

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ Proyecto de Implementación y Adecuación de los Cursos de
“ Laboratorio de Energía ” , a Traves de la
Capacidad Instalada en las Plantas Piloto de Conservas y
Alcoholes y otros, en la Universidad San Luis Gonzaga de Ica”**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

RAUL E. CHACALTANA HERENCIA

PROMOCION : 1978 - 2

LIMA • PERU • 1986

IV

I N D I C E

C A P I T U L O 1

INTRODUCCION 04

C A P I T U L O 2

DESCRIPCION GENERAL DE LA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA (F.I.M.E.) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL " SAN -
LUIS GONZAGA" DE ICA 08

2.1 Breve Reseña Histórica 08

2.2 Curriculum Restructurado, Laboratorios y Talleres en
la F.I.M.E. 09

2.3 El Perfil Profesional del Ingeniero Mecánico - Elec-
tricista 11

C A P I T U L O 3

OBJETIVOS DEL PROYECTO Y SU FACTIBILIDAD 15

3.1 Objetivo Académico 15

3.2 Objetivo de Proyección Social 16

3.3 Factibilidad con respecto a los Laboratorios de Quí-
mica 16

3.4 Factibilidad con respecto a las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes	20
3.5 Factibilidad Financiera, en cuanto a la Implementación de los "Laboratorios de Energía"	23
3.5.1 Requerimientos mínimos en la Primera Etapa	24
3.5.2 Financiamiento de la Segunda Etapa	29

PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO

C A P I T U L O 4

DESARROLLO Y ADECUACION DEL "LABORATORIO DE ENERGIA I"....	52
4.1 Manual de Experiencias para el Curso de Laboratorio de Energía I	52
I Introducción al curso	53
II Mediciones de Temperatura	66
III Mediciones de Presión	93
IV Procesos con Gases	120
V Mediciones de Densidad, Peso Específico y Gravedad Específica. Determinación de la Viscosidad ..	134
VI Determinación del punto de Inflamación y de Combustión. Mediciones de Desplazamiento, Velocidad y Area	
VII Termoquímica. Poder calorífico de los Combustibles. Presión de Vapor, - Calor Latente	171

VI

VIII Fuerza Electromotriz de Celdas Electroquímicas.
Baterías - Análisis de Agua 186

4.2 Aplicación de las Experiencias en el Curso de Laboratorio de Energía I 208

(Exp. II 208, Exp. III 213, Exp. IV 219, Exp. V 235, Exp. VI 253, Exp. VII 255, Exp. VIII 265).

C A P I T U L O 5

DESARROLLO Y ADECUACION DEL "LABORATORIO DE ENERGIA II".... 276

5.1 Manual de Experiencias para el Curso de Laboratorio de Energía II 276

I Descripción General de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes - Evaluaciones Preliminares 277

II Medición de la Humedad. Determinación de los Estados de Vapor 302

III Flujos - Medición de Caudales 319

IV Flujo en Tuberías - Pérdidas en Instalaciones con Agua 364

V Escurrimiento - Compresores 381

VI Bombas Centrífugas y de Profundidad 409

5.2 Aplicación de las Experiencias en el Curso de Laboratorio de Energía II 455

VII

(Exp. I 455, Exp. II 465, Exp. III 471, Exp. IV 484,
Exp. V 492, Exp. VI 533).

C A P I T U L O 6

DESARROLLO Y ADECUACION DEL "LABORATORIO DE ENERGIA III".....	547
6.1 Manual de Experiencias para el Curso de Laboratorio de Energía III	547
I Generadores de Vapor - Tratamiento de Agua	548
II Balance Térmico de un Generador de Vapor - Anali- sís de Gases	575
III Aislamiento Térmico - Tuberías y Pé rdidas en Ins- talaciones con Vapor	605
Balance Térmico: Triturador Precalentador - Auto- clave de Esterilización	636
V Balance Térmico: Esfera de Vacío - Recipientes de Cocción	645
VI Cámara de Refrigeración - El Mantenimiento en las Plantas Piloto	656
6.2 Aplicación de las Experiencias en el Curso de Laboratorio de Energía III	679

(Exp. I 679, Exp. II 685, Exp. III 701, Exp. IV 715,
Exp. V 723, Exp. VI 736).

VIII

SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO

C A P I T U L O 7

PROYECCION DEL LABORATORIO DE ENERGIA IV Y REDISTRIBUCION DE LOS LABORATORIOS DE ENRGIA A PARTIR DE SU PROPIA INFRA ESTRUCTURA	749
7.1 Relación de Experiencias a desarrollarse una vez adquiridas las Maquinarias y Dispositivos solicitados	749
7.2 Redistribución de las Experiencias en los Cursos de <u>La</u> laboratorios de Energía I, II, III y IV, una vez implementada la Infraestructura solicitada	751
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	754

P R O L O G O

En el Primer Capítulo se describe en forma genérica el propósito del presente Trabajo y su justificación a partir de las necesidades académicas existentes en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. En el Capítulo II se efectúa una descripción general de la F.I.M.E., señalando el Curriculum reestructurado y la situación de los Laboratorios y Talleres en la Facultad, asimismo se plantea actualizar y adecuar a nuestra realidad el perfil profesional del Ingeniero Mecánico Electricista. En el Capítulo III se señalan los Objetivos ha alcanzar, la factibilidad de utilizar los Laboratorios de Química y las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes para los Cursos de "Laboratorios de Energía" y la factibilidad financiera para la adecuación de estos cursos.

A partir del Capítulo IV consideramos la Primera Etapa del Proyecto que junto con los Capítulos V y VI comprenden la parte principal de este trabajo, donde se llevan a cabo el desarrollo y adecuación de los Laboratorios de Energía I, II y III respectivamente. Comprendiendo el Capítulo IV el Manual de Experiencias y su aplicación en el Curso de Laboratorio de Energía I que contiene principalmente el Tema de "Instrumentación" y algunas aplicaciones prácticas del curso de Físico - Química. El Capítulo V comprende el Manual de Experiencias y su aplicación en el Curso de Laboratorio de Energía II; que contiene principalmente "Eva--

luación de Maquinarias y Dispositivos Hidráulicos" en las Plantas Piloto. El Capítulo VI comprende el Manual de Experiencias y su Aplicación en el Curso de Laboratorio de Energía III; que contiene principalmente, "Evaluación de Maquinarias y Dispositivos Térmicos". Habiéndose planteado junto con el desarrollo y a decuación de estos tres cursos de Laboratorio, el dictado de los mismos a partir del año académico correspondiente al 85.

En la última parte que se ha denominado la segunda etapa del Proyecto, se deja planteada la posibilidad de implementar, en forma similar a la que se ha efectuado en los Capítulos ante riores, el Manual de Experiencias y su aplicación en el Proyec tado curso de Laboratorio de Energía IV y que comprendería principalmente "Evaluación de Máquinas Térmicas e Hidráulicas" que no se tienen actualmente y que su adquisición ha sido considera da en el presupuesto del año 85. Igualmente se plantea a partir de este hecho la redistribución de las experiencias en los cuat ro cursos de Laboratorios de Energía.

Quisiera en primer lugar, dejar constancia de mi reconocimiento y agradecimiento al Ingeniero Ernesto Sanguinetti R., -- quién ha asesorado esta Tesis. También debo agradecer la colaboración del Ingeniero Manuel Villavicencio. Igualmente, vaya mi agr adecimiento a los colegas de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Ica por su apoyo y aliento como son: Los Ingenieros Max Pérez, Teobaldo Pereyra, Henry Gue vara en especial, Juan Cáceres, Noemí Quintana, Abraham Manay -

entre otros. También a los alumnos que conformaron los grupos experimentales: Julio Geng, Angel Vega, Gilbert Valdivieso, Juan Tasayco y sus demás compañeros; ya que con su colaboración fué posible poner en práctica las experiencias diseñadas. De la misma manera - el agradecimiento para mis colegas de los Laboratorios de Química y de las Plantas Pilotos, quienes junto con los Trabajadores No-Docentes colaboraron en la implementación de las prácticas. Por último quiero agradecer a la Sra. Reyna Saravia, a la Sra. Leticia Purilla y a la Sra. Carmen Sigvas; quienes mecanografiaron este Trabajo.

C A P I T U L O 1

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

Durante la Carrera Profesional de Ingeniería se requieren - llevar una serie de Cursos de Laboratorios y Talleres que vienen a ser la parte práctica complementaria de los Cursos Teóricos Dentro de la Especialidad, tenemos el Area de Energía en la que están comprendidos los cursos de Físico - Química, Termodinámica I y II, Mecánica de Fluidos, Máquinas Hidráulicas, Fuerza Motriz Térmica, Máquinas Térmica, Refrigeración y Aire Acondicionado entre otros, no contando la gran mayoría de ellos con el complemento indispensable en la formación del Ingeniero Mecánico, que vienen a ser las prácticas de Laboratorio.

El presente Proyecto se propone llenar este vacío, inicialmente en una primera etapa, utilizando los recursos con que cuenta actualmente, la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica, como son: Las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes y los Laboratorios de Química, para desarrollar los cursos que se han denominado LABORATORIOS DE ENERGIA. Posteriormente, en una segunda etapa, se plantea la implementación de dichos Laboratorios con su propia infraestructura experimental y planta física en la

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, a partir de las cotizaciones que se han hecho llegar al "Presupuesto 85" de la Universidad, en el que se da cierta apertura para la adquisición de Maquinarias y Equipos de Laboratorios con fines académicos; a simismo, con la elaboración en forma paralela de algunos dispositivos experimentales que se pueden hacer en la Universidad, e incluyendo siempre las prácticas en las Plantas de Conservas y Alcoholes.

En la primera etapa se desarrollarán y adecuarán los cursos de "Laboratorio de Energía I" y "Laboratorio de Energía II y III". El curso de "Laboratorio de Energía I" se llevaría durante el 2º año Académico y vendría a ser la parte práctica del curso de Físico Química e incluiría "Instrumentación" que sería la herramienta básica para los cursos sucesivos de Laboratorio.

Los cursos de "Laboratorio de Energía II y III" se llevarán durante el 3º año Académico y comprenderían las partes prácticas de los cursos de Termodinámica I y II, Mecánica de Fluidos que se dictarán durante el mismo año académico y además prácticas elementales que le permita al estudiante conocer Maquinarias y Dispositivos que va ha estudiar en cursos posteriores como son Máquinas Hidráulicas, Transferencia de Calor, Máquinas Térmicas, Refrigeración y Aire Acondicionado. Estos cursos tratarían sobre: "Evaluación de Maquinarias y Dispositivos Térmicos e Hidráulicos".

En la segunda etapa se propone la implementación del curso de "Laboratorio de Energía IV". que se llevaría en el 4º año Aca-

démico y que está en función del financiamiento requerido, lo que plantearía una redistribución de las experiencias en forma sistemática y didáctica en los Laboratorios de Energía I, II, III y IV.

Así como tenemos cierta restricción para efectuar "Evaluaciones de Máquinas Térmicas e Hidráulicas", por que no contamos con algunas de ellas, a menos que se logre ejecutar su adquisición el próximo año por estar incluidas en el Presupuesto del 85, el propósito inmediato de este proyecto es aprovechar la capacidad instalada en las "Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes", para efectuar "Evaluaciones de Maquinarias y Dispositivos Térmicos e Hidráulicos", de la misma manera como se propone utilizar los Laboratorios de Química, para así poder comenzar a llevar durante el año 85 los cursos de "Laboratorios de Energía I, II y III."

Es propósito también de este proyecto aportar con algún elemento de juicio en lo que debería ser el "Perfil Profesional del Ingeniero Mecánico - Electricista" en los actuales momentos y para nuestra realidad. Conocido es que la formación profesional -- del Ingeniero Mecánico Electricista adolece de una vinculación constante con la parte práctica que debería tener la carrera, lo que origina muchas veces que la relación enseñanza - aprendizaje se desarrolle de un modo algo abstracto ya que no se logra identificar adecuadamente la teoría con la práctica, esto sucede con una mayor incidencia en las Universidades donde la Carrera Profe

sional de Ingeniería Mecánica - Eléctrica es relativamente nueva y/o no cuentan con la infraestructura de Laboratorios y Talleres que tiene por ejemplo la Universidad Nacional de Ingeniería.

En este contexto los Cursos de "Laboratorio de Energía I, II y III" pretenden no solamente ser la parte práctica de los cursos teóricos que se llevan en sus respectivos años como son Físico - Química, Termodinámica I y II y, Mecánica de Fluidos sino que plantean proyectarse al resto de cursos del área de Energía, vinculando y familiarizando al estudiante con los diferentes elementos mecánicos, mecanismos, maquinarias y dispositivos térmicos e hidráulicos que estudiaría en los cursos sucesivos, presentándoselos en una primera instancia, de una manera fundamental y descriptiva; para que posteriormente el estudiante pueda comprender, analizar y profundizar el estudio de estos elementos, en los cursos teóricos respectivos, con una mayor eficiencia. Aquí es donde se plantea un sistema que podría denominarse de "Retro Asimilación" y que consiste en que el alumno regrese a los Laboratorios para verificar su análisis teórico de tal manera que profundice y complemente las experiencias realizadas anteriormente; lo que podría llevarse a cabo en el curso de "Laboratorio de Energía IV".

C A P I T U L O 2

DESCRIPCION GENERAL DE LA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELÉCTRICA (F.I.M.E.) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" - DE ICA.

2.1 Breve Reseña Histórica.

La Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica, se crea por Ley N° 12495 de fecha 20.12.55 y da inicio a su vida institucional un 18.02.61 como consecuencia de un Cabildo Abierto realizado en la ciudad de Ica. Junto con ella nace la Facultad de Ingeniería, que comprende las carreras profesionales de Ingeniería-Mecánica-Eléctrica e Ingeniería Civil; desde ese entonces a la fecha han transcurrido 24 años y en ese lapso se han desarrollado inicialmente, ambas carreras como Programas Académicos con régimen semestral de estudios y Curriculum flexible en forma conjunta y, posteriormente por separado; para devenir en los actuales momentos en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y en la Facultad de Ingeniería Civil, con un sólo Decano, en forma transitoria.

Ya en el Sistema Facultativo y según el actual Estatuto de la Universidad "San Luis Gonzaga" que opta por el régimen anual-

de estudios con Currículum rígido, se da lugar a la reestructuración curricular de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. El Estatuto también determina que durante el año 84 se implementará en todas las Facultades de la Universidad el 1er, 2do y 3er año académico; quedando los alumnos que al inicio del año académico 84 se hayan matriculado en el 7mo, 8vo, 9no y 10mo Ciclo, con el régimen semestral y curriculum flexible hasta la finalización de su carrera profesional; debiendo implementarse, en forma gradual, el 4to año académico en el año 85 y el 5º año académico en el año 86.

Por otro lado, la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica tiene la particularidad, de que los tres primeros años de estudios se realizan en la ciudad de Ica y los últimos dos años en la ciudad de Lima. En parte por razones de disponibilidad de Talleres, Laboratorios y Personal Docente especializado y también por falta de una política consistente de implementación de la Facultad en la ciudad de Ica.

2.2 Currículum Reestructurado, Laboratorios y Talleres en la F.I.M.E.

El Currículum reestructurado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, en el apéndice que se adjunta comprende hasta el 3er año académico; el 4to y 5to. año están por reestructurarse.

Como se puede apreciar en el Currículum Reestructurado, se hacen figurar en el 1° y 2° año académico horas de Laboratorio de los Cursos de Física I y II y Física III y IV respectivamente con la finalidad de que el Departamento respectivo los implemente, en la brevedad posible, con la infraestructura disponible; sin embargo estas horas de Laboratorio aún no se dictan. De la misma manera en el curso de Química General del 1° año académico se ha solicitado al Departamento respectivo que considere, para el siguiente año, el dictado de las horas de práctica como horas de Laboratorio ante el requerimiento que se tiene de esta base experimental para la implementación de los cursos de "Laboratorio de Energía".

Por otro lado, en el 3° año académico, se dictan los cursos de Taller Mecánico- Eléctrico y Taller Eléctrico-Mecánico de las Especialidades de Mecánica y Electricidad respectivamente; para el dictado de estos cursos se han venido alquilando los Talleres de Instituto Superior Tecnológico de la localidad y actualmente se están implementando estas prácticas en la Ciudad Universitaria para lo cual se cuenta con la Planta Física respectiva y con las máquinas-herramientas y demás equipos de taller producto de un Convenio con Hungría, las mismas que se encuentran en una etapa de nivelación, anclaje y lanzamiento de prueba.

También se dispone en la Ciudad Universitaria de una planta física que se está concluyendo, para los Módulos Kingaros

del "Laboratorio de Cualificación y Cuantificación de Metales" para los cursos de Metalurgia del 3er. año y de Ensayo de Materiales del 4to. año académico.

Las prácticas de Laboratorio del curso de Mecánica de Fluidos se realizan en el Laboratorio Nacional de Hidráulica en la ciudad de Lima; y las prácticas de Laboratorio de los cursos de Circuitos Eléctricos y Dispositivos Electrónicos se desarrollan en forma parcial en la Facultad de Ingeniería Mecánica-Eléctrica tanto en la ciudad de Ica como en Lima.

En este contexto es que se plantea la utilización de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes" y del "Laboratorio de Química" para implementar los cursos de Laboratorio de Energía I, II y III a partir de Agosto del 85, que comprendería la parte práctica de los cursos de Físico-Química, Termodinámica I y II y Mecánica de Fluidos correspondientes al 2° y 3° Año Académico y la proyección de otros cursos. Las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes y los Laboratorios de Química, se encuentran ubicados en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica.

2.3 El Perfil Profesional del Ingeniero Mecánico-Electricista.

Actualmente, no se cuenta con un perfil profesional de finido del Ingeniero Mecánico-Electricista en la F.I.M.E.

De allí que los requerimientos que, se pretende, debe alcanzar un egresado de la Facultad, se tengan que inferir a partir de la forma como ha llevado los cursos y la metodología que se ha utilizado en el dictado a lo largo de su carrera profesional; y no como debería ser, que a partir del perfil profesional se diseñen los cursos y se determine la metodología a seguir en la formación profesional.

El sistema clásico de la enseñanza superior comprende, entre un año y medio y dos años, el dictado de los cursos correspondientes a las Ciencias Básicas y recién a partir de allí el dictado de los cursos correspondientes a la respectiva Especialidad. En las Especialidades de Ingeniería y sobre todo en la Especialidad de Ingeniería Mecánica-Eléctrica, se nota, en los cursos de especialidad y también en los cursos de Ciencias Básicas, una tendencia a la abstracción; no por el carácter ingenieril, que necesariamente deben tener, sino porque muchos de los cursos se desarrollan desvinculados del marco de referencia práctico que debe incluir la formación del Ingeniero Mecánico-Electricista.

Esta tendencia se explica, algunas veces, porque no se dispone de Laboratorios y Talleres o estos no son lo suficientemente adecuados ú otras veces porque se pretende diferenciar la formación del Ingeniero con la del Técnico, no incidiendo mayormente en la formación práctica del primero. Todo esto trae consigo un desconocimiento objetivo, muchas veces de los más elemental, de los mecanismos, maquinarias y dispositivos que se pretender estu-

diar, no alcanzando el estudiante una comprensión cabal en el estudio de los mismos; originando esto, una falta de motivación para un desarrollo adecuado en la especialidad. Como consecuencia de lo señalado anteriormente, posteriormente, se produce en el egresado, una falta de seguridad al momento de iniciarse en el ejercicio de su especialidad.

Por otro lado, los requerimientos que se tienen en el campo laboral del Ingeniero Mecánico-Electricista, son tal, que en su mayor proporción va a tener que desempeñarse en el Area de Mantenimiento siendo pocas las oportunidades que pueda tener para desarrollarse en el diseño y la investigación. Por todo esto, es importante que al estudiante de Ingeniería se le dé una adecuada formación teórico-práctica, la misma que podría darse en forma paralela; ó incidir, previamente, en la formación práctica para profundizar, posteriormente, la parte teórica con la base objetiva necesaria; pero lo que no se debe seguir dando, es el desarrollar la formación teórica, descuidando la parte práctica, en espera que el egresado en su primer ó dos primeros años recién se vincule lo suficientemente con ella, exponiendo de esta manera la idoneidad profesional del egresado y produciendo en algunos casos, frustraciones profesionales. Como quiera que es evidente la amplitud y complejidad del campo de acción del Ingeniero Mecánico-Electricista y por ello no se pueda abarcar en toda su extensión, no solamente en la parte práctica sino también en la teórica debería delinearse áreas elementales

en la especialidad que permita aglutinar y generalizar determinados campos de la misma o en su defecto se debería tender a la incidencia en determinadas especialidades en los últimos años de la carrera.

Todo esto nos lleva a pensar en la necesidad de una nueva-orientación en la formación del Ingeniero Mecánico-Electricista a partir de un perfil profesional actualizado y adaptado a nuestra realidad de tal manera que permita al egresado un mayor dominio, práctico y teórico de su especialidad y de esta manera pueda tener una base sólida para proyectarse al Diseño y la Investigación que son tan necesarios para el progreso tecnológico y socio-económico en nuestro país.

C A P I T U L O 3

OBJETIVO DEL PROYECTO Y SU FACTIBILIDAD

3.1 Objetivo Académico.

Implementar, en una primera etapa, los cursos de:

- "Laboratorio de Energía I" con los recursos de instrumental y dispositivos que se dispone en los Laboratorios de Química y los;
- "Laboratorios de Energía II y III" aprovechando la capacidad instalada de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes y los requerimientos mínimos para complementar algunas de las experiencias a realizar.

Implementar, en una segunda etapa, los "Laboratorios de Energía I, II, III y IV" con su propia infraestructura experimental y planta física, utilizando siempre en forma complementaria las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes; y a la vez efectuar una redistribución sistemática y didáctica de las experiencias en los cursos de Laboratorio de Energía I, II, III y IV a partir de la dotación de la infraestructura propia.

También es propósito del presente proyecto contribuir al planteamiento de un nuevo "Perfil Profesional del Ingeniero Mecánico-Electricista".

3.2. Objetivo de Proyección Social.

La Implementación de instrumental, dispositivos experimentales y bancos de prueba, nos permitiría proyectarnos hacia la comunidad a través del "Servicio de Evaluación y performance de maquinarias y dispositivos térmicos e hidráulicos" que se podría brindar a las diferentes Industrias - y Cooperativas Agrarias del ámbito departamental. Asimismo sería un incentivo para la creación industrial en nuestro medio, ya que se contaría con un servicio técnico que la mayor parte de las Industrias no está en condiciones de tener ó que no justifica su inversión para prestar servicio a una sólo Empresa, más aún en las condiciones extremadamente difíciles por las que atraviesa actualmente la industria peruana.

3.3 Factibilidad con respecto a los Laboratorios de Química.

Los Laboratorios de Química, que están ubicados en la ciudad Universitaria, son administrados actualmente por la Facultad de Ingeniería Química y por la Facultad de Farmacia y Bioquímica, las cuales deberán prestar servicio académico a las demás Facultades que lo requieran.

Como se ha planteado, anteriormente, tanto en la Introducción como en uno de los Objetivos Académicos, el curso de "Laboratorio de Energía I" se llevaría a cabo, en la primera etapa, con la infraestructura de instrumental disponible en los Laboratorios de Química, para esto se ha efectuado previamente una evaluación y selección de los instrumentos y dispositivos existentes, que nos permitan llevar a cabo este curso. Para el curso de "Laboratorio de Energía I" se han seleccionado y adecuado tres experiencias referentes al curso de Físico-Química y se han aglutinado y adecuado otras cuatro experiencias de prácticas e Instrumentación. Todas estas prácticas en función de los recursos disponibles e intercaladas según el grado de avance que vaya alcanzando el alumno en sus cursos teóricos.

3.3.1. Disponibilidad de los Laboratorios de Química:

El curso de "Laboratorio de Energía I" se llevaría durante el Segundo Año Académico, para lo cual se ha tomado en cuenta que el alumno llegue con la base suficiente ó que la adquiera en el transcurso del año antes de realizar la experiencia. El año académico tiene una duración de 34 semanas en total, de las cuales se considera 28 como semanas útiles descontando las semanas de evaluación. Este curso se dictaría en la segunda parte del año y constaría de 14 semanas útiles descontando las semanas de evaluaciones, lo que a un promedio de una práctica y/o experiencia cada dos semanas, permitiría el desarrollo de 7 de e-

llas en esta mitad del año.

Una de las principales dificultades que se presentan para comenzar a llevar este curso en Agosto del 85 es la poca disponibilidad de los Laboratorios de Química. Por otro lado el número de alumnos que estaría en condiciones de llevar este curso, para esta fecha, en el segundo año de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica se estima en alrededor de 480 alumnos. Considerando que en la F.I.M.E. los grupos de alumnos son de 80, por la capacidad de las aulas, se constituirían aproximadamente 6 grupos de 80 alumnos cada uno.

Ante este contexto, se ha tratado de ser lo suficientemente realista y objetivo al plantear la forma como podría hacerse posible que se lleven a cabo estas experiencias y se sugiere lo siguiente :

- Que las diferentes prácticas y/o experiencias sean de tipo -- descriptivo y demostrativo.
- Que cada uno de los seis grupos estimados del segundo año académico constituyen tres sub-grupos de aproximadamente 26 alumnos cada uno para la demostración de las prácticas.
- Como el curso se plantea de 3 horas semanales, se dispondría para cada práctica y/o experiencia de una primera semana para el dictado de la teoría; de la segunda semana para la realización de la práctica de laboratorio con la presentación, al inicio, del informe previo; y en la siguiente semana se presentaría

y sustentaría el informe final durante la primera hora. esto nos determinaría la utilización del laboratorio cada dos semanas para cada grupo, lo que nos permitiría intercalar tres grupos cada semana; de tal manera el requerimiento del Laboratorio de Química sería de 9 horas/semana para los seis grupos.

3.3.2 Disponibilidad de Personal Docente

Aquí se plantea un requerimiento de personal Docente que es excesivo (un docente para cada sub-grupo), para la disponibilidad de Docentes que tiene la F.I.M.E.; por lo que se propone lo siguiente :

- Que cada grupo esté a cargo de un Docente y que este cuente con tres ayudantes-alumnos para dirigir la práctica de demostrativa, uno para cada sub-grupo.
- El Docente dictará la teoría en la semana correspondiente a todo el grupo.
El Docente supervisará las experiencias que realicen los Ayudantes-Alumnos con cada uno de los tres sub-grupos.
- El Docente tomará la sustentación en la semana correspondiente en forma oral o por escrito cuando crea conveniente.
- Cada alumno tomará nota de las descripciones y datos de la experiencia, siendo el informe previo, el Informe Final y la sustentación en forma individual, de preferencia-

El Docente obtendrá una nota para cada experiencia: al promediar el Informe previo, el Informe Final y Sustentación.

- La asistencia de los alumnos será obligatoria y no se anulará ninguna práctica de Laboratorio.
- El Promedio Final del Curso sería el promedio ponderado de las siete experiencias (podría considerarse dos parciales).
- Se requerirían 18 horas semanales de Personal Docente.

3.4 Factibilidad con respecto a las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes.

Las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes están ubicadas en la Ciudad Universitaria y según el actual Estatuto de la UNICA están consideradas como una "Unidad Autónoma" por su carácter multifuncional tanto en el aspecto académico como en el productivo, ya que pueden ser utilizadas por varias Facultades. Entre las Facultades afines a las Plantas Piloto tenemos la Facultad de Ingeniería Química, la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, la Facultad de Farmacia y Bioquímica, la Facultad de Agronomía entre otras. Para su administración se ha constituido un Comité Directivo integrado por Docentes representantes de cada una de las Facultades mencionadas anteriormente.

Como se ha planteado anteriormente, los cursos de "La-

laboratorio de Energía II y III" se llevarían a cabo en la primera etapa con la capacidad instalada en las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes, incluyendo la sala de Máquinas. Allí se cuenta con una serie de maquinarias y dispositivos térmicos e hidráulicos sujetos a ser analizados. Para estos cursos se han tomado en cuenta doce experiencias (seis para cada uno), algunas de las cuales van a llevarse en forma paralela con su parte teórica correspondiente en los Cursos de Termodinámica I y II y de Mecánica de Fluidos. En otras se pretende dar la parte descriptiva de Funcionamiento y Cálculos Elementales de algunas maquinarias y dispositivos, que recién se llevaría su parte teórica con mayor profundidad en cursos y años posteriores.

3.4.1 Disponibilidad de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes.

Los cursos de "Laboratorios de Energía II y III se llevarían durante el Tercer año académico, el cual tiene una duración de 34 semanas en total, de las cuales 28 son las semanas útiles descontando las semanas de evaluación. Estos cursos se dictarían 3 horas semanales y comprenderían seis experiencias en la primera mitad del año para el curso de Laboratorio de Energía II y seis experiencias más en la segunda mitad del año para el curso de Laboratorio de Energía III.

Si consideramos que estos cursos lo llevarían los Alumnos tanto de la especialidad de Mecánica como de Elec-

tricidad, ya que la carrera profesional está planteada de tal manera que en ambas especialidades egresan como Ingenieros Mecánicos-Electricistas; debemos pensar en un número estimado de aproximadamente 150 alumnos que el año 85-estarán cursando el Tercer año académico.

Si aceptamos que para cada experiencia deberá haber un máximo de 25 alumnos, se conformarán 6 sub-grupos aproximadamente en el Tercer año (ya que generalmente se tiene un grupo de la Especialidad de Mecánica y un grupo de la Especialidad de Electricidad). En estos cursos se seguirá una metodología similar a la del curso de "Laboratorio de Energía I" (último ítem de disponibilidad de los Laboratorios de Química). Para estos cursos se ha considerado, en cada uno, que en 3 experiencias se podría disponer de 2 semanas para cada una de ellas y que en las otras 3 experiencias se podría disponer de 3 semanas para cada una. También se ha tenido en cuenta que cada una de las 12 experiencias de estos dos cursos tenga dos partes definidas, de tal manera que sea posible dividir a su vez a cada subgrupo en dos partes para efectuar la experiencia.

Se procederá a la sustentación de ser posible, en las mismas Plantas Piloto y/o Sala de Máquinas y en forma oral.

Todo esto implicaría en un caso óptimo, de no utili-

zar las Plantas en la semana de sustentación, un requerimiento de las Plantas Piloto de 9 horas semanales (utilizándolas cada dos semanas para cada sub-grupo durante tres horas/semana). Mientras que si se utilizan las Plantas en las semanas de sustentación de cada sub-grupo, el requerimiento de las Plantas sería de aproximadamente 12 horas semanales.

3.4.2 Disponibilidad de Personal Docente

Aquí el requerimiento de Personal Docente, tratando de optimizar, sería tal que un Docente llevaría la teoría y sustentación en forma paralela para tres sub-grupos, contando con el apoyo en la parte práctica de un Jefe de Práctica o un Técnico de las Plantas Piloto. Esto implicaría un requerimiento de aproximadamente 12 horas semanales de Personal Docente con su respectivo Jefe de práctica, para los 6 sub-grupos. Como los cursos de "Laboratorio de Energía II y III", se llevarían en el Tercer año no hay posibilidad que el personal Docente cuente con Ayudantes-Alumnos, por el momento, ya que el Cuarto año académico se lleva en la ciudad de Lima.

La metodología para llevar y aprobar el curso será totalmente similar a la del Laboratorio de Energía I.

3.5 Factibilidad Financiera en cuanto a la Implementación de los "Laboratorios de Energía".

3.5.1 Requerimientos mínimos en la Primera Etapa.

La primera etapa, como ya se ha precisado, consiste en implementar los cursos de "Laboratorio de Energía I" y "Laboratorios de Energía II y III"; utilizando los recursos disponibles de instrumental, Equipos, Maquinarias, Mecanismos y diferentes dispositivos tanto de los "Laboratorios de Química", como de las "Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes".

Sin embargo para la implementación de las siete prácticas y/o experiencias del Curso I y las otras doce de los Cursos II y III, se han considerado algunos requerimientos mínimos como son: La adquisición de material para la implementación de ciertos dispositivos experimentales y la adquisición de instrumental ó dispositivos por su costo moderado e importancia experimental.

3.5.1.1 Prácticas y/o Experiencias en el "Laboratorio de Energía I" y sus Requerimientos.

Práctica N°1: "Mediciones de Temperatura".

- Implementación de Medición por Termocupla.
- Adquisición de un termómetro bimetalico e implementación de otros.
- Adquisición de un termómetro tino Bourdon.

Práctica N°2: "Mediciones de Presión".

- Implementación de un manómetro invertido y otro de dos fluidos.
- Implementación de un calibrador de peso muerto.
- Adquisición de un barómetro de reloj ó aneróide.
- Implementación de un manómetro de una sola rama y un manómetro inclinado.

Práctica N°3: "Procesos con Gases"

Implementación del equipo para procesos isométricos.

- Implementación del equipo para procesos isotérmicos.
- Implementación del equipo para mezcla de gases.

Práctica N°4: "Mediciones de Densidad, peso específico y Gravedad específica", "Determinación de la Viscosidad".

- Adquisición de un dinamómetro.
- Adquisición de un viscosímetro para aceites y combustibles.

Práctica N°5: "Determinación del Punto de Inflamación y de Combustión". "Mediciones de Desplazamiento, Velocidad y Area".

- Implementación de un vaso abierto de Cleveland.
- Adquisición de un Contador de Revoluciones y un Estroboscopio.
- Adquisición de 3 Verniers y un juego de micrómetros.

- Adquisición de un planímetro radial 6 de brazo trazador ajustable.

Práctica N°6: "Termoquímica", "Poder Calorífico de los Combustibles", "Presión de Vapor", "Calor Latente".

- Implementación de un calorímetro.

Práctica N°7: "Fuerza Electromotriz de Celdas Electroquímicas. Baterías".- Análisis de Agua".

- Implementación del dispositivo de medición de la fuerza electromotriz y Galvanotecnia.
- Implementación de pruebas en la batería.
- Adquisición de reactivos para el análisis del agua.

3.5.1.2 Prácticas y/o Experiencias en el "Laboratorio de Energía II" y sus requerimientos.

Práctica N°1: "Descripción general de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes". "Evaluaciones Preliminares".

- Implementación de un pequeño salón de clases en las Plantas Piloto.

Implementación de un muestrario de accesorios, instrumentos y maquinarias referentes a las Plantas Pilotos y a las prácticas a llevarse a cabo.

- Implementación de un recipiente con salida por orificios.

- Adquisición de un taquímetro.

Práctica N°2: "Medición de la Humedad" "Determinación de los Estados de Vapor".

- Implementación de un Psicrómetro de revoleo.
- Implementación de un calorímetro universal de estrangulación.

Práctica N°3: "Flujos - Medición de Caudales".

- Implementación de un Weirs.
- Implementación de un tubo de Reynolds.
- Implementación para medir el caudal para flujo compresible por la cantidad de condensado.

Práctica N°4: "Flujo en Tuberías - Pérdidas en Instalaciones con Agua".

Práctica N°5: "Escurrimientos" "Compresores"

- Implementación de un tanque para escurrimiento.

Práctica N°6: "Bombas Centrífugas y de Profundidad".

- Implementación de una instalación de bombeo para seleccionar una bomba centrífuga.
- Implementación de una bomba de profundidad en desuso.

3.5.1.3 Prácticas y/o Experiencias en el "Laboratorio de Energía-III" y sus Requerimientos.

Práctica N°1: "Generadores de Vapor - Tratamiento de Agua".

- Adquisición de reactivos para el tratamiento interno del Agua!

Práctica N°2: "Balance Térmico de un Generador de Vapor- Análisis de Gases".

- Adquisición de un analizador de gases tipo Orsat.

Práctica N°3: "Aislamiento Térmico. Tuberías y Pérdidas- en Instalaciones con Vapor".

Práctica N°4: "Balance Térmico: Triturador - Precalentador, Autoclave de Esterilización".

