correcta del motor.

La bomba succiona al agua desde el tanque y una válvula controla la presión y gasto. El agua desplazada por la bomba pasa por una válvula de descarga, al rotámetro medidor de gasto y retorna al tanque. El sistema cuenta con manómetros apropiados de succión y descarga para indicar las presiones de trabajo. La bomba tiene una válvula de alivio calibrada a 5.2 Bar la cual retorna el agua directamente al tanque en caso de una sobrecarga en la bomba.

Esta unidad requiere atención por los alumnos en estos aspectos:

Nivelación: Se recomienda nivelar la unidad para obtener mejores lecturas en el medidor de gasto. Utilizar un nivel de gota y algunas calzas para colocarlas entre el piso y la estructura del equipo.

Calibración: La calibración requerida en esta unidad es en el dinamómetro, el cual se debe ajustar al punto fijo de la estructura del sistema para conocer correctamente la fuerza que aplica el motor sobre la bomba.

Puntos de control y medición del equipo: Los puntos de control son:

- El selector de velocidades es de fácil uso; solo basta energizar el circuito y girar el selector en el sentido de las manecillas del reloj para obtener los siguientes resultados: motor en baja

- velocidad; motor parado; motor en alta velocidad. No girar el selector en sentido contrario al indicado.
- Válvulas de paso en succión y descarga: Es importante tomar en consideración que el operar con la válvula de succión totalmente cerrada provocará excesivo desgaste entre pistón y cilindro.
 - Recipiente de aire: este dispositivo merece atención por parte del alumno al realizar la práctica. Es el dispositivo que la bomba tiene para contrarrestar las variaciones de presión ocasionadas por su funcionamiento. Si este recipiente se llenara con agua, provocaría notables pulsaciones en la manecilla del manómetro de descarga, además de un nivel elevado de ruido en el funcionamiento de la bomba. Si esto es detectado, inmediatamente suspenda la prueba que esté realizando, desechando los datos registrados. Operando la bomba por dos minutos, abra ligeramente la válvula de admisión de aire localizada por debajo de la bomba, cerrándola pasado este lapso. Prosiga con sus mediciones.
 - Válvulas para manómetro: Estas pequeñas válvulas colocada antes de los manómetro de succión y descarga, se deben ajustarse para minimizar las oscilaciones de las manecillas, originadas por las pulsaciones de la bomba

Los puntos de medición son: los manómetros de presión y descarga;

el medidor de gasto; el dinamómetro; el indicador de velocidad y el cronómetro.

SECUENCIA DE MEDICIONES:

Antes de energizar el motor, cerciorarse de que ambas - válvulas de succión y descarga estén totalmente abiertas. Energice el motor en la condición de baja velocidad esperando en un lapso de tres minutos aproximadamente. Entonces, el motor de la bomba puede ser operado en condición de alta velocidad, si se decide primero experimentar en esta condición. Ajustar la válvula de descarga de la bomba a la presión de descarga deseada con siderando que la válvula de alivio abre a 5.2 Bar. Ajustar también las válvulas de los manómetros y estar atento al ruido ori ginado por la bomba como una forma de saber que el recipiente - para aire está lleno de agua.

Para concluir este ejercicio, practicar en una serie de diez puntos distribuidos desde cero a la presión máxima de descarga, por cada velocidad. Se recomienda el siguiente procedimiento por cada punto escogido:

1. Registrar las presiones de succión y descarga.
2. Registrar la fuerza después de ajustar el dinamómetro.

3. Aplicar el sensor de velocidad al mismo tiempo que hace funcionar un cronómetro. Después de 60 segundos, deje de aplicar el sensor y pare el cronómetro. Esto determinará con mayor exactitud la velocidad de la bomba.
4. Registrar la lectura del medidor de gasto.

Los datos que se obtienen con la secuencia anterior, son con la válvula de succión totalmente abierta mientras que la presión de descarga se regula con la válvula de descarga.

- Realizar ahora dos pruebas, una a cada velocidad, con la válvula de descarga totalmente abierta, regulando la válvula de succión desde totalmente abierta hasta que la bomba pare de descargar agua. Esta prueba muestra la capacidad de la bomba para trabajar con presión de admisión reducida y muestra los efectos de cavitación sobre la eficiencia volumétrica de la bomba.

SECUENCIA DE CALCULO:

La bomba de pistón puede ser analizada sobre la base de la ecuación de la energía de flujo estable. Tratando la situación como un caso simple en el cual el fluido es incompresible, la

ecuación por unidad de tiempo puede escribirse como:

$$P_1 Q - P_2 Q = - W_1 + L$$

Dónde:

P_1 = Presión de succión (Bar).

P_2 = Presión de descarga (Bar).

Q = Volumen desplazado (gasto) (Li/seg).

W_1 = Potencia del motor (kW).

L = Pérdidas (kW).

Esta ecuación establece que el trabajo entregado por la bomba, despreciando la energía cinética y la diferencia entre niveles de succión y descarga, es igual a la potencia suministrada por el motor menos las pérdidas.

La potencia (W_1) aplicada a la bomba será:

$$W_1 = F N/k$$

Dónde:

W_1 = Potencia (kW).

F = Fuerza (N).

N = Velocidad del motor (RPM).

La potencia hidráulica (W_2) de la bomba se determina por:

$$W_2 = Q (P_2 - P_1)$$

La eficiencia general η será:

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

La eficiencia volumétrica (η_v) de la bomba se determina con la siguiente expresión:

$$\eta_v = \frac{60 Q}{N_v}$$

dónde "v" es el volumen desplazado por la bomba en ^{un} viaje (Li/rev).

RESULTADOS:

El alumno entregará los resultados tabulados, para cada prueba realizada. Incluir una gráfica por cada prueba mostrando la curva eficiencia volumétrica contra potencia aplicada.

PRACTICA NO. 15

CANAL UNIVERSAL

OBJETIVO:

El alumno aprovechará la oportunidad de experimentar con un canal universal, las teorías analizadas en clase con respecto a ríos, presas y canales artificiales.

GENERALIDADES:

Esta es una práctica que puede subdividirse en tantas - fracciones como el profesor lo decida, de acuerdo al avance de - las teorías en las clases.

La justificación a lo anteriormente expuesto se relaciona con la presentación de esta práctica, en la que los resultados que se obtendrán son totalmente experimentales, con ayuda de fórmulas obtenidas en forma generalizada por el fabricante.

La presentación de esta práctica es la siguiente: equipo requerido; conocimientos generales sobre el equipo y sus accesorios y experimentos. Este último concepto presenta una amplia gama pero que en ninguna instancia significa una limitante para quienes desean desarrollar otros experimentos.

EQUIPO REQUERIDO:

El equipo requerido se denomina "canal universal de flujo modular". Una vista general de este equipo se presenta en la Fig. No. 3.3.15 que aparece en el Capítulo III. Aunque en el Capítulo III se ha presentado la descripción de este equipo incluyendo algunos accesorios, en cada uno de los experimentos que a continuación se presentarán se hará alguna descripción adicional.

CONOCIMIENTOS GENERALES SOBRE EL EQUIPO:

La razón de este encabezado corresponde a facilitar la obtención de resultados con los mecanismos del canal, así como con algunos accesorios auxiliares.

A) MEDICION DE GASTO.

En el sistema de suministro de agua al canal existe un medidor de gasto tipo placa con orificio. El diseño corresponde al código I.S.A. como lo especifica el estándar Británico No. 1042 parte 1, sección 12 edición 1964.

La presión en ambos lados de la placa de orificio se registra en un manómetro de mercurio.

En resumen y debido a que se conoce el diámetro del orificio; su coeficiente de descarga; el diámetro de la tubería, el gasto será:

$$Q = 7.124 \sqrt{H}$$

Dónde:

Q = Gasto (Li/seg).

H = Altura diferencial registrada en el manómetro.

B) PENDIENTE DEL CANAL:

El canal, por un mecanismo de engranaje y con ayuda de un volante manual, puede operarse horizontalmente o con

alguna pendiente positiva o negativa (siendo positiva la que forma un ángulo por debajo de la línea horizontal en el sentido del flujo).

Aunque el fabricante establece una ecuación para determinar la pendiente, concluye que por cada 105 vueltas se tiene un grado de pendiente. Esto se observa en el indicador localizado sobre el eje del volante.

C) USO DEL TUBO DE PITOT:

Siguiendo la Fig. No. 3.2.6 la altura "h" representa la energía del flujo ($v^2/2g$) en forma aproximada, ya que no considera pérdidas de energía por razonamiento.

En resumen, la velocidad local de flujo será:

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

Dónde "h" representa la diferencia absoluta entre la altura total de la columna de agua y la altura promedio del nivel del canal.

Para conocer la velocidad media, es necesario registrar una serie de lecturas en puntos igualmente distribuidos en el ancho y profundidad del canal, encontrando que la media aritmética de todas estas lecturas, es la velocidad media.

Realizar las siguientes observaciones como una costumbre antes de llevar a cabo cualquier experimento:

- 1º Disponga el sistema listo para operarse con o sin elementos de control, asegurándose de la suficiente cantidad y calidad de agua.
- 2º Ajuste la pendiente del canal al valor seleccionado.
- 3º Abra totalmente la compuerta localizada en la descarga del canal.
- 4º Verificar que el manómetro diferencial marque cero y asegurarse de que no existan burbujas en los tubos que detectan la señal desde la placa de orificio hasta el manómetro diferencial.
- 5º Energice el motor de la bomba, regulando a la profundidad de agua sobre el canal, con ayuda de la válvula de control de la bomba y la compuerta de descarga del canal. Antes de

comenzar a registrar datos espere unos segundos a que se estabilicen las condiciones del canal.

EXPERIMENTOS:

Los siguientes experimentos representan la mayor utilidad del canal en nuestro laboratorio. El realizar cada uno representa un reto para los alumnos. Los resultados de los primeros experimentos son la base de los resultados posteriores.

I. FLUJO LIBRE SOBRE UN CANAL SIN OBSTRUCCIONES:

Las condiciones de operación de este canal pueden ser controladas al grado de obtener cada una de las siguientes características de flujo: Flujo uniforme; Flujo no uniforme; Flujo tranquilo y Flujo rápido.

El flujo uniforme sucede cuando la pendiente del canal y del agua son uniformes y cuando la profundidad del agua y su velocidad media son constantes en todos los puntos del canal.

El flujo no uniforme sucede cuando existe cualquier desviación a las condiciones de flujo uniforme, por ejemplo cuando

la profundidad del agua varía de un punto a otro.

El flujo tranquilo sucede cuando la profundidad del agua es mayor que la profundidad crítica.

El flujo rápido sucede cuando la profundidad del agua es menor que la profundidad crítica.

El valor numérico de la profundidad crítica puede ser determinado como sigue: Si por un canal rectangular de ancho "b" - está pasando un gasto "Q" fijo y si la profundidad del agua "d" tiene variación, entonces el gasto por unidad de ancho del canal será:

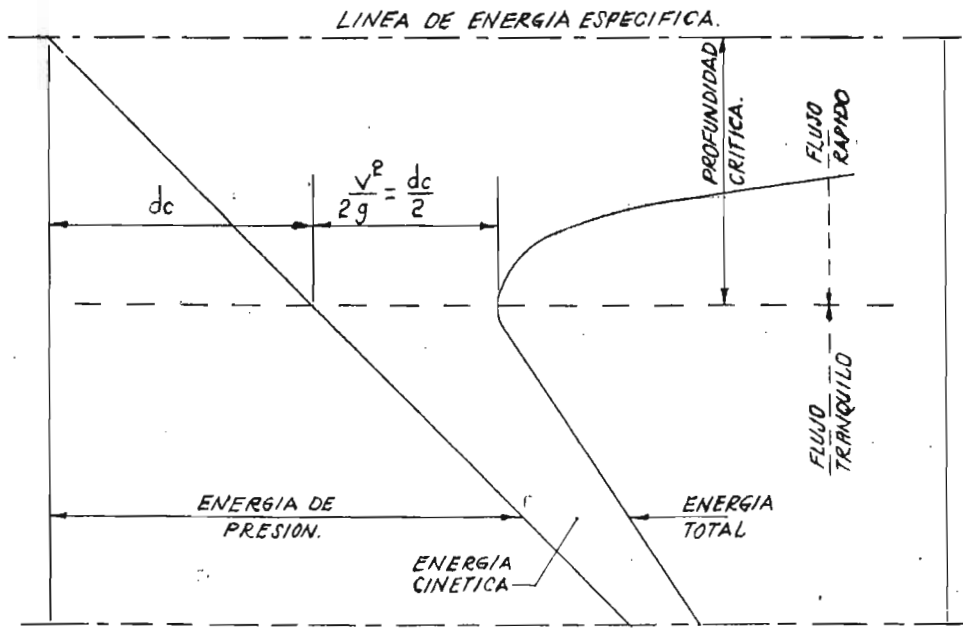
$$q = Q/d$$

y la velocidad media (o de punto) será:

$$v = q/d$$

La energía específica del agua "H" ó la energía sobre el nivel de referencia representada por el fondo del canal, será:

$$H = d + v^2/2g = d + q^2/d^2 2g$$



RELACION ENTRE LA TRAYECTORIA DE LA PROFUNDIDAD
Y LA LINEA DE ENERGIA ESPECIFICA.

FIG. NO. 4.15.1

DIBUJO: A. A. H.

El valor de "H" depende de "d". Si se grafican los resultados de "H" y "d", resulta una curva como la mostrada en la Fig. No. 4.15.1. De esta manera se define que la profundidad crítica en el canal, es la profundidad del agua en que produce una mínima energía específica del agua. Esto corresponde a que la energía de velocidad del agua es igual a la mitad de la energía de presión o profundidad "d".

La Fig. No. 4.15.1 muestra entonces la utilidad del valor de la profundidad crítica "dc" para diferenciar un flujo tranquilo de un flujo rápido en un canal.

Con los anteriores conceptos se pueden realizar los siguientes experimentos:

I.1 FLUJO TRANQUILO NO UNIFORME.

Colocar el canal con pendiente cero. Localizar un medidor de profundidad local al principio del canal y otro cerca del extremo de descarga. La compuerta localizada al final del canal deberá permanecer abierta. Con la válvula de control, regular el gasto de manera que la profundidad a la entrada del canal sea aproximadamente de $1/2$ a $2/3$ de la profundidad total

total del canal.

Cuando las condiciones del flujo se hayan establecido, registrar la lectura del manómetro diferencial y determinar el gasto; con los indicadores locales de profundidad, registrar las lecturas al principio y fin del canal.

Observando el perfil del flujo en el canal, se concluye que el flujo no es uniforme. Como las superficies curvas van en dirección del flujo, la velocidad media y la profundidad del agua varía, no existiendo la posibilidad de flujo uniforme.