Práctica N°5: "Balance Térmico: Esfera de Vacío, Recipientes de Cocción".

Práctica N°6: "Cámara de Refrigeración", "El Mantenimiento de las Plantas Piloto".

NOTA.- Estos requerimientos mínimos se le han hecho llegar al Director de "Proyección Social, Producción de Bienes y Prestación de Servicios" de las Facultades de Ingeniería, con fecha 13.09.84. Este trámite se efectuó después que en un Consejo de Facultad se me asignó la responsabilidad del "Pro-

yecto de Implementación del Laboratorio de Energía" (Se adjuntan documentos en el apéndice).

3.5.2 Financiamiento de la Segunda Etapa.

La segunda etapa, como ya se ha mencionado, consiste en la implementación de los "Laboratorios de Energía I, II III y IV", con su propia infraestructura experimental y planta física; siendo complementado siempre con las experiencias en las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes.

Esta implementación está en función de que se alcance a concretar la adquisición de las maquinarias, dispositivos e instrumental solicitados en el presupuesto del año 85. La secuencia de esta gestión se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

- Con fecha 15.03.84 se presenta al entonces Director del Programa de Ingeniería Mecánica y Eléctrica un "Anteproyecto de Implementación y adecuación de las Plantas de Conservas y Alcoholes en la Ciudad Universitaria de Ica, como Laboratorios de Energía".
- Con fecha 01.06.84 el Director Universitario de Planificación solicita al PAIME que se le haga llegar los requerimientos para "la adquisición de maquinarias y dispositivos para implementación de Laboratorios y Talleres"; ya que se había dado después de varios años una apertura pa-

ra estas adquisiciones en el Presupuesto del año 85.

- Con fecha 08.06.84 se presenta a la Dirección Universitaria de Planificación los Requerimientos de Maquinarias , Dispositivos e Instrumentales con su respectiva cotización para el equipamiento de los denominados "Laboratorios de Energía".

El monto cotizado asciende aproximadamente a S/. - 220'000,000.00 al 15.02.84 o a \$ 89,069 en su equivalencia a dólares.

De lograrse ejecutar esta Partida presupuestada, estaríamos en condiciones de efectuar una redistribución de las experiencias en los Laboratorios de Energía I, II, III y IV, atendiendo a un orden lógico y sistemático de las mismas en función de los recursos materiales con que se contaría en ese momento y tomando en cuenta, siempre, -- las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes. (Se adjunta documentos en el apéndice).

PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO

CAPITULO 4

DESARROLLO Y ADECUACION DEL "LABORATORIO DE ENERGIA I"

4.1 Manual de Experiencias para el Curso de Laboratorio de Energía I.

En esta parte del Proyecto, se pretende aportar con una Guía - Teórica-Práctica que comprenda tanto las experiencias ya definidas como las experiencias por implementarse, y que a su vez las incluya dentro de un marco teórico más amplio que permita al estudiante proyectarse a la utilización de la diversa gama de Instrumentos y Dispositivos Experimentales que va ha encontrar en el ejercicio de su especialidad.

LABORATORIO DE ENERGIA I

CONTENIDO

- I. Introducción al Curso
- II. Mediciones de Temperatura
- III. Mediciones de Presión
- IV. Procesos con Gases
- V. Mediciones de Densidad, Peso específico y Gravedad específica. Determinación de la Viscosidad.
- VI. Determinación del Punto de Inflamación y de Combustión. Mediciones de Desplazamiento, Velocidad y Area.
- VII. Termoquímica. Poder calorífico de los Combustibles. Presión de Vapor. Calor latente.
- VIII. Fuerza Electromotriz de Celdas Electroquímicas. Baterías. Análisis de Agua.

INTRODUCCION AL CURSO

El Curso de Laboratorio de Energía I, se comienza a desarrollar a partir de la necesidad de contar con el complemento práctico del Curso de Físico-Química que se considera la base fundamental para el desarrollo de la rama de Energía en la Especialidad de Ingeniería Mecánica. Asimismo se ha visto por conveniente incluir en este Curso lo concerniente a "Instrumentación" con la finalidad de disponer de una herramienta básica en el campo de la Ciencia y en la práctica industrial. Otro factor que ha impulsado la implementación y adecuación de este curso y los sucesivos ha sido la convicción de la necesidad de la experimentación como extensión de todas las materias teóricas, de tal manera que permita una adecuada formación del estudiante en la Especialidad de Ingeniería Mecánica.

Este Curso contiene en forma alternada; Prácticas de "Instrumentación" que le van a permitir al estudiante familiarizarse tanto con los instrumentos como con los métodos de medición de propiedades físico-químicas; y Experiencias de algunos capítulos del Curso de Físico-Química que van a permitir la verificación del estudio analítico y de algunas leyes fundamentales. Todo esto con la finalidad de capacitar al futuro Ingeniero en "la determinación de las características de funcionamiento de las Maquinarias y Dispositivos Térmicos e Hidráulicos", que se estudiarán posteriormente y en el desarrollo de nuevos aparatos y dispositivos.

Para posibilitar un mejor desarrollo del Curso de Laboratorio de Energía I, se ha estructurado esta Guía Teórica-Práctica. Como quiera, que el Curso se llevaría durante el segundo año académico, se sugiere su dictado en sesiones de tres horas semanales de tal manera que comprenda, cada una de las siete prácticas, una primera semana de exposición de los principios y fundamentos teóricos, una segunda semana de la práctica y/o experiencia en el Laboratorio con la presentación de su respectivo informe previo y en la siguiente semana la presentación y sustentación del Informe Final durante la primera hora.

Por último quisiera señalar que parte del desarrollo de este Curso está en función de los requerimientos que se han venido haciendo para adquirir o implementar algunos dispositivos experimentales, los cuales no se han podido concretar hasta el momento. Sin embargo, aún con las limi-

taciones mencionadas, estamos en condiciones de iniciar de inmediato el dictado de este curso, esperando que con la colaboración e impulso de los estudiantes podamos implementar^{la} todavía pendiente.

I.1 OBJETIVOS

El Curso de Laboratorio de Energía I se plantea los siguientes objetivos:

- 1.- Proporcionar al Estudiante la oportunidad de vincular la teoría con la práctica.
- 2.- Proporcionar al Estudiante la oportunidad de verificar experimentalmente algunos principios y leyes de la Físico-Química.
- 3.- Familiarizar al Estudiante con el uso de los instrumentos y los métodos de medición de las propiedades físico-químicas.
- 4.- Proporcionar al Estudiante la oportunidad de observar directamente algunos fenómenos físicos para su mejor comprensión.
- 5.- Vincular al Estudiante con la aplicación de los instrumentos en diversos dispositivos y maquinarias.
- 6.- Capacitar al Estudiante en la realización de mediciones simples con una precisión aceptable y que sepa discriminar que tan buena es una medición.
- 7.- Enseñar al Estudiante un método lógico para realizar un experimento.
- 8.- Capacitar al Estudiante en la obtención y tabulación de datos experimentales, así como en el cálculo, análisis e interpretación de los resultados.
- 9.- Entrenar al Estudiante en la elaboración del Informe Técnico.

I.2 CONSIDERACIONES PARA DESARROLLAR UNA PRACTICA Y/O EXPERIENCIA.

Para un desarrollo eficiente de una Práctica y/o Experiencia se ha tratado de diferenciar entre una práctica y una experiencia, considerando la "Práctica" como un ejercicio simple donde la obtención de datos se da en forma directa e inmediata y en el caso de la "Experiencia" esta debe tener necesariamente un procedimiento experimental con sus respectivos cálculos y conclusiones. Es necesario que el estudiante conozca previamente:

- 1.- Que es lo que pretende verificar ó demostrar y que datos se van a tomar.

- 2.- Las características de funcionamiento de cada instrumento y dispositivo.
- 3.- El procedimiento para realizar la práctica y/o experiencia y obtener los datos.
- 4.- Las limitaciones de los instrumentos y dispositivos y tener muy en cuenta los posibles errores en la obtención de los datos.
- 5.- Las condiciones ambientales donde se va a realizar la experiencia.
- 6.- Qué parámetros van a permanecer constante y cuáles van a variar.
- 7.- Las normas de seguridad preventiva más importantes y estar informado si en la práctica y/o experiencia existe alguna operación peligrosa.

I.3 ANALISIS DE DATOS EXPERIMENTALES.

En una práctica ó experiencia al tomar los datos experimentales debe tenerse en cuenta la importancia y cuidado con que se debe efectuar esta parte de la experiencia, aunque es indudable que el éxito de la misma está en función de un adecuado planeamiento y precauciones que se deben tomar a lo largo de toda la experiencia.

Una vez obtenidos los datos, se debe llevar a cabo el análisis de los datos experimentales, lo cual puede hacerse desde una forma simple que podría consistir en una apreciación inmediata de la tendencia esbozada en los datos hasta un análisis teórico complejo de los errores involucrados en la experiencia y la comparación con los principios físicos fundamentales. En la presente Guía se pretende dar algunas pautas elementales para efectuar el Análisis de los Datos y consistirá en determinar:

- Los errores que se pueden encontrar en las mediciones experimentales.
- La precisión con que se puede efectuar una medición.
- La validez de los datos obtenidos.

I.4 ERRORES EN LAS MEDICIONES EXPERIMENTALES.

En las mediciones experimentales, deben tenerse en cuenta los factores principales que pueden ser fuente de errores, como son:

1) INSTALACION INADECUADA Y DEFICIENCIA EN LA MUESTRA PROMEDIO.-

En la fase de instalación del aparato o dispositivo que va a servir para efectuar la medición, se debe tener cuidado para que esta sea lo suficientemente adecuada, tal que permita la obtención de una -

verdadera muestra promedio de la cantidad que se desea medir.

2) FALTA DE PRECISION DEL INSTRUMENTO EN SI.

Todos los Instrumentos, dependiendo de su calidad y requisitos de precisión, tienen un mayor o menor rango de exactitud, incluyendo los instrumentos nuevos, por lo que no se puede hablar de un instrumento totalmente exacto. Por otro lado, hay instrumentos que su funcionamiento depende de las propiedades físicas de algún material y su exactitud está en relación directa con el cambio de estas propiedades. También, hay instrumentos que tienen partes móviles y están sujetos al desgaste que puede ocasionar la fricción y el juego muerto, por lo que su precisión está en función del tiempo de uso. Todos estos errores se pueden catalogar como errores fijos ó sistemáticos.

3) IMPRESIÓN RESULTANTE DEL MODO DE EMPLEO DEL INSTRUMENTO.

En primer lugar habría que tener en cuenta, la selección apropiada del tipo de instrumento, dependiendo de la precisión que se quiere conseguir y la forma o condiciones en que se va a emplear el instrumento. Luego, considerar, la instalación correcta del instrumento para lograr el valor verdadero de la cantidad medida. También hay que tener en cuenta la influencia de los factores externos en las lecturas del instrumento. Por otro lado, un factor que contribuye en la incorrección de los datos medidos es el factor humano, que algunas veces se da por desconocimiento de las precauciones en la técnica de medición ó por descuido, y estos errores pueden ser de tipo sistemático ó aleatorio.

I.5 SOBRE LA CALIBRACION DE INSTRUMENTOS.

La precisión con que se puede efectuar una medición, está en función directa con las previsiones que se deben tomar en el desarrollo de la experiencia, pero hay otro factor como es la calibración de instrumentos que debe considerarse antes de iniciar la experiencia y que es determinante en la precisión de las mediciones experimentales.

El procedimiento de la calibración involucra la comparación del instrumento con un patrón primario, que son estándares en manos de Organismos Internacionales ó con patrones secundarios que son los que se utilizan en los Laboratorios y que han sido calibrados previamente

con su respectivo patrón primario.

La finalidad de la calibración es obtener ciertas gráficas en función de los valores verdaderos (del patrón), con los valores que da un determinado instrumento en la calibración, para posteriormente cuando se utilice dicho instrumento en alguna experiencia esta gráfica sirva para corregir las lecturas realizadas. Generalmente se recomienda efectuar una gráfica de calibración antes de cada experiencia y algunas veces cuando se requiere una gran precisión se sugiere calibrar el instrumento después de la experiencia.

Para llevar a cabo una calibración se debe proceder de la siguiente manera:

-En aparatos de calibración adecuados, para cada instrumento se efectúan mediciones con el instrumento a calibrar y en forma simultánea se realizan mediciones con el instrumento que actúa como patrón de calibración.

-Se realizan las mediciones señaladas en forma ascendente y descendente.

-Se llevan a un gráfico los valores del instrumento patrón vs los valores del instrumento por calibrar, medidos en forma ascendente y descendente ó como promedio y constituyendo de esta manera las curvas de calibración.

1) CRITERIOS PARA DETERMINAR EL CAMPO DE APLICACIÓN DE UN INSTRUMENTO:

Para seleccionar un instrumento en forma conveniente y para interpretar adecuadamente las curvas de calibración es necesario conocer los siguientes términos:

La SENSIBILIDAD de un instrumento, viene a ser la relación entre la magnitud del desplazamiento del indicador en el instrumento con el cambio unitario de la variable medida que origina dicho desplazamiento. Por ejemplo, en un termómetro de Mercurio la variación de 1°C en la variable medida que es la temperatura origina un movimiento muy pequeño de la columna de Mercurio de un termómetro que está graduado de 2°C en 2°C , sin embargo esta misma variación de 1°C determinará un movimiento mucho más significativo de la columna de Mercurio en un termómetro que está graduado en milésimos de grado. Por lo tanto un termómetro graduado en intervalos de 2°C no es muy sensible.

La RESPONSABILIDAD de un instrumento es el menor cambio en la variable medida que origina un desplazamiento perceptible en el indicador del instrumento. Por ejemplo en un manómetro de Bourdon a 150 Kg/cm² el instrumento requiere una variación de presión de 2 Kg/cm² para que su aguja se mueva, luego su responsabilidad es de 2 Kg/cm². También se utiliza el índice de responsabilidad que viene a ser la división de la responsabilidad entre la cantidad medida. Para el manómetro mencionado, su índice de responsabilidad sería de $2/150 = 1/75$.

La VARIANCIA de un instrumento está dada por la magnitud que puede diferir la lectura de un instrumento cuando la variable medida no cambia. Esta característica suele darse cuando se mide la variable respectiva de un mismo valor, por ejemplo en un manómetro de Bourdon se mide el valor de una presión de 150 Kg/cm² viniendo de abajo y da 149 Kg/cm², en el instrumento luego se mide la misma presión de 150 Kg/cm² viniendo de arriba y da 151 Kg/cm², esto indica que la variancia es de 2 Kg/cm², mientras que para el ejemplo dado anteriormente la variancia sería de 4 Kg/cm².

I.6 ANALISIS GRAFICO Y CURVAS DE CALIBRACION.

Cuando se conoce que es lo que se quiere verificar ó demostrar con una representación gráfica, puede obtenerse ésta a partir de los datos en forma más apropiada y compararse adecuadamente con los principios físicos que rigen la experiencia. Sin esto significar que la persona que realiza la experiencia adopte una actitud de forzamiento de los datos hacia el comportamiento que se espera obtener, ni se debe dejar dominar por la impaciencia por las fallas que pueden haber habido previamente, ni por la limitación del tiempo. Es decir lo que se pretende afirmar es que la persona que mejor entiende el fenómeno físico relacionado con la experiencia es el que está en condiciones de obtener resultados satisfactorios y así mismo de poder ser sistemático e imparcial.

Cuando se pueden aproximar los datos obtenidos a una línea recta, la interpretación de la gráfica es fácil de obtener, sin embargo cuando la distribución de los datos en la gráfica es diversa es necesario conocer la tendencia esperada y aún así no es fácil de conseguir la tendencia más apropiada por la confusión que pueden causar los datos que tie-

nen algún error involucrado y por que hay que conocer con mayor profundidad métodos de ajustes de curvas.

1.6.1. Gráficas de Calibración de un Instrumento.

-CURVA DE CALIBRACION.- Se representa en:

Las Ordenadas → Las lecturas del instrumento

Las Abcisas → Los valores "verdaderos" de la cantidad medida

Las lecturas del instrumento se recomienda algunas veces que sea el promedio de varias lecturas, otras veces cuando el instrumento tiene partes móviles se recomienda efectuar lecturas - "ascendente" y "descendente", pudiendo graficarse en la ordenada el promedio de éstas, ó cada una por separado. La dificultad de una curva de calibración es que requiere un espacio grande - en el papel.

-CURVA DE CORRECCION.- Se representa en:

Las Ordenadas → Los valores de corrección

Las Abcisas → Las lecturas del instrumento.

Las ordenadas pueden tomar valores positivos y negativos, estos valores de corrección deben sumarse algebraicamente.

Valor verdadero = Lectura del Instrumento + Corrección

-CURVA DE ERROR.- Se representa en:

Las Ordenadas → El error obtenido en cada medida

Las Abcisas → Las lecturas del instrumento.

En esta curva para obtener el valor verdadero de la medición se debe.

Valor verdadero = Lectura del Instrumento - Error

1.6.2 Ajuste de Curvas.

Después de haber vaceado los datos en el papel que se va a graficar, se debe proceder al trazado de la curva de tal manera que pase a través de los puntos señalados, lo que no es fácil aún conociendo muchas veces la tendencia de la curva esperada, por lo que en primer lugar se debe tratar de eliminar los datos falsos y luego proceder al ajuste de la curva.

Teniendo en consideración los diferentes elementos de juicios tratados anteriormente, la eliminación de un dato que pueda resultar incohe-

rente o alejado de la tendencia esperada se debe dar solamente cuando se tiene la seguridad que se trata de un dato falso.

Por otro lado en lo posible se elegirán las escalas de modo que la curva se aproxime a una línea recta. Algunas funciones se pueden representar en línea recta en papel simple cuadrículado, sin embargo cuando la función no es lineal se deberá graficar en papeles semilogarítmicos o logarítmicos para conseguir una tendencia lineal. Igualmente se utiliza papel semilogarítmico y logarítmico para cantidades muy grandes o muy pequeñas.

Métodos para graficar varias funciones y obtener líneas rectas.

En la Fig. I.1 que se muestra a continuación se dan las relaciones, métodos para graficar y gráficas correspondientes.

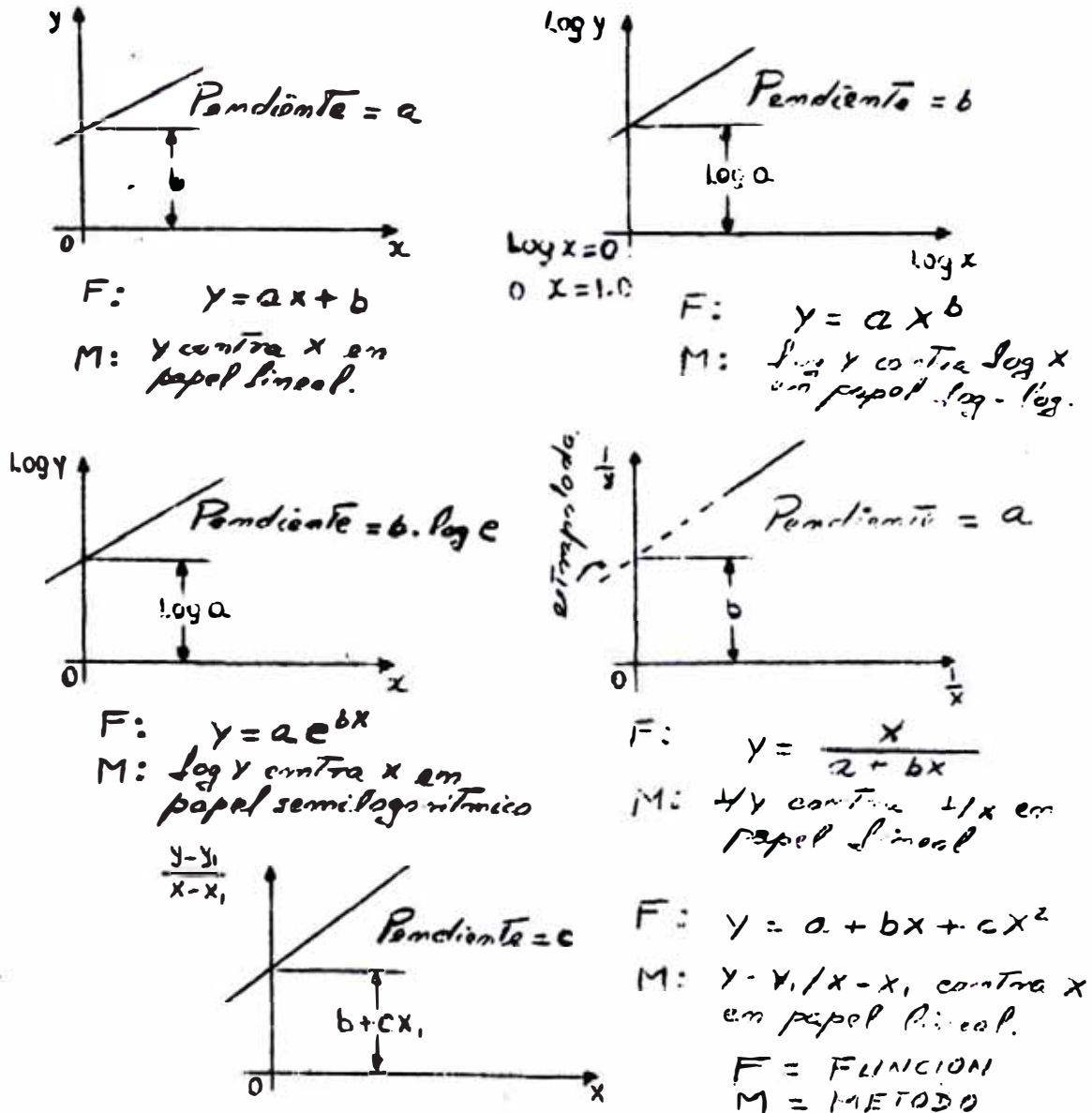


FIG. I-1 METODOS PARA GRAFICAR FUNCIONES Y OBTENER LINEAS RECTAS.

Método de Mínimos Cuadrados para ajuste de una Función Lineal.

Supongamos que dos variables X e Y se miden sobre un rango de valores (n); supongamos además que deseamos obtener una expresión analítica sencilla para Y como función de X. La función más elemental es una lineal, por lo cual podríamos tratar de establecer Y como una función lineal de X. El problema es encontrar la "mejor," función lineal, a pesar que los datos tengan una dispersión considerable. Podríamos resolver el problema de una manera rápida, trazando los datos en el papel gráfico y dibujando una línea recta al "ojo" a través de ellos. Esto desde luego es una práctica común, pero el método de los mínimos cuadrados ofrece la oportunidad de obtener una mejor relación funcional que la que se obtiene por tanteos. El método de los mínimos cuadrados hace que la suma de las distancias verticales al gráfico, elevadas al cuadrado sea mínima.

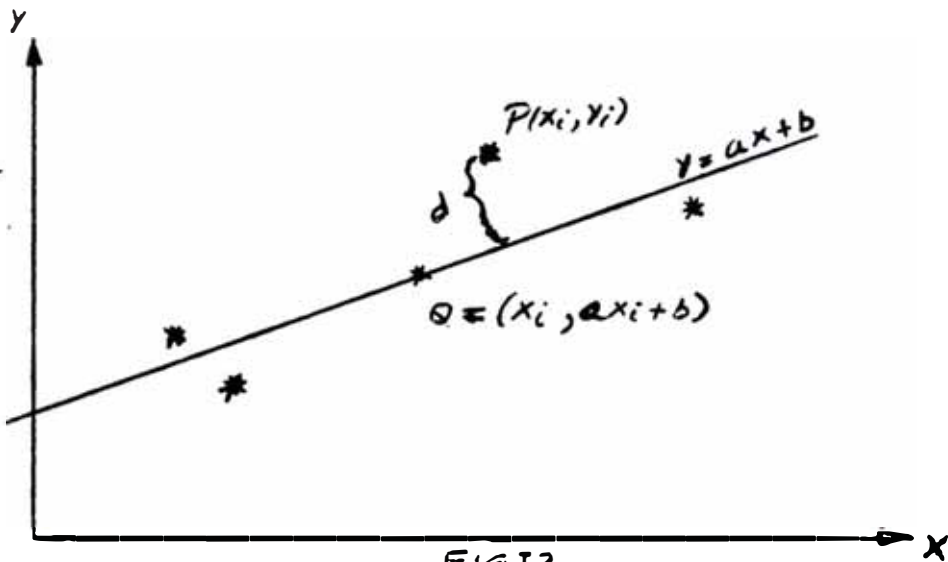


FIG. 12

Buscamos una Ecuación de la forma:

$$Y = a x + b.$$

Si: $d_i = Y_i - (ax_i + b)$

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - (ax_i + b)]^2$$

Para minimizar esta cantidad, aplicamos derivadas parciales con respecto a a y b e igualamos a cero.

$$nb + a \sum x_i = \sum Y_i$$

$$b \sum x_i + a \sum x_i^2 = \sum x_i Y_i$$

Resolviendo en forma simultánea obtenemos:

$$a = \frac{n \sum x_i Y_i - (\sum x_i)(\sum Y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

NOTA: También se puede utilizar la forma más simple de mínimos cuadrados como es:

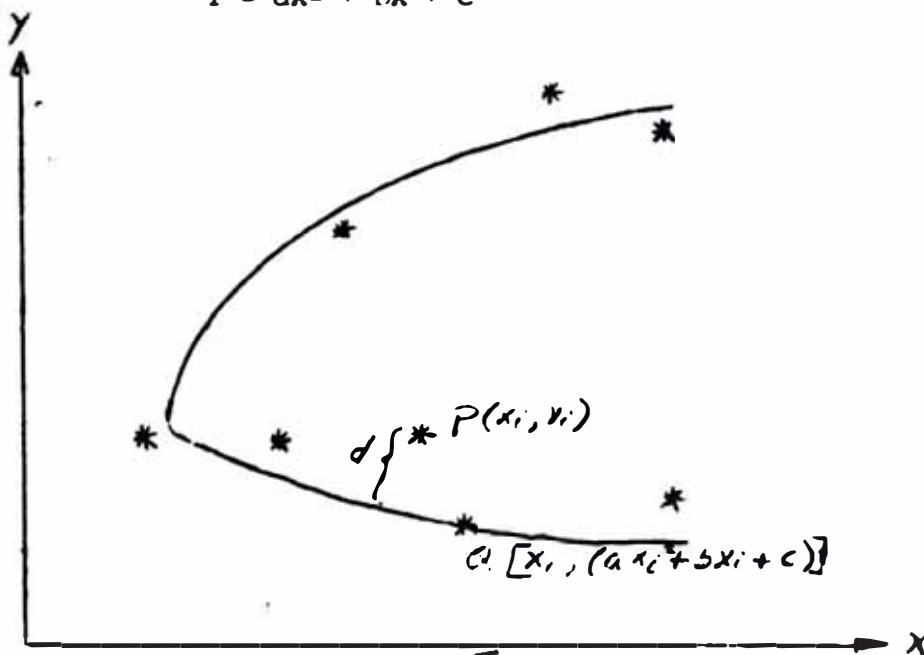
$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

Donde: \bar{x} e \bar{y} son las medias aritméticas de X_i e Y_i

Método de Mínimos Cuadrados para Ajuste de una Función Cuadrática.

También se puede utilizar este método para determinar polinomios de orden superior que ajusten en los datos. En este caso sólo se necesitan realizar las diferenciaciones adicionales para determinar las constantes respectivas. Por ejemplo si deseamos obtener un ajuste de mínimos cuadrados de acuerdo a la función cuadrática

$$Y = ax^2 + bx + c$$



Si: $d_i = Y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)$ Fig. 1.3

$$S = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]^2$$

Se minimizará, tomando las siguientes derivadas parciales e igualando a

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 = \sum 2 [Y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] (-x_i^2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 = \sum 2 [Y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] (-x_i)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 0 = \sum z [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] (-1)$$

Desarrollando las expresiones y agrupando los términos.

$$a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i$$

$$a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i$$

$$a \sum x_i^2 + b \sum x_i + c n = \sum y_i$$

Pudiéndose resolver estas ecuaciones para las constantes a, b y c.

NOTA.- Al igual que como se han efectuado los ajustes anteriores, podemos ajustar cualquier curva, con la condición de que previamente tengamos la tendencia de la curva para así definir su ecuación (cuadrática, cúbica, cuártica, etc.)

CORRELACION (r), Es el grado de relación entre variables y nos dá a entender en qué medida una ecuación lineal o de otro tipo describe o explica de una forma adecuada, la relación entre variables.

$$-1 \leq r \leq 1$$

$$I.7 \text{ SISTEMA GENERALIZADO PARA MEDICIONES. } r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

La mayor parte de los Dispositivos de medición cuentan con un sistema de tipo general que se puede dividir en tres partes.

- 1.- Una primera etapa DETECTORA-TRANSFORMADORA, en la cual se detecta una variable física y al mismo tiempo efectúa una transformación de tipo mecánico o eléctrico para hacer mas manejable la señal recibida.
- 2.- Una segunda etapa TRANSMISORA que sirve de nexo entre la primera etapa y la tercera etapa (que es la de salida) ésta generalmente amplía o disminuye la señal transformada.
- 3.- Una tercera etapa o etapa final donde se traduce, indica o graba la variable que va a ser medida (TRANDUCTORA-INDICADORA).

Un ejemplo del sistema generalizado se puede apreciar en el manómetro de tubo de Bourdon donde la primera etapa estaría dada cuando el tubo Bourdon detecta la señal de presión del fluido y a su vez la transforma en un desplazamiento mecánico de expansión del tubo, la segunda -

etapa vendría a ser el mecanismo de ampliación del desplazamiento del extremo del tubo Bourdon mediante un conjunto de Biela-Sector-Píñon y - la tercera etapa vendría a ser la que traduce e indica mediante una aguja y una carátula o escala el último movimiento conseguido en la segunda etapa, lo que nos va a dar la presión ejercida en el tubo de Bourdon.

I.8 EL INFORME TECNICO

Un Informe completo puede comprender las siguientes partes:

- 1) Carátula
- 2) Objetivos
- 3) Fundamento Teórico
- 4) Aparatos e Instrumentos
- 5) Procedimiento Experimental
- 6) Datos Experimentales
- 7) Cálculos y Resultados
- 8) Gráficos y Ajustes
- 9) Conclusiones y Recomendaciones
- 10) Bibliografía.

Para nuestra metodología el Informe Previo comprendería los cinco primeros puntos y el Informe Final los cinco últimos puntos.

Carátula.- En ella debe figurar: el Título de la Experiencia, condiciones ambientales, nombre del alumno, código, sección, grupo, nombre del Profesor que dirige la Experiencia, fecha de realización para el Informe previo, fecha de presentación para el Informe Final y por último el lugar donde se ha realizado la experiencia.

Objetivo.- Viene a ser el objeto del ensayo sobre el cual se basa el Informe, este debe ser claro y concreto.

Fundamento Teórico.- La naturaleza y extensión de la parte teórica depende de lo nuevo o rutinario que pueda ser; el equipo, procedimiento, método o tema que se está tratando. De todas maneras, en cualquier caso tomando en cuenta su particularidad, la teoría deberá ser lo suficientemente escueta.

Aparatos e Instrumentos.- Se debe hacer una descripción e identificación exacta. Para ello debemos recurrir a los catálogos del fabricante y a los datos de placa de los equipos. De preferencia se deberá acompañar un dibujo descriptivo o croquis del equipo.

Procedimiento Experimental.- En forma concisa se debe explicar el procedimiento seguido durante el ensayo. Este punto se puede tomar en cuenta para el Informe Final si difiere de alguna manera de lo planteado en el Informe previo. Deberá hacerse hincapié en las cantidades que varían, - así como las que se mantienen constantes y la forma como se realizaron

las mediciones.

Datos Experimentales.- Si es necesario se deberán tabular, mediante cuadros, los datos obtenidos en el ensayo.

Cálculos y Resultados.- A base de los datos experimentales y las fórmulas se procederá a realizar las operaciones con el fin de obtener los resultados numéricos correspondientes a la experiencia. Se deberán tabular los resultados.

Gráficos y Ajustes.- A partir de los resultados se deberán trazar las curvas y efectuar su ajuste respectivo con el fin de obtener su ecuación característica.

Conclusiones y Recomendaciones.- Las Conclusiones deberán abarcar los logros alcanzados en el experimento, un ligero análisis de los tipos de errores posibles y una explicación de curvas o gráficas que no son de características evidentes. Las recomendaciones deberán buscar el mejoramiento del ensayo.

Bibliografía.- Deberán figurar las fuentes bibliográficas con su descripción adecuada. Este punto también se debe tomar en cuenta para el Informe previo.

II. MEDICIONES DE TEMPERATURA

II.1 INTRODUCCION.

Una de las definiciones de temperatura que se utiliza en la Termodinámica es: "Temperatura es una medida de la energía cinética media de una sustancia". Otra forma de relacionar el concepto de temperatura es cuando definimos: "La cantidad de calor transferido en un cuerpo, está en función de su temperatura, de su masa y del tipo de sustancia que constituye el cuerpo". También está involucrada la temperatura cuando decimos "que un cuerpo es más caliente que el otro cuando el calor fluye en forma natural del primer cuerpo hacia el segundo".

Los instrumentos para medir temperatura tienen una gran importancia en la Ingeniería y en la Investigación.

Para determinar la temperatura de una sustancia, se mide la variación de otras propiedades que originan el estado de la sustancia y que están en función de la temperatura.

Estas propiedades pueden ser: El volumen, la presión, los coeficientes de expansión, la resistencia eléctrica, los efectos termoeléctricos, la radiación, el punto de fusión, etc.

Las prácticas de mediciones de temperatura tienen la finalidad de que el estudiante se familiarice con los diferentes instrumentos que miden esta propiedad y que a su vez sea capaz de efectuar un análisis de sus principios de funcionamiento. También se pretende que el estudiante esté en condiciones de seleccionar adecuadamente un instrumento.

II.2 ESCALAS DE TEMPERATURA.

Las escalas de temperatura son por un lado la Escala Centígrada y la Escala Fahrenheit, las mismas que están divididas en 100 unidades y 180 unidades respectivamente entre dos estados de referencia como son el punto de fusión del hielo (0°C y 32°F respectivamente) y el punto de ebullición del agua (100°C y 212°F respectivamente para cada Escala), ambos a la presión atmosférica estándar.

Como los ceros de las Escalas Centígrada y Fahrenheit son totalmente arbitrarios se vio la necesidad de definir un cero absoluto de temperatura que es el cero de la Escala Centígrada Absoluta ó Escala Kelvin y de la Escala Fahrenheit Absoluta también denominada Escala Rankine.

El cero absoluto de temperatura está definido ó puede imaginarse (ya que solamente es posible llegar a este valor por extrapolación) como la temperatura a la cual las velocidades moleculares de un gas ideal son nulas.

$$^{\circ}\text{F} = 1.8^{\circ}\text{C} + 32$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} = \frac{^{\circ}\text{R} - 492}{9} = \frac{\text{K} - 273}{5}$$

$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{R}$	
100	373	212	672	<i>Punto de ebullición del H₂O</i>
0	273	32	492	<i>Punto de solidificación del H₂O</i>
-17.78	255.2	0	460	<i>Cero Fahrenheit</i>
-40		-40		<i> lecturas iguales</i>
-273	0	-460	0	<i>Cero absoluto.</i>

FIG. II.1

II.3 METODOS DE MEDICION DE TEMPERATURAS

a) Medición de Temperatura por efectos de Expansión.

Los termómetros que funcionan con efectos de expansión son:

- Termómetros de Bulbo
- Termómetros Bimetálicos
- Termómetros de Tubo de Bourdon

b) Medición de Temperatura por efectos eléctricos.-

Los termómetros que utilizan efectos eléctricos son:

- Termocuplas o termopares
- Termómetros por Resistencia Eléctrica.

c) Medición de Temperatura por efectos de Radiación.-

Los termómetros que aprovechan el efecto de radiación son:

- Los pirómetros ópticos
- Los pirómetros de radiación.

d) Medición de Temperatura por Cambio de Fase.-

En este tipo tenemos:

-Los termómetros de cambio de fase.