Para determinar si la naturaleza del flujo es rápido o tranquilo, calcular el valor de la profundidad crítica como se ha explicado. El resultado, comparado con las alturas registradas en la entrada y salida del canal, confirmará la naturaleza del flujo.

Ahora, manteniendo el gasto constante como en un principio, suba gradualmente la compuerta de descarga del canal, incrementando con esto la profundidad del agua, aguas arriba de la compuerta. Espere a que las nuevas condiciones de flujo sean estables. Observe que el perfil general del agua no ha sido alterado de consideración. Esto representa otra forma de investigar el flujo tran-

quilo, ya que cualquier cambio en la profundidad en la descarga del canal es propagada en forma proporcional en la profundidad de la alimentación. Certifique esta consideración haciendo el cálculo de la profundidad crítica.

I.2 FLUJO RAPIDO.

Coloque el canal aproximadamente con un grado de inclinación. Con la compuerta de descarga totalmente abierta, regule el gasto de manera que el agua tenga una profundidad cercana a los 70 mm.

Calcule la profundidad crítica a estas condiciones y concluya la naturaleza del flujo.

Nuevamente suba un poco la compuerta de descarga y observe las características del flujo dando su conclusión. Cerca de la compuerta se observará una zona de violenta turbulencia; sin embargo, las condiciones al inicio del canal se deberán observar sin cambio. Si se continua subiendo la compuerta de descarga, la zona de turbulencia avanzará hacia el principio del canal tomando una característica de una onda de estancamiento. En sentido transversal a esta zona, el agua incrementa su profundidad.

Con esto se puede reconocer que la onda de estancamiento experimentada en el canal, introduce una discontinuidad que marca claramente que el flujo en el canal es "no-uniforme".

I.3 FLUJO TRANQUILO UNIFORME.

Para esta sección, los experimentos son comparables con los resultados que se obtienen en zonas rectas de ríos naturales y canales artificiales. Como estas condiciones son uniformes en todos los puntos del canal, se facilita la evaluación de la resistencia por fricción que el agua tiene que vencer y que causa el estudio de pérdidas de energía que el agua sufre al fluir por secciones rectas.

En base a la fórmula de Chezy, se puede determinar la magnitud de la resistencia por fricción, como sigue:

$$v = C m^{1/2} i^{1/2}$$

Dónde:

v = Velocidad media del flujo (m/seg).

m = Profundidad hidráulica media (m).

i = Pendiente del canal (adimensional).

C = Coeficiente de Chezy ($m^{1/2}/seg$).

Para obtener la profundidad hidráulica media, es necesario obtener antes el área transversal del fluido "A" y el perímetro mojado "P" por el agua, ambos casos sobre el canal.

$$A = b d$$

Dónde:

b = Ancho del canal (m).

d = Profundidad del agua en el canal (m).

A = Area transversal del flujo sobre el canal (m^2).

El perímetro mojado, será:

$$P = b + 2 d$$

Un ejemplo práctico para obtener un resultado concreto es como sigue:

Coloque el canal de manera que su pendiente sea $1/1000$ ó $i = 0.001$. Localizar dos medidores de profundidad a una separa--

ción de 6 m aproximadamente, estando el primero lo más cercano a la entrada del canal. Regule el gasto auxiliándose de la válvula de control hasta que la profundidad sea aproximadamente 0.20 m. - La uniformidad será establecida cuando los dos medidores de profundidad nos indiquen la misma profundidad.

Calcular el valor del gasto, y con la ayuda de la profundidad del agua "d", determinar el valor del coeficiente de Chezy.

En forma general, el valor obtenido es una medida de la aspereza de ambos costado y asiento del canal y por consiguiente, la magnitud del factor de resistencia por fricción.

Para el canal en cuestión, la relación para determinar el factor "f" de resistencia por fricción es la siguiente:

$$C = \sqrt{\frac{2g}{f}}$$

La otra forma de expresar el factor de resistencia por fricción es determinando el esfuerzo cortante "T" del agua en contacto con las paredes del canal, con la siguiente expresión:

$$T = \rho_e g m i$$

Dónde:

T = Esfuerzo cortante (N/m^2).

ρ_e = Peso específico del agua (Kg/m^3).

g = Constante gravitacional (m/seg^2).

m = Profundidad hidráulica media (m).

i = Pendiente del canal.

I.3 DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN EL CANAL.

Si se registran alturas "h" con el tubo de Pitot en la sección transversal de la entrada y salida del canal y con estas se calculan las velocidades locales, se observa que existe una variación de velocidad de un punto a otro.

Realizar experimentos adicionales con diferentes valores de pendiente "i" y profundidad "d" y encontrar los valores correspondientes a "C" y "F".

II CAMBIOS DE ENERGIA EN EL CANAL. LA ONDA DE ESTANCA MIENTO.

Para los siguientes experimentos, se interponen algunos obstáculos al paso del agua con la intención de crear discontinuidad en el régimen del flujo. Pueden suceder cambios considerados que el factor por fricción estudiado con anterioridad, será ahora de un valor despreciable.

El elemento particularmente utilizado en este experimento es una compuerta, que obliga al agua a fluir por debajo, incrementando su velocidad.

La compuerta deberá montarse aproximadamente a $1/3$ del canal del extremo de entrada, con una abertura "D" de 150 mm - aproximadamente.

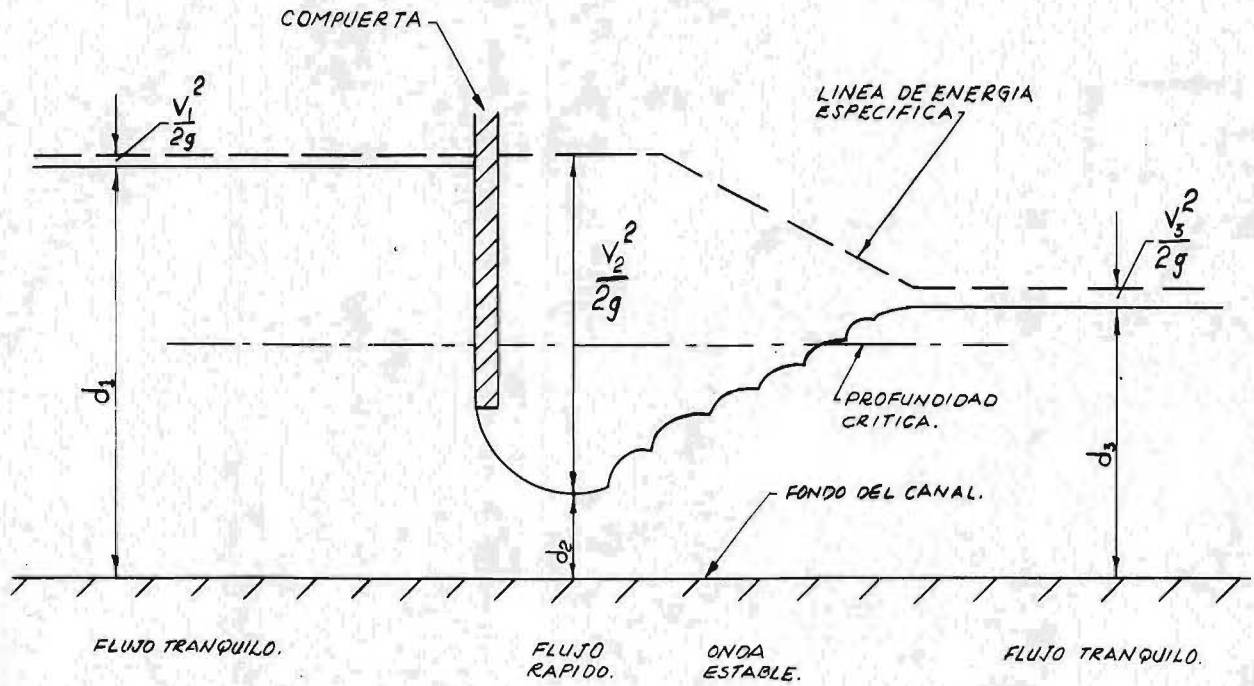
Con la compuerta de descarga totalmente abierta, regular el gasto con la válvula de control hasta obtener una profundidad a la entrada del canal de aproximadamente 250 mm. El ca--nal deberá estar horizontal con pendiente cero.

La apariencia de la superficie del agua, según los anteriores experimentos, indica que el flujo antes de la compuerta es tranquilo y posteriormente se transforma en rápido.

A la salida del canal, una onda de estancamiento puede generarse si se sube paulatinamente la compuerta de descarga del canal. Si se continúa subiendo la compuerta de descarga, la onda comenzará a avanzar hacia la otra compuerta, incrementando su profundidad mientras que en el indicador de profundidad de la entrada del canal, las condiciones permanecen constantes.

Cuando la onda ha avanzado, la vena contraída (punto por debajo de la compuerta que da la impresión de tomar la forma de corrientes paralelas) permite su estabilización a lo largo del canal. Entonces, registrar las profundidades antes de la compuerta, en la vena contraída y después de la compuerta donde la onda se ha estabilizado.

La Fig. No. 4.15.2 muestra la línea de energía específica en los tres puntos; la línea del agua y la línea correspondiente a la profundidad crítica. Esto confirma que al pasar el agua por debajo de la compuerta, el régimen de flujo cambia



ONDA ESTABLE AGUAS ABAJO DE UNA COMPUERTA.

FIG. NO. 4.15.2.

DIBUJO: A. A. H.

desde tranquilo a rápido, siendo despreciables las pérdidas de energía.

II.A ALTURA DE UNA ONDA DE ESTANCAMIENTO.

Idealmente, la altura de una onda totalmente desarrollada en un canal rectangular, puede determinarse con la siguiente fórmula:

$$d_3 = \frac{d_2}{2} \sqrt{\frac{2v_2^2}{g} \frac{d_2}{d_3} + \frac{d_2^2}{4}}$$

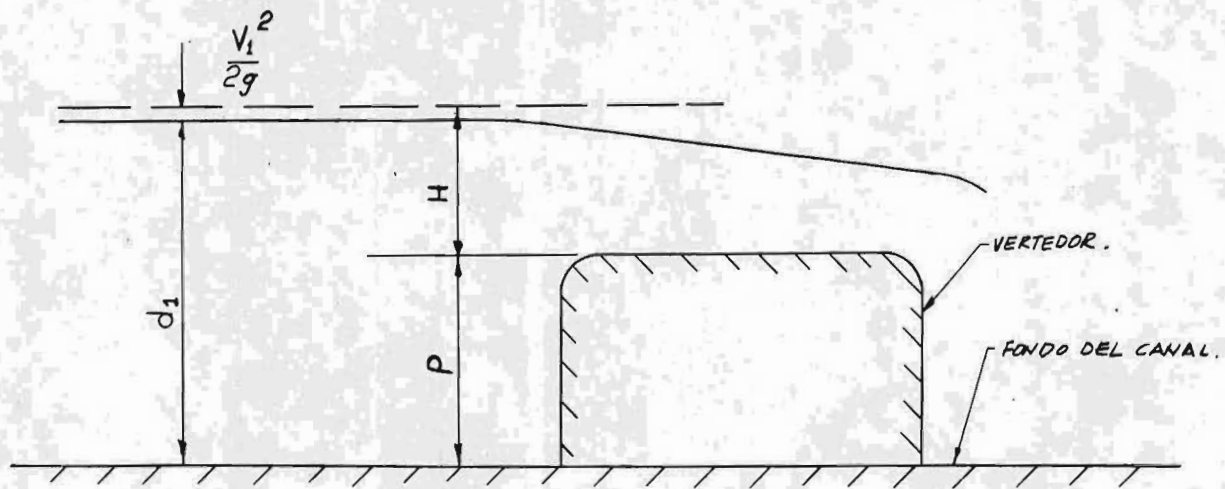
Dónde:

d_3 = Profundidad de la onda (m).

d_2 = Profundidad de la venta contraída (m).

III. FLUJO SOBRE COMPUERTAS.

El propósito de estos experimentos es estudiar las perturbaciones en el flujo creadas por una obstrucción o elemento de control que descansa sobre el asiento del canal. Las dimensiones significativas ahora pueden ser la profundidad del agua sobre la cresta o superficie superior del vertedor y su relación para determinar el gasto, como lo muestra la Fig. No. 4.15.3. Si



FLUJO SOBRE VERTEADOR DE PARED GRUESA.

FIG NO 4.15.3.

DIBUJO: A.A.H

esta relación es cuidadosamente definida, entonces el vertedor servirá como otro medio para medir el gasto sobre el canal.

III. A VERTEDOR DE PARED GRUESA.

En este experimento, la cresta del vertedor tiene la forma de una superficie plana paralela a la plantilla del canal, según se observa en la Fig. No. 4.15.3; la altura del vertedor en relación al fondo del canal se designa con la "P". El agua pasa sobre la cresta como una hoja paralela cuya profundidad o espesor es igual a la profundidad crítica "dc" y entonces el gasto "Q" se determina con la siguiente fórmula:

$$Q = C (0.546 b) g^{1/2} H^{3/2}$$

Dónde:

C = Coeficiente experimental (adimensional).

b = Ancho del canal (m).

g = Constante gravitacional (m/seg²).

H = Energía total del agua a la entrada el canal tomando como línea de referencia, la cresta del vertedor (m).

En gastos grandes, el agua aún continúa su pendiente de salida después de dejar la cresta del vertedor; Por otra parte, si el agua fluye a alta velocidad sobre el vertedor, el agua puede sufrir apreciables pérdidas por fricción. Estas divergencias con relación a las condiciones ideales serán reflejadas en el coeficiente "C".

Estos experimentos se realizan con el vertedor colocado aproximadamente a $2/3$ de la longitud del canal. Los medidores de profundidad colocados a un metro de distancia antes y después del vertedor.

Los resultados se pueden lograr como sigue:

1. Calcular el Gasto "Q" (m^3/seg).
2. Calcular la Velocidad media "v" (m/seg).
3. La altura "P" del vertedor es 0.1505 m.
4. La Energía de velocidad a la entrada del canal es:

$$E_1 = v_1^2 / 2 g$$

dónde " v_1 " es la velocidad media calculada (m/seg).

5. La energía "H" total del agua, calculada a la entrada del canal tomando como base la altura del vertedor, es:

$$H = d_1 - P + v_1^2 / 2g$$

Dónde:

d_1 = Profundidad a la entrada el canal (m).

Con estos valores se determina el valor del coeficiente "C".

III.B DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN LA CRESTA DEL VERTEDOR.

Usando el tubo de Pitot, realice una serie de lecturas a lo largo de una línea vertical cerca del final del vertedor y determine las velocidades. ¿ Corresponden a una distribución uniforme como lo supone la expresión algebraica de este vertedor?

III.C EFECTOS AGUAS ABAJO DEL VERTEDOR.