II.4 MEDICION DE TEMPERATURAS POR EFECTOS DE EXPANSION.

Objetivo.- Efectuar mediciones de temperatura con termómetros de Bulbo, calibrar un termómetro de Bulbo y efectuar correcciones de temperatura en función de la variación de su profundidad de inmersión. También efectuar mediciones de temperatura con termómetros bimetalicos y con termómetros de tubo de Bourdon.

TERMOMETROS DE BULBO

El Termómetro de Bulbo o de líquido en vidrio o de expansión de líquido, es uno de los dispositivos más comunes para medir temperatura. Consta de un tubo de vidrio, un tubo capilar, un bulbo sensor de la temperatura y algunos de ellos llevan un bulbo de seguridad en la parte superior en caso que se utilicen para rangos de temperatura mayores para los que han sido diseñados. (Ver figs.) Fig. II.13, II.14, II.15 y II.16

Los líquidos mas utilizados en este tipo de termómetro son: El Alcohol para temperaturas pequeñas, inferiores a -35°C y un máximo de 90 a 120°C ya que su punto de ebullición es bajo, como el alcohol es incoloro se utiliza con anilina por razones de visibilidad. El otro líquido utilizado es el mercurio que no puede ser empleado a temperaturas menores que su punto de fusión que es de -37°C y el límite superior es su punto de ebullición que es de 357°C ; sin embargo, para temperaturas mayores que 350°C el vidrio debe elegirse con mucho cuidado y el capilar debe llenarse con un gas inerte, para aumentar la presión y por lo tanto el punto de ebullición del mercurio, que puede llegar a algo más de 650°C .

Es importante hacer notar que la expansión registrada en los termómetros de líquido en vidrio es una diferencia de expansión del líquido y del vidrio, siendo la primera considerablemente mayor que la segunda.

A la temperatura del medio ambiente casi todo el líquido se encuentra en el bulbo y conforme aumenta la temperatura el líquido se va expandiendo en el tubo capilar, leyéndose la magnitud de la temperatura en el tubo graduado de vidrio.

Los grados de precisión de los termómetros de mercurio vienen dados en la tabla de la British Standards Code N°1041. En esta se puede encontrar

trar las correcciones para los grados A y B y en el caso del grado C - que es para termómetros comerciales, su precisión es menor y por lo tanto tienen menor costo.

Los termómetros de Bulbo o de Líquido en vidrio se calibran o gradúan para inmersión parcial o para inmersión total. Cuando se requiere una alta precisión se utilizan los termómetros de inmersión total, los cuales han sido calibrados con la escala totalmente sumergida al momento de su fabricación. Mientras que los termómetros de inmersión parcial se deberán utilizar para la profundidad de inmersión que han sido diseñados. Los termómetros de inmersión parcial vienen con una grabación - que indica la altura a la cual debe introducirse el vastago para su lectura y por otro lado hay que tener en cuenta que la temperatura ambiente a la que queda expuesta la parte del vastago no sumergido debe ser similar a la temperatura ambiente considerada en su calibración o diseño.

Con la siguiente fórmula podría calcularse el valor de corrección o error:

$$E = C \cdot \Delta^{\circ}C \cdot (T_1 - T_2)$$

Donde:

E = Corrección por vastago emergente (en °C)

C = Constante del Termómetro de Mercurio en vidrio = 0.00016

$\Delta^{\circ}C$ = Diferencia de grados centígrados entre el punto de lectura y el punto de inmersión.

T₁ = Temperatura observada en el termómetro de inmersión parcial

T₂ = Temperatura del medio ambiente dada por el termómetro auxiliar.

Ejm.

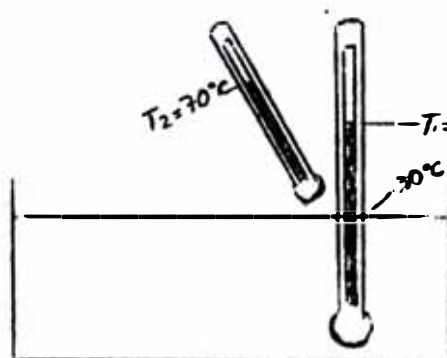


FIG. II. 2

$$\begin{aligned} \Delta^{\circ}C &= 140^{\circ}C - 30^{\circ}C \\ &= 110^{\circ}C \\ \text{LUEGO:} \\ E &= 0.00016 \times 110^{\circ}C (140^{\circ}C - 70^{\circ}C) \\ E &= 1.232^{\circ}C \\ \bullet \bullet T_{\text{VERDADERA}} &= T_V = T_1 + E \\ T_V &= 140^{\circ}C + 1.232 \\ T_V &= 141.232^{\circ}C \end{aligned}$$

Como se puede apreciar estas correcciones se utilizan para mediciones de precisión y básicamente en altas temperaturas.

En los termómetros de Bulbo o de líquido en vidrio encontramos los termómetros acorazados (para proteger su fragilidad) que pueden ser de uso portátil, o fijos usados en instalaciones industriales, estos termómetros suelen ser de poca precisión ya que la coraza dificulta la captación de la temperatura y la escala suele ser una tira metálica adosada que puede desfasarse de la lectura calibrada. (Ver figs.)

Otro termómetro de este tipo, es el termómetro diferencial de Beckman que se utiliza para medir pequeños cambios de temperatura y su uso se basa en que tiene un bulbo bastante grande que al menor cambio de temperatura origina un desplazamiento apreciable en el capilar (Ver fig. II.16).

TERMOMETROS BIMETALICOS

Este tipo de termómetro consta de dos tiras metálicas con diferentes coeficientes de expansión térmica. Si este dispositivo bimetalico se expone a una temperatura mayor que a la que fue unido se doblará en una dirección y si se le somete a una temperatura menor se doblará en la dirección opuesta.

Los materiales que se utilizan comúnmente en estas tiras bimetalicas son acero-hierro, latón-niquel, niquel-hierro ó invar, uniéndose las láminas por soldadura autógena o inclusive remachandolas y tomando en cuenta el tipo de unión para la dilatación. Estos elementos también pueden usarse en forma de espirales o hélices, cuando se requiere amplificar su movimiento; y el extremo libre de la cinta bimetalica enrollada hace mover a un eje que acciona la aguja indicadora. Cuadro pág.

266, Libro HOLMAN.

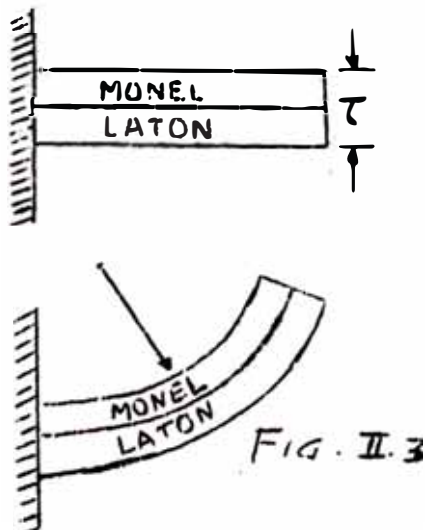


TABLA I. PROPIEDADES MECANICAS DE ALGUNOS MATERIALES TERMICOS COMUNMENTE UTILIZADOS.

MATERIAL	COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA °C - L.	MODULO DE ELASTICIDAD psi.
Invar	1.7×10^{-6}	21.4×10^6
Latón	2.02×10^{-5}	14.0×10^6
Monel 400	1.35×10^{-5}	26.0×10^6
Inconel 702	1.25×10^{-5}	31.5×10^6
Acero Inoxidable 316.	1.6×10^{-5}	28×10^6

α → Coeficiente de expansión térmica

t → Espesor de las dos láminas

r → Radio de curvatura

$$\alpha_{\text{Monel}} = 1.35 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{Latón}} = 2.02 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{Latón}} > \alpha_{\text{Monel}}$$

Los termómetros bimetalicos se utilizan mucho en la industria, en instalaciones permanentes, esto se debe a que son mas robustos y mas fácil de leer que los de líquido en vidrio. No son recomendables para ensayos.

TERMOMETROS DE TUBO DE BOURDON

Estos termómetros se basan en la expansión de los líquidos, gases o vapores cuando se calientan a volumen constante. Esto origina un aumento de presión que se puede aprovechar mediante un dispositivo de tubo de Bourdon para así medir la temperatura del fluido. Es decir la presión origina el enderezamiento del tubo de Bourdon, este movimiento puede calibrarse en temperatura.

Hay tres tipos de termómetros de tubo de Bourdon:

- a) Llenos de líquido
- b) Llenos de vapor
- c) Llenos de gas (ver figs. II.17 y II.18)

Este tipo de Termómetros constituye uno de los métodos más económicos y versátiles en las aplicaciones industriales, teniendo su desventaja en que la indicación de la temperatura incluye la temperatura del tubo capilar y la del tubo Bourdon, lo que puede reducirse haciendo el volumen del bulbo grande con respecto al resto del aparato. Los termómetros de nitrógeno se utilizan entre -50 y 550°C y se recomiendan en general termómetros de gas para medir temperaturas inferiores a 90°C .

II.5 MEDICION DE TEMPERATURA POR EFECTOS ELECTRICOS

Objetivo.- Aprender a medir temperaturas con termocuplas o termopares en un horno Mufla, mediante un potenciómetro y luego calibrar esta termocupla comparándola con un termómetro normalizado. También efectuar mediciones de temperatura con un termómetro de resistencia (Termómio), utilizando un puente Wheatstone y calibrarlo

Fundamento Teórico.- Como hemos definido en la introducción general el sistema generalizado consta de tres etapas.

- a) El elemento primario o etapa detectora-transformadora, que para el caso de los dispositivos de medición de temperatura que se basan en efectos eléctricos serían: El par termoelectrónico, la ampolla de resistencia que receptionan la señal térmica y la transforman en una señal eléctrica y en una señal resistiva respectivamente, luego
- b) La segunda etapa que es la etapa transitoria que se efectua por medio de un potenciómetro o galvanómetro o un minivoltmetro, para pasar a
- c) La tercera etapa en que se traducen la señal eléctrica en unidades de temperatura en un indicador.

TERMOCUPLAS O TERMOPARES

El método más utilizado para medir temperaturas por efectos termoelectrónicos es el que utiliza las termocuplas o termopares. Sirvan para medir temperaturas muy elevadas alrededor de $1,400^{\circ}\text{C}$, también se utilizan para medir temperaturas moderadas y cercanas e inferiores a la atmosférica, son recomendables para la medición de temperaturas fluctuantes.

La termocupla consiste en juntar dos metales diferentes (Fig. 17.4) produciéndose una fuerza electromotriz en la junta fría o de referencia que se conoce como efecto de Seebeck y es principalmente función de la temperatura de la junta caliente. Si en los dos alambres existe una fuerza electromotriz, circula una corriente y dependiendo del sentido en que circule la corriente la fuerza electromotriz puede alterarse ligeramente por el efecto Peltier que es originado por la diferencia de potencial en la unión de los dos alambres diferentes. Además al existir un gradiente de temperatura en un sólo alambre cuando sus extremos están a diferentes temperaturas, la fuerza electromotriz puede tener otra pequeña alteración conocida como Efecto Thomson.

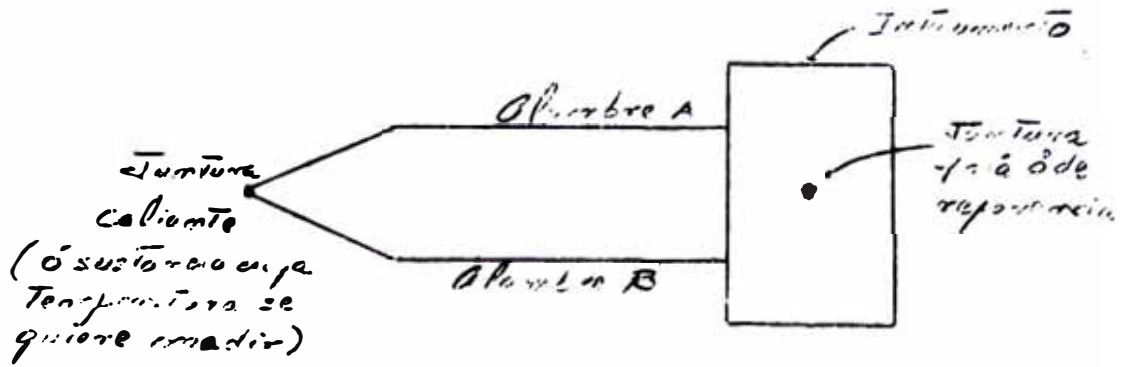
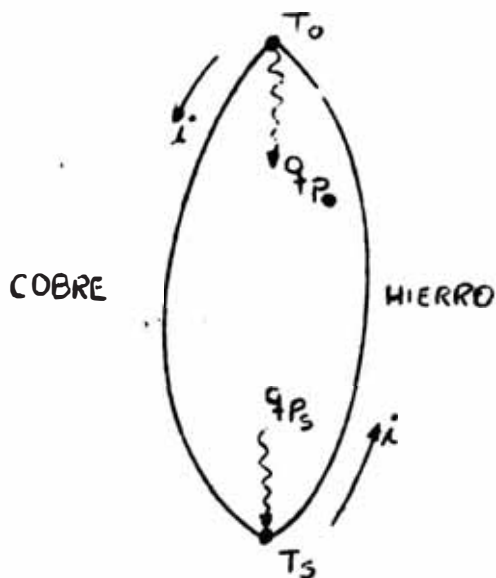


Fig. II 4. Disposición de una Termocupla simple.

Efecto Seebeck. - En un circuito termoeléctrico compuesto por dos metales diferentes (Ejm. hierro-cobre), donde las juntas de estos metales se encuentran a diferentes temperaturas (que puede ser una temperatura " T_0 " del ambiente y una temperatura " T_s " de la sustancia cuya temperatura se quiere medir) se produce una fuerza electromotriz que permite el flujo de una corriente eléctrica por el circuito. En el ejemplo mostrado la corriente fluye del hierro al cobre en la junta fría y del cobre al hierro en la junta caliente. (Fig. II 5)

(Junta fría ó Junta de Referencia)



i = Flujo de corriente eléctrica

$T_s > T_0$

(Junta caliente)

Fig. II 5. Circuito de Termocupla simple

Efecto Peltier.- Como consecuencia del flujo de corriente originado por el efecto Seebeck, según el sentido que tenga la corriente en las Juntas de los dos metales se libera o absorbe calor. Del hierro al cobre se libera calor y del cobre al hierro se absorbe calor. Este efecto conocido como efecto Peltier es diferente al de Joule ($I^2.R$) en donde el calentamiento no depende del sentido de la corriente.

$$\text{Coeficiente Peltier} = \frac{\text{Calor liberado o absorbido en la Junta (} q_p \text{)}}{\text{Carga eléctrica transportada en la Junta}}$$

$q_p \rightarrow$ Calor Peltier.

Si ambas Juntas estuvieran a la misma temperatura, la fuerza electromotriz en una de ellas sería de la misma magnitud y solamente de sentido contrario a la fuerza electromotriz en la otra junta y la fuerza electromotriz resultante del circuito sería nula.

Sin embargo si se da una diferencia de temperatura en las juntas, como en el circuito de termocupla mostrado en la figura anterior (Fig. H.5), la F.E.M. en la junta caliente es mayor que la F.E.M. en la junta fría lo que produce una F.E.M. resultante en el circuito y esta a su vez el flujo de corriente.

Luego:

$$\text{F.E.M. Peltier resultante en el circuito} = \text{F.E.M. Peltier a } "T_s" - \text{F.E.M. Peltier a } "T_o"$$

Efecto Thomson.- Si el efecto Peltier fuera la única fuente de F.E.M, concluiríamos que la F.E.M. total es proporcional a $(T_s - T_o)$, lo cual es falso, si observamos en el circuito de termocupla descrito anteriormente (Fig. E.5), en donde aumentamos la temperatura de la sustancia calentando más la junta caliente y manteniendo constante la temperatura de la junta fría, la F.E.M. en el circuito aumenta inicialmente, luego comienza a disminuir hasta llegar a cero y luego se invierte.

Por otro lado si consideramos la diferencia de temperatura que se produce en cada alambre conductor, se da lugar a otro efecto térmico reversible, conocido como el efecto Thomson, como consecuencia del flujo de corriente.

Thomson observó que en un alambre de cobre, en un punto determinado "P" si el calor que fluye por el alambre conductor tiene el mismo

sentido de la corriente cuando se dirige hacia P se libera calor, mientras si tienen diferentes sentidos se absorbe calor. Esto considerando que a través del alambre conductor la temperatura va variando de punto en punto.

En el caso del Hierro Thomson observó que se absorbe calor si el flujo de calor tiene el mismo sentido que la corriente y si se invierte la corriente se libera calor.

$$\text{F.E.M. total resultante} = \text{F.E.M. Peltier} + \text{F.E.M. Thomson}$$

Análisis de un Circuito Termoelectrico. - Si analizamos un circuito termoelectrico podemos concluir en que:

- La selección de los materiales para una termocupla se efectúa de tal manera que la F.E.M. total resultante (Peltier + Thomson) sea la máxima para el rango de temperatura a aplicar.
- Si colocamos un tercer metal en el circuito termoelectrico como el mostrado en la Fig. II.6 por la "Ley de los Metales Intermedios" podemos asegurar que no variará la F.E.M. neta del circuito, siempre y cuando sus puntos de entrada y salida esten a la misma temperatura.
- Los puntos de entrada y salida del tercer metal pueden ser indistintamente la conexión del metal "A" con el cobre o la conexión del metal "B" con el cobre (Fig. II.6), las cuales deben estar en contacto térmico para asegurar que se encuentran a la misma temperatura pero aisladas electricamente entre sí.
- Un circuito de termocupla, involucra cuando menos dos juntas, en donde conociendo la temperatura de una de ellas (temperatura de la junta de referencia) es fácil calcular la otra temperatura conociendo las propiedades termoelectricas. La temperatura de la junta de referencia suele mantenerse constante a 32°F ó 0°C en una mezcla de agua y hielo en un frasco especial.

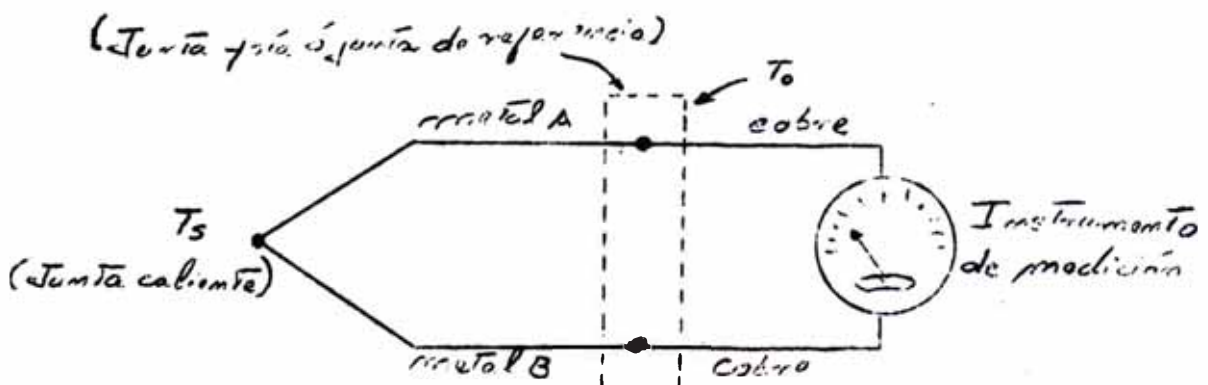


FIG. II.6 CONEXION DE TERMOCUPLA CON UN TERCER METAL.

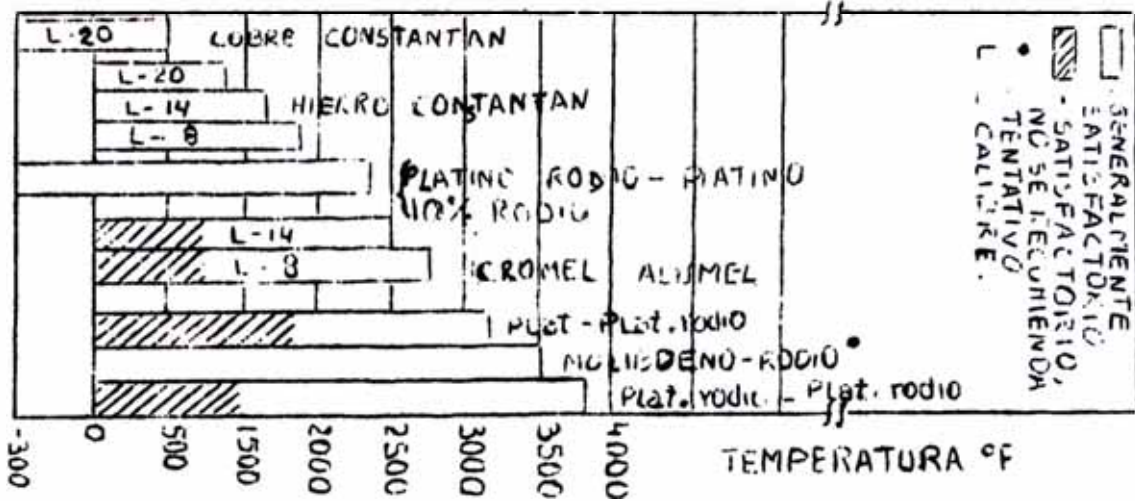


Fig. II.7 RESUMEN DEL RANGODE OPERACION DE LAS TERMOCUPLAS.

NOTA.- En la tabla que se adjunta ^{2 y Fig. II.19} al final de la experiencia se da la fem. originada para algunas combinaciones de TERMO PARES y diferentes temperaturas. Igualmente se presenta un gráfico que nos resume el rango de operación de los termopares *líneas arriba.*

El Constantan es una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel, es resistente a la corrosión y conserva adecuadamente su calibración.

El Cromel es una aleación aproximada de 20% de cromo y 80% de níquel.

El Alumel tiene aproximadamente 2% de aluminio y 98% de níquel.

Circuito de Termocupla

La F.E.M. obtenida por una distribución en serie que consta de "N" tramos es N veces la F.E.M. de cada tramo. Este tipo de circuito se utiliza para obtener la temperatura promedio de una área o región. (Fig. - II.8)

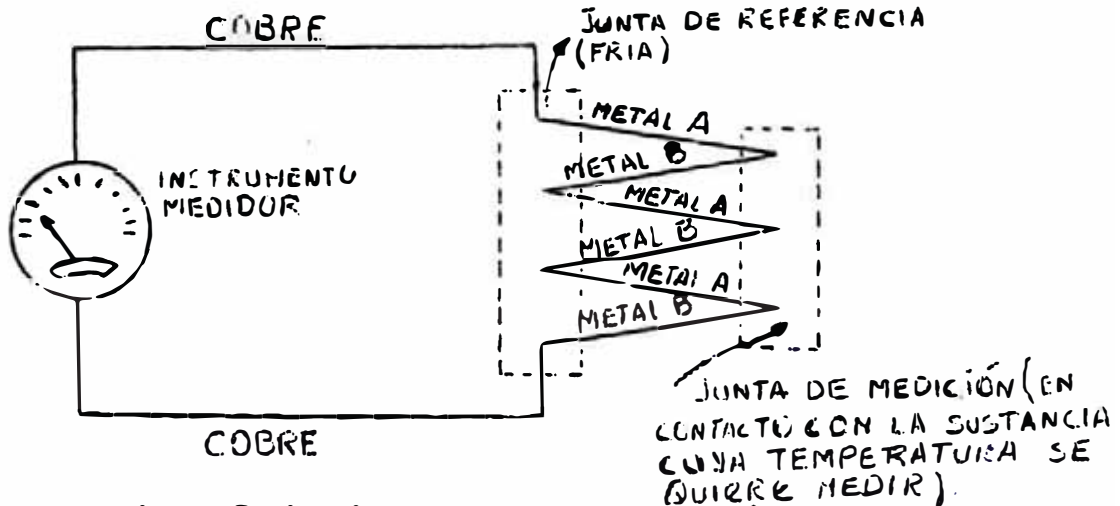


Fig. II 8 Circuito de Termocupla en serie

Otra forma de conectar un circuito de termocupla es en paralelo, de esta forma podemos leer la temperatura promedio de los tramos en paralelo de la termocupla a través de una F.E.M. promedio. Este circuito tiene la ventaja que si se desconecta un tramo, el circuito puede seguir funcionando. (Fig. II 9)

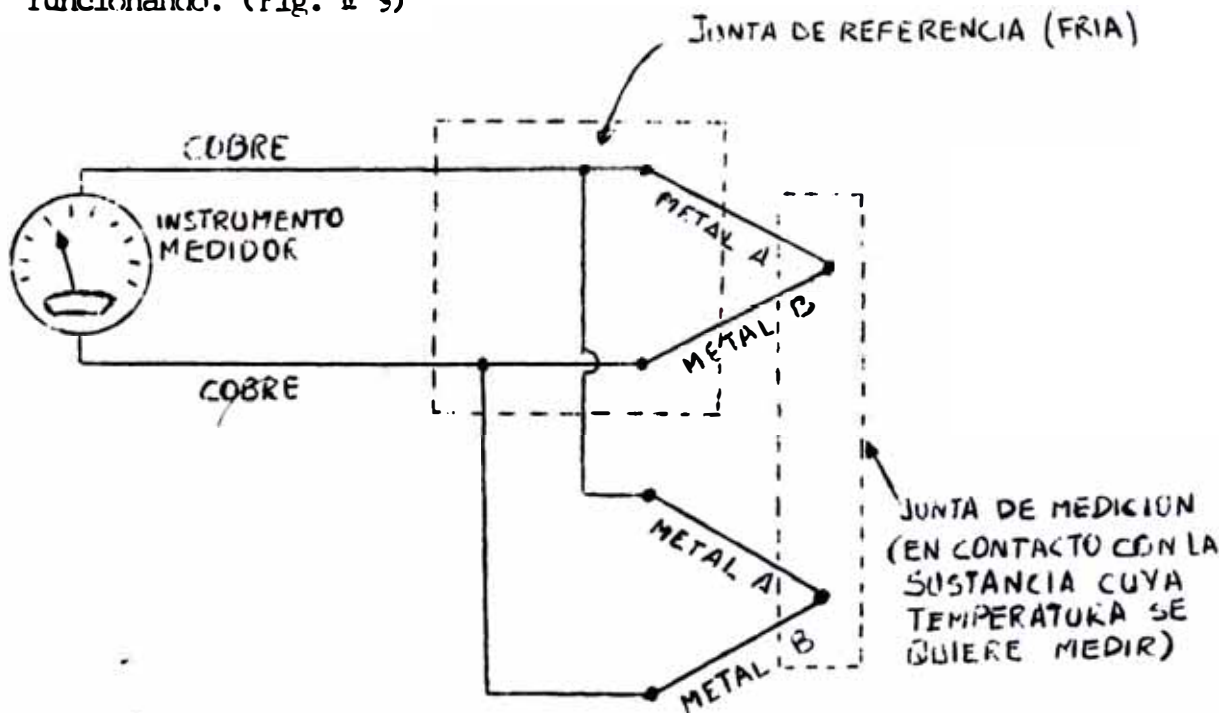


Fig. II 9 Circuito de Termocupla en paralelo.

Selección de una Termocupla.- Debe tomarse en cuenta tres factores principales:

- La rapidez de respuesta ó de reacción a las variaciones de temperatura que se necesitan
- La profundidad de inmersión ó sea la distancia que la termocupla tiene que penetrar en el equipo utilizado en el proceso.
- El tiempo de vida ó duración, es decir el tiempo probable durante el cual la termocupla conservará una exactitud aceptable.

Recomendaciones de Instalación de una Termocupla.- Se recomienda:

- No debe ponerse el par en la trayectoria directa de una llama, pongase el par donde se mida la temperatura media.
- Procurese colocar el par de modo que el extremo caliente pueda verse - desde la puerta del horno.
- Introduzcase el par en el horno de modo que la junta caliente esté por completo dentro de la zona de la temperatura que se quiere medir.

- Nunca debe introducirse bruscamente un tubo protector de porcelana dentro de un horno caliente, pues puede rajarse.
- Cuando la temperatura sea superior al punto de reblandecimiento del tubo protector debe montarse el par en un soporte horizontal para evitar que se curve por su propio peso.
- El uso de tubos protectores aumenta el tiempo de vida de la termocupla pero dificulta la lectura de temperaturas rápidamente fluctuantes y retarda el tiempo de medición.
- Para aumentar la resistencia de la junta los alambres pueden ser retorcidos.

TERMOMETROS POR RESISTENCIA

Estos termómetros se basan en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico varía con la temperatura. en la mayoría de los metales la variación de la resistencia eléctrica está en función directa de la variación de la temperatura (la variación de la resistencia eléctrica no es reproducible si la composición del metal es afectado por la temperatura, por contaminación ó por esfuerzos mecánicos).

El elemento sensible a la temperatura es un espiral de alambre, generalmente de níquel, cobre, ó platino, con coeficientes de resistencia de temperaturas, elevados. El níquel es el material mas común para hacer las ampollas de resistencia ó termohmios y suele usarse para rangos de temperatura de -100°C a 150°C , llegando en circunstancias especiales hasta 300°C ; el cobre se utiliza entre -30°C a 230°C y tiene la ventaja sobre el níquel que se puede encontrar en estado puro, sin embargo por su baja resistividad tiene que ser el conductor muy largo; el platino puede ser usado entre -200 a 650°C inclusive como termómetro patrón, su desventaja es el alto costo y se puede utilizar hasta cerca de los 1000°C .

Existe otro tipo de termómetros de resistencia o termohmios en donde la variación de la resistencia eléctrica está en función inversa a la temperatura. Este dispositivo toma el nombre de termistor y es un semiconductor que tiene coeficientes negativos de resistencia por temperatura. (Ver Tabla 3).

Para medir la resistencia del elemento sensible ó termómetro se utiliza un dispositivo que recurre al puente Wheatstone ó alguna otra disposición similar. (Fig. II.10)

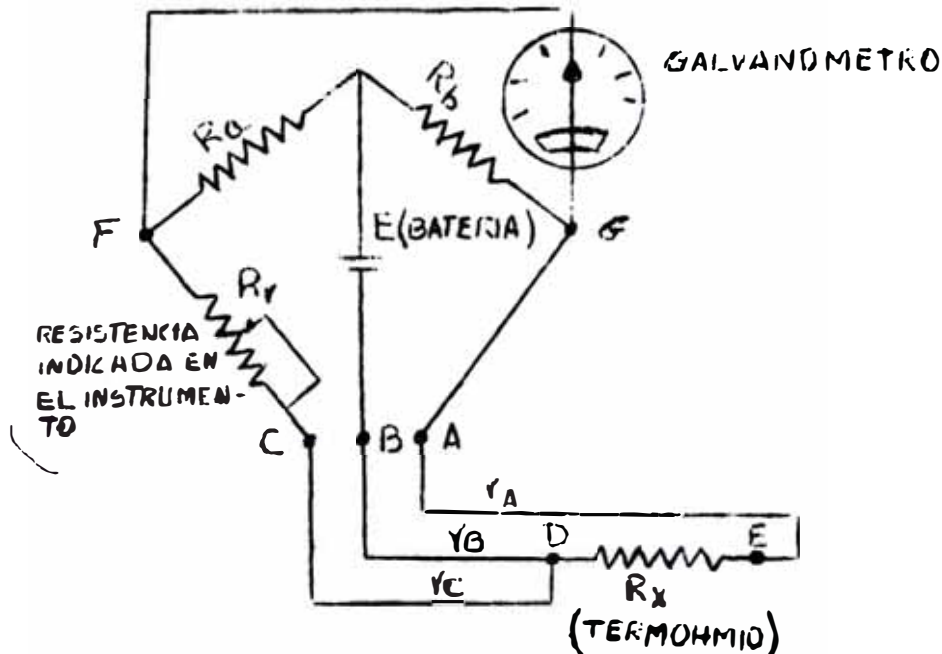


Fig. II.10 Puente Wheatstone con Termómetro de Resistencia.

Donde:

- R_a y R_b son resistencias invariables y $R_a = R_b$
- R_x es la resistencia del Termómetro o termómetro de resistencia
- r_A , r_B y r_C son resistencias de los cables de conexión
- E es la F.E.M. de la batería
- R_r es la resistencia indicada en el instrumento (resistencia ajustable).

En esta disposición de puente Wheatstone hay dos circuitos, uno de ellos va desde la batería a través de la resistencia fija R_a y la resistencia variable R_r y uno de los alambres de conexión (r_C) al terminal D del elemento sensible, para volver por otro de los alambres de conexión al terminal B y luego a la batería. El otro circuito comienza en la batería pasa por la resistencia fija R_b y llega al terminal B por el tercer alambre de conexión (r_A) y pasando por el trazo común DB (r_B), los alambres CD y AE se hacen del mismo material, diámetro y longitud.

Haciendo la caída de tensión entre la batería y los puntos F y G respectivamente iguales, no circula corriente alguna en el galvanómetro.

$$I_a = I_b \quad \dots (\alpha) \quad I_{Rr} = I_{Rx} \quad \dots (\beta)$$

La caída de voltaje por "a" es igual a la caída de voltaje por $(R_r + r_c)$ y la caída de voltaje por "b" es igual a la caída de voltaje por $(R_x + r_a)$, luego:

$$\Delta V_a = I_a \cdot R_a = \Delta V_{(R_r + r_c)} = I_{R_r} \cdot (R_r + r_c) \quad \dots (\gamma)$$

$$\Delta V_b = I_b \cdot R_b = \Delta V_{(R_x + r_a)} = I_{R_x} \cdot (R_x + r_a) \quad \dots (\delta)$$

Dividiendo (γ) (δ) y sustituyendo (α) y (β) tenemos:

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{(R_r + r_c)}{(R_x + r_a)} \quad \dots (\xi)$$

Pero como $R_a = R_b$, $\frac{R_a}{R_b} = 1$

Además hemos dicho que los cables de conexión de las resistencias r_a y r_c son iguales en diámetro, material y longitud $r_a = r_c$ (El cable de la resistencia r_b , cable común, puede ser distinto)

Luego: $R_r = R_x \quad \dots (\eta)$

Por lo que podemos decir que la resistencia indicada en el instrumento (resistencia variable) es igual a la resistencia del termómetro ó termómetro de resistencia.

La relación entre la resistencia R_x del termómetro y la temperatura T de la sustancia a calibrar es:

$$R_x = \rho \frac{L}{S} \quad \dots (\theta)$$

Donde:

ρ es la resistividad en $\Omega \cdot m$

L es la longitud en m.

S es el área de la sección recta en m^2

Pero:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \dots) \quad \dots (\mu)$$

Combinando (θ) y (μ) tenemos:

$$R_x = A + B T + C T^2$$

Donde:

$R_x \rightarrow$ Resistencia del termómetro en ohmios (Ω)

$T \rightarrow$ Temperatura de la sustancia a medir en $^{\circ}C$

A, B y $C \rightarrow$ Constantes del material conductor de la resistencia (elemento sensible)

El termómetro de resistencia tiene la ventaja sobre la termocupla que no necesita normalización, ni mantener una juntura fría, sin embargo tiene el inconveniente que el elemento sensible está en función de una cierta longitud del cable del elemento sensible y no es tan recomendable como la termocupla para tomar la temperatura en un punto definido.

II.6 MEDICION DE TEMPERATURA POR EFECTOS DE RADIACION.

Objetivo.- Efectuar mediciones de temperatura mediante un pirómetro óptico en un horno, del caldero, y otros dispositivos térmicos.