Hasta este momento, la profundidad del agua después del vertedor no puede influir en el flujo que fluye sobre el vertedor. Estas condiciones se conocen como descarga libre.

Si la profundidad posterior al vertedor se incrementa, se observará que la onda de estancamiento avanza aguas arriba. Para demostrar esto subir gradualmente la compuerta de descarga como se ha realizado en anteriores experimentos; la profundidad máxima " d_3 " después del vertedor no afectará a la profundidad " d_1 " antes del vertedor si el límite de sumergencia es menor a la unidad.

La relación $(d_3 - P) / (d_1 - P)$ se conoce como límite de sumergencia o límite modular.

Esto significa que aunque el vertedor esté sumergido y la profundidad aguas abajo del vertedor esté sustancialmente por encima de la cresta del vertedor, la caída sigue siendo libre - sin obstrucciones y por lo tanto se puede aforar con el vertedor.

III.D VERTEDOR SIN CONTRACCIONES LATERALES, DE PARED DELGADA.

Este vertedor tiene la forma de un divisor vertical - que se extiende a todo lo ancho del canal. El agua fluye sobre la parte aguda del vertedor. La razón de adaptar este tipo de vertedor es porque precisa la medición del gasto y su comportamiento es importante.

Al investigar la relación carga-gasto probable, se supone que prevalece una distribución de velocidades uniforme en la parte superior del vertedor; pero a causa de la contracción sufrida por el agua en la sección transversal del vertedor, después de que el agua ha dejado atrás la cresta del vertedor, no puede predecirse el espesor efectivo del agua sobre el vertedor. Por esta razón, para determinar el gasto se recomienda utilizar una ecuación básica que aunque carece de justificación teórica, es prácticamente aceptable. Esta ecuación es:

$$Q = C (0.94 b) g^{1/2} h_w^{3/2}$$

Dónde:

$$Q = \text{Gasto (m}^3\text{/seg)}.$$

b = Ancho del canal (m).

h_w = Carga sobre la cresta del vertedor (m).

C = Coeficiente experimental (adimensional).

g = Constante gravitacional (m/seg^2).

Realizar un ejercicio para determinar " C " calculando el gasto como se explica al principio de esta práctica.

III.E VERTEDOR DE PARED DELGADA CON CONTRACCIONES LATERALES.

En este vertedor, el ancho de la abertura es menor que el ancho del canal. Las contracciones laterales impuestas al flujo, varían el valor del coeficiente " C " determinando en la sección III.D en condiciones semejantes de flujo.

Realizar un experimento repitiendo las instrucciones de la sección III.D.

IV. FLUJO A TRAVÉS DE UNA GARGANTA.

Cuando el agua fluye a través de una garganta, existe un reordenamiento de cargas de presión y velocidad. El elemento ex-

perimental que se utiliza para este experimento, ha sido realizado con cuidadoso tensor, de ensamble tipo paredes aerodinámicas que le dan la forma de un "venturi"; por esta razón, en condiciones favorables las pérdidas totales de energía del agua al fluir por este punto son despreciables.

Con la compuerta del canal totalmente abierta, el venturi es como un vertedor angosto de pared gruesa de altura cero; lo cual indica que se pueden realizar experimentos siguiendo las instrucciones de la sección III.A.

- Calcular el valor del coeficiente "C" a varios gastos.
- Registrar la distribución de velocidades que exista en una línea vertical exactamente en la zona de ensanchamiento del venturi.
- Determinar el límite de sumergencia (o límite modular).

Al interpretar los resultados de estos experimentos, el nuevo factor para ser tomado en cuenta es la forma curvada de las paredes por donde pasa el agua. Como el agua no se mueve a lo largo de planos paralelos como lo hace en el canal sin obstrucciones, es difícil que los resultados de los anteriores experimentos sean exactamente reproducidos.

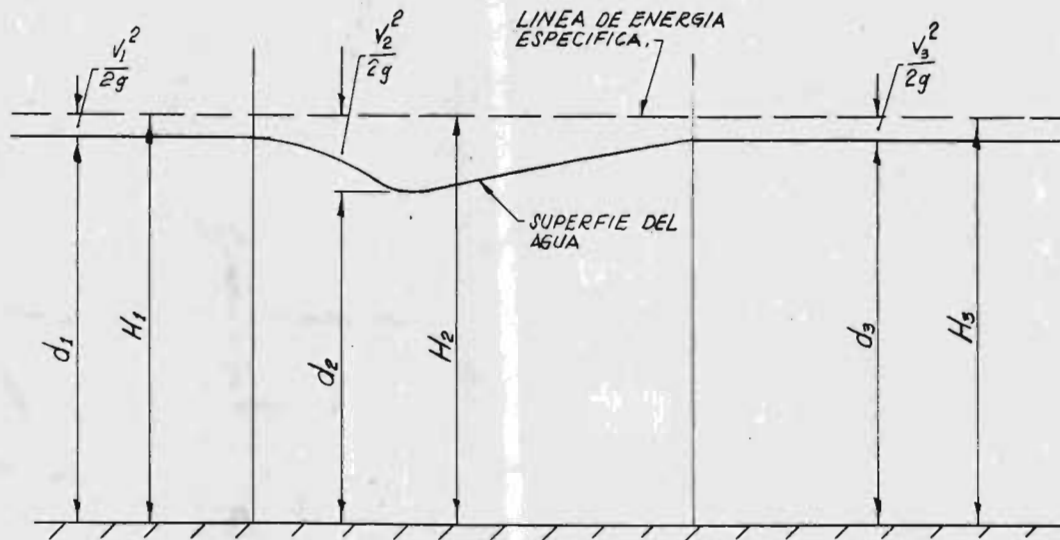
Esto no será del todo sorpresivo si los valores del coeficiente "C" derivados de estos experimentos son un poco mayores que la unidad.

V. VENTURI AHOGADO.

El comportamiento de la onda de estancamiento en la parte de divergencia aguas abajo del venturi, puede variar con respecto al canal sin obstrucción; para este pasaje de divergencia se fomenta una recuperación de carga y por consiguiente, un mejoramiento en el radio de sumergencia.

Las ventajas de los pasajes de divergencia se pueden apreciar mejor cuando el venturi está completamente ahogado; es decir; cuando la profundidad del agua en todo el canal está por encima de la profundidad crítica y el flujo es tranquilo.

Para estar seguros que estas condiciones están en vigor, primero regular el gasto para dar un flujo crítico sobre el venturi como se indica en el párrafo anterior, subiendo la compuerta del canal hasta que la profundidad del agua en la salida del canal haya alcanzado el límite modular; entonces incrementar la profundidad en la descarga (subiendo la compuerta) hasta que la onda



CANAL CON EL VENTURI SUMERGIDO.

FIG. NO. 4.15.4.

DIBUJO: A.A.H.

de estancamiento se interrumpa en la garganta del venturi. Ahora registre las profundidades al principio del canal (antes del venturi), en el venturi y después del venturi.

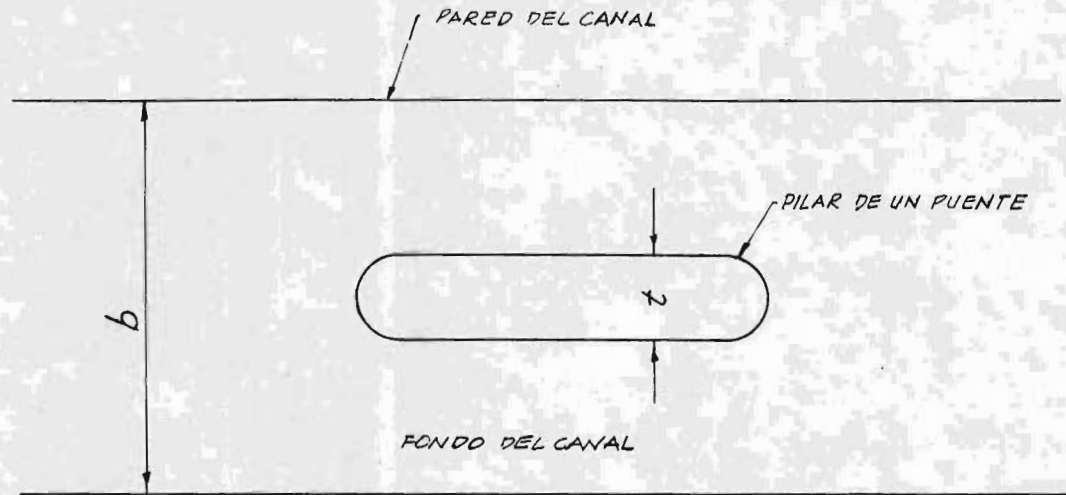
Con estos datos, y con el gasto " Q " calculado, hacer una gráfica parecida a la Fig. No. 4.15.4 indicando la energía específica en estos tres puntos.

VI. FLUJO POR EL PILOTE DE UN PUENTE.

En la Fig. No. 4.15.5 se muestra el pilote de un puente colocado a la mitad del canal; las condiciones de flujo son comparables con el venturi. El espesor " b_w " insertado en el vertedor de pared gruesa (fórmula de la sección III.A), será ahora $(b-t)$ donde " t " es el espesor transversal del pilote.

Comparando el comportamiento de un pilote de contornos redondeados con otro de contornos escuadrados, se espera que el último tenga un coeficiente " C " de menor valor como consecuencia de las contracciones impuestas por la forma de las paredes del pilote.

Desde un punto de vista de enseñanza, los experimentos -



PILAR DE UN PUENTE EN EL CANAL
FIG. NO 4.15.5.

con pilares tienen ventajas sobre los experimentos con el venturi, ya que los perfiles del agua son visibles por todos los lados.

VII. FLUJO POR DEBAJO Y ENTRE COMPUERTAS.

Cuando el agua fluye a través de aberturas entre compuertas, las condiciones ahora se asemejan a las que prevalecen cuando el agua fluye a través de un orificio de aforo. Las fórmulas que se han expuesto para vertedores no son aplicables.

VII.A FLUJO ENTRE COMPUERTA SUPERIOR Y EL FONDO DEL CANAL.

Observando la Fig. No. 4.15.2, el gasto que fluye por debajo de la compuerta será:

$$Q = K a \sqrt{2g (H_1 - n D)}$$

Donde intervienen los siguientes componentes:

b = Ancho de abertura del vertedor (m).

D = Altura desde el fondo del canal hasta la abertura de la compuerta (m).

$a = (b D)$ Area de la abertura del vertedor (m^2).

H_1 = Energía específica del agua a la entrada del canal (m).

Q = Gasto (m^3/seg).

K = Coeficiente adimensional.

n = Coeficiente adimensional.

El fabricante de este canal de pruebas indica que el valor de " K " y " n " es 0.612. Si se desea conocer en forma experimental el valor de " n ", utilizar la siguiente fórmula:

$$n = d_2/D$$

donde d_2 es la profundidad de la vena contraída (m). Y para determinar el valor experimental de " K ", es válido suponer $n = 0.612$ substituído en la fórmula del gasto expuesta en esta sección.

VII.B DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN LA VENA CONTRAIDA.

Las investigaciones con el tubo de Pitot en esta zona son de particular importancia, ya que nos deberían demostrar que en esta zona existe una distribución uniforme. Realizarse en la vena contracta en una línea vertical ascendente obteniendo resultado y conclusiones al respecto.

RESULTADOS:

De todos los resultados aquí realizados, se recomienda que los alumnos realicen una tabla, separando cuidadosamente los resultados de cada sección. En forma adicional, realizar las gráficas solicitadas.

CONCLUSIONES:

Como conclusiones, los alumnos darán su recomendación para realizar mayor cantidad de experimentos así como perfeccionar la calidad de los que se han expuesto.

PRACTICA NO. 16

GOLPE DE ARIETE

OBJETIVO:

Al final de esta práctica, el alumno habrá conocido y observado en un osciloscopio, la acción del fenómeno denominado "golpe de ariete".

GENERALIDADES:

Para entender de otra manera el fenómeno denominado "Golpe de Ariete" (también denominado "Golpe hidráulico"), se presenta un problema similar que sucede a menudo en un tren de ferrocarril:

La serie de sucesos que tienen lugar en una tubería al presentarse el fenómeno citado, pueden compararse con la rápida detención de un pesado tren cuando éste choca con un objeto inmóvil. El vagón que va atrás de la máquina, comprime al muelle de unión y se detiene ejerciendo una fuerza contra ésta; cada vagón, por orden, se

mueve a su velocidad normal hasta que el anterior queda bruscamente en reposo. Cuando el furgón del final llega a quedarse quieto, toda la energía que llevaba el tren está almacenada en los muelles de unión, despreciando las pérdidas. Como sobre el furgón no actúa fuerza alguna, empezará a moverse hacia atrás liberando el vagón anterior de la fuerza del muelle, con lo que éste empezará a moverse hacia atrás, y así sucesivamente. Esta acción parece como una onda dirigida hacia la máquina, produciendo el movimiento de cada vagón hacia atrás con una velocidad igual a la de antes del choque. Si se supone que la máquina ha quedado inmóvil, el vagón próximo a ella se detiene debido a que el muelle de unión entre éste y aquella le impide continuar el movimiento, análogamente a lo que sucede con la onda de baja presión que se origina en el golpe de ariete. El proceso se repite vagón por vagón hasta que el tren se detiene de nuevo con todos los muelles de unión en tensión. El furgón es entonces atraído por la fuerza elástica del muelle lo que une al vagón anterior y empieza a moverse hacia adelante, siendo seguido a continuación por los otros vagones. Cuando esta onda alcanza la máquina, todos los vagones están en movimiento como antes del choque. Entonces se repite de nuevo el ciclo. El rozamiento actúa de tal manera que la energía se reduce a cero después de unos cuantos ciclos.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

El golpe de ariete puede presentarse aguas arriba o aguas abajo de una válvula en una tubería. Al cerrar bruscamente una válvula, la cantidad de movimiento de aguas arriba debe reducirse a cero muy rápidamente, lo que origina una gran presión en la válvula y causa una onda de alta presión que se mueve aguas arriba de la válvula. Por otro lado, aguas abajo de la válvula, la cantidad de movimiento del líquido hace que éste continúe moviéndose hacia aguas abajo a menos que la presión estática sea suficientemente alta para hacerlo permanecer en reposo, en tanto la presión se reduce en la válvula. Generalmente, el fenómeno de cavitación se presenta aguas abajo. Eventualmente, el líquido llega al reposo y después es acelerado aguas arriba hacia la válvula condensando el vapor y permitiendo el impacto de la columna líquida contra la válvula. Esto desarrolla una onda de alta presión que se mueve aguas abajo.

Al solucionar problemas de golpe de ariete, intervienen la compresibilidad del líquido y la elasticidad de las paredes de la tubería. Se aplican dos ecuaciones fundamentales de la mecánica, en el análisis del golpe de ariete: La segunda ley de Newton

del movimiento y la ecuación de continuidad.