Fundamento Teórico.- Estos termómetros se utilizan para medir temperaturas muy altas, donde los termómetros descritos anteriormente que tienen que tomar contacto con el cuerpo cuya temperatura se quiere medir, se destruirían.

PIROMETROS DE RADIACION

El pirómetro de radiación se basa en la radiación de energía que emiten los diferentes cuerpos, la cual es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura superficial del cuerpo.

Como se muestra en la fig. II-11 el pirómetro de radiación recibe la radiación emitida por el objeto, del cual se quiere medir su temperatura, la cual es recepcionada por un espejo que a su vez la refleja sobre la termocupla, generando esta una F.E.M. que va a ser leída por un Galvanómetro o potenciómetro y traducida a su vez a unidades de temperatura.

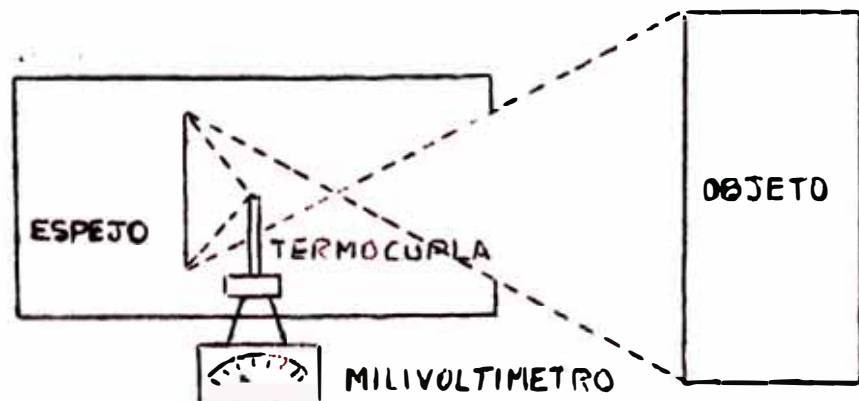


FIG. II-11 PIROMETRO DE RADIACION.

Conociendo la emisividad de la superficie, cuya temperatura esta - siendo observada por el pirómetro de radiación se puede obtener la temperatura verdadera. (Ver tabla: 4)

$$T^4 \text{ verdadera} = T^4 \text{ observada} : \text{emisividad}$$

Los pirómetros de radiación se utilizan para medir temperaturas en hornos y en adecuadas condiciones de no interferencia de gases, vapores y radiaciones parásitas, se alcanzan precisiones del orden de 6 a 12°C y sirven para medir temperaturas entre 550 a 1,650°C.

PIROMETROS OPTICOS

El pirómetro óptico mide la temperatura de un cuerpo, consiguiendo igualar su brillo mediante un sistema eléctrico óptico. Mediante una - batería se suministra corriente que permite calentar un filamento con - que cuenta el pirómetro hasta hacer que iguale en brillo al cuerpo cuya temperatura se quiere medir.

Se utiliza un filtro rojo para apreciar una radiación monocromática, que va variando del rojo oscuro al blanco, pasando por el naranja, además un filtro de absorción que va en la parte frontal y reduce la intensidad de radiación ajustando la corriente que regula la lámpara se - puede conseguir el color del filamento con el de la radiación (Fig. II.12)

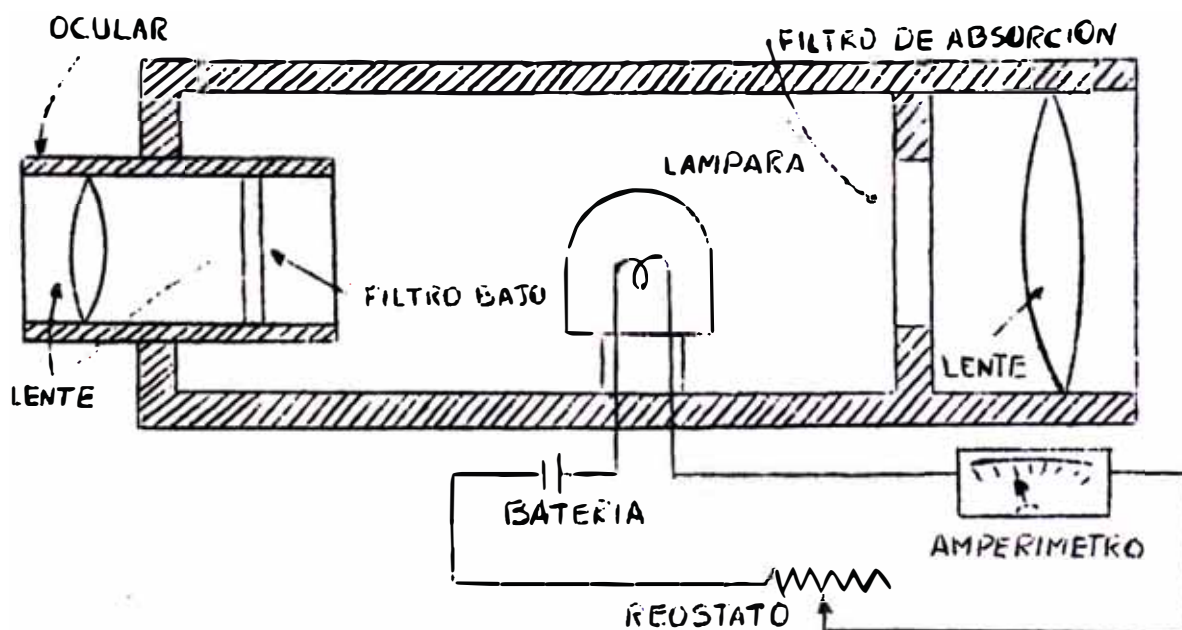


Fig. II.12 Pirómetro Optico

El pirómetro óptico se apunta a la superficie cuya temperatura se quiere medir y se regula el reostato hasta que aparentemente desaparezca el brillo del filamento porque se ha igualado con la radiación emitida. El miliamperímetro está graduado directamente en temperatura y debe traducir la F.E.M. que requiere para alcanzar el equilibrio.

Este instrumento no es recomendable para temperaturas menores a -800°C por su baja radiación. se utiliza en un rango de 800°C a $1,750^{\circ}\text{C}$ y con las mismas recomendaciones que para el pirómetro de radiación se alcanzan precisiones alrededor de 5°C .

II.7 RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE INSTRUMENTOS PARA MEDICION DE TEMPERATURAS.

Ver al final de la experiencia. (Tabla 5).

II.8 MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LOS FLUIDOS EN MOVIMIENTO.

Cuanto más se aleja la temperatura del fluido de la temperatura del ambiente, puede encontrarse importantes diferencias de temperaturas a través de su masa y aún a temperaturas cercanas a la del ambiente se encuentra un gradiente de temperatura en la masa, si es que ha habido en ella mezcla, calentamiento ó enfriamiento. En este caso se deberá dividir la sección recta en un punto de la tubería, en un número determinado de elementos de área para tomar la temperatura de cada elemento y luego sacar la temperatura promedio de la sección recta.

En estas mediciones, son recomendables las termocuplas, sin embargo hay que precisar que la temperatura que se lee es la de la termocupla y no la del fluido por los efectos de conducción y radiación del calor que se dan en los alambres de conexión o tubos protectores. Cuando se utilizan termocuplas sin tubo protector se pueden arrollar los alambres para que el calor no salga de la termocupla, aunque no lo elimina y si se usan tubos protectores se deben preferir de baja conductividad térmica para reducir los efectos de radiación, pero esto a la vez dificulta la medición de temperaturas fluctuantes. También se utilizan las pantallas de metal pulido para evitar la radiación y con este método no se dificulta mayormente la toma de temperaturas fluctuantes.

La velocidad del fluido origina un choque sobre el elemento sensible del termómetro que transforma su energía cinética en entalpia sin

embargo para un flujo normal de fluidos en caños, conductos, canales - se puede despreciar este efecto.

II.9 RECOMENDACIONES GENERALES PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURAS

- 1) En la lectura de la temperatura de termómetros de vidrio y de elemento indicador debe tenerse el suficiente cuidado de estar situado con la vista al mismo nivel del líquido o aguja indicadora.
- 2) Según el rango de temperaturas que se desee medir debe elegirse el termómetro más adecuado tanto para asegurar la precisión deseada como para mantener en buen estado de calibración el instrumento.
- 3) Siempre que la masa a medir tenga un gradiente de temperatura (sólido o fluido) deberá tratarse que el elemento sensible este en contacto con la zona donde se da la temperatura promedio.

II.10 EJERCICIOS Y ENSAYOS

- 1) Efectuar correcciones para un termómetro de inmersión total, utilizado inmerso en la sustancia en forma parcial y las correcciones que debieran hacerse para un termómetro de inmersión parcial que no es aplicado a la altura de inmersión de su diseño.
- 2) Efectuar mediciones adecuadas con diferentes termómetros de Bulbo e indicar su responsabilidad, variancia y sensibilidad.
- 3) Efectuar la calibración de un termómetro Beckmann siguiendo los siguientes lineamientos:
 - Sumerja un termómetro de (-10°C 100°C) en un vaso con agua, luego agregue trozos de hielo hasta obtener una temperatura cercana a la temperatura de congelación del solvente a usar.
 - Sumerja el termómetro de Beckmann en el baño y calibre para dicha temperatura.
 - Si hay poco mercurio en el bulbo se invierte el termómetro hasta que la columna de mercurio entre en contacto con el extremo superior, luego voltee el termómetro suavemente y sumerja en el vaso de agua. Repita esta operación hasta añadir al bulbo la cantidad suficiente de mercurio.
 - Si la columna de mercurio está alta, caliente el bulbo con la

mano y haga pasar el mercurio gota a gota hasta el reservorio, teniendo presente la equivalencia entre gota y grado celsius.

-Calibre el termómetro entre 16-17°C en la Escala de Beckmann.

-Tomar en cuenta que al introducir el termómetro de Beckmann ya - calibrado en una determinada muestra, esta debe estar a una temperatura baja para evitar una posible descalibración.

- 4) Cada sub-grupo deberá confeccionar un termómetro bimetalico simple y deberá verificar la deflexión de los elementos bimetalicos.

El radio de curvatura puede calcularse a partir de:

$$r = \frac{t \{ 3(1+m)^2 + (1+m \cdot n) [m^2 + (1/m \cdot n)] \}}{6(\alpha_2 - \alpha_1)(T - T_0)(1+m)^2}$$

Donde:

t = Espesor total del elemento bimetalico

m = Coeficiente de espesores, en donde el término del numerador corresponde al material del mayor coeficiente de expansión.

n = Cociente de módulos de elasticidad, en donde el término del numerador corresponde al material de mayor coeficiente de - expansión.

α_1 = Menor coeficiente de dilatación

α_2 = Mayor coeficiente de dilatación

T = Temperatura

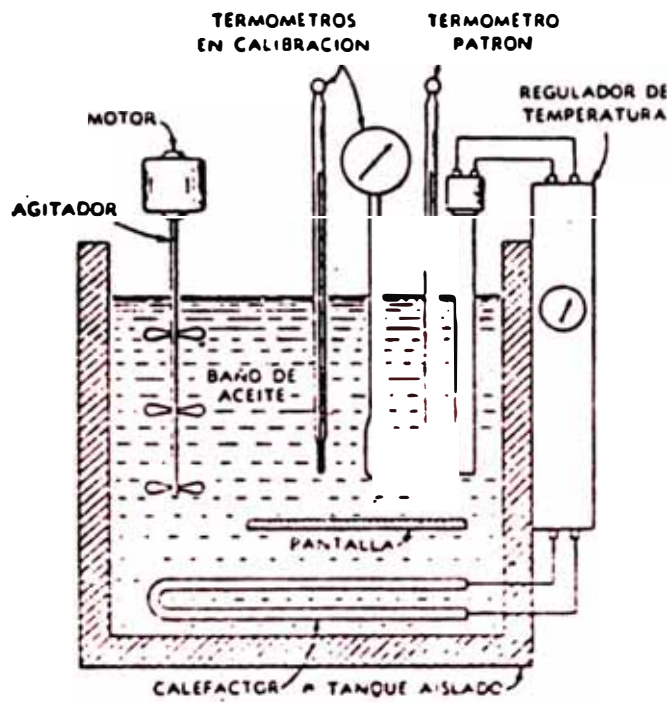
T₀ = Temperatura a la que fue unido.

- 5) Efectuar en el horno de mufla del laboratorio, la comparación de la lectura medida con la termocupla incorporada al horno y su instrumento indicador de temperatura y la lectura de la temperatura dada por un pirómetro óptico a través de la pequeña abertura que tiene el horno hacia el exterior. Este horno tiene indicada una - temperatura máxima de 900°C y para el caso se efectuará un ensayo de "Determinación de las cenizas de carbón" y punto de fusión del plomo.

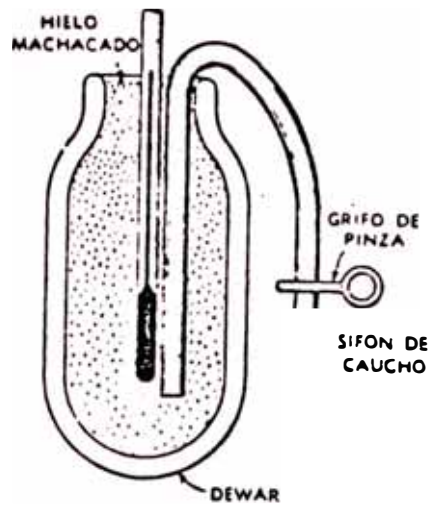
Las cenizas del carbón son elementos no deseables dentro de este combustible sólido. Por un lado aumenta el peso del combustible, al igual que la humedad cuando este se adquiere al peso y - por otra parte es necesario conocer la temperatura de fusión de - las cenizas para proyectar el equipo de quemar carbón y el de manipulación de las cenizas. Este último caso es necesario que en - los calderos de combustibles pulverizados, los productos de la com

combustión sean enfriados por debajo del punto de fusión de las cenizas para evitar la solidificación de las cenizas en los conductos del humo.

Para la determinación de las cenizas se coloca una cápsula que contiene carbón seco, la mufla se calienta gradualmente para evitar las pérdidas de partículas de carbón, las que pueden ocurrir si se expulsan demasiado rápidamente los componentes volátiles del carbón. Después de calentarlo al rojo la temperatura del horno debe elevarse entre 700 y 750°C. Cuando parezca que la combustión se ha completado se enfría la cápsula en un desecador y se enfría. Para verificar si la combustión ha sido ó no completa se vuelve a calentar la cápsula, se deja enfriar y se pesa. Se repite este procedimiento hasta que la variación de peso no exceda de 0.001 gr. según la ASTM si las cenizas se humedecen con alcohol las partículas residuales de carbón aparecen como puntos negros.



- Baño para calibración de termómetros.



- Aparato para punto de hielo.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico" - Jesse Seymour Doolittle
- "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I" - Profesores UNT
- "Métodos Experimentales para Ingenieros" - J.P. Holman
- "Principios de Control de Procesos" I.S.T. Catalina Buendia.



FIG II 13 - Termómetro de líquido en gas.

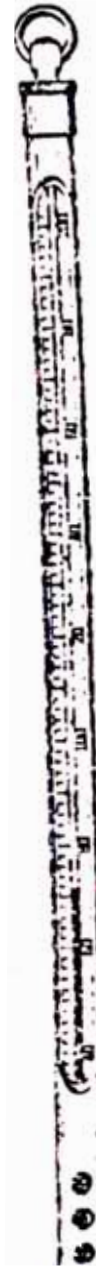


FIG II 14 Termómetro acero

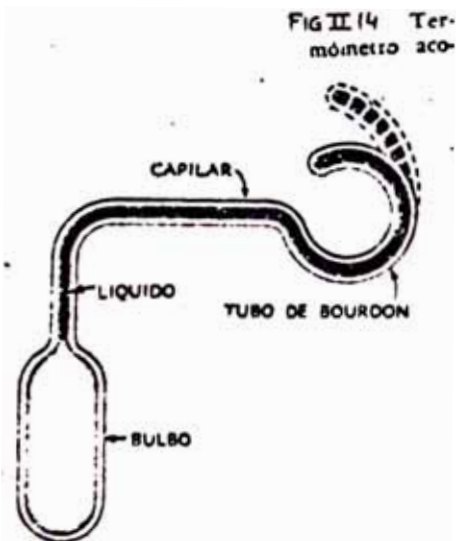


FIG II 17 - Termómetro de líquido.



FIG II 15 - Termómetro industrial.



FIG II 16 - Termómetro diferencial de Beckman.

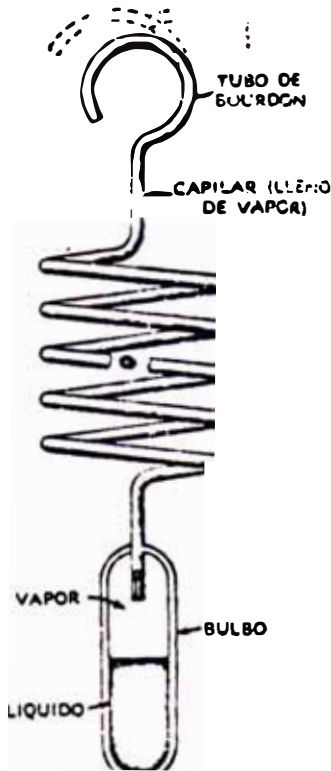


FIG II 18 - Termómetro de presión de vapor.

TABLA: 2 Fem térmica en milivolts absolutos para algunas de las combinaciones de termopares más comúnmente usados, según la Ref. [14].

(Basado en una temperatura de junta de referencia de 32°F)

Temperatura, °F	Cromo-constantán	Cromo-constantán	Hierro-constantán	Cromo-alumel	Platino 10% rodio
-500	-5.264	-5.30	-7.52	-5.51	0.221
-250	-4.747	-6.40	-6.71	-4.96	0.401
-200	-4.111	-6.40	-5.76	-4.29	0.595
-150	-3.380	-3.94	-4.68	-3.52	n. en.
-100	-2.559	-1.02	-3.49	-2.65	1.017
-50	-1.654	-1.02	-2.22	-1.70	1.242
0	-0.670	-1.02	-0.89	-0.68	1.474
50	0.389	2.27	0.50	0.40	1.712
100	1.517	2.27	1.94	1.52	1.956
150	2.711	5.87	3.41	2.66	2.458
200	3.967	9.72	4.91	3.82	2.977
250	5.280	13.75	6.42	4.97	3.506
300	6.647	17.95	7.94	6.09	4.596
350	8.064	22.25	9.48	7.20	5.726
400	9.525	26.65	11.03	8.31	7.498
450	11.030	31.09	12.57	9.43	8.732
500	12.575	40.06	14.12	10.57	10.662
600	15.773	49.04	17.18	12.86	13.991
700	19.100	62.30	20.26	15.18	17.292
800		70.90	23.32	17.53	
900			29.52	22.26	
1000			36.01	26.98	
1200				33.93	
1500				38.43	
1700				44.51	
2000				54.92	
2500					
3000					

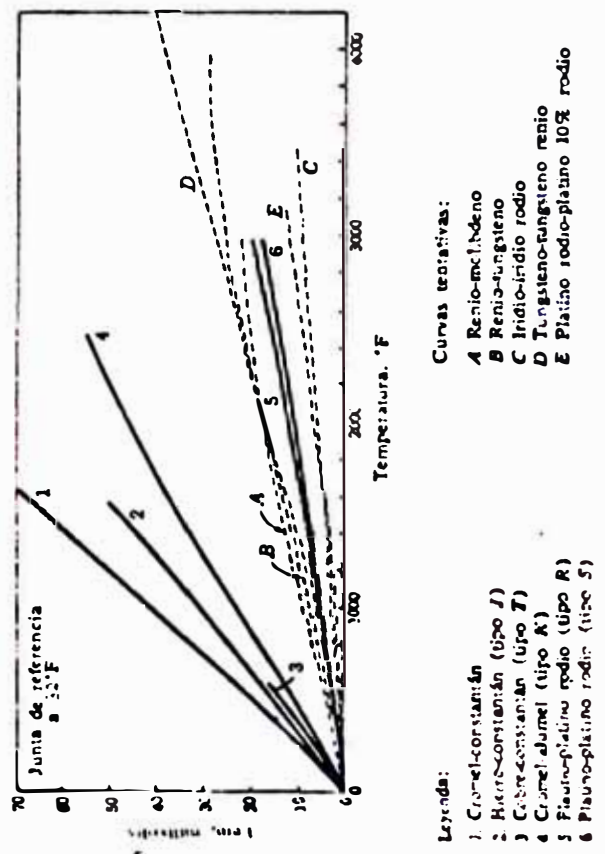


Fig II-19 Relación de fem vs. temperatura para varios materiales termopares.

3

Material	Temperatura (°F)	Fem (mV)
Ni-Cr	32	0.000
Ni-Cr	100	1.46
Ni-Cr	200	2.92
Ni-Cr	300	4.38
Ni-Cr	400	5.84
Ni-Cr	500	7.30
Ni-Cr	600	8.76
Ni-Cr	700	10.22
Ni-Cr	800	11.68
Ni-Cr	900	13.14
Ni-Cr	1000	14.60
Ni-Cr	1100	16.06
Ni-Cr	1200	17.52
Ni-Cr	1300	18.98
Ni-Cr	1400	20.44
Ni-Cr	1500	21.90
Ni-Cr	1600	23.36
Ni-Cr	1700	24.82
Ni-Cr	1800	26.28
Ni-Cr	1900	27.74
Ni-Cr	2000	29.20
Ni-Cr	2100	30.66
Ni-Cr	2200	32.12
Ni-Cr	2300	33.58
Ni-Cr	2400	35.04
Ni-Cr	2500	36.50
Ni-Cr	2600	37.96
Ni-Cr	2700	39.42
Ni-Cr	2800	40.88
Ni-Cr	2900	42.34
Ni-Cr	3000	43.80
Ni-Cr	3100	45.26
Ni-Cr	3200	46.72
Ni-Cr	3300	48.18
Ni-Cr	3400	49.64
Ni-Cr	3500	51.10
Ni-Cr	3600	52.56
Ni-Cr	3700	54.02
Ni-Cr	3800	55.48
Ni-Cr	3900	56.94
Ni-Cr	4000	58.40
Ni-Cr	4100	59.86
Ni-Cr	4200	61.32
Ni-Cr	4300	62.78
Ni-Cr	4400	64.24
Ni-Cr	4500	65.70
Ni-Cr	4600	67.16
Ni-Cr	4700	68.62
Ni-Cr	4800	70.08
Ni-Cr	4900	71.54
Ni-Cr	5000	73.00
Ni-Cr	5100	74.46
Ni-Cr	5200	75.92
Ni-Cr	5300	77.38
Ni-Cr	5400	78.84
Ni-Cr	5500	80.30
Ni-Cr	5600	81.76
Ni-Cr	5700	83.22
Ni-Cr	5800	84.68
Ni-Cr	5900	86.14
Ni-Cr	6000	87.60
Ni-Cr	6100	89.06
Ni-Cr	6200	90.52
Ni-Cr	6300	91.98
Ni-Cr	6400	93.44
Ni-Cr	6500	94.90
Ni-Cr	6600	96.36
Ni-Cr	6700	97.82
Ni-Cr	6800	99.28
Ni-Cr	6900	100.74
Ni-Cr	7000	102.20
Ni-Cr	7100	103.66
Ni-Cr	7200	105.12
Ni-Cr	7300	106.58
Ni-Cr	7400	108.04
Ni-Cr	7500	109.50
Ni-Cr	7600	110.96
Ni-Cr	7700	112.42
Ni-Cr	7800	113.88
Ni-Cr	7900	115.34
Ni-Cr	8000	116.80
Ni-Cr	8100	118.26
Ni-Cr	8200	119.72
Ni-Cr	8300	121.18
Ni-Cr	8400	122.64
Ni-Cr	8500	124.10
Ni-Cr	8600	125.56
Ni-Cr	8700	127.02
Ni-Cr	8800	128.48
Ni-Cr	8900	129.94
Ni-Cr	9000	131.40
Ni-Cr	9100	132.86
Ni-Cr	9200	134.32
Ni-Cr	9300	135.78
Ni-Cr	9400	137.24
Ni-Cr	9500	138.70
Ni-Cr	9600	140.16
Ni-Cr	9700	141.62
Ni-Cr	9800	143.08
Ni-Cr	9900	144.54
Ni-Cr	10000	146.00

Fig II-19

TABLA : 2-a Sensibilidad termoelectrica $S = dE/dT$ del termopar hecho con los materiales enlistados a continuación y el platino, $\mu\text{V } ^\circ\text{C}^{-1}$.

(La junta de referencia se mantuvo a una temperatura de 0°C)

Bismuto	- 72	Plata	6.5
Constantán	- 35	Cobre	6.5
Niquel	- 15	Oro	6.5
Potasio	- 9	Tungsteno	7.5
Sodio	- 2	Cadmio	7.5
Platino	0	Hierro	18.5
Mercurio	0.6	Nicromo	25
Carbón	3	Antimonio	47
Aluminio	3.5	Germanio	300
Plomo	4	Silicio	440
Tantalio	4.5	Telurio	500
Rodio	6	Selenio	900

TABLA : 4 |. — EMISIVIDADES SUPERFICIALES A LA TEMPERATURA AMBIENTE

Nota: Debido a que las emisividades varían mucho con la naturaleza de las superficies, los valores indicados deben tomarse solamente como aproximados.

METALES	
Superficie	Emisividad
Aluminio:	
Pulido	0.09
Chapa comercial	0.19
Muy oxidado	0.20-0.30
Superficies de techos	0.22
Cinc:	
Chapa de hierro galvanizada	0.23-0.28
Cobre:	
Pulido	0.09
Muy oxidado	0.75
Estaño	
Brillante	0.06
Hojalata	0.08
Hierro:	
Acero pulido	0.07
Hierro pulido	0.14-0.40
Chapa de acero laminada	0.66
Hierro oxidado	0.74
Hierro fundido, muy oxidado	0.95
Chapa de hierro en bruto	0.95
Latón:	
Pulido	0.06
Chapa oscura	0.22
Muy oxidado	0.60
Niquel:	
Pulido	0.07
Muy oxidado	0.57-0.48
SUPERFICIES NO METALICAS	
Agua	0.95
Amianto	0.93-0.96
Carbón:	
Negro de humo	0.96
Grafito prensado	0.98
Esmalte blanco sobre hierro	0.90
Papel	0.99
Pinturas:	
Lacas negras opacas	0.97
Pintura al aceite, todos los colores	0.92-0.96
Pinturas al aluminio	0.27-0.67
Roble cepillado	0.90
Vidrio	0.94
Yeso	0.91

TABLA: 5 Resumen de características de los instrumentos para medición de temperatura.

Dispositivo	Rango de temperatura aplicable	Exactitud aproximada, °F	Respuesta transitoria	Costo	Observaciones
Termómetro por expansión de líquido a. Alcohol	- 90 a 150	± 1	Pobre	Bajo	Utilizado en termómetros baratos para bajas temperaturas
b. Mercurio	- 35 a 600	± 0.5	Pobre	Variable	Se pueden obtener exactitudes de ± 0.1°F en termómetros calibrados especialmente
c. Mercurio-gas	- 35 a 1000	± 0.5	Pobre	Variable	
Termómetro por expansión de fluidos a. Líquidos o gas	- 150 a 1000	± 2	Pobre	Bajo	Utilizado ampliamente en mediciones de temperatura para uso industrial
b. Presión de vapor	20 a 400	± 2	Pobre	Bajo	
Elemento bimetálico	- 100 a 1000	± 0.5	Pobre	Bajo	Utilizado ampliamente en sistemas sencillos de control de temperatura
Termómetro de resistencia eléctrica	- 300 a 1800	± 0.005 *	Desde aceptable hasta buena, dependiendo del elemento	El equipo de registro puede ser muy caro en los trabajos de alta precisión	Es el más exacto de todos los métodos
Termistor	- 100 a 300	± 0.02 *	Muy buena	Bajo, pero el equipo puede ser caro en los trabajos de alta precisión	Utilizados en los circuitos de compensación por temperatura, los sensores se pueden adquirir en tamaños muy pequeños
Termopar de cobre-constantán	- 300 a 650	± 0.5	Buena, depende del tamaño del cable	Bajo	Sensibilidad lineal
Termopar de hierro-constantán	- 300 a 1200	± 0.5	Buena, depende del tamaño del cable	Bajo	El mejor en atmósferas reductoras
Termopar de cromel-alumel	- 300 a 2700	± 0.5	Buena, depende del tamaño del cable	Bajo	Resistente a la oxidación a altas temperaturas
Termopar-platino platino 10% rodio	0 a 300	± 0.5	Buena, depende del tamaño del cable	Alto	Baja sensibilidad es el más resistente a la oxidación a altas temperaturas, se puede obtener una exactitud de ± 0.15°F en combinaciones cuidadosamente controladas
Pirómetro óptico	arriba de 1200	± 20	Pobre	Mediano	Utilizado ampliamente en la medición de temperaturas de hornos industriales
Pirómetro de radiación	arriba de 0	± 1 en rangos bajos, ± 5 a ± 20 a altas temperaturas. Depende de las condiciones de cuerpo negro y el tipo de pirómetro (ver Cap. 12)	Buena, dependiendo del tipo de pirómetro	Mediano a alto	Su aplicación se está extendiendo debido al desarrollo de nuevos dispositivos de alta precisión

* Esta exactitud es la que puede alcanzarse. Las versiones baratas de los dispositivos pueden incluso no dar la exactitud óptima.

III. MEDICIONES DE PRESION

III.1 INTRODUCCION.

Los aparatos ó instrumentos para medir presión tienen una gran importancia en el campo práctico de la Ingeniería y en la Investigación.

La presión se define como la intensidad que una fuerza normal ejerce sobre una superficie, por unidad de área. Para el caso de nuestro curso se dará énfasis a la fuerza normal ejercida por los fluidos, lo que nos lleva a definir la presión ejercida por un fluido en función del cambio de la cantidad de movimiento entre las moléculas del fluido y las paredes del recipiente que lo contiene.

La cuantificación de la presión tiene una gran importancia para definir el estado del fluido y también permite poder calcular el trabajo del mismo.

La finalidad de esta práctica es la de vincular al estudiante con los diferentes instrumentos y dispositivos medidores de presión y sus principios de funcionamiento. Así mismo, que tengan los suficientes elementos de juicio para seleccionar en forma adecuada un medidor de presión.

III.2 PRINCIPIOS BASICOS SOBRE PRESION

A continuación se enuncian algunos principios fundamentales que consideramos necesario para mejor entender el funcionamiento de los medidores de presión:

- El principio de vasos comunicantes nos indica que en todos los recipientes o conductos que se encuentren intercomunicados y que contengan un líquido, este buscará el mismo nivel en cada uno de ellos, siempre y cuando sus superficies esten libres. (Fig. III.1)
- La presión de un líquido contenido en un recipiente está en relación directa con el peso específico del líquido (γ) y con la altura a la que se toma la presión (H) (Fig. III.2)
- La presión de un líquido a un mismo nivel, es la misma en todas las direcciones (Fig. III.2)
- La presión es independiente de la forma o tamaño del recipiente, pero varía con la profundidad o altura del líquido en el recipiente. (Fig. III.3)

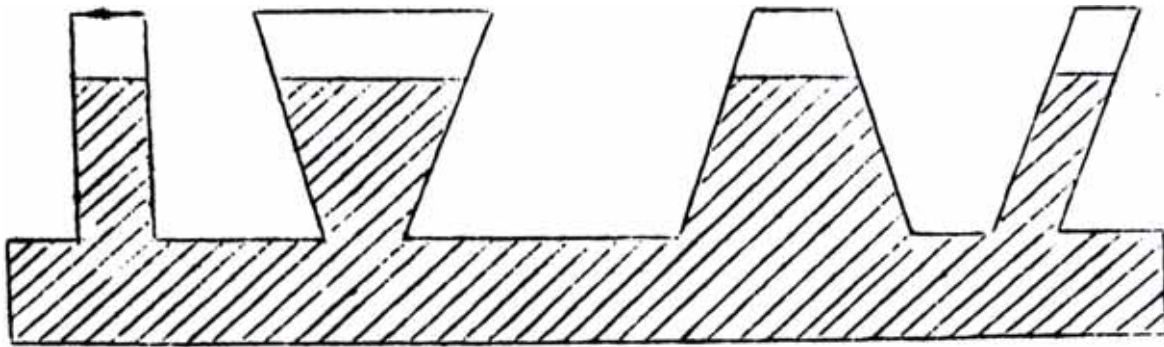


FIG. III.1

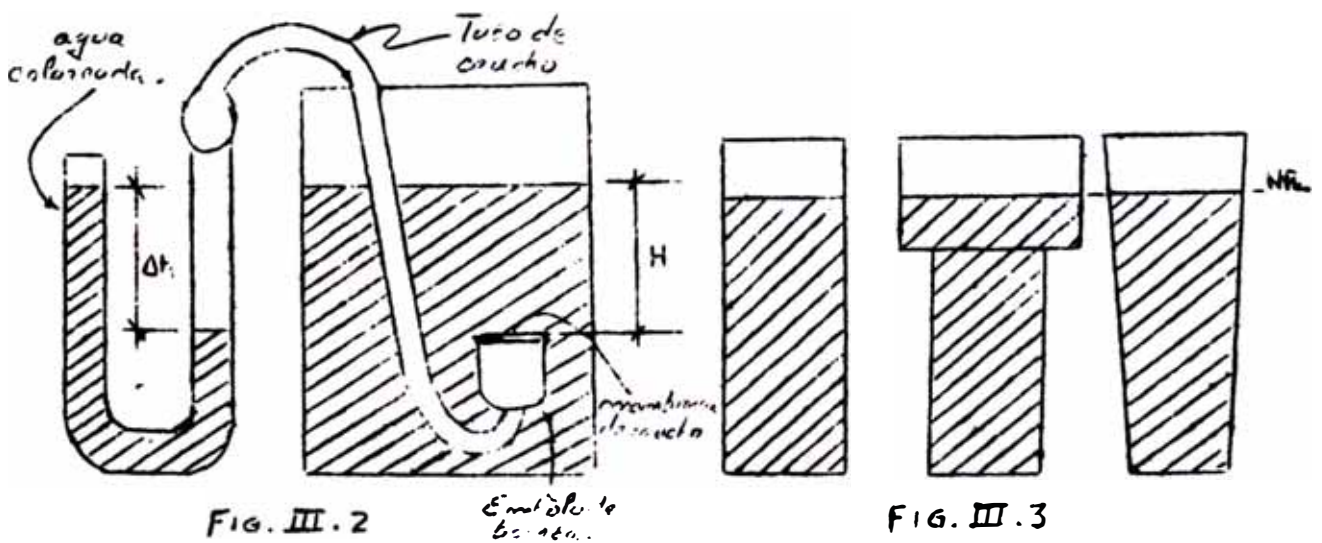


FIG. III.2

FIG. III.3

Los líquidos más utilizados como elementos de los manómetros de columna son: el agua, la glicerina, el mercurio, el tetracloruro de carbono, etc.

III.3 PRESION ABSOLUTA Y MANOMETRICA.

Para efecto de los cálculos termodinámicos la presión que se considera es la presión absoluta. Los manómetros miden presión manométrica es decir la presión a partir de la presión atmosférica, y esta puede ser - presión manométrica positiva; sobre la presión atmosférica o presión manométrica negativa: ó de vacío, bajo la presión atmosférica. Por otro lado la presión absoluta viene a ser. (Ver Fig. III.4)

Presión Absoluta sobre la atmósferica = Presión Atmosférica + Presión manométrica positiva.

Presión Absoluta bajo la atmósferica = Presión Atmosférica - Presión manométrica de vacío.

Las presiones absolutas se consideran a partir del cero absoluto de presión, donde se estima que no hay movimiento molecular. Por ello es que difícilmente se mide la presión absoluta mediante medidores de presión sino que se calcula a partir de las relaciones dadas anteriormente.

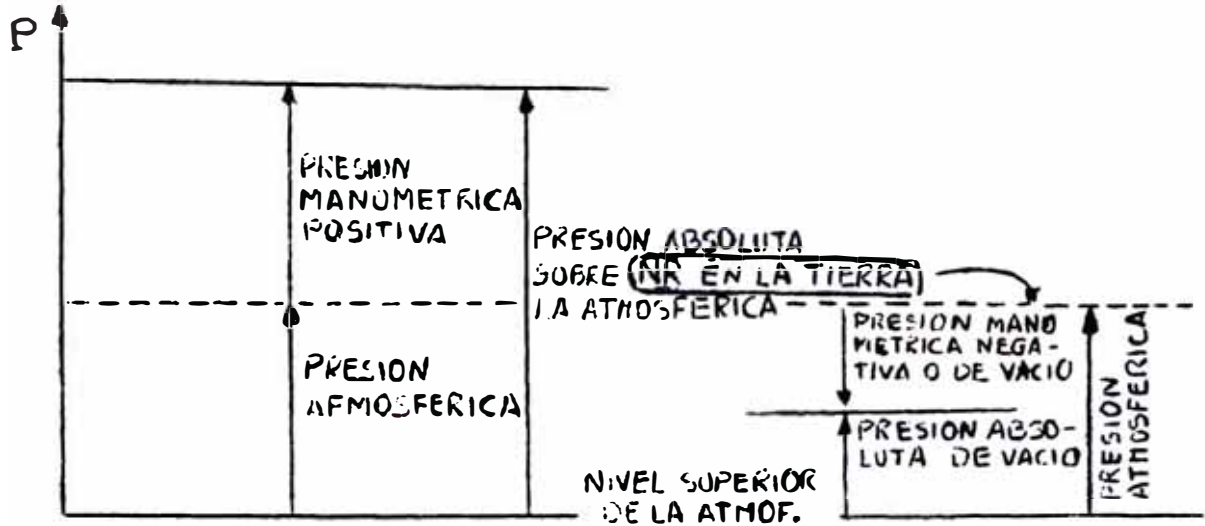


Fig. 1.4 Tipos de Presiones

III.4 METODOS DE MEDICION DE PRESIONES

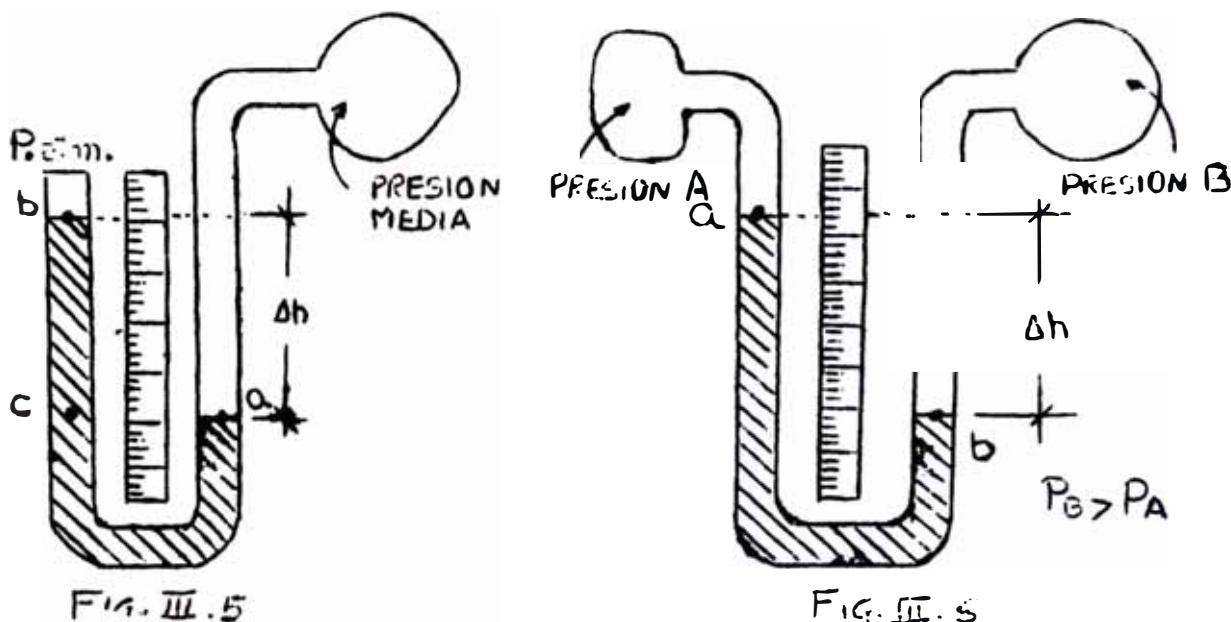
Las diferentes formas e instrumentos medidores de presiones podemos considerarlos dentro de los tres métodos siguientes:

- 1) Medición de la altura de columna líquida.- Los manómetros que utilizan este principio son:
 - Manómetros en "U", de una sola rama, invertido, inclinado, de dos - flúidos, micromanómetros.
- 2) Medición de la deformación o expansión de un sólido.- Mediante este principio funcionan los siguientes manómetros:
 - Manómetros de tubo de Bourdon, de Diafragma, de fuelle, de resorte helicoidal, de resorte espiral.
- 3) Medición de un peso sobre un área.- De este tipo tenemos los:
 - Manómetros de peso muerto.

III.5 MEDICION DE LA ALTURA DE COLUMNA LIQUIDA.

Objetivo.- Efectuar mediciones de presión con manómetros en "U" de una sola rama, inclinados y de dos fluidos. Conocer sus rangos de aplicación y efectuar correcciones en ellos por efectos de la temperatura y la presión atmosférica.

Manómetros de Tubo en "U".- Estos manómetros son muy usados para medir la presión de una sola línea con respecto a la atmosfera (Fig. III.5) o para medir la diferencia de presión entre dos líneas (Fig. III.6). En el primer caso se puede utilizar para medir presiones manométricas sobre la atmosférica o presiones manométricas de vacío.



Si la presión de la Fig. III.5 por medir es una presión de vacío, el nivel "a" estará por encima del nivel "b". Igualmente en la Fig. III.6 si la presión en "A" fuera mayor que la presión en "B", el nivel b estaría por encima del nivel a.

Estos manómetros se utilizan para medir presiones o diferencia de presiones inferiores a 1 Kg/cm². No es recomendable para medir presiones fluctuantes ya que el observador tiene que tomar dos lecturas al instante. Para este efecto algo ayuda la utilización de una escala móvil.

Manómetros de una sola rama.- Estos manómetros son apropiados para medir presiones fluctuantes (Fig. III.7) consisten en un depósito cuya área transversal es bastante mayor que la de la única rama que tiene el manómetro, esto permite que aún cuando las variaciones de presión sean

altas la variación del nivel del líquido manométrico en el recipiente - sea mínima.

Por ejemplo: si el diámetro del recipiente (D) fuera 7 veces mayor que el diámetro de la rama del manómetro (d).

$$D = 7d \quad \frac{\text{Area Recip.}}{\text{Area rama}} = \frac{\pi (7d)^2}{\pi d^2} = 49$$

Luego: Si h' → variación de la altura en el recipiente
 h → variación de la altura en la rama

$h' = \frac{V}{A_{\text{recip}}}$ Siendo el volumen del líquido manométrico el mismo

$$h = \frac{V}{A_{\text{rama}}}$$

$$h' \cdot A_{\text{recip}} = h \cdot A_{\text{rama}}$$

$$h' = \frac{h \cdot A_{\text{rama}}}{A_{\text{recip.}}} = \frac{1}{49} h \approx 0.02 h.$$

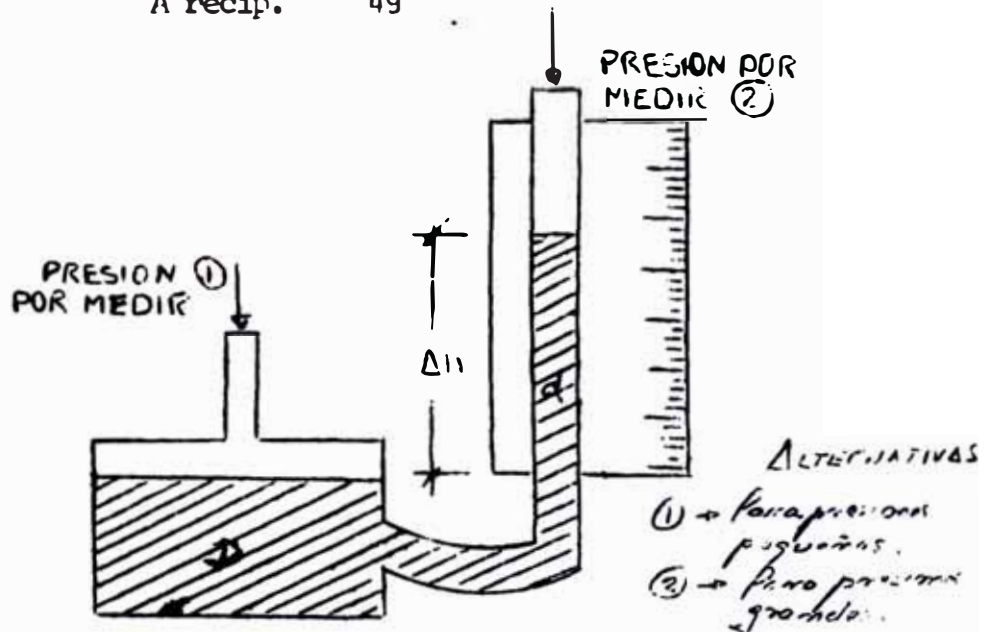


FIG. III.7

Lo que implica que en este caso la variación de la altura del líquido manométrico en el recipiente es sólo el 2% de la variación de la altura del líquido manométrico en la rama.

Si no son mediciones de precisión, la variación del líquido en el recipiente se puede despreciar y tomar sólo la lectura en la rama, sin embargo si son mediciones de precisión hay que tenerla en cuenta y en este caso se puede utilizar una escala móvil, también se puede tomar la medida solamente en la rama y luego sumar el resultado obtenido de las proporciones de áreas entre el recipiente y la rama.

Manómetros Invertidos.- Se utilizan cuando las ramas de presiones corresponden a dos líneas que transportan un líquido a diferentes presiones. Este tipo de manómetro, por su posición, permite subir el líquido en cada rama según la presión de cada línea pero a su vez estas alturas están controladas por el aire confinado en los tubos. Tiene la ventaja que permite leer las diferencias de presiones en unidades del líquido transportado y la posición del manómetro permite que los tubos manométricos no sean de longitud extremadamente grandes.

En caso de que las presiones sean grandes, se le puede inyectar aire a presión por la curvatura del tubo para de esta manera controlar en forma conveniente las alturas de las columnas. (Fig. III.8)

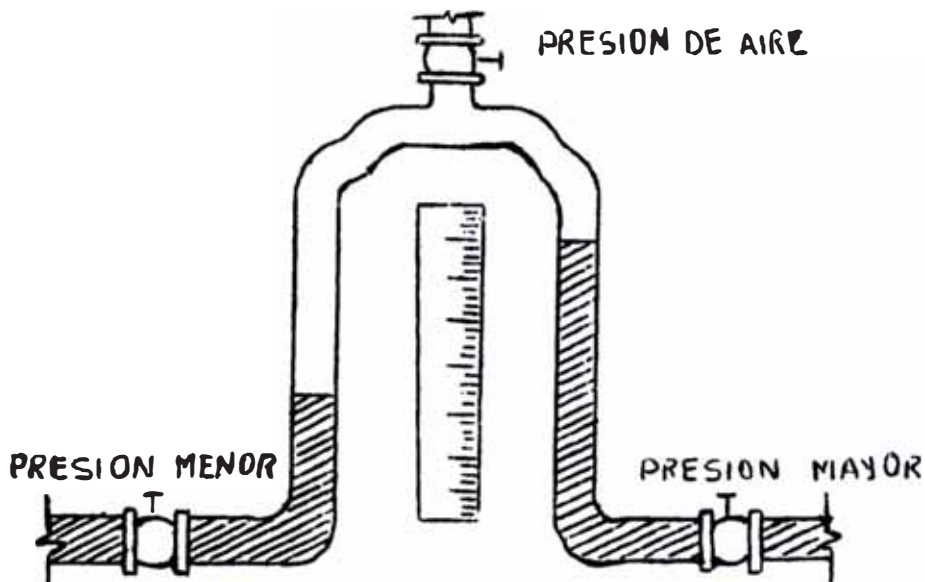


FIG. III.8

Manómetros Inclinados.- Se utilizan para medir presiones pequeñas que pueden ser inferiores a 100 mm de mercurio. Se encuentran manómetros inclinados en "U", de una sola rama y de tiro, para los cuales el principio de funcionamiento es el mismo y consisten en una toma de la presión por medir y la otra rama de una presión atmosférica, cuya diferencia se debe dar lectura en una regla graduada inclinada (h') para luego calcular la altura (h) que es la que nos da la verdadera diferencia de presión, en función de h' y del ángulo de inclinación (α)

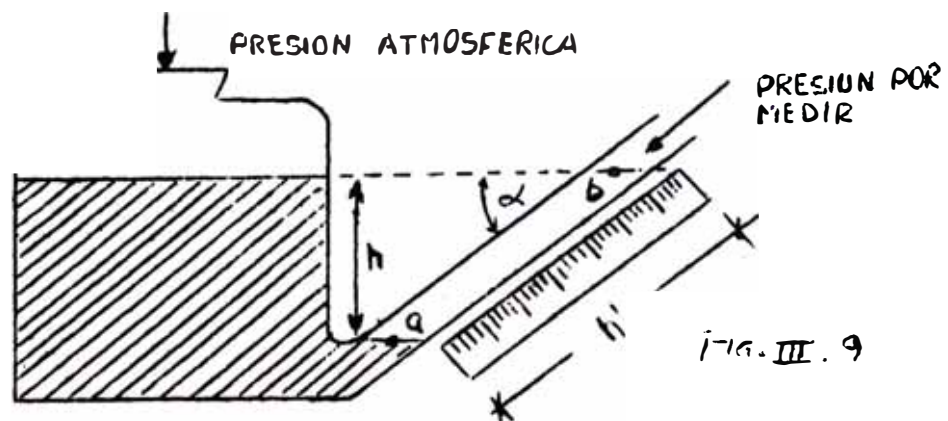


FIG. III.9

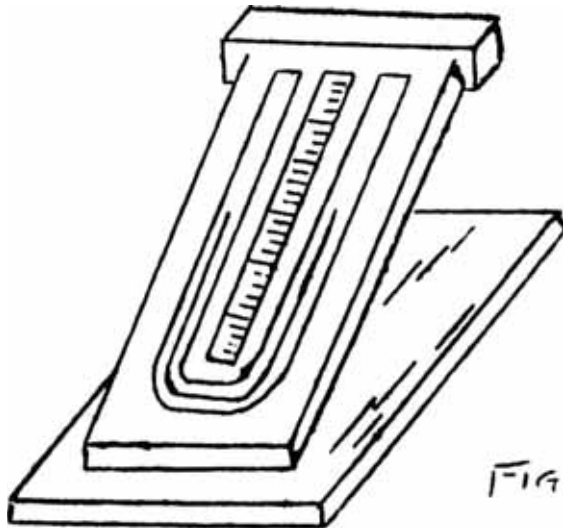


FIG. III-10

Los manómetros inclinados se conocen como medidores de precisión.
(FIG. III-9 y III-10)

Manómetros de dos Fluidos.- Se utiliza para medir presiones pequeñas, inferiores a 100 mm. de mercurio, si se considera que la sección transversal de los tubos del manómetro en "U" es despreciable con respecto a la sección transversal de las botellas se puede considerar la presión en función de la diferencia de los pesos específicos de los dos líquidos y la altura correspondiente. Sin embargo si la sección transversal de los tubos no es despreciable se debe considerar la siguiente relación:

$$P = h \left[\gamma_A - \gamma_B + \gamma_B \times \frac{\Delta D_{del tubo}}{\Delta D_{de las botellas}} \right]$$

(FIG. III-11)

Los líquidos A y B NO DEBEN
SER MISCIBLES ENTRE ELLOS.
(POR EJ. AGUA y ACEITE)

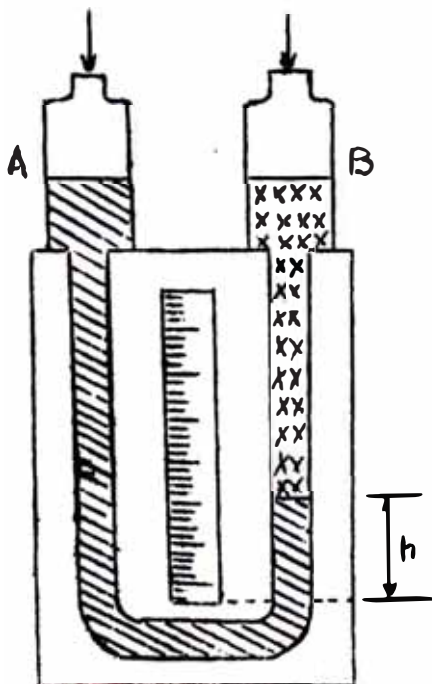


FIG. III-11

Micromanómetros.- Estos medidores de presión se usan también para medir presiones pequeñas siempre y cuando estas sean no fluctuantes (constantes). En estos dispositivos se usan tornillos micrométricos que facilitan la lectura de la presión.

En los micromanómetros tenemos:

-Micromanómetro de contacto directo

-Micromanómetro de puntas

-Micromanómetro de altura constante (Ver figs. III.14, III.15, III.16)

Consideraciones en los Manómetros de columna líquida.- Para lograr precisión en los manómetros de columna líquida se recomienda lo siguiente:

-El manómetro debe estar perfectamente nivelado

-El nivel del líquido manométrico debe quedar precisamente en el cero - antes de medir.

-La escala indicadora debe ser exacta.

-No es recomendable que el diámetro interior del tubo sea demasiado pequeño, el menor diámetro a utilizarse debe ser 3/8".

-Cuando se efectúa la lectura de la presión, el ojo del observador debe estar a la misma altura del líquido manométrico.

-Si el líquido manométrico es el mercurio se formará un menisco convexo y la lectura debe tomarse en la parte superior del menisco.

-Si el líquido manométrico es agua, el menisco que se forma es de tipo concavo y la lectura deberá tomarse en la parte más baja del menisco.

-El peso específico del líquido manométrico debe ser conocido con precisión.

III.6 MEDICION DE LA DEFORMACION O EXPANSION DE UN SOLIDO.

Manómetros de Tubo de Bourdon.- Son medidores de presión muy usados, tienen rango de medición bastante amplio que abarca desde 0.5 Kg/cm² hasta centenares de Kg/cm² y una precisión hasta del orden del 1/2% a plena escala, siendo generalmente su precisión del 1% a plena escala.

Consisten en un tubo elíptico doblado que tiene uno de sus extremos fijo y el otro libre, que de acuerdo a la presión que ejerza el fluido que se quiere medir al interior origina, que se enderece el tubo Bourdon si la presión interior es mayor que la presión atmosférica que

lo rodea (presión manométrica positiva), o que se curve aún más si la presión interior es menor que la presión atmosférica (presión manométrica de vacío).

Este manómetro de expansión o de contracción es transmitido a un mecanismo de pieza que tiene un punto de apoyo (*Fulcrum*) y esta a su vez transmite el movimiento a un conjunto cremallera-piñón que va a permitir mover la aguja indicadora o puntero (Ver fig. III.17 y III.18)

Los manómetros Bourdon se emplean para medir presiones de aire, gas, agua, petroleos, aceites, ácidos. Según el servicio en que va a trabajar el tubo Bourdon puede ser de bronce, de acero, de una aleación de níquel o aleaciones especiales. Cuando nos requiere una precisión muy grande el tubo Bourdon reemplaza a los medidores de columna líquida.

Medidor de Diafragma.- Un medidor a base de diafragma es un dispositivo de deformación elástica que comprende un disco corrugado de bronce o de acero suspendido rígidamente en su borde entre las dos tapas de una recámara. El diafragma también puede ser de tipo no corrugado de un material flexible.

Cuando se aplica presión al lado inferior del diafragma este se desplaza hacia arriba y transmite su movimiento por medio de un pasador al eslabon y segmento de rueda dentada que a su turno hace girar el piñón donde va montado el puntero. El mecanismo que trasmite el movimiento es idéntico al de manómetro Bourdon. (Ver fig. III.19)

Una de las ventajas que tiene el diafragma es que cuando esta forrado de caucho se puede emplear para medir las presiones en los ácidos sin necesidad de un sello.

Medidor de Fuelle.- Es también un dispositivo de deformación elástica. En el manómetro de fuelles en lugar del tubo de Bourdon tenemos un fuelle formado por una serie de discos metálicos, estos pueden considerarse como una serie de diafragmas.

En algunas instalaciones la presión aplica al lado interior del fuelle, en otras se aplica al lado exterior. En el primer caso el fuelle tiende a alargarse, en el segundo caso tiende a acortarse.

Cuando la presión se aplica al interior del vaso el fuelle se encoge moviendo la espiga hacia la izquierda. La espiga comunica el movimiento desde el extremo cerrado del fuelle por medio de un eslabón al puntero indicador. (Ver fig. III. 20, y III. 21)

Los medidores de fuelle tienen la ventaja de poder funcionar a presiones bajas, donde hay la posibilidad de que en cualquier momento se de una presión excesiva que no aguantaría un manómetro Bourdon o de lo contrario tendría que construirse de paredes tan gruesas el Bourdon que no serviría para medir presiones bajas.

Medidor de Resorte Helicoidal.- Este medidor consta de un tubo Bourdon mucha más largo que el que ya hemos tratado y va dispuesto de tal forma que al doblarse da lugar a un resorte helicoidal. El extremo abierto del tubo helicoidal esta soldado a la platina de montar y conectado por un tubo de acero flexible al adaptador. El extremo cerrado tiene libertad de movimiento y está conectado a una tira de metal que transmite el movimiento del tubo Bourdon a un eje. Una palanca corta y un eslabón conectan el eje al puntero indicador. (Ver fig. III. 22).

El resorte helicoidal tiene un rango de presiones de aplicación similar al manómetro Bourdon y es más preciso para presiones entre 3.5 Kg/cm² a 200 Kg/cm².

Este tipo de medidor es el que mejor se adapta para aparatos registradores ya que ejerce mayor fuerza y puede vencer fácilmente la resistencia del peso y la fricción del lápiz sobre el papel en un indicador de diagrama. La desventaja de este medidor es que es más costoso, delicado y requiere una caja mas grande que la del tubo Bourdon. Alcanza una precisión del 1% de la Escala.

Medidor de Resorte Espiral.- En este medidor también se utiliza el tubo Bourdon, el cual va envuelto en forma de un espiral de varias vueltas. En este caso también el extremo del tubo está soldado a la platina de montaje y hay un tubo flexible de acero que comunica la presión desde el adaptador hasta el extremo abierto del tubo Bourdon. En este medidor también el extremo cerrado del tubo tiene libertad de movimiento y está conectado por medio de una tira metálica que trasmite el movimiento a una palanca corta y de allí al eslabón que conecta con el eje

que mueve el puntero indicador.

Este medidor se adapta para presiones menores de 3.5 Kg/cm^2 , se presta mas a las presiones bajas que el helicoidal porque ejerce más torsión en las presiones bajas. Alcanza una precisión del 1% de la escala. (VER FIG. III. 23).

Calibración de Medidores de Presión que utilizan el principio de Deformación o Expansión de un sólido.

Los medidores de presión como el tubo Bourdon, el resorte helicoidal, el resorte espiral, los fuelles y los diafragmas requieren calibración inicial y también a intervalos bastante frecuentes.

Una o varias de las siguientes combinaciones de circunstancias pueden originar una descalibración de un medidor de presión.

- Manejo brusco
- Vibraciones
- Fricción causada por la suciedad
- Desgaste en el piñón, el sector o el eslabón
- El tubo Bourdon torcido o desviado
- El puntero flojo sobre el eje
- El puntero doblado
- El peto muy flojo
- El tubo Bourdon fatigado, agotado
- El eje doblado
- El tubo tapado.

Métodos de Calibración.- El método que se emplea depende de las presiones a que va a trabajar el medidor.

- 1) Los medidores de vacío y los manómetros de baja presión se calibran con manómetro de mercurio.
- 2) Los medidores con capacidad de 0 a 400 Kg/cm^2 se calibran por medio de medidores normales de prueba o medidores Bourdon patrón y en algunos casos con medidores de peso muerto.

Para aplicar la presión a los medidores Bourdon patrón y al medidor a calibrar hay dos medios distintos.

- Se emplea aire comprimido para medidores entre 0 a 7 Kg/cm^2
- Se emplea para calibrar los medidores de presión con capacidad entre 7 a 400 Kg/cm^2 . una bomba de mano hidráulica del tipo de desplazamiento.

3) Los medidores con capacidad de más de 400 Kg/cm^2 se calibran con medidores de peso muerto.

De igual forma los medidores Bourdon patrón también se calibran con medidores normales de peso muerto.

Calibrador de peso muerto.-Es un dispositivo que se utiliza para -
comparar la presión que ejerce un fluido en un medidor a calibrar
, , , con la presión
ejercida por pesos definidos actuando sobre un pistón de área conocida,
que impulsa a su vez al fluido mencionado anteriormente (Ver. fig. III.24).

Modo de Empleo.- En el esquema mostrado.

- El aparato se instala para la calibración de un manómetro "G" que va a ir roscado, perfectamente nivelado.
- Para llenar de aceite limpio la cámara y el cilindro del calibrador se mueve el émbolo lo más que se puede hacia adelante para luego retirarlo lentamente mientras se vierte el aceite por la abertura donde va a ir el pistón de calibración.
- Luego se instala el medidor a calibrar "G" y se introduce el pistón de calibración en el cilindro.
- La presión que ejerce el pistón sobre el fluido es transmitida al medidor a calibrar cuando se abre la válvula "V"
- Luego esta presión se va incrementando con la adición de pesas en forma sucesiva, para luego hacer decrecer la presión quitando una a una las pesas agregadas anteriormente.
- Con las lecturas de la presión en forma ascendente y descendente tanto en el medidor a calibrar como de la relación peso sobre área se trazan las curvas de calibración.
- Para retirar el manómetro se retrocede el émbolo y se cierra la válvula
- La fricción viscosa entre el pistón y el cilindro se suele reducir haciendo girar al pistón con las pesas en el cilindro.
- A medida que la presión se incrementa puede ser necesario avanzar el émbolo para eliminar las posibles burbujas en el aceite y uniformizar la compresión.

Recomendaciones en la calibración y ajuste del manómetro.

- No se debe someter a presión un vacuómetro ni se debe efectuar vacío en

- un medidor de presión positiva porque los descalibraría respectivamente.
- Todo medidor de presión debe calibrarse en sus rangos de aplicación.
 - Al momento de desarmar un medidor de presión para calibrar se debe tener en cuenta su sello, que generalmente es de agua, para evitar que el líquido o gas entre en contacto con el interior del tubo Bourdon.
 - Los medidores deben calibrarse con la esfera o escala en posición vertical.
 - Si al calibrar el manómetro se encuentra un error apreciable en forma constante, quiere decir que la aguja esta mal ajustada, en este caso se debe sacar la aguja con un extractor de agujas, atornillando el émbolo del probador de pesos muertos hasta llevar al aceite a una presión igual a la mitad de la lectura de plena escala y colocando nuevamente la aguja en la posición correspondiente.
 - Si se encuentra un error apreciable que es positivo en un extremo de la escala y negativo en el otro, quiere decir que el ajuste del sistema de bielas del manómetro es incorrecto, para corregirlo es necesario desmontar la aguja y el cuadrante para alargar o acortar las bielas según sea necesario.

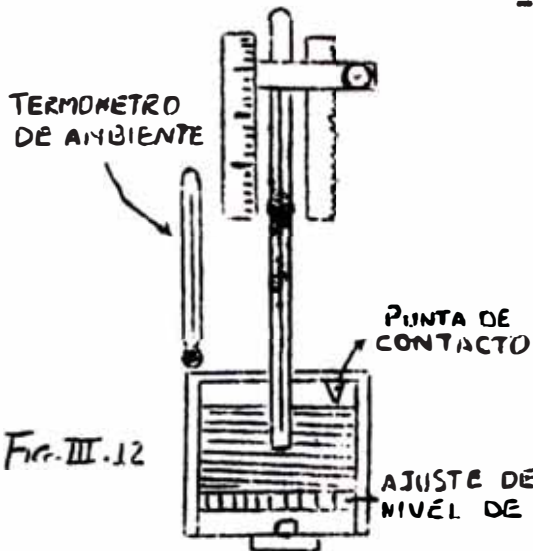
III.7 MEDICION DE UN PESO SOBRE UN AREA

Se tiene el:

Manómetro de peso muerto.- En realidad se utiliza muy poco para medir presiones en forma directa. Este manómetro no es otro que el calibrador de peso muerto que en lugar del pistón y las pesas se utilizaría el conducto del cilindro como punto de toma de la muestra cuya presión se quiere medir.

III.8 BAROMETROS

Son instrumentos que se usan para medir la presión atmosférica (Fig. III.12) el extremo inferior del tubo que se encuentra sumergido en el mercurio esta abierto, el extremo superior del tubo esta cerrado en donde se ha generado un alto vacío, lo que permite subir al mercurio sólo en función de la presión atmosférica que obra sobre el depósito de mercurio.



Se utilizan los siguientes factores de corrección para mejorar la exactitud:

- Temperatura
- Gravedad
- Altitud
- Calibración del Barómetro

Tablas de la ASME (Ver Tablas 1,2,3)

III.9 RESUMEN DE RANGOS DE APLICACION DE LOS DIFERENTES MEDIDORES DE PRESION.

Al final de la experiencia. (Ver Fig. III.25).

III.10 PRINCIPIO DE LA PALANCA EN UNA VALVULA DE SEGURIDAD.

Una palanca es una barra rígida arrojada en forma de poder girar sobre un punto de apoyo llamado Fulcrum o Fulcro "A" (F). En toda palanca hay siempre dos fuerzas en oposición primero la carga o peso "W" que tiende a bajar y la fuerza "P" que tiende a levantarlo.

Si decimos:

P → Representa la fuerza a vencer por la presión de un fluido

a → El brazo de palanca

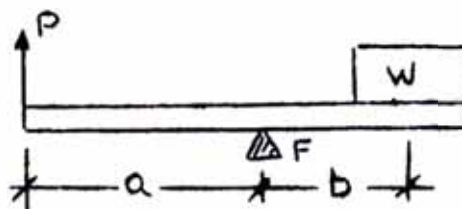
W → El peso

b → El brazo de peso.

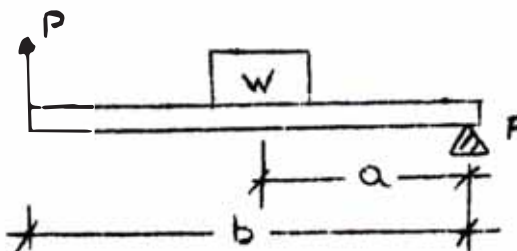
Por sumatoria de momentos se equilibran de la misma forma cualquiera de las tres clases de palancas mostrada a continuación:

$$P \times a = W \times b$$

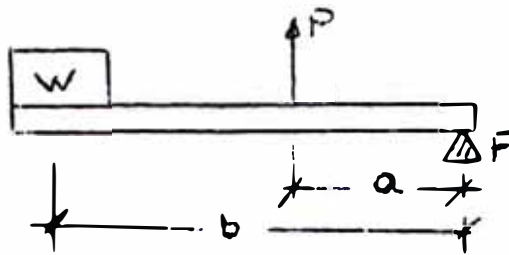
1er Género



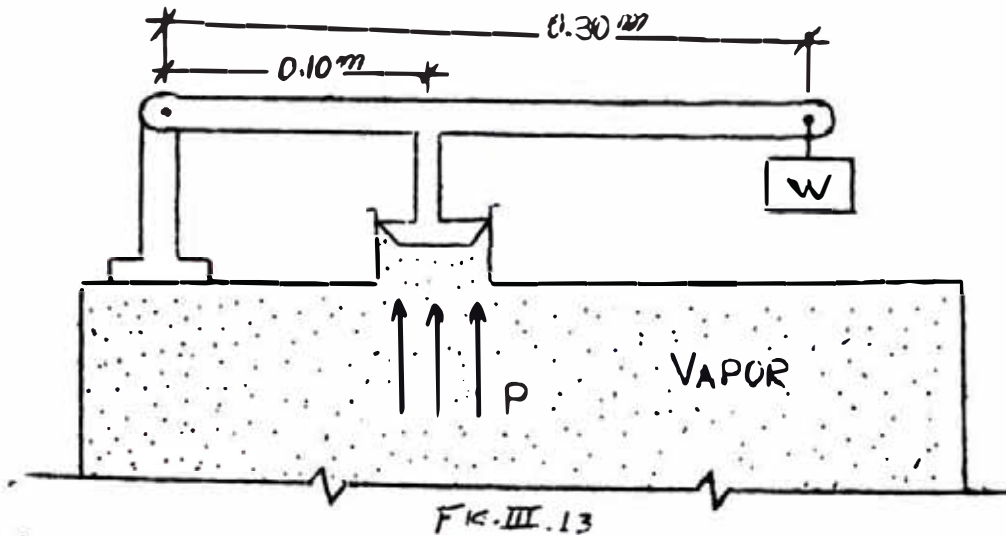
2do Género



3er Género



Aplicación.- En la figura ^{III.13} aparece una válvula de seguridad "V" cargada con un peso de 25 Kg., en el punto W; que presión debe tener el vapor para levantar la válvula.



$a = 0.10 \text{ m}$

$b = 0.30 \text{ m.}$

$w = 25 \text{ Kg.}$

$P = ?$

$P \times a = W \times b$

$P = \frac{W \times b}{a}$

$P = \frac{25 \text{ Kg} \times 0.30 \text{ m}}{0.10 \text{ m}}$

$P = 75 \text{ Kg.}$

Fuerza del vapor para levantar la válvula

La presión se puede averiguar conociendo el área de la válvula

III.11 RECOMENDACIONES GENERALES

Para alcanzar precisión en las mediciones de presión se deben tomar las siguientes precauciones:

- 1) El elemento sensible del medidor de presión debe estar ubicado de tal manera que capte la presión que se requiere medir.
- 2) Debe tomarse en cuenta que no haya fugas en el conducto que lleva la presión por medir al instrumento.
- 3) Debe considerarse el efecto del fluido en el tubo de transferencia de presión.

- 4) Se debe elegir el instrumento adecuado para la presión y precisión - que se desea medir.
- 5) El instrumento medidor de presión debe ser protegido contra todo efecto perjudicial causado por variaciones de presión y temperatura.
- 6) El lugar en que se va a efectuar la medición debe elegirse con mucho cuidado para evitar las perturbaciones del flujo, como remolinos, co rrientes encontradas, etc.
- 7) Los tubos para conducir la presión pueden ser indistintamente de pequeño o gran diámetro, debiendo tenerse en cuenta en los primeros so bre todo si son de longitud apreciable que una pequeña fuga puede o riginar una gran caída de presión.
- 8) Como algunas veces no es conveniente colocar el instrumento a la mis ma altura que la toma de presión debe introducirse correcciones en función de la altura de columna líquida, si el fluido es un líquido o si es una altura considerable en caso que el fluido sea gas o vapor, para pequeñas alturas de gas o vapor la corrección es despre ci able.
- 9) Las líneas de tuberías deben instalarse con cierta inclinación para que en el caso que circule vapor o gas se evite las falsas lecturas por acumulación del condensado en la línea o en el caso que circule un fluido líquido se eviten bolsas de gas o vapor que distorsione la medición de presión.
- 10) Deberá ~~recalibrarse~~ continuamente los instrumentos tipo: manómetro - Bourdon, de diafragma, de fuelle, helicoidal y espiral, muchas veces antes y después del ensayo.
- 11) Cuando se utiliza los tipos de manómetros mencionados en el punto an terior, para medir presiones de vapor de agua, debe utilizarse algún tipo de trampa para evitar que llegue vapor vivo al instrumento.