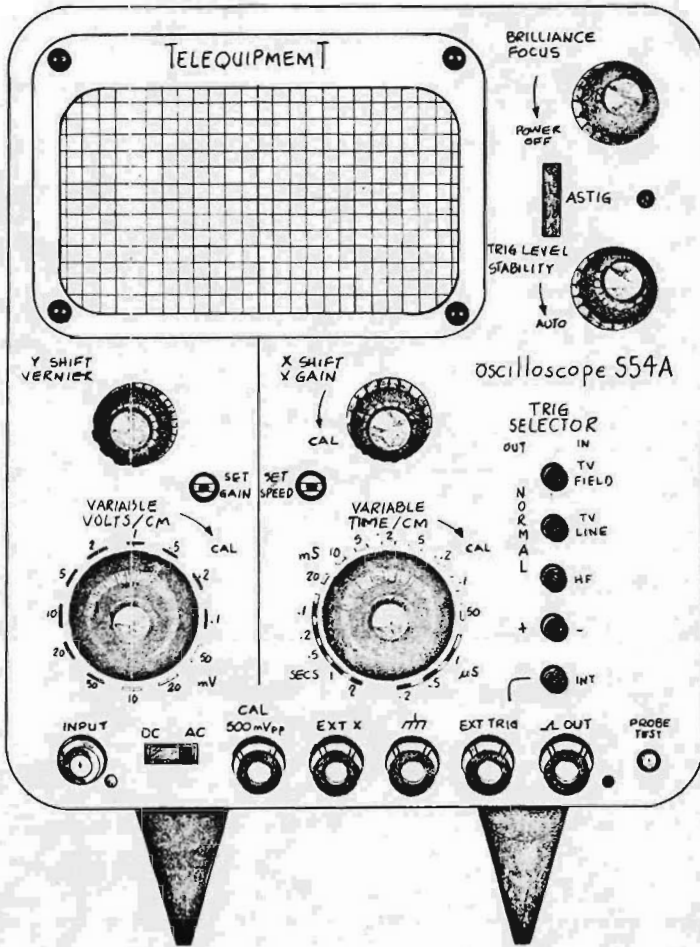
EQUIPO REQUERIDO:

En la sección No. III.3.16 se ha explicado previamente el equipo denominado golpe de ariete. Y para desarrollar esta práctica, se requiere de un recipiente elevado a 3 m de altura aproximadamente, con 2 m³ de capacidad, lo que permita tener una presión desde 3 hasta 4.5 m columna de agua; esto se debe a que la línea de agua potable de la Escuela tiene poca presión. Los instrumentos adicionales que se requieren para realizar un experimento es una cámara fotográfica tipo instantánea (ó cualquier otra) y un osciloscopio.

USO DEL EQUIPO:

En esta sección se dan las instrucciones necesarias relacionadas con el equipo que se utiliza para experimentar el golpe de ariete.

1º Equipo hidráulico: Este equipo es la tubería de alimentación, el tubo en forma de espiral y las válvulas manuales, válvula eléctrica, manómetro y transductor. Para realizar un experimento, co



OSCILLOSCOPIO.
FIG. NO. 4.16.1

nectar la manguera de suministro de agua al sistema y abrir la válvula que alimenta al equipo. Abrir la válvula auxiliar identificada por la leyenda "BY-PASS". Abrir la válvula de descarga de agua; permitir que el agua fluya por unos dos ó tres minutos para descargar posibles burbujas de agua en el sistema. Al cerrar la válvula de descarga, el manómetro indicará ahora la presión existente en la línea y el golpe de ariete sucede al cerrar la válvula auxiliar y al cerrar la válvula eléctrica por unos segundos (10 máximo).

2º Equipo electrónico: El equipo electrónico a utilizar es un osciloscopio. Su funcionamiento y aplicación se explican en seguida (ver la Fig. No. 4.16.1):

- El osciloscopio está listo para usarse; verifique que la perilla selectora de voltaje esté en posición adecuada, señalando el voltaje de suministro eléctrico disponible para este aparato: (A.C. 100 Volts).

Coloque los controles frontales del osciloscopio de la siguiente manera (Ver la Fig. No. 4.16.1):

"BRILLANCE": - Gírese totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj; es decir, en posición "POWER OFF".

"FOCUS": - Posición centrada.

- "ASTIG": - Posición centrada.
- "TRIG LEVEL": - Gírese totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj; es decir, en posición "AUTO".
- "STABILITY": - Gírese totalmente en el sentido de las manecillas del reloj.
- "TRIG SELECTOR": - Todos los botones en posición "NORMAL", "+", e - "INT".
- "X SHIFT": - Posición centrada.
- "Y GAIN": - Gírese totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- "TIME/CM": - Indicando 5 m-seg.
- "VARIABLE": - Gírese totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- "Y SHIFT": - Posición centrada.
- "VERNIER": - Posición centrada.
- "VOLTS/CM": - Indicando 100 m-V.
- "VARIABLE": - Gírese totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- "DC-AC": - Posición "AC".

Enlace "INPUT" y "CAL" 500 m Vp-p.

Conecte el conductor al suministro eléctrico (localizado en la mesa del sistema) y energice con el "POWER OFF/BRILLANCE".

Permita que el osciloscopio se caliente por espacio de uno a dos minutos. Posteriormente, gire el selector "BRILLANCE" en sentido de las manecillas del reloj, hasta obtener una conveniente intensidad en la pantalla.

Centre la señal recibida con "Y SHIFT" y "X SHIFT".

Para estabilizar la señal, gire en sentido de las manecillas del reloj el selector "STABILITY".

Para mejor definición de la señal, ajuste los selectores "FOCUS" y "ASTIG".

La forma de la señal deberá estar ahora en la siguiente presentación: de 2 a 5 ciclos con 5 cm de amplitud. Si se desea otra presentación, use los selectores "VOLTS/CM" y "TIME/CM".

3º Cámara fotográfica: Algunas recomendaciones para su manejo, aparecen al reverso de la cámara y otras en la película que se utiliza en este equipo. Antes de proceder con la operación de la cámara, consultar con el maestro de laboratorio. Las siguientes instrucciones son relacionadas a su funcionamiento en conjunto con el osciloscopio:

- Ensamble la cámara al osciloscopio oprimiendo el portador de la cámara con la tapadera del osciloscopio. La cámara se abisagra al portador y puede ser girada a una posición que per-

mita la observación de la pantalla del osciloscopio. Verifique que el aparato opere correctamente y coloque la cámara en posición girándola. Gire la perilla color rojo totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj para incrementar al máximo la abertura del lente.

SECUENCIA DE MEDICIONES Y RESULTADOS:

Las siguientes instrucciones resumen las actividades para obtener resultados:

Interconectar todos los suministros al equipo como son: alimentación de agua; descarga de agua al drenaje; osciloscopio y cámara en posición y los suministros eléctricos conectados a la línea de 110 Volts. Para observar las ondas de presión en el osciloscopio, situe el selector "TRIG LEVEL" en posición media; situe el selector "X SHIFT" para observar el trazo a mano izquierda de la pantalla. Gire en sentido contrario a las manecillas del reloj al selector "STABILITY" hasta que el trazo desaparezca. Coloque el selector "TIME/CM" indicando 50 m-seg. Con la válvula de descarga cerrada, ajuste la presión de operación registrada en el manómetro regulando ésta con la válvula denominada "BY-PASS". Nuevamente abra la válvula de descarga de tal suerte que fluyan no más -

de 6 Li/min (esto se logra con una probeta graduada y con un cronómetro).

Al mover el interruptor de la válvula solenoide en posición "SHUT" (esta posición es momentánea por lo que hay que permanecer oprimiendo este interruptor) la válvula solenoide está ahora cerrada y una onda de presión ha sido generada en la tubería en espiral. Simultáneamente, un trazo deberá aparecer en la pantalla del osciloscopio; la base representa en tiempo a una escala de 1 cm - 50 mseg y la vertical ("Y SHIFT") representa la presión a una escala de 3.16 Bar por cm. Si la primera presión de prueba es de 1 Bar, la onda apenas si es apreciable. Para examinar esta onda con mayor detalle, incremente el selector "TIME/CM" a otra posición (por ejemplo 20 m-seg); la imagen se puede centrar con los selectores "X SHIFT" e "Y SHIFT".

Para imprimir una fotografía de este fenómeno, tomar en consideración lo siguiente: La cámara y la válvula solenoide se operan al mismo tiempo (primero la válvula solenoide, después centrar la onda y calibrarla e inmediatamente imprimir la fotografía). Estos fenómenos son tan repentinos que no se debe perder nada de tiempo: Mantener la perilla roja de la cámara presionada para abrir el obturador estando la perilla en posición hacia abajo; tan

rápido como sea posible, mueva el interruptor de la válvula solenoide en posición "SHUT"; después de dos a cinco segundos, suelte la perilla roja de la cámara y la cámara fotografiará la pantalla del osciloscopio ; posteriormente, puede soltar el interruptor de la válvula solenoide.

Para remover la película de la cámara, guiarse por las instrucciones que aparecen en el reverso de la cámara.

Repetir el experimento por lo menos unas cinco veces - imprimiendo más fotografías, a mayores presiones.

El alumno, basado en los conocimientos teóricos relacionados con el tema, anexará un reporte explicando en forma detallada las onda resultantes de cada experimento, analizando las fotografías.

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto en los anteriores capítulos, se concluye lo siguiente:

- Los objetivos generales de este trabajo se lograron, en su primera etapa, al concluir este trabajo. La segunda parte queda en manos de los titulares del laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos quienes son responsables de coordinar que los alumnos se capaciten y realicen prácticas.

- Los métodos de enseñanza-aprendizaje representan una proposición, la cual parte de la base de que los Catedráticos tienen una preparación adecuada en lo cultural y principalmente en lo educacional. Esto significa que la facilidad que tienen de transmitir conocimientos es mayor al tener conocimientos pedagógicos y al interesarse en los métodos propuestos en el Capítulo III de este trabajo.

- La figura presentada como distribución actual de equipo en el Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos, no signifi

ca que no se puedan reacomodar los equipos y redistribuirlos de acuerdo a la imaginación de nuevos catedráticos.

- Las figuras presentadas en el Capítulo III, después de explicado un equipo, representan una ayuda adicional a los alumnos para conocer oportunamente el equipo en el que se experimentará. Esto facilitará trabajar en el mismo, ya que se conocen - equipos e instrumentos antes de realizar experimentos.

- Los conceptos fundamentales sobre los fluidos que se manejan en el laboratorio y sobre algunos equipos (especialmente turbomáquinas) que se han presentado en el Capítulo IV, pretenden recordar y tener una base instantánea al momento de experimentar y obtener resultados de las prácticas. Los conocimientos fundamentales transmitidos en clase, son los que imperan en todo momento.

- Los parámetros de cada fórmula se les ha colocado el significado respectivo y la unidad en que se miden en forma explicativa. Esto con la finalidad de evitar confusiones, ya que - mientras en una práctica se indica que "P" significa "presión" - con unidades " Kg/cm^2 ", en otra práctica significa, por ejemplo, "perímetro mojado" con unidades " m^2 " (metros cuadrados).

- Las prácticas descritas significan la mayor utilidad que se obtiene de los equipos e instalaciones del laboratorio. Las 16 prácticas describen que se tienen que realizar únicamente 16 experimentos. Sin embargo y por poner un ejemplo, de la instalación - ORIFICIO DE AFORO se podrían tener tres prácticas, ya que la instalación tiene tres orificios de aforo, los cuales se pueden experimentar por los dos métodos expuestos en la práctica No. 3. Esto - significa que queda por el titular del laboratorio el precisar de cada práctica aquí descrita, la cantidad de experimentos en que se subdividirá cada práctica.

- De acuerdo a la experiencia que se ha obtenido al realizar este trabajo, se hace la observación de que las unidades indicadas en las fórmulas no siempre son homogéneas. Por consiguiente, referirse a la bibliografía que se ha consultado y que aparece en las siguientes páginas.

- Finalmente y en base a la experiencia que se ha tenido por parte de maestros de laboratorio que por algunos períodos han realizado experimentos en el mismo, se recomienda que los grupos de alumnos que se integren para trabajar con los equipos e instalaciones, nunca sean mayores a cuatro alumnos; ya que por ejemplo, mientras que para experimentar con el Aparato de Hare, Aparato de Reynolds y otros más son suficientes dos alumnos, para experimen-

tar con el Canal Universal o con las Máquinas Universales de Flu
jos Radial y Axial se necesita un máximo de cuatro alumnos.

De esta manera se ha concluido con la realización de un
trabajo que traerá beneficios a los alumnos de las carreras de -
Ingeniería de la ENEP "Aragón" y a los catedráticos que se asig-
nan a la difícil labor de transmitir conocimientos para preparar
y capacitar a futuros profesionistas en las áreas de Hidráulica
y Mecánica de Fluidos.

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

- M. Rita Ferrini.
Bases Didácticas para la Educación Dinámica.
Editorial Progreso, S.A. 4a. Edición. 1976.

- E. García González y H. M. Rodríguez Cruz.
El Maestro y los Métodos de Enseñanza. Libro I.
ANUIES. 2a. Edición. 1974.

- H. Bach.
Cómo Preparar Clases.
Editorial Kapelusz B. Aires. 1967.

- W. McKeachie.
Métodos de Enseñanza.
Editorial Guerrero, S. A. 1970.

- J. P. Holman.
Métodos Experimentales para Ingenieros.
McGRAW-HILL de México, S. A. de C.V. 1979.

- Claudio Mataix.
Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.
HARLA. 1972.

- Victor L. Streeter.
Mecánica de los Fluidos.
McGRAW-HILL de México, S. A. de C.V. 4a. Edición.

- I. J. Karassik y R. Carter.
Bombas Centrifugas.
C.E.C.S.A. 1978.

- M. Viejo Zubicaray.
Bombas. Teoría, Diseño y Selección.
LIMUSA. 2a. Edición.
- Gilberto Sotelo Avila.
Hidráulica General. Volumen I.
LIMUSA. 1a. Edición.
- Gilberto Sotelo Avila.
Hidráulica General. Volumen II.
LIMUSA. 1a. Edición.
- CRANE CO.
Flow of Fluids through valves, fittings, and pipe.
- GILBERT GILKES AND GORDON LTD.
Operating and Maintenance.
- GILBERT GILKES AND GORDON LTD.
Educational value of tutor.
- GILBERT GILKES AND GORDON LTD.
Universal Radial Flow Machines Apparatus.
- GILBERT GILKES AND GORDON LTD.
Universal Axial Flow Machines Apparatus.
- PLINT AND PARTNERS LTD.
Gear Pump Test Set.
- PLINT AND PARTNERS LTD.
Piston Pump Set.
- PLINT AND PARTNERS LTD.
Universal Modular Flow Channels.