En la fig. III.26 se muestran dos tipos de trampas que permiten que el vapor se condense antes de llegar al instrumento, sin embargo para que la cantidad de agua sea suficiente muchas veces se utilizan tr apos húmedos alrededor de la trampa al momento de instalar el medi dor o algunas veces antes de la instalación puede llenarse la trampa de agua.

III.12 EJERCICIOS Y ENSAYOS

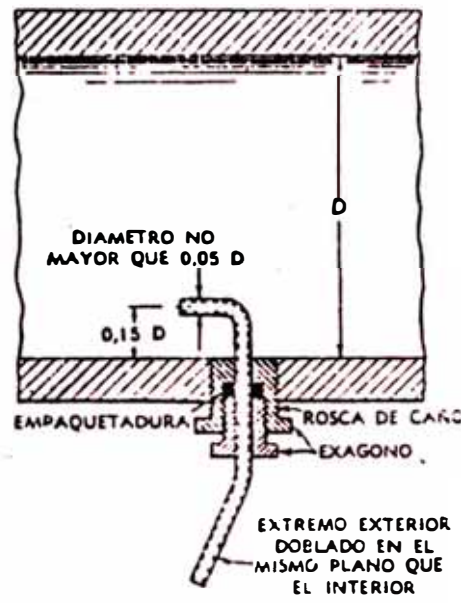
- 1) Regístrese la lectura de la presión atmosférica en el barómetro de mercurio del laboratorio, luego corrija esta lectura por temperatura y gravedad.

Igualmente se tomará la lectura de presión atmosférica en el barómetro aneroide para compararla con la del barómetro de mercurio y si es posible con el informe de la presión barométrica de la Oficina Meteorológica local.

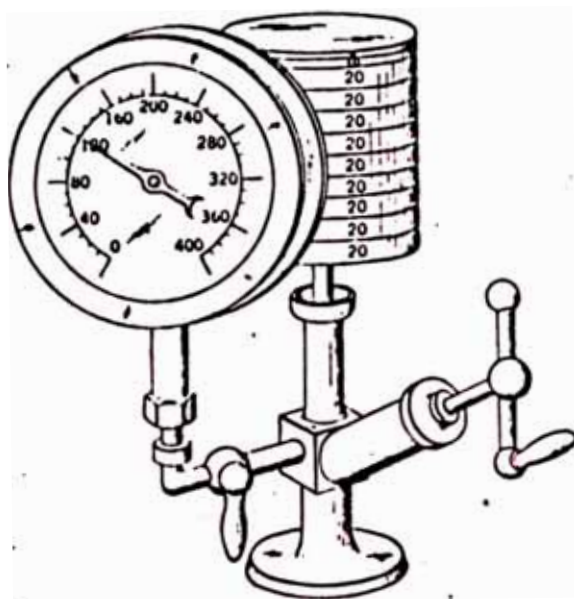
- 2) Calibre un manómetro Bourdon, mediante el probador de peso muerto u otro método de calibración y efectúe los ajustes convenientes.

Grafique sus respectivas curvas de calibración, curva de corrección y curva de error y luego proceda a efectuar el ajuste - si el problema es de posición de la aguja, ajuste de piezas o ambos.

- 3) En un colector común se instalaran varios tipos de manómetros de columna, de tal manera que se pueda ir variando la presión en el colector por medio de aire comprimido, luego se tomarán lecturas simultáneas en los diferentes tipos de manómetros para hacer una comparación de precisión. También se puede introducir un poco de agua en una de las líneas o simular una fuga considerable para que el estudiante pueda tener una opinión crítica.
- 4) En una línea de agua, en que la presión se pueda ir variando el estudiante deberá elegir el manómetro más conveniente para cada presión.
- 5) Medir la presión en la entrada y en la descarga del compresor de aire y/o del compresor de refrigeración.
- 6) Efectuar mediciones de presión con el medidor de diafragma de un sistema reductor de presión en las plantas pilotos.
- 7) Evaluar la presión de apertura en las válvulas de seguridad tipo palanca de las plantas, variando el peso de la palanca en tres posiciones diferentes.
- 8) Calibrar un manómetro de vacío o de baja presión con un manómetro de mercurio.
- 9) Calibrar un manómetro Bourdon o de tipo similar con un manómetro Bourdon patrón empleando aire comprimido para presiones entre 0 a 7 Kg/cm².



-Tubo de impacto.



Probador de manómetros de peso muerto.



(a)



(b)

Trampas de agua para manómetros de vapor.

Referencia Bibliográfica

- "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico" - Jesse Seymour Doolittle
- "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I" - Profesores UNI
- "Métodos Experimentales para Ingenieros" - J.P. Holman
- "Curso de Instrumentos" - International Petroleum
Company Limited.

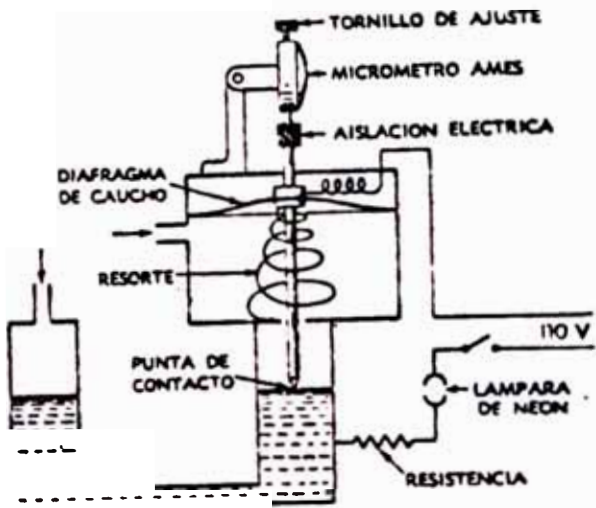


FIG III 14. Micromanómetro de contacto eléctrico.

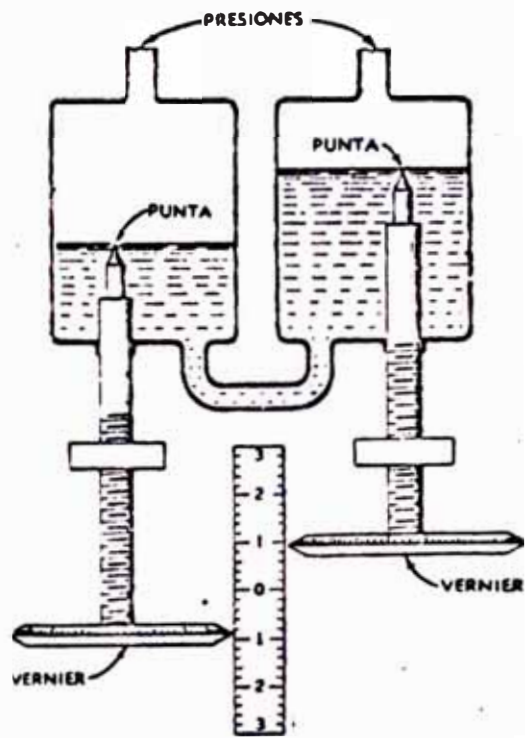


FIG III 15. — Micromanómetro de puntas.

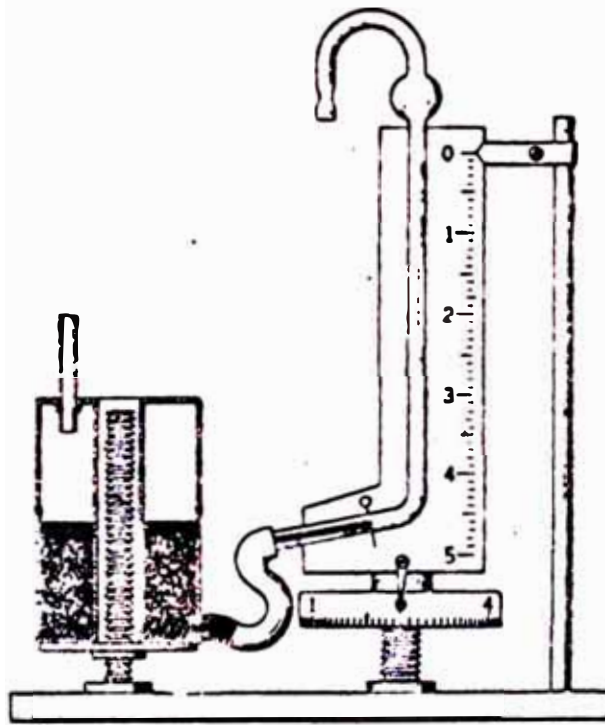


FIG III 16 - Micromanómetro de altura constante.

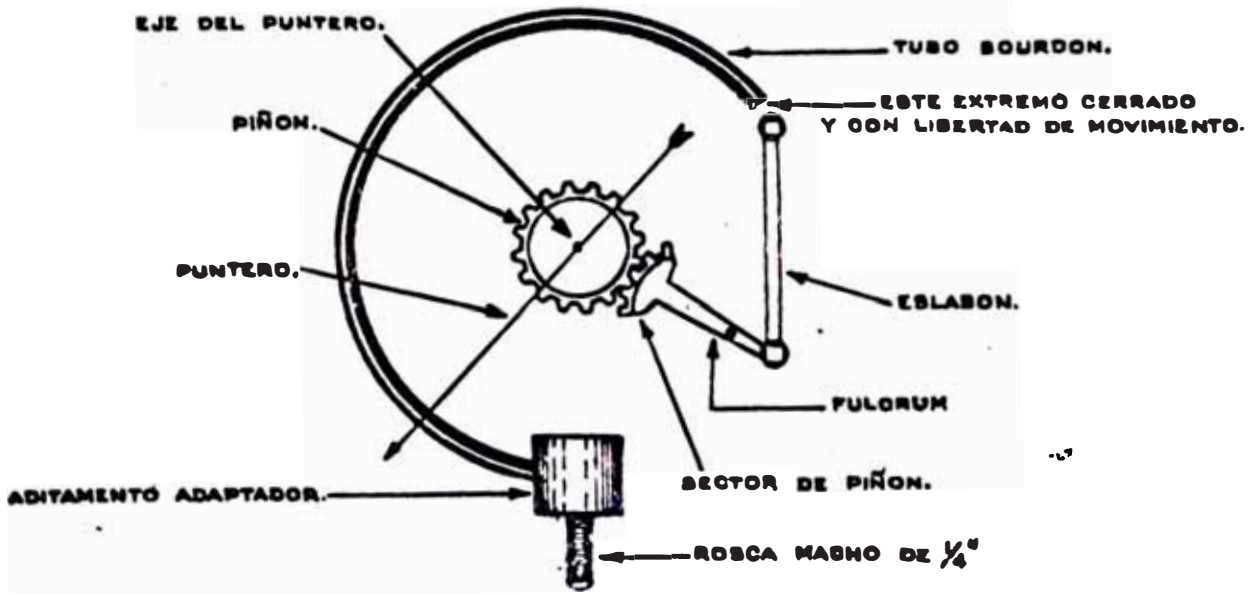


FIG III 17 MANOMETRO DE BOURDON

SECCION ELIPTICA.

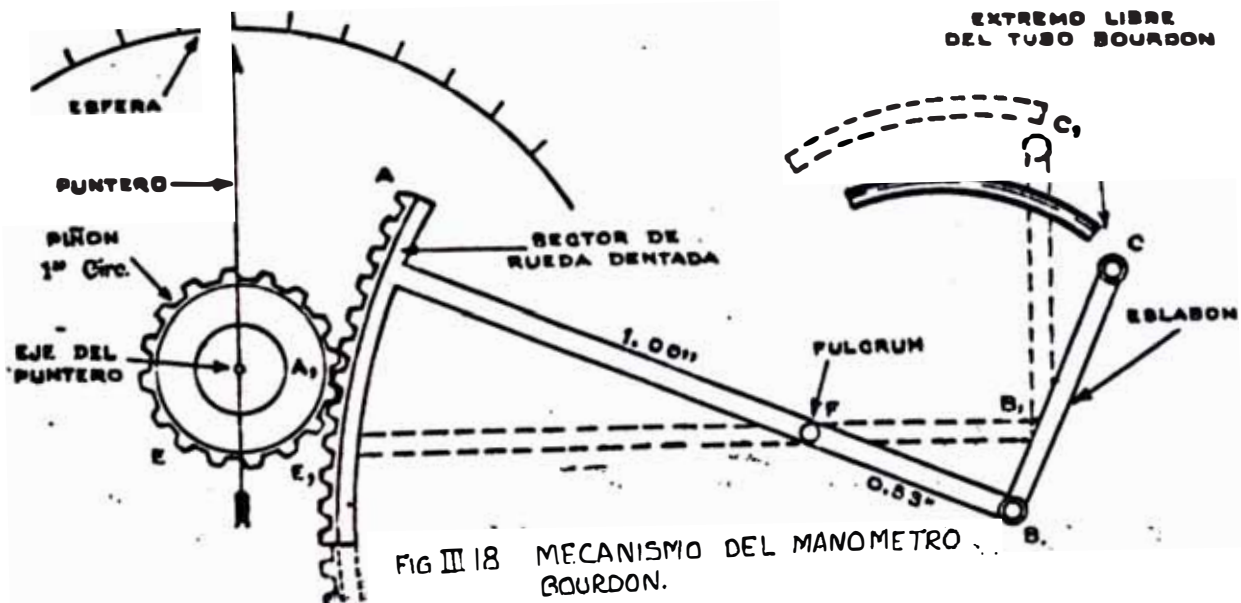


FIG III 18 MECANISMO DEL MANOMETRO BOURDON.

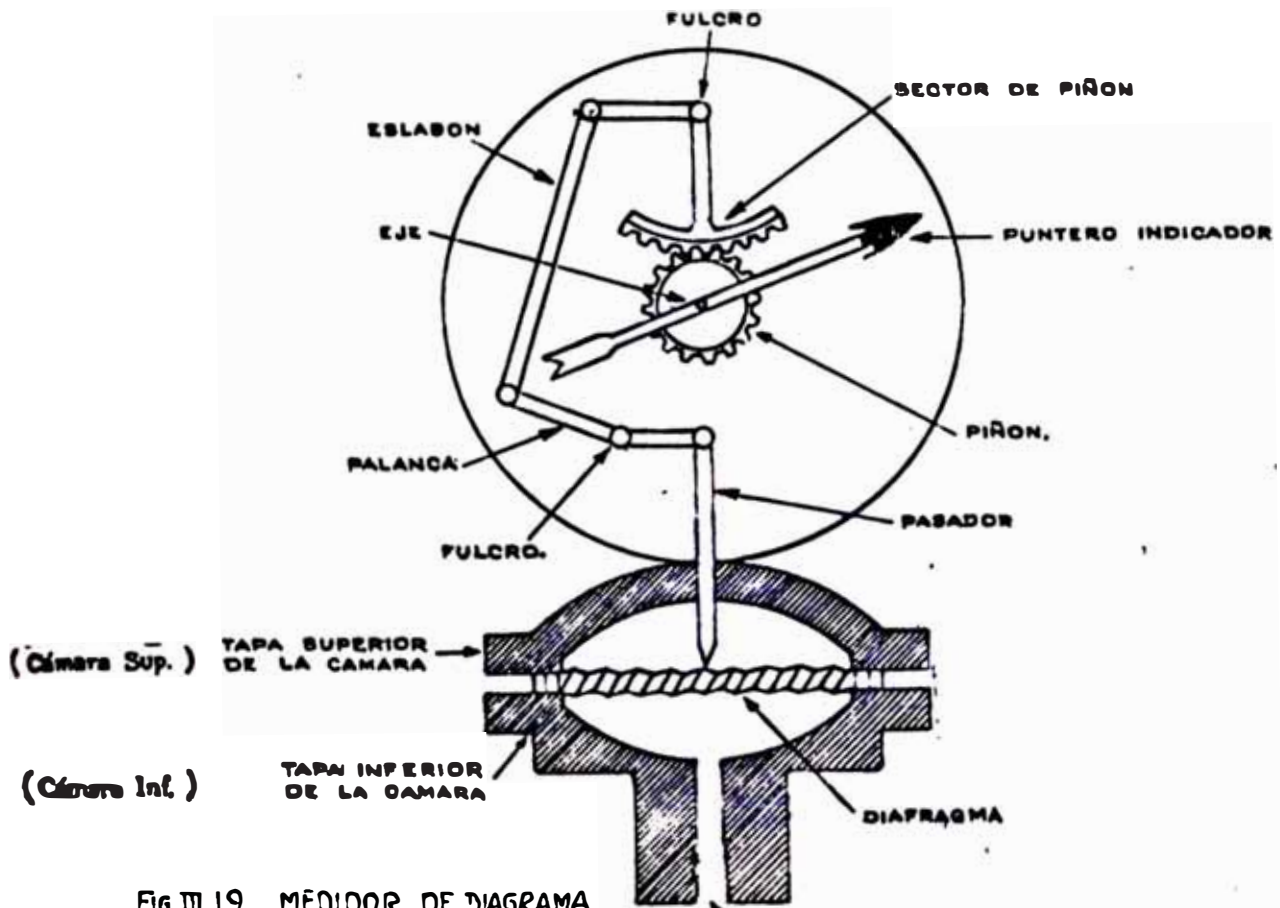


FIG III 19 MEDIDOR DE DIAGRAMA.

LA PRESION SE APLICA AQUI
Medidor A Base De Diafragma.-

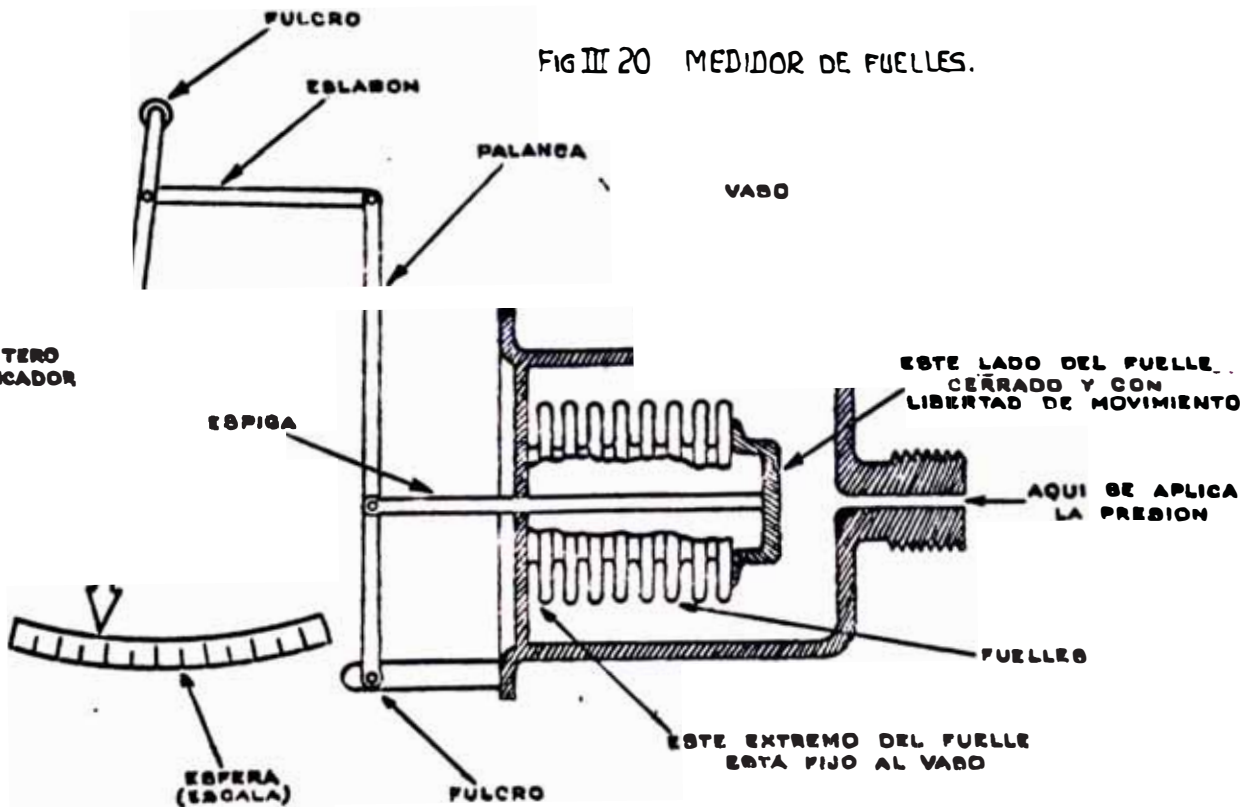


FIG III 20 MEDIDOR DE FUELLES.

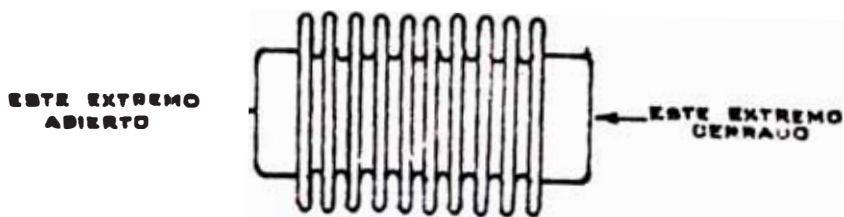


Fig III 21 Fuelles.

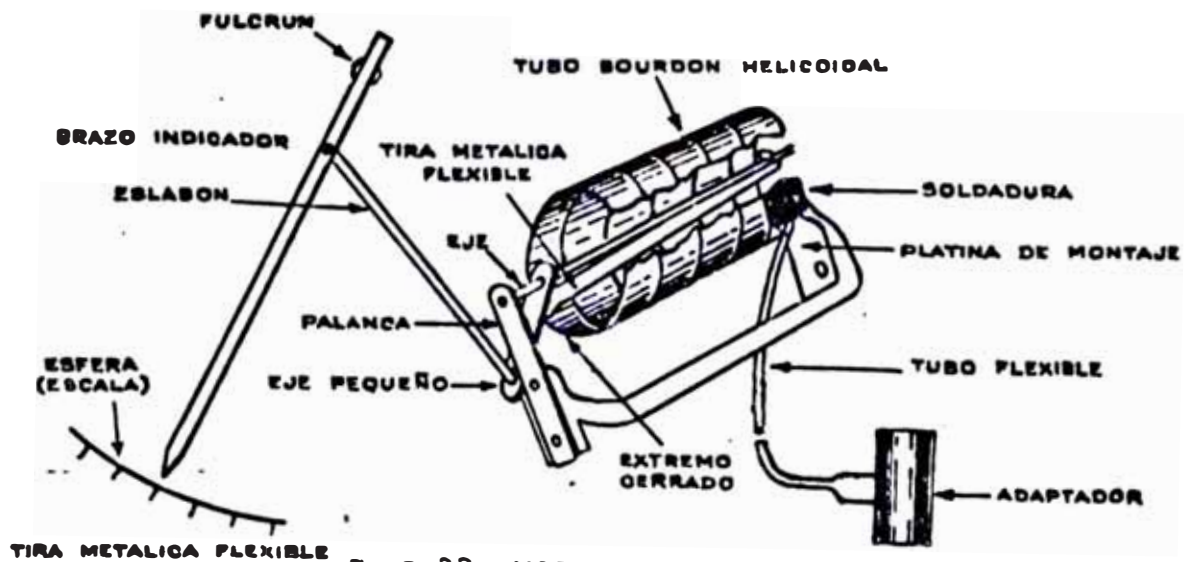


FIG III 22 MEDIDOR DE RESORTE HELICOIDAL.

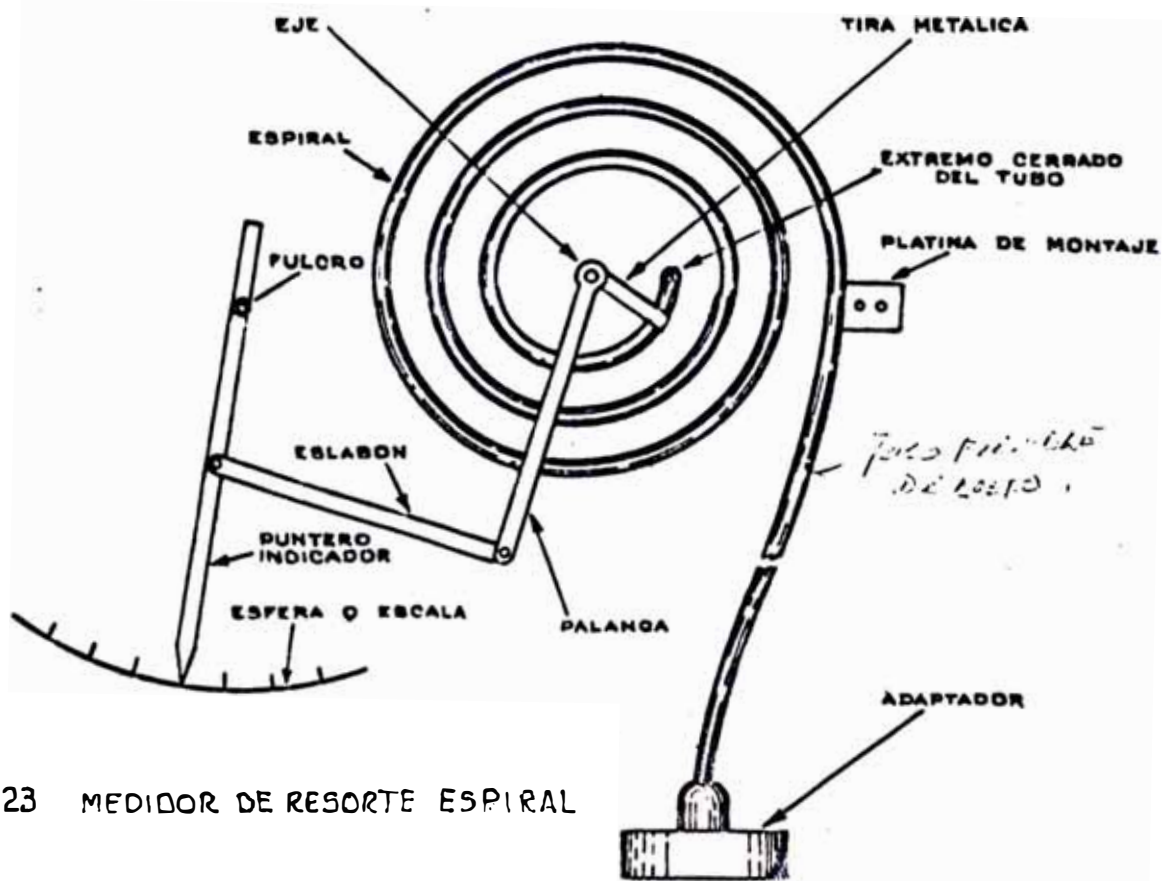


Fig III 23 MEDIDOR DE RESORTE ESPIRAL

MEDICION DE PRESION

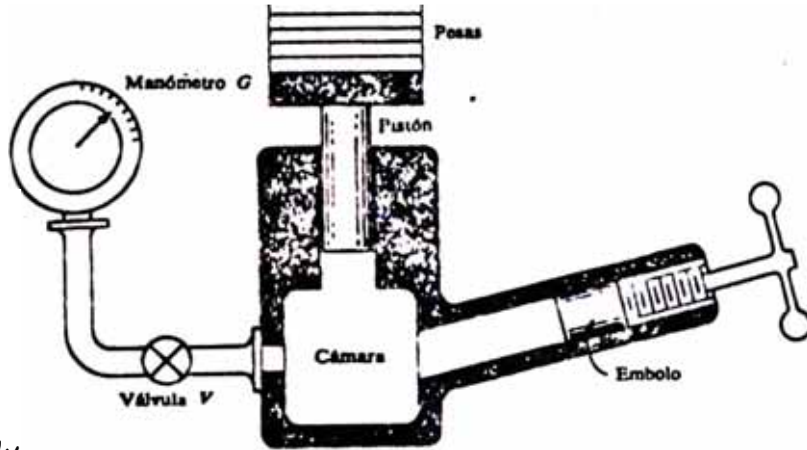


Fig III 24 Esquema de un calibrador de pesos muertos.

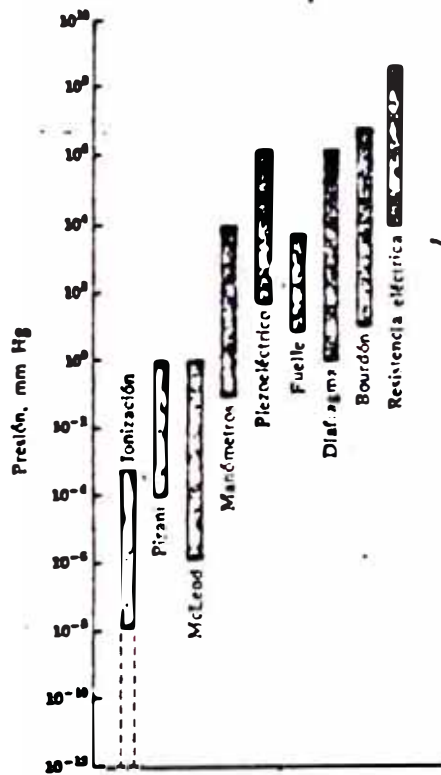


FIG III 25 Resumen de rangos aplicables de medidores de presión.

TABLA 1 DE CORRECCION PARA BAROMETROS Y COLUMNAS LIQUIDAS:

CORRECCION TEMPERATURA:

TEMP. DE COLUM. °C	LECTURA OBSERVADA								
	440	450	500	350	600	650	700	750	850
<u>S U M A R</u>									
-20	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4
-15	0.9	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
-10	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1
-5	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<u>R E S T A R</u>									
5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
10	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
15	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2
20	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7	3.0
25	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.5	3.7
30	2.0	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5	3.7	4.0	4.2
35	3.2	2.5	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.2	4.8

NOTA: - Anotar o quitar a la presión leído (en mm Hg).

TABLA 2 CORRECCION DE GRAVEDAD PARA COLUMNAS Y BAROMETROS
DE MERCURIO Y AGUA

ALTITUD (mts)	0		600		1200		1800		2400		3000	
ALTUR. DE LA COLUMNA (man hg)	760	700	700	650	650	600	600	550	550	500	500	450
LATITUD	CORRECCION											
25	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.5	-1.2	-1.5	-1.2	-1.2	-1.2
30	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0
35	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.1	-0.7	-1.0	-0.7	-1.0	-0.7
40	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
45	-0.0	-0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
50	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2

TABLA 3 CORRECCION PARA BAROMETROS Y MANOMETROS EN mm DE Hg POR
DISMINUCION DE LA PRESION ATMOSFERICA CADA 100M
DE AUMENTO DE ALTITUD

ALTITUD MET. LA (m)	TEMPER. MED. ATMOSFERICA °C							
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
0	11	10	10	9	9	9	8	8
300	10	10	9	9	9	8	8	8
600	10	9	9	8	8	8	8	7
900	9	9	8	8	8	8	7	7
1200	9	8	8	8	7	7	7	7
1500	8	8	8	7	7	7	7	7
1800	8	8	7	7	7	7	7	7
2100	8	7	7	7	7	7	7	7

IV. PROCESOS CON GASES

IV.1 OBJETIVO

La finalidad de esta experiencia es hacer que el estudiante verifique que en la práctica las diferentes leyes, principios y comportamiento de algunas propiedades en el estado gaseoso y sus respectivos procesos.

IV.2 FUNDAMENTO TEORICO

Los gases con que vamos a experimentar como son: el aire, el nitrógeno (N_2), el anhídrido carbónico (CO_2) entre otros; son gases reales, - que a determinadas condiciones se aproximan al comportamiento de los gases ideales. Estas condiciones se dan a presiones bajas, cercanas a cero o bajas densidades y también en vapores altamente sobrecalentados (por - ejm. el aire a temperatura ambiente es un vapor altamente sobrecalentado) a presiones un tanto elevadas. Lo que no sucede cuando los gases reales están a presiones mucho mayores de una atmósfera y a temperaturas cercanas a su temperatura de condensación, igualmente en la región cercana al punto crítico la desviación con respecto a un gas ideal es mucho mayor. Estas desviaciones varían también con la naturaleza del gas. (Figs IV.1, IV.2).

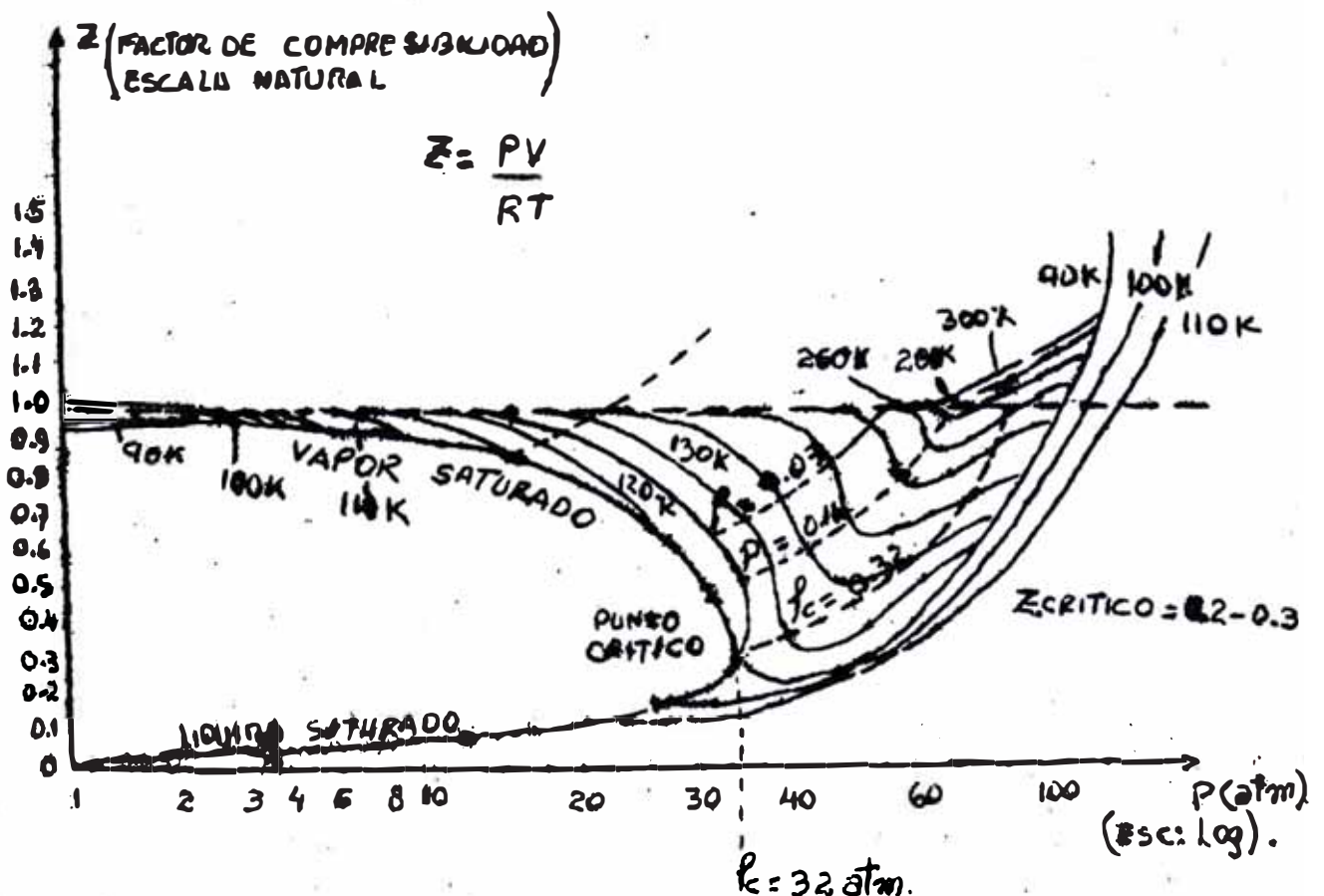


Fig. IV.1 DIAGRAMA DE COMPRESIBILIDAD PARA EL N_2

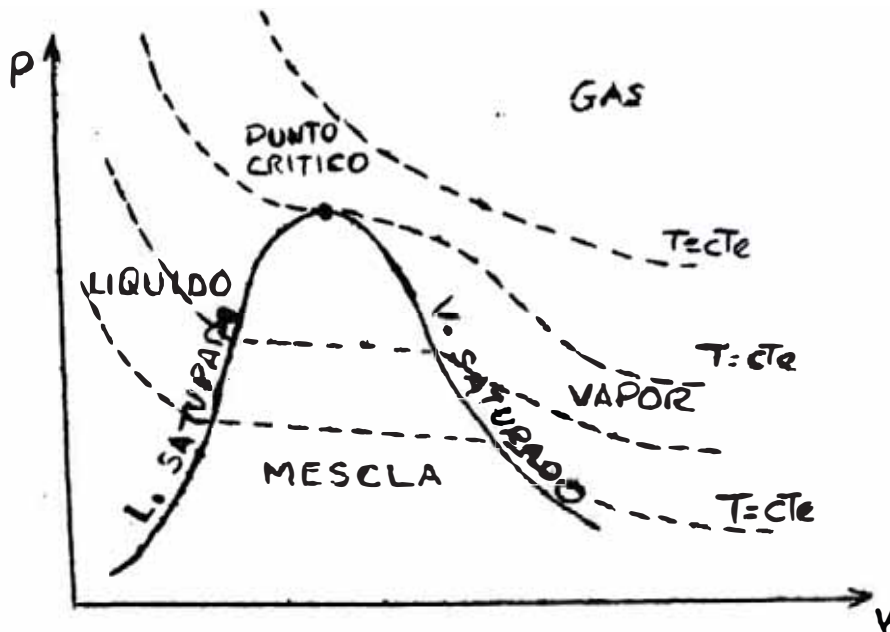


FIG. IV. 2 CURVA P-V PARA EL AGUA.

En nuestras experiencias vamos a trabajar alrededor de las condiciones de gases ideales de tal manera que se cumpla la ecuación de estado de un gas ideal y los demás comportamientos correspondientes a un gas ideal.

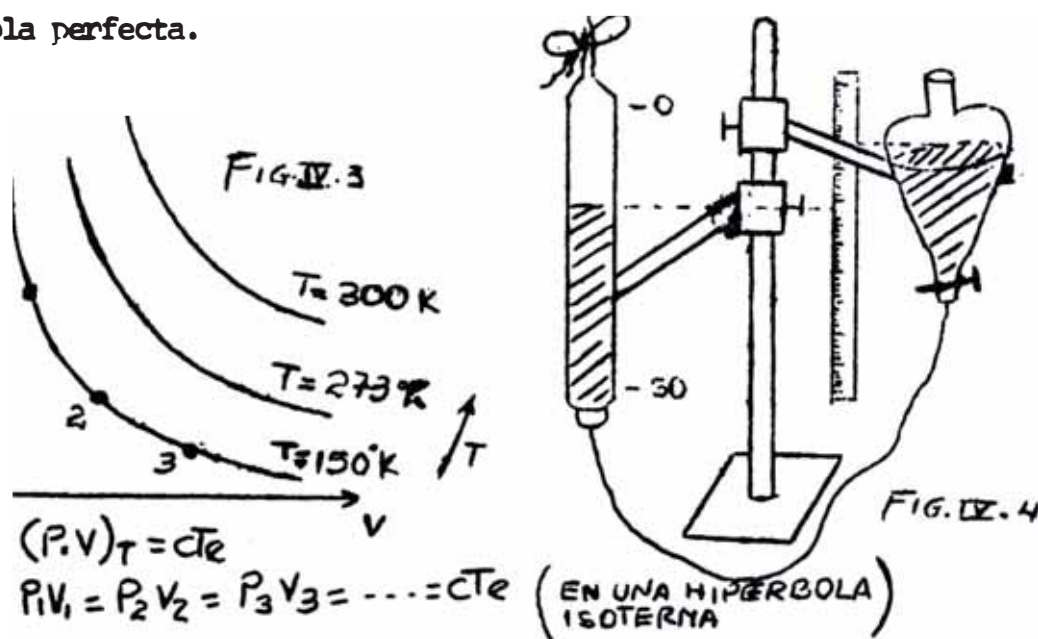
Para medir las presiones utilizaremos el concepto de manómetro en "U" tomando como líquido manométrico el agua, el cloruro de sodio o cualquier otro apropiado. Cualquiera sea el líquido manométrico al entrar en contacto con el gas en consideración, en recipiente cerrado, interviene con su presión de vapor. Sin embargo como sabemos la presión de vapor de los líquidos depende de la temperatura del líquido, cuyos valores se encuentran en los manuales para distintas temperaturas, cuyo valor habría que restar de la presión total obtenida.

IV.3 PROCESOS ISOTERMICOS

La Ley de Boyle - Mariotte se enuncia de la siguiente manera: "El producto de la presión absoluta por el volumen respectivo, de una cantidad fija de gas a temperatura constante, es un valor aproximadamente constante durante un cambio de estado". (Fig. IV. 3).

Para poder saber si un gas obedece a la Ley de Boyle-Mariotte con una exactitud aceptable, es conveniente apreciar su tendencia en los gráficos "P - 1/v" y "pv-p" que nos dan una relación lineal en donde es

más fácil determinar cuan cerca está la curva experimental de una hipérbola perfecta.



Para nuestra experiencia consideraremos que el aire (o nitrógeno), sufre cambios de presión y de volumen en ciclo cerrado manteniendo la temperatura constante (temperatura ambiente).

Procedimiento Experimental

1.- Arme el equipo tal como se muestra en la Fig. IV.4 introduzca el líquido manométrico hasta el nivel de la llave para eliminar las burbujas de aire.

El líquido manométrico puede ser agua o una solución de NaCl - acidificada con HCl con una gotas de rojo de metilo. Cualquiera sea el líquido manométrico se debe dar previamente su peso específico.

2.- Deje abierta la llave del tubo manométrico para permitir la entrada de unos 40 ml de aire (o 20 ml de nitrógeno).

3.- Cierre la llave (o con una pinza el empalme de goma) y verifique si no hay escape de gas. Para esto se variará la posición de la ampolla de nivel y al tomar una posición fija, el nivel del líquido debe permanecer constante. Si varía es porque hay escape de aire (o nitrógeno) y hay que corregir esta situación.

4.- Luego, regrese la ampolla de nivel a una posición tal, que los niveles del líquido manométrico del agua de la ampolla y del tubo se encuentren entresados con un error menor de 0.1 ml. para apreciar mejor trate de acercar cuanto sea posible el tubo manométrico con la

- ampolla de nivel. Anote la lectura del gas en el tubo manométrico. (723.10.1)
- 5.- A continuación, levante la ampolla de nivel, aproximadamente 0.50 mts. y posteriormente 1 mt. utilice la regla verticalmente y mida exactamente la diferencia de niveles. Registre estas lecturas y la de los volúmenes del gas (debe tenerse en cuenta el volumen residual o volumen muerto del tubo manométrico que no está graduado, - mida este volumen para considerarlo en sus cálculos)
 - 6.- Tome las mismas lecturas del paso anterior, bajando la ampolla de nivel, primero 0.50 mts., luego 1 mt. y posteriormente en una posición por debajo del nivel de la mesa.
 - 7.- Registre la temperatura del líquido manométrico, agitando esta hasta que adquiera una temperatura constante, no mueva la pinza del tubo manométrico. Tome la presión barométrica.
 - 8.- Repita los mismos pasos realizados con el N₂ para el CO₂ (este paso es necesario para mezclas).

HOJA DE DATOS

Posición N°	G A S: N ₂			G A S: CO ₂		
	Volumen leído (ml)	Volumen correg. (ml.)	Ah de agua (m.m.)	Volumen leído (ml.)	Volumen corregido (ml.)	Ah de agua (m.m.)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

- Tabla 1 -

- Temperatura del agua en la ampolla de nivel: °C
- Presión barométrica : 732 Torr. (mm.Hg)
- Volumen muerto del tubo manométrico : ml.

Cálculos solicitados.- Muestre para cada uno de sus cálculos, la fórmula usada y todas las operaciones indicadas con sus respectivas unidades, para cada una de las posiciones de la ampolla de nivel.

Fórmulas a considerar aparte de las que Ud. crea conveniente.

$$Q = W = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$AU = AH = 0$$

$$As = \frac{Q}{T} = m R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = m \cdot R \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$$

-Muestre sus datos experimentales.

- Convierta sus presiones manométricas de columnas de agua a columnas de mercurio (Torricelli)
- Las anteriores a presiones absolutas (Torr.) de gas seco, calculadas restando la presión de vapor de agua. Indicar Manual de Información. (Tabla 2).
- Volúmenes corregidos de gas seco (ml.) que son iguales a los del gas húmedo.
- Calcule los productos $P \times V = K m, t$ en ml. x Torr para cada gas seco.

-Trace los diagramas $P - V$, $P - 1/V$ y $PV - P$, para cada una de dos determinaciones y verifique la ley de Boyle-Mariotte para procesos isotérmicos (N_2 y CO_2) Incluya los volúmenes calculados con la constante promedio, para cada muestra, para 600, 400 y 200 Torr. para esto en el gráfico $P-V$, ponga dos curvas en colores diferentes. Marque con una "X"

-Calcule el volumen molar de cada muestra a la presión y temperatura del Laboratorio.

-Calcule la masa para cada etapa (P.c.e.)

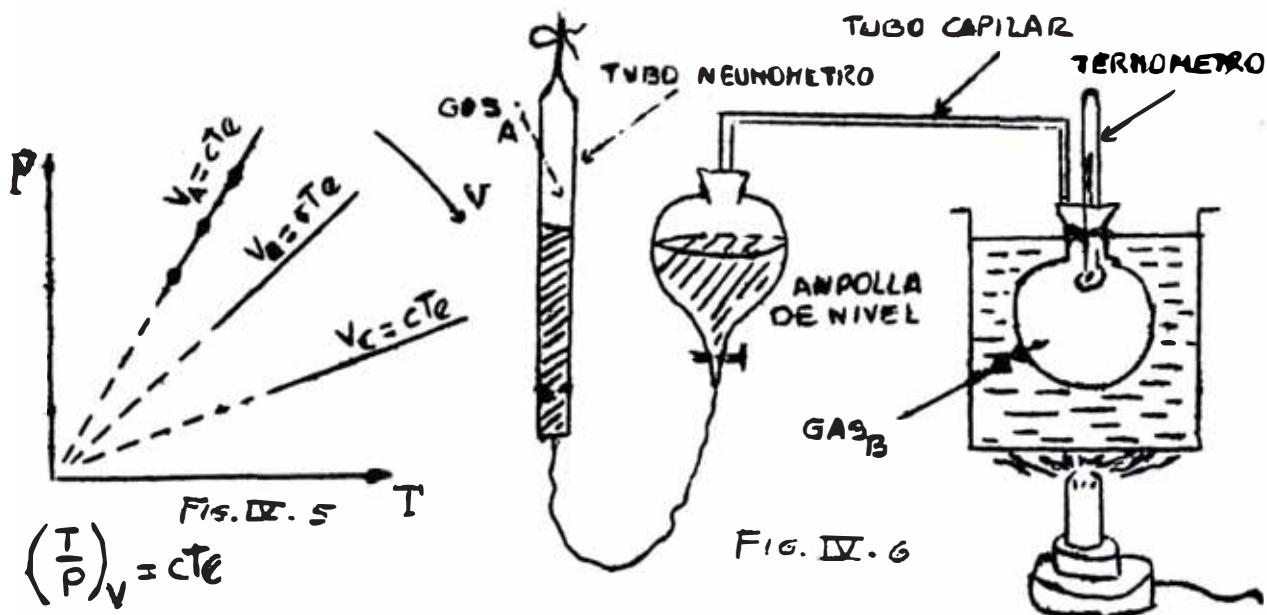
-Calcule el W , Q , AU , AH , AS para cada etapa (P.c.e.) y para el ciclo completo (P.c.c.) Interprete su signo y asuma la entropía absoluta en sus condiciones iniciales (P y T) cero.

-Grafique los incrementos de S en el eje X y las presiones correspondientes en el eje Y . Numere sus puntos a partir de "ambos niveles iguales" ¿Cómo varía la "S" cuando aumenta "P" y como cuando aumenta el "V"?

-Verifique la 1ra. Ley de la Termodinámica.

IV.4 PROCESOS ISOMETRICOS o ISOCOROS

La Ley de Charles - Gay Lussac para un proceso isométrico se enuncia de la siguiente manera: "La relación entre la temperatura absoluta y la presión absoluta de una cantidad fija de gas a volumen constante, es un valor aproximadamente constante, durante un cambio de estado". (Fig. IV.5)



$$\left(\frac{T}{P}\right)_V = cTe$$

$$\frac{T_1}{P_1} = \frac{T_2}{P_2} = \frac{T_3}{P_3} = \dots = cTe \quad (\text{EN UNA RECTA A } V = cTe)$$

Para nuestra experiencia utilizaremos el equipo anteriormente mostrado para medir los cambios de presión conforme varía la temperatura; - de otra cantidad fija de gas, a volumen constante. Utilizando los valores en la gráfica P-T y mediante una extrapolación es posible hallar el cero absoluto de temperatura a presión nula.

Procedimiento Experimental.

- 1.- Con el balón completamente seco, arme el equipo que se muestra en la Fig. IV. 6. Antes de ajustar el tapón de la ampolla de nivel vierta agua hasta el cuello de la ampolla de nivel. No permita en ningún momento que el tubo capilar entre en contacto con el agua líquida.
- 2.- A continuación vierta agua de caño en el vaso, procurando que el balón quede sumergido hasta la altura del tapón. Agite el agua contenida en el vaso hasta que la temperatura del gas dentro del balón permanezca constante.
- 3.- Ajuste los niveles del agua del tubo manométrico con el de la ampolla de nivel abriendo y cerrando la pinza en el empalme de goma, pero manteniendo la posición de esta en el empalme de goma hasta que ambos niveles sean iguales. Registre la lectura del volumen del gas A en el tubo manométrico, con un error menor de 0.1 ml. la temperatura del gas B dentro del balón y la presión barométrica.
- 4.- Coloque verticalmente la plancha de asbesto entre el mechero y la ampolla de nivel y encienda el mechero. El volumen del gas B lo mediremos al final de la experiencia ayudándonos con la probeta que dispo

ne enrasada de agua por lo que debemos marcar con un lápiz el extremo inferior de los tapones.

En el tubo capilar el gas B experimenta un enfriamiento, pero se considera que el gas contenido en él es despreciable.

- 5.- Continuando, calentamos el agua del vaso hasta que la temperatura del gas B se halla incrementado unos 10°C. Quite el mechero y agite el agua del vaso hasta que la temperatura del gas B se halla estabilizado. Baje el tubo manométrico con el objeto de enrasar los niveles de agua contenida en él, con el de la ampolla de nivel. Registre simultáneamente el volumen del gas A en el tubo y la temperatura del gas B.
- 6.- Repita esta operación de 10°C en 10°C hasta que el agua del vaso llegue a su temperatura de ebullición.
- 7.- Al final mida el volumen muerto del tubo manométrico (la zona no graduada), desajustando el tapón, desalojando el agua e invirtiendo el tubo enrase una probeta con agua y mida con ella el volumen muerto del gas B, considerando el manómetro dentro de él.

HOJA DE DATOS

Temperatura Gas B							
Vol. (ml) del Gas A							

- Tabla 3 -

Vol. inicial del gas A (a la temperatura ambiente) -- ml.
 Vol. muerto _____ ml.
 Vol. del gas en la ampolla _____ ml.
 Vol. del gas en el balón _____ ml.
 Vol. muerto del tubo _____ ml.
 Presión barométrica _____ Torr.

Cálculos solicitados.-

Cuando calentamos un gas en un recipiente cerrado de volumen constante, sólo cambian la presión y la temperatura. En nuestro caso no se lleva a cabo a volumen constante. Sucede que para medir la presión hemos utilizado el equipo de la Fig. IV 4, en el que hemos verificado que se cumple la Ley de Charles. Cada vez que variemos la temperatura del gas B,

cambia la presión al actuar esta sobre la superficie libre del líquido en la ampolla de nivel, el gas B se expande, transmitiendo el efecto al gas A encerrado en el tubo manométrico, cuyas lecturas hemos anotado. Tenemos pues que los cambios de presión y volumen que le ocurren al gas A, es por acción **exclusiva** de los cambios de presión y volumen del gas B.

Para calcular las presiones:

P_0^t = Presión inicial del gas A seco = Presión inicial del gas B seco

P_t = Presión del gas A seco, al variar T en B = Presión del gas B seco al variar T.

$$P_t = P_0^t \times \frac{V_0 \text{ del gas A}}{V \text{ observado del gas A}}$$

P_{BT} = Presión del gas A húmedo = Presión del gas B húmedo.

P_{BT} = Presión del gas A seco + Presión de vapor de agua a la T de A.

P_{Bvt} = Presión del gas B húmedo siendo V constante

$$P_{Bvt} = P_{Bt} \left[\frac{V \text{ inicial de B} + \text{cambio de V de A}}{V \text{ inicial de B}} \right]$$

Muestre para cada uno de sus cálculos la fórmula usada y todas las operaciones indicadas con sus respectivas unidades para cada temperatura, de menor a mayor.

Fórmulas a considerar aparte de las que Ud. crea conveniente:

$$W = 0$$

$$Q = AU = m \cdot C_v \cdot \Delta T$$

$$AH = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$AS = m \cdot C_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

-Muestre todos sus datos experimentales. (TABLA 3).

-Muestre todos sus cálculos hasta obtener "presión del gas B húmedo siendo V constante" (Torr.) haga un cuadro de resultados para cada temperatura en °C.

-Calcule la masa del gas B.

-Hacer un gráfico de $P_t - V$ para cada temperatura con la tendencia conocida y compárelo con el gráfico $P - V$ del proceso isotérmico.

-Tomando "Temperaturas en B en °K" en el eje de las abscisas y las presiones " P_{Bvt} " en el eje de las ordenadas, deben dar una recta como in-

dica la Ley de Gay Lussac para procesos isométricos. Por extrapolación indique el cero absoluto de temperatura.

-Calcule el W , Q , ΔH , ΔH e ΔS . El W p.c.e. y asuma que la entropía absoluta en sus condiciones iniciales de P y T es cero.

-Grafique sus incrementos de S en el eje X y las temperaturas (K) correspondientes en el eje Y . Numere sus puntos a partir de sus condiciones iniciales. ¿Cómo varía la S cuando aumenta la T y como cuando aumenta la P ?

-Verifique la primera Ley de la Termodinámica.

IV.5 MEZCLA DE GASES

Ley de las Presiones Parciales de Dalton: "La presión total ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de sus gases componentes", donde se considera la presión parcial, como la presión que ejercería él sólo si ocupara el volumen entero de la mezcla y la misma temperatura.

Ley de los Volúmenes Parciales de Amagat: "El volumen total ocupado por una mezcla gaseosa es igual a la suma de los volúmenes parciales de sus gases componentes", donde se considera el volumen parcial como el volumen que ocuparía si él solo estuviera presente a la misma presión y temperatura que tiene la mezcla.

En esta experiencia se hará lo mismo que en la parte IV.3 pero con la mezcla de los gases N_2 y CO_2 lo cual nos permitirá verificar la Ley de Dalton y la Ley de Amagat.

Procedimiento experimental.-

- 1.- Enrase los niveles del líquido de la ampolla con el del tubo manométrico en los dos equipos A y B, cada uno igual al de la Fig.IV.4.
- 2.- Una los extremos de los dos tubos manométricos mediante un tubo capilar, ajustar bien las uniones.
- 3.- Accione las llaves de los tubos manométricos para expulsar el gas del equipo A al B, subiendo la ampolla de nivel del equipo A y bajando la ampolla del equipo B. Hacer esto lenta y cuidadosamente. Cierre la llave del tubo manométrico B. Separe el equipo B y trabaje con él.
- 4.- Repita los pasos 4, 5, 6 y 7 de la Experiencia IV.3.

HOJA DE DATOS

Considerando que se ha trabajado con el N_2 y el CO_2 en procesos isotérmicos o con cualquier otro par de gases, se complementa la tabla de datos del proceso mencionado con la siguiente Tabla:

M E Z C L A : Y			
Posición Nº	Volumen leído (ml.)	Volumen corregido (ml.)	Ah de H_2O (m.m.)
1			
2			
3			
4			
5			

- TABLA 4 -

Datos iguales a los de los procesos isotérmicos.

- Temperatura del agua en la ampolla de nivel: °C
- Presión barométrica Torr(mm Hg)
- Volumen muerto del tubo manométrico ml.

Cálculos solicitados.- Muestre para cada uno de sus cálculos la fórmula usada y todas las operaciones indicadas con sus respectivas unidades, para cada una de las posiciones de la ampolla de nivel.

Considere las fórmulas que Ud. crea conveniente para mezclas.

- Muestre sus datos experimentales.
- Calcule los productos $P \times V$ en ml x Torr. para la mezcla de gases.
- Trace los diagramas $P-v$, $P-1/v$ y $PV - P$. Para la mezcla de gases.
- Muestre que la masa total de la mezcla, es la suma de las masas de los gases componentes.
- Compruebe con sus datos la Ley de Dalton
- Compruebe con sus datos la Ley de Amagat
- Calcule el calor específico a presión constante y a volumen constante la constante R y el peso molecular de la mezcla.
- En la experiencia Ud. ha trabajado con su equipo tomándolo como un manómetro en "U" con un extremo abierto al ambiente; explique como serían las medidas de la presión si ambos extremos estuvieran cerrados.
- Por que algunas veces se puede trabajar con agua como líquido manométrico -

trico y otras veces es aconsejable trabajar con otra sustancia.

-Verifique la primera Ley de la Termodinámica.

IV.6 RECOMENDACIONES GENERALES

-Al usar el equipo de experimentación hágalo con todo el cuidado posible considerando que la mayoría de los dispositivos son de vidrio.

-Manipule los instrumentos y dispositivos tomando las precauciones necesarias.

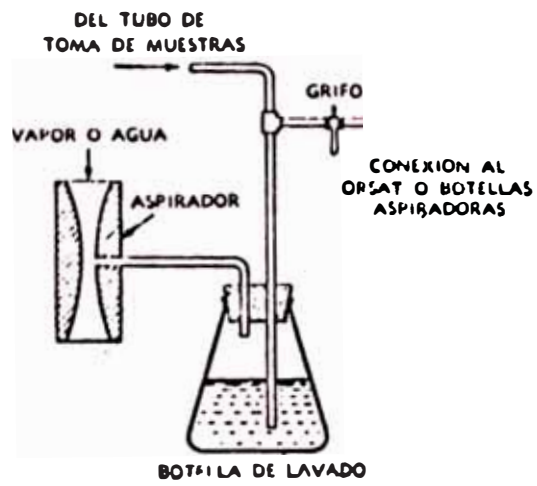
-Cuando haya algún reactivo o elemento ácido que trasegar evite el contacto directo con el y considere su grado de volatilidad.

-Las mediciones deben realizarse lo más cuidadosamente posible y con la mayor exactitud.

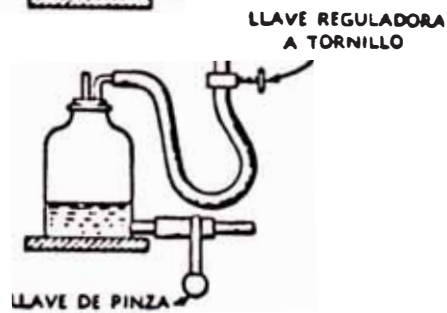
-A lo largo de las experiencias debe adoptar una actitud crítica que le permita objetar y verificar los diferentes pasos que se dan. Para ello deberá conocer teóricamente el equipo con que se va a trabajar y el fundamento técnico de los procesos.

-Al final de la experiencia, verifique que ha tomado todos los datos experimentales necesarios y los datos generales como temperatura del medio ambiente, presión barométrica, etc.

-Los responsables del grupo junto con el Ayudante de Práctica deberán entregar el equipo utilizado, limpio y en perfecto estado.



- Uso de aspiradores para reunir muestras de gas.



- Recolección de muestras de gas.

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| - "Práctica de Físico Química" | - Noemí Quintana |
| - "Físico-Química" | - Deniels |
| - "Fundamentos de Termodinámica" | - Van Wylen |
| - "Termodinámica Técnica" | - T. Andrianova - E Dzampav |
| - "Química" | - Bruce Mahan |

TABLA 2 — PRESIONES DE VAPOR SATURADO

<i>Temperatura</i>	<i>Presiones de vapor saturado, Kg/cm²</i>			
	<i>Agua</i>	<i>Amoniaco</i>	<i>Anhídrido sulfúrico</i>	<i>Anhídrido carbónico</i>
-40		0,727	0,222	
-35		0,942	0,297	
-30		1,206	0,391	15,0
-25		1,528	0,508	17,5
-20		1,916	0,652	20,3
-15		2,478	0,826	23,5
-10		2,926	1,037	27,1
-5		3,571	1,287	31,0
0	0,00622	4,322	1,584	35,4
+5	0,00889	5,192	1,932	40,3
+10	0,01252	6,194	2,338	45,7
+15	0,0174	7,340	2,807	51,6
+20	0,0238	8,645	3,347	58,1
+25	0,0323	10,121	3,964	65,4
+30	0,0433	11,778	4,666	73,1
+35	0,0573	13,647	5,458	
+40	0,0752	15,727	6,349	
+50	0,1258			
+60	0,2028			
+70	0,3175			
+80	0,4827			
+90	0,7148			
+100	1,033			
+150	4,8517			
+200	15,834			

V. MEDICIONES DE DENSIDAD, PESO ESPECIFICO Y GRAVEDAD ESPECIFICA;
DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD.

V.1 MEDICION DE DENSIDAD, PESO ESPECIFICO Y GRAVEDAD ESPECIFICA

V.1.1 Objetivo.

Determinar experimentalmente, mediante instrumentos - y dispositivos adecuados la densidad, peso específico y gravedad específica de líquidos, sólidos y gases con incidencia en combustibles y lubricantes.

V.1.2 Fundamento Teórico.

DENSIDAD ABSOLUTA O DENSIDAD: se define como la masa por unidad de volumen de una sustancia y suele expresarse en gr/cm^3 , Kg/m^3 , Lib/gln , Lib/pie^3 , gr/ml. , etc. Estas relaciones están en función de la temperatura y la presión. La densidad es la inversa del volumen específico.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \rho = \frac{1}{v} \quad v = \frac{V}{m}$$

Donde:

- ρ → Densidad
- m → Masa
- V → Volumen total
- v → Volumen específico

PESO ESPECIFICO ABSOLUTO O PESO ESPECIFICO: Es la relación entre el peso y la unidad de volumen y se expresa en N/M^3 , igual que - la densidad está en función de la temperatura y la presión.

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

$$W = m \cdot g$$

Donde:

- γ → Peso específico
 - W → Peso
 - V → Volumen total
 - m → Masa
 - g → Aceleración de la gravedad
- $g = 32.174 \text{ pie/seg}^2$
 $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$

GRAVEDAD ESPECIFICA DE UN LIQUIDO: Es la relación del peso de un volumen dado de líquido al peso de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura, generalmente la temperatura del líquido se considera 15°C o 60°F. También se le conoce como el peso específico relativo o densidad relativa (para un líquido o un gas).

Se deberá tener en cuenta que los pesos no han sido corregidos por el empuje de flotación del aire y si se quieren tener los verdaderos valores deberán considerarse los pesos en vacío.

$$G.E.L. = \frac{W.L.}{W. \text{ Agua}}$$

G.E.L. → Gravedad específica del líq.

W.L → Peso del líquido

W.agua → Peso del agua

GRAVEDAD ESPECIFICA DE UN GAS: Es la relación del peso de un gas con respecto al aire seco, a igualdad de volumen, a condiciones estandar (presión barométrica a la temperatura de 60°F ó 60°F).

$$G.E.G. = \frac{W.G.}{W. \text{ Aire}}$$

G.E.L. Gravedad específica del gas

W.G. Peso del gas

W.aire Peso del aire

V.1.3 Mediciones de la Densidad ó Peso específico.

Los términos densidad y peso específico (absolutos) se utilizan indistintamente en la práctica y esto como producto del cambio de unidades inglesas y métricas a las unidades del sistema internacional, nosotros los vamos a utilizar; teniendo en cuenta estrictamente su definición; es decir sabiendo que al trabajar con las unidades Kg/m³, Gr/cm³, Lb/pie³, Lb/gln, nos estamos refiriendo, en realidad a la densidad.

METODOS DE MEDICION DEL PESO ESPECIFICO PARA SOLIDOS.

-MEDIDA DE VOLUMEN Y PESO: En el caso de figuras geométricas regulares, estas pueden ser calibradas y a partir de ello se puede determinar su volumen, luego se pesan calculando de esta forma su peso por unidad de volumen.

Para el caso de figuras geométricas irregulares se puede determinar su volumen por el desplazamiento que estas originan en un líquido, utilizando un recipiente graduado y luego pesandolas.

METODO DEL PESADO HIDROSTATICO: Este método se utiliza para sólidos no absorbentes. Consiste en pesar la muestra en una balanza determinada (Wm_1) y luego pesar nuevamente esta muestra suspendida de un hilo fino e introducida en un recipiente con agua (Wm_2) Por el principio de flotación sabemos que la pérdida de peso de la muestra es igual al empuje: $E = Wm_1 - Wm_2$ (Fig. 1)

Por otro lado sabemos por el mismo principio de flotación que el empuje es igual al peso del líquido que desplaza la muestra:

$$E = W \text{ líquido desplazado} = \delta_{\text{lic.}} \times V_{\text{lic.}} \quad V_{\text{lic.}} = \frac{E}{\delta_{\text{lic.}}}$$

Como el peso específico de la muestra es:



$$\delta_m = \frac{W \text{ muestra}}{V \text{ muestra}} = \frac{Wm}{Vm}$$

y el $Vm = V_{\text{lic.}} \text{ desplazado}$

$$\delta_m = \frac{Wm_1}{E / \delta_{\text{lic.}}} = \frac{Wm_1 \times \delta_{\text{lic.}}}{E}$$

Fig. 1

METODO DEL PICNOMETRO: Se usa para determinar el peso específico de sólidos en forma de polvo o en forma granular. El procedimiento es igual al método del picnómetro para líquidos que se describe a continuación.

METODOS DE MEDICION DEL PESO ESPECIFICO PARA LIQUIDOS

METODO DEL PICNOMETRO: Consiste en un recipiente graduado, generalmente de vidrio, de forma tal que contenga un volumen definido de líquido a una temperatura dada. Pesándolo primeramente lleno del líquido, cuyo peso específico se quiere calcular, y luego pesando el picnómetro vacío, totalmente seco, de tal manera de poder determinar el peso del líquido y con su respectivo volumen y peso específico. Este método del picnómetro es más utilizado para medir la gravedad específica.

METODOS DE MEDICION DEL PESO ESPECIFICO PARA GAS O VAPOR.

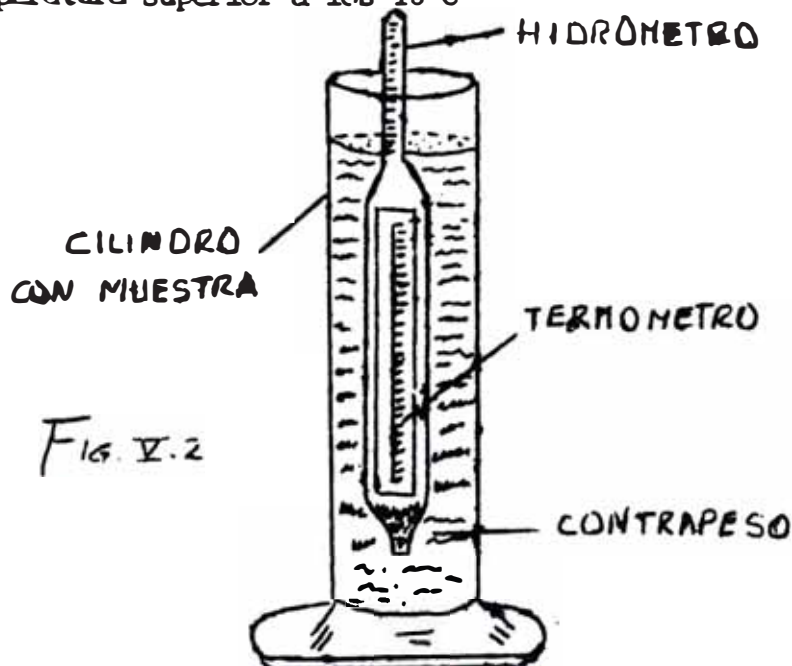
El peso específico es determinado por expansión o por la Balanza de Gravedad específica.

V.1.4 Mediciones de Gravedad Específica.

-METODO DEL PIGNOMETRO: Se utiliza para determinar la gravedad específica de líquidos y sólidos. Los métodos se describen a continuación en el procedimiento experimental.

-METODO DEL HIDROMETRO: Determina la gravedad específica de líquidos. Consta de un bulbo pesado, de acuerdo al rango de gravedades específicas que se quiere medir, y de un vástago graduado donde se lee la gravedad específica del líquido. Este valor está determinado por la graduación que señala la superficie del líquido en el vástago suspendido en el líquido. (Fig. V-2)

La temperatura sugerida es 15°C ó 60°F, sin embargo cuando se trata de un líquido volátil es necesario enfriarlo a una temperatura mucho menor a fin de evitar la evaporación y por consiguiente la variación de la G.E. durante el ensayo. Por el contrario cuando un líquido es muy viscoso es necesario calentarlo a una temperatura superior a los 15°C



-METODO DE LA BALANZA DE WESTPHAL: El funcionamiento de este instrumento se basa en el principio de Arquímedes. Este principio establece que el efecto de empuje de un líquido es directamente proporcional a la masa de líquido desplazada.

Las partes esenciales de este instrumento son el soporte vertical con brazo y un eje de cuchillas, una escala e índice, una plomada de vidrio suspendida por un fino alambre de platino y una serie especial de pesas o jinetillos.

V.1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LIQUIDOS POR EL METODO DEL PICNOMETRO.

- a) Lave el picnómetro con mezcla sulfocrómica, enjuague totalmente con agua destilada y seque en la estufa.
- b) Pese el picnómetro vacío (W_1)
- c) Llene el picnómetro con agua destilada teniendo cuidado de llenarlo completamente hasta el capilar y peselo (W_2)
- d) Quite el agua del picnómetro, séquelo en la estufa, deje enfriar y vuelva a pesar (W_3)
- e) En su picnómetro limpio y seco introduzca la muestra líquida - procediendo en la misma forma como hizo con el agua destilada y pese (W_4)
- f) Repita los pasos anteriores para otras temperaturas del agua y de la muestra cuya G.E. se quiere medir.

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LIQUIDOS POR EL METODO DE LA BALANZA DE WESTPHAL.

- a) Coloque la balanza Westphal sobre una superficie plana y estable y equilibre.
- b) Ponga la muestra en la probeta y sumerja dentro el buzo ó flotador, tratando de que no choque con las paredes de la probeta.
- c) Coloque los jinetillos en el brazo de la balanza, hasta restablecer el equilibrio. La gravedad específica del líquido es la suma de los valores relativos de las pesas a la temperatura - que indica el termómetro del buzo. Si por ejemplo el equilibrio ha sido alcanzado colocando el jinetillo mas grande en la septima división, el siguiente en la sexta, el subsiguiente en la segunda y el último en la tercera división, la gravedad específica del líquido será de 0.7623
- d) Repita b) y c) y mida la gravedad específica de la muestra a - muestra a dos temperaturas distintas a la anterior. Proceda de igual manera para determinar la gravedad específica del agua a diferentes temperaturas.

V.1.6 CALCULOS A REALIZAR

METODO DEL PICNOMETRO

a) Calcule la G.E. de la muestra líquida con los datos obtenidos con el picnómetro y utilizando las ecuaciones:

$$G.E. \frac{t_0}{t_1} = \frac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1}, \quad G.E. \frac{T_0}{T_1} = G.E. \frac{t_0}{t_1} \times \frac{d}{d_{t_1}}$$

Donde:

$T_0 \rightarrow$ Temperatura de trabajo

$T_1 \rightarrow 15^\circ\text{C}$

$d \rightarrow$ Densidad del agua

b) Calcule la G.E. de la muestra sólida, mediante:

$$G.E. = \frac{M - A}{P + M - A - S} \quad G.E. \frac{t_0}{t_2} = G.E. \times \frac{d}{d_{t_1}}$$

METODO DE LA BALANZA WESTPHAL.-

Calcule la G.E. de la muestra mediante:

$$G.E. \frac{t_0}{t_1} = G.E. \frac{t_0}{t_2} \times \frac{d}{d_{t_1}} \quad \text{Donde: } t_2 = 20^\circ\text{C}$$

Ejm: G.E. de la leche:

A $15^\circ\text{C} \rightarrow 1.029$

A $20^\circ\text{C} \rightarrow 1.033$

MANEJO Y EMPLEO DE LA BALANZA WESTPHAL

Ensamblar los componentes de balanza colocados en la caja. Instalar la columna de la balanza en el marco revestido con filtro, dispuesto en la tapa de la caja. (Fig. V.3).

A continuación ubicar el brazo de la balanza sobre su soporte, poner a su extremo el estribo y para las mediciones de la densidad de líquidos poner en el gancho inferior del estribo el cuerpo de inmersión de vidrio (13) que cuelga por un hilo delgado de plata, encima de la pesa de compensación (13 a) habiendo equipado así la balanza se le equilibra cuidadosamente.

Después, verter agua destilada de 20°C en el cilindro de vidrio moviendo la altura de la barra telescópica, hasta que el agua lo cubra cuidadosamente. Enganchar la pesa de compensación (la pesa corrediza mas grande), en el gancho superior del estribo, por lo que la lengüeta del brazo de la balanza debe mostrar de nuevo el me

dio de la dimensión de la escala.

Para la medición de la densidad de sólidos, primero se engancha en el gancho inferior del estribo el platillo porta pesas (14) y, el platillo de inmersión (15) similarmente mediante un hilo de plata.

Al colocar en el platillo porta pesas la pesa de 20 gr. la balanza debe encontrarse en su estado de equilibrio.

NOTA: Las balanzas se venden en estado ajustado, por consiguiente, si después del ensamblaje descrito, no se establece el estado de equilibrio de la balanza preparado para la medición la conexión se efectúa con la ayuda del tornillo de ajuste (5) del zócalo y de la tuerca taradora (9) dispuesta en el extremo del brazo.

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS POR EL METODO PICONOMETRO.

- a) Repita los pasos a) y b) de la experiencia anterior con el picnómetro obteniendo (A) en vez de W_1 ,
- b) Introduzca una pequeña cantidad de muestra sólida y pese (M).
- c) Agregue agua destilada al picnómetro más la muestra hasta llenarlo completamente y pese (S). Tenga cuidado de que el agua llegue hasta la parte superior del capilar, pero sin exceso.
- d) Quite el contenido del picnómetro y lávelo completamente.
- e) Llene el picnómetro con agua destilada y vuelva a pesar (P).

V.1.7 ESCALAS DEL HIDROMETRO Y CORRECCIONES PARA ACEITES Y OTROS.

En el vástago graduado del hidrómetro no se lee directamente la gravedad específica del líquido, está graduado generalmente en grados y suelen utilizarse dos escalas como son: La Escala Baumé (°Be) del Bureau of Standards y la Escala API (°API) del American Petroleum Institute. Ambas escalas se basan en atribuir al agua - una gravedad específica de 10 grados, siendo la relación entre la gravedad específica y los grados mencionados la siguiente:

$$G.E. \ 15/15^{\circ}C = \frac{140}{130 + \text{°Be a } 15^{\circ}C} \quad \begin{matrix} \text{°Be} > 10 \\ \text{°API} > 10 \end{matrix} \left\{ \begin{array}{l} \text{Líquidos mas pe} \\ \text{sado que el agua} \end{array} \right.$$

$$G.E. \ 15/15^{\circ}C = \frac{141.5}{131.5 + \text{°API a } 15^{\circ}C} \quad \begin{matrix} \text{°Be} < 10 \\ \text{°API} < 10 \end{matrix} \left\{ \begin{array}{l} \text{Líquidos menos} \\ \text{pesados que el} \\ \text{agua} \end{array} \right.$$

Significando esta notación que la gravedad específica se da como una relación entre el peso específico del fluido a 15°C y el peso específico del agua pura a 15°C

Si la muestra a la cual se le va a determinar su gravedad específica no está a 15°C (60°F), se le debe aplicar la siguiente corrección:

Para aceites lubricantes: Por cada 10°F, por encima ó debajo de - 60°F, agregar o quitar respectivamente 0.05 Be a la lectura observada. Para gasolina, kerosene o destilados livianos: en forma similar al caso anterior la corrección está dada por 0.10°Be aproximadamente.

Recomendación: El recipiente (cilindro) que contiene el líquido - donde se va a usar el hidrómetro debe tener un diámetro interno no menor del diámetro externo del hidrómetro más 25 mm por lo menos, por otro lado se recomienda que la altura que debe tener el cilindro debe ser tal que la parte inferior del bulbo - del hidrómetro esté por lo menos a 25 m.m. del fondo del recipiente.

COMPONENTES DE LA BALANZA WESTPHAL.

1. Caja de madera dura.
2. Columna de la balanza.
3. Barra insertada.
4. Tornillo de fijación.
5. Tornillo de ajuste.
6. Brazo de balanza.
7. Soporte
8. Pesa de ajuste gruesa.
9. Tuerca taradora.
10. Tornillo regulador
11. Estribo.
12. Portapesas.
13. Cuerpo de inmersión.
14. Platillo portapesas
15. Platillo de inmersión.
16. Pesa de compensación.

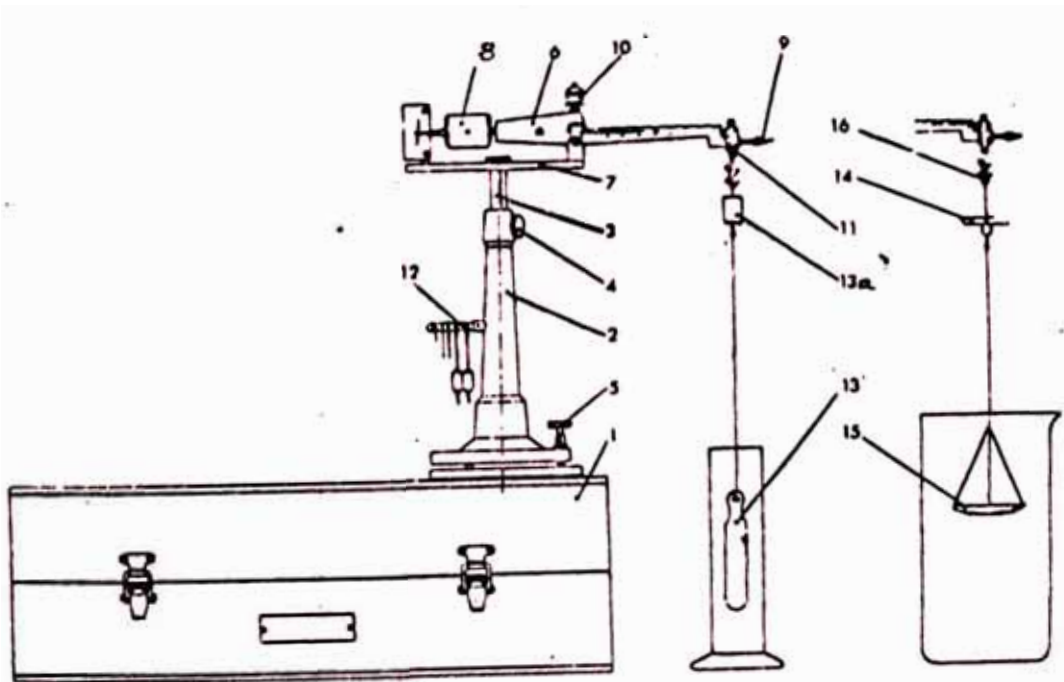


FIG V.3

V.I.8 CUESTIONARIO

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

CUESTIONARIO

- 1) Compare los resultados obtenidos con el método de la balanza Westphal y del picnómetro con los datos teóricos obtenidos de tablas. ¿Cuál de los dos métodos es el más exacto?.
- 2) Indique otros métodos que pueden usarse para determinar el peso específico o densidad de líquidos sólidos y gases o vapores.
- 3) La densidad aparente de un aceite es 0.8 gr/ml. cuando se mide en una habitación a 25°C y 1 Kr/cm². Determinar la verdadera densidad.
- 4) Explicar por qué la balanza de Westphal mide gravedad específica en vez del peso específico (las balanzas se usan generalmente para la determinación del peso).

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Crockford y Nowell - "Manual de Laboratorio de Físico Química"
- Daniels F y otros - "Curso de Físico Química Experimental"
- Seymour Jesse - "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"
- Profesores UNI - "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I"
- Quintana, Noemí - "Prácticas de Físico-Química".

V.2

DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD

V.2.1. Objetivo.

Determinar la viscosidad cinemática de los aceites o combustibles lubricantes y otros líquidos mediante el viscosímetro Ostwald

La Viscosidad es una de las propiedades mas importantes de los lubricantes y su determinación a la temperatura de trabajo es un factor decisivo para la selección de un aceite lubricante, sobre todo en las partes móviles de los mecanis-

V.2.2 Fundamento Teórico

VISCOSIDAD: Es la resistencia que ofrece un fluido al deslizamiento relativo de sus partículas. También se conoce la viscosidad de un fluido, como su "cuerpo" o "consistencia" que se mide por su resistencia a fluir. Esta característica varía con la clase de fluido y también con la temperatura.

VISCOSIDAD ABSOLUTA O DINAMICA (μ): Se define como la fuerza por unidad de área necesaria, para mantener una gradiente de velocidad entre dos planos separados por una distancia unitaria.

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dx}$$

μ = Viscosidad absoluta o dinámica

τ = Tensión de corte

dv/dx = Régimen de corte

V = Velocidad

X = Distancia

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ dina} \times \frac{\text{seg}}{\text{cm}^2} \quad \frac{\text{gr}}{\text{seg.} \times \text{cm}}$$

La viscosidad absoluta se tabula generalmente en centipoise. (c.p).

VISCOSIDAD CINEMATICA (D) : Es la viscosidad absoluta dividida entre la densidad del líquido.

$$D = \frac{\mu}{\rho}$$

μ = Viscosidad absoluta ($\frac{\text{Kg} - \text{masa}}{\text{m} \times \text{seg}}$)

ρ = Densidad ($\frac{\text{Kg} - \text{masa}}{\text{m}^3}$)

D = Viscosidad cinemática ($\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$)

$$1 \text{ Stoke} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}} \quad , \quad 1 \text{ Centistoke} = 0.01 \text{ stoke}$$

(cst) (st.)

VISCOSIDAD RELATIVA O ESPECIFICA (η_{rel}): Se define como la relación de la viscosidad absoluta de un fluido con respecto a la viscosidad absoluta de un fluido patrón (por lo general el agua ó el disolvente en caso de soluciones), ambas viscosidades deben ser tomadas a la misma temperatura.

La viscosidad absoluta del agua a 20°C es aproximadamente un centipoise. Por lo que en forma aproximada, la viscosidad relativa de un fluido a 20°C es considerada igual a su viscosidad absoluta en centipoise

$$\eta_{REL} = \frac{\mu \text{ Fluido}}{\mu \text{ Agua o solvente}}$$

FLUIDEZ (f): Se define como la inversa de la viscosidad absoluta. El punto de fluidez determina la menor temperatura a la que fluirá un aceite en reposo.

$$f = \frac{1}{\mu} \quad \text{Se expresa en: } 1 \text{ RHE} = 1 \text{ Poise}^{-1}$$

V.2.3 Abacos de Viscosidad - Temperatura. Índice de Viscosidad.

Es necesario conocer los gráficos de viscosidad - temperatura - (abacos) va que para cada aceite hay diferentes regímenes de variaciones de la viscosidad con la temperatura. (Fig. 4).

Muchos derivados del petróleo, tienen una disminución de la viscosidad muy rápida cuando aumenta la temperatura. Por lo que es importante conocer el régimen de variación de la viscosidad por ejemplo en los motores de combustión interna que comienza a funcionar a bajas temperaturas y a pleno régimen de trabajo alcanza altas temperaturas, si se utiliza un aceite lubricante de alto régimen de variación de la viscosidad puede ocurrir que a baja temperatura sea tan viscoso que no pueda fluir adecuadamente y que a altas temperaturas baje tanto su viscosidad que no sea suficiente para soportar las cargas de trabajo.

Los abacos de viscosidad estan dados en escalas especiales en sus respectivas coordenadas para que den una línea recta, que de lo contrario de hacerlo en coordenadas normales nos darían ciertas curvas que requerirían muchos puntos para determinarlas.

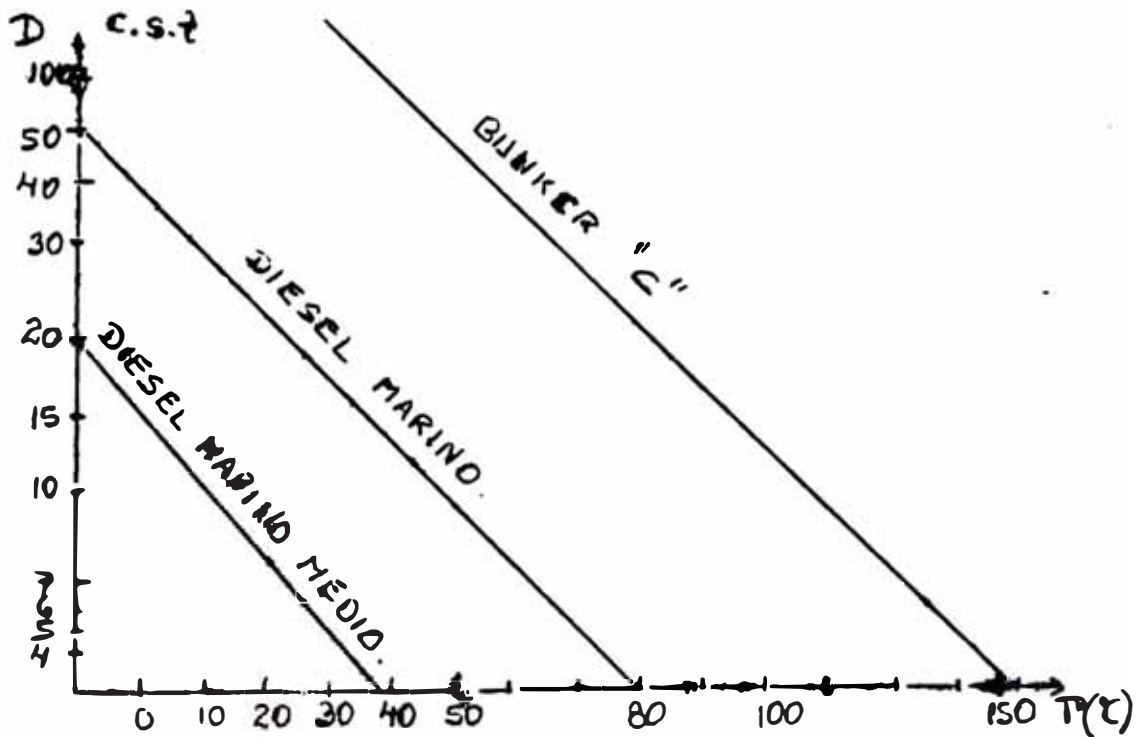


FIG. V. 4.

Con la finalidad de poder comparar el régimen de cambio de la viscosidad con la temperatura se ha establecido el índice de viscosidad, inicialmente por comparación con un aceite patrón y posteriormente se ha normalizado con las normas ASTM de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Viscosidad (I.V.)} = \frac{L - U}{L - H} \times 100$$

Donde:

L = Viscosidad de un aceite a 100°F cuyo índice de viscosidad es cero y que a 210 °F tiene una viscosidad igual a la del aceite de ensayo.

U = Viscosidad a 100°F del aceite de ensayo

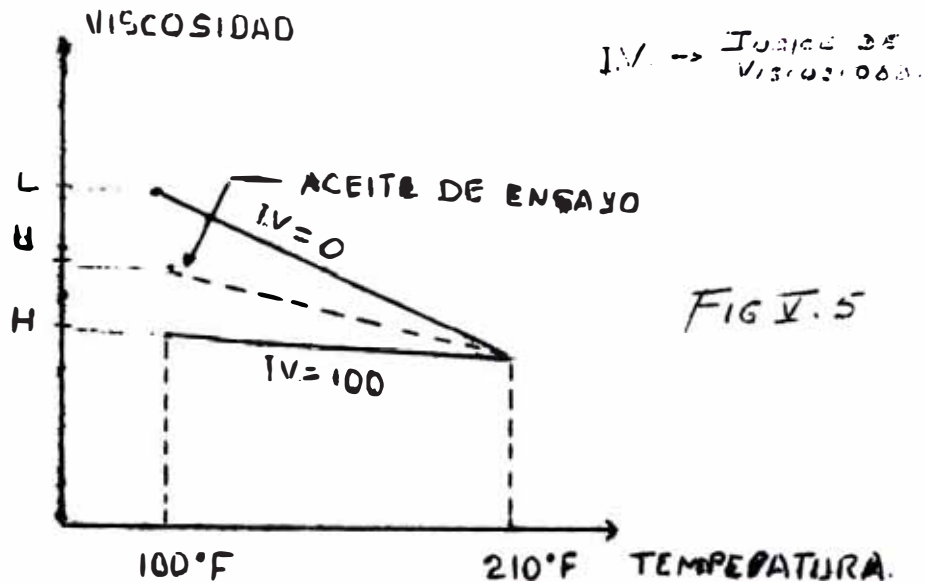
H = Viscosidad a 100°F de un aceite cuyo índice de viscosidad es 100 y cuya viscosidad a 210°F es igual a la del aceite de ensayo.

Existen Tablas ASTM para determinar L y H pero a falta de estas tablas se pueden usar las siguientes relaciones cuando la viscosidad Saybolt Universal y la del aceite de ensayo están comprendidas entre 50 y 350 segundos a 210°F.

$$H = 0.0408 Y^2 + 12.568 Y - 475.4$$

$$L = 0.216 Y^2 + 12.07 Y - 721.2$$

En resumen, el índice de viscosidad nos indica, la rapidez con que la velocidad varía dentro de un rango dado de temperatura. (Fig. V. 5).



Los aceites de base parafínica poseen un alto índice de viscosidad esto implica que la viscosidad cambia poco con la temperatura, lo cual es una propiedad deseable. Mientras que los aceites de base nafténica - se caracterizan por el bajo valor de su índice. Para aumentar el índice de viscosidad se usan ciertos aditivos.

V.2.4 Tipos de Viscosímetros y Unidades de Viscosidad.

Los viscosímetros mas comunes para determinar la viscosidad cinemática son:

- a) El viscosímetro de segundos Saybolt Universal, nos da la viscosidad en segundos Saybolt Universal (.S.S.U.)
- b) Viscosímetro en segundos Redwood.
- c) Viscosímetro en grados Engler
- d) Viscosímetro en grados SAE
- e) Viscosímetro en grados API

Describiremos el Saybolt Universal, cuyos principios básicos - se aplican a los demás tipos excepto el Oswald.

VISCOSÍMETRO SAYBOL UNIVERSAL.- Es bastante usado en los Laboratorios para el ensayo de la viscosidad, omitiendo detalles, el aparato consiste en un recipiente con un orificio de tamaño normalizado provisto en su fondo de un tapón. El recipiente, que se llena con una muestra de aceite, se coloca en un baño de líquido a la temperatura deseada (Usualmente 37.8 a 98.9°C) hasta que la muestra se caliente a la temperatura requerida. Se saca entonces el tapón y el tiempo empleado en drenar 60 cm³ se registra como

la viscosidad del aceite a la temperatura elegida para el ensayo.

VISCOSIMETRO DE OSTWALD.

Es un viscosímetro bastante utilizado. El método consiste en medir - el tiempo requerido para que un volumen dado del mismo escurra por un - tubo capilar de dimensiones definidas y bajo una diferencia de presión conocida. (FIG. 56).

El fenómeno de escurrimiento de un líquido sigue la Ley de Poiseuille.

Donde:

$$\mu = \frac{P \cdot \pi \cdot r^4 \cdot t}{8 \cdot V \cdot L}$$

V = Volumen de líquido (cm³)

L = Longitud del tubo capilar (cm)

r = Radio del capilar (cm)

t = Tiempo de escurrimiento (seg.)

P = Presión (gr/cm x seg²)

La presión está dada por:

Dónde:

$$P = \rho \cdot g \cdot h.$$

h = Diferencia de nivel del líquido entre los - dos bordes del tubo. (cm.)

ρ = Densidad del líquido ($\frac{gr}{cm^3}$)

g = Aceleración de la gravedad ($\frac{cm}{seg^2}$)

Luego:

$$\mu = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot t \cdot \rho \cdot g \cdot h}{8 \cdot V \cdot L}$$

$$\mu = \frac{gr}{cm \times seg} = 1 \text{ Poise}$$

Si dividimos por la densidad obtenemos la viscosidad cinemática (D)

$$D = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot t \cdot g \cdot h}{8 \cdot V \cdot L}$$

$$D = \frac{cm^2}{seg} = 1 \text{ Stoke}$$

Para obtener la viscosidad relativa ($\eta_{REL.}$) relacionamos dos líquidos - en un mismo viscosímetro.

$$\eta_{REL.} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 \cdot t_1}{\rho_2 \cdot t_2}$$

$\eta_{REL.} = (\text{sin unidades})$

Así: μ_1, ρ_1, t_1 son la viscosidad, densidad y tiempo de escurrimiento - del líquido que se investiga y μ_2, ρ_2, t_2 son los valores del líquido de referencia. (Generalmente agua)

Aparatos y Accesorios

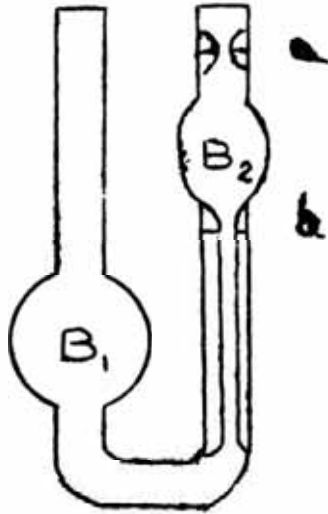


Fig. V.6

Materiales y Reactivos:

Materiales: Viscosímetro de Ostwald, recipiente para baño de temperatura, 1 pipeta de 10 ml. un vaso de 100 ml., un soporte, una pinza, una rejilla, una bombilla de jebe.

Reactivos: líquidos orgánicos, agua destilada, mezcla sulfocrómica.

Procedimiento Experimental.-

- a) Lave el viscosímetro con solución sulfocrómica o detergente, enjuague totalmente.
- b) Mediante una pipeta coloque agua destilada en el viscosímetro en cantidad suficiente para llenar 2/3 del bulbo B₁.
- c) Coloque el viscosímetro en un baño de 25°C y dejelo unos tres minutos para que adquiera la temperatura del baño.
- d) Coloque una bombilla de jebe en el extremo del viscosímetro para hacer subir el líquido en el bulbo B₂.
- e) Mida el tiempo que demora el líquido en pasar entre las marcas a y b.
- f) Efectuar al menos dos mediciones para cada temperatura.
- g) Limpie y seque bien el viscosímetro poniéndolo en una estufa a 110°C
- h) Realizar los pasos indicados anteriormente con la muestra problema a tres temperaturas diferentes.

Cálculos a realizar.-

- a) Determine las densidades de las posibles muestras a las temperaturas de trabajo.
- b) Determine las viscosidades absolutas de la muestra a las tres temperaturas.
- c) Determine las viscosidades cinemáticas de la muestra a las tres temperaturas.
- d) Determine las viscosidades relativas de la muestra a las tres temperaturas.
- e) Determine analítica o gráficamente las viscosidades teóricas de las muestras, si fuera necesario.
- f) Grafique las viscosidades absolutas versus la inversa de la temperatura absoluta para la muestra identificada. Analizar el gráfico.

V.2.5 Tabla de Viscosidad para aceites especificados por la SAE

TABLA 1 - VISCOSIDAD PARA ACEITES ESPECIFICADOS POR LA SAE.

SAE Nº	RANGO DE VISCOSIDAD EN S.S.U.	
	a 130 °F	a 210 °F
10	90 - 120	
20	120 - 185	
	185 - 255	
40	Mayor de 255	Menor de 80
50		80 a 105
60		105 a 125
70		125 a 150
80	100,000 segundos a 0 °F Máx.	
90	800 a 1500 seg. a 100 °F	
140	120 a 200 seg. a 210 °F	
250	200 seg. a 210 °F mín.	

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Crochford y Nowell - "Manual de Laboratorio de Físico-Química"
- Daniels y Otros - "Experimentos de Físico-Química"
- Profesores UNI - "Laboratorio de Ingeniería Mecánica".
- Seymour Jesse - "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico".
- Cía. de Petróleo Shell del Perú S.A. - "Manual de Lubricantes"
- Normi Quintana - "Prácticas de Físico-Química".

VI. DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLAMACION Y DE COMBUSTION
MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y AREA

VI.1 DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLAMACION Y DE COMBUSTION

VI.1.1 Objetivo

Determinar mediante el vaso abierto de Cleveland los puntos de inflamación y de combustión de cualquier derivado del petróleo - excepto los aceites combustibles y otros productos cuyo punto de inflamación en vaso abierto es inferior a 175°F (80°C aproximadamente), los aceites combustibles generalmente se determinan en un aparato de vaso cerrado, como el vaso cerrado de Pensky-Martens. Los puntos de inflamación y de combustión son importantes por razones de seguridad (los aceites de combustión son importantes por razones de seguridad) y los aceites cuyo punto de inflamación es inferior a 150°C no deben emplearse para fines de lubricación.

Estas características no deben confundirse con la temperatura de auto-inflamación, que viene a ser la temperatura a la cual se inflama un aceite, sin aplicación de llama o chispa.

VI.1.2 Fundamento teórico.

Punto de Inflamación: Se define como la menor temperatura, a la cual el régimen de emisión de vapores de un determinado aceite, es de tal magnitud que permite una combustión instantánea (centelleo), pero no es suficiente para producir una combustión continua.

Punto de Combustión: Es la menor temperatura a la que el régimen de emisión de vapores es suficiente para mantener una combustión continua, aún se le retire la llama.

El punto de combustión suele estar a 22 ó 28°C más alto que el punto de inflamación. Hay que tener en cuenta que las medidas del punto de inflamación y de combustión de los aceites no son las medidas de la verdadera inflamabilidad de los aceites, sino de su volatilidad inicial.

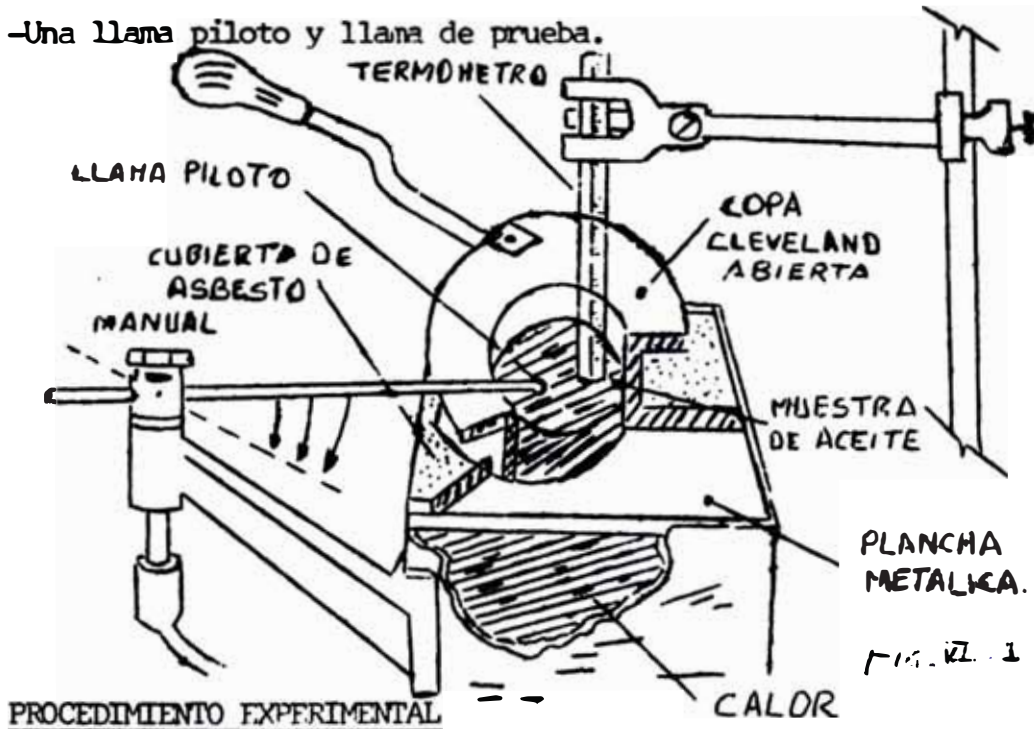
La determinación de las temperaturas mencionadas, no depende sólo del aceite, sino del régimen de calentamiento, el movimiento del aire sobre la superficie del aceite y los métodos de ignición.

VI.1.3 Experimentación con el vaso abierto de Cleveland.

La ASTM recomienda el uso del vaso de Cleveland abierto para la determinación de los puntos de inflamación y de combustión de los aceites lubricantes y otros derivados del petróleo. (Fig. VI. 1).

Aparatos y Accesorios.- Todo el equipo tiene los requerimientos dimensionales de la ASTM.

- Un vaso abierto
- Una placa calefactora
- Mechero de Bunsen o calefactor eléctrico
- Tabiques que protejan el vaso de ensayo y el mechero, si es que en la habitación hay corrientes de aire.
- Termómetro de 20 a 760°F graduado de 5 en 5°F ó el equivalente en grados centigrados.
- Una llama piloto y llana de prueba.



La placa de calefacción protege que los gases de combustión del mechero pasen por encima del vaso, salvo que se use un calefactor eléctrico, es preferible proteger de la luz la superficie del aceite con el fin de observar mejor la inflamación. El termómetro debe estar colocado de tal forma que el fondo del bulbo esté a 1/4 pulg. del fondo del vaso, además debe estar a la mitad, entre el centro del vaso y el fondo del mismo. La llama de ensayo debe tener un diámetro de aproximadamente $5/32$ (4 m.m. aproximadamente). La llama de ensayo deberá pasar por el centro del vaso en una línea recta ó según un -

arco no menor de 15 cm. de radio. La trayectoria de la llama debe estar en ángulo recto con el diámetro del vaso que pasa por el termómetro y en el mismo plano que la parte superior del vaso.

a) Debe llenarse el vaso de tal manera que el menisco esté exactamente en coincidencia con la línea de nivel a la temperatura ambiente.

El ensayar asfaltos u otros materiales bituminosos sólidos, deben calentarse entre 300 y 350°C (150 a 180°C), antes de vertirlo en el vaso.

Al llenar el vaso hay que tener cuidado de no salpicar aceite por arriba de la marca ni tampoco por el lado exterior del vaso.

b) El régimen de calentamiento debe ser tal que no aumente más de 30°F (16.5°C) por minuto hasta alcanzar 100°F (55 °F) por debajo del punto de inflamación estimado. Posteriormente debe regularse la frecuencia de calentamiento de 9 a 11°F (5 a 6°C) por minuto.

c) Punto de inflamación: cada 5°F de aumento de temperatura deberá pasarse la llama con una duración aproximada de 1 segundo sobre la muestra, en el momento que se advierta que se ha producido la inflamación en cualquier punto del vaso por un instante. Se tomará la temperatura respectiva como la del punto de inflamación.

d) Punto de Combustión: se continuará con el mismo régimen de aumento de temperatura cada 5°F y en el momento que el aceite se inflame durante 5 segundos, se considerará como el punto de combustión.

VI.1.4 Especificaciones y Propiedades para Aceites Combustibles y Lubricantes.

Al Final. (Tabla 1).

VI.1.5 Cuestionario - Problemas - Referencia Bibliográfica.

CUESTIONARIO Y PROBLEMAS

- 1) Por qué debe mantenerse muy pequeña el tamaño de la llama de prueba en el ensayo de inflamación y de combustión.
- 2) Si hasta este momento del desarrollo del curso de trata-
ra de elegir un lubricante para un motor de automovil.
Enumere las propiedades que Ud. especificaría en orden -
de importancia.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Seymour Jesse - "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"
- Profesores UNI "Laboratorio de Ingeniería Mecánica"
- Cia de Petroleo Shell del Perú S.A. "Manual de Lubricantes"

VI.2 MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y APEA.

VI.2.1 Objetivo

Conocer la utilización de los diferentes instrumentos y métodos de medición de desplazamientos, áreas y velocidades que nos van a permitir posteriormente el estudio de potencia, flujos y rendimientos de máquinas entre otras experiencias.

VI.2.2 Fundamento Teórico.

MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTO

Implica la medición del movimiento de un punto de una posición a otra, es una medición longitudinal.

Es posible hacer mediciones de dimensión longitudinal con una exactitud de ± 0.01 pulg. con reglas graduadas de metal ó de madera de 1/16 en 1/16. En las mediciones de longitudes grandes se utilizan las cintas métricas (winchas) que varían entre 1 metro y generalmente 3 metros las de tamaño de uso personal y las cintas de mayor longitud que pueden ser de 20, 30, 40 mts., etc. que se utilizan en la agrimensura cuyo mayor error que suelen tener es de expansión ó contracción por efecto de la temperatura que por ser un error de tipo fijo es facilmente calculable conociendo el material de la cinta y la temperatura en el momento de la medición.

EL VERNIER O PIE DE REY: Es un calibrador de mayor precisión que las reglas graduadas simples y consiste en una regla graduada fija con unidades en pulgadas y unidades métricas en cada borde respectivamente y también un cursor o regla móvil que toma el nombre de Vernier. La escala fija está graduada al igual que una regla simple de $1/16$ en $1/16$ y la escala móvil o cursor tiene un segmento dividido en ocho partes, donde el segmento equivale a $1/16$ de pulgada la mitad del segmento a $1/32$ de pulg., la cuarta parte a $1/64$ y la octava parte a $1/128$, que suele ser la aproximación de un Vernier. (Fig. VI. 2.) El calibrador se coloca sobre el objeto que va a medirse y se gira el ajuste fino hasta que las quijadas ajusten firmemente la pieza ó se obtura un elemento que inmoviliza la escala móvil, según el tipo de Vernier.

La lectura se toma en primer lugar en la escala fija, por ejemplo $1 \frac{3}{16}$ y se completa la lectura en el Vernier dependiendo de cual de las ocho divisiones de la escala móvil coincide con el cero de referencia. Para la figura ampliada del Vernier el cero coincide con la tercera división que corresponde a la aproximación $3(1/128)$ ó $3/128$, lo que nos daría una lectura definitiva del calibrador de: $1 \frac{3}{16} + \frac{3}{128}$ ó $1 \frac{27}{128}$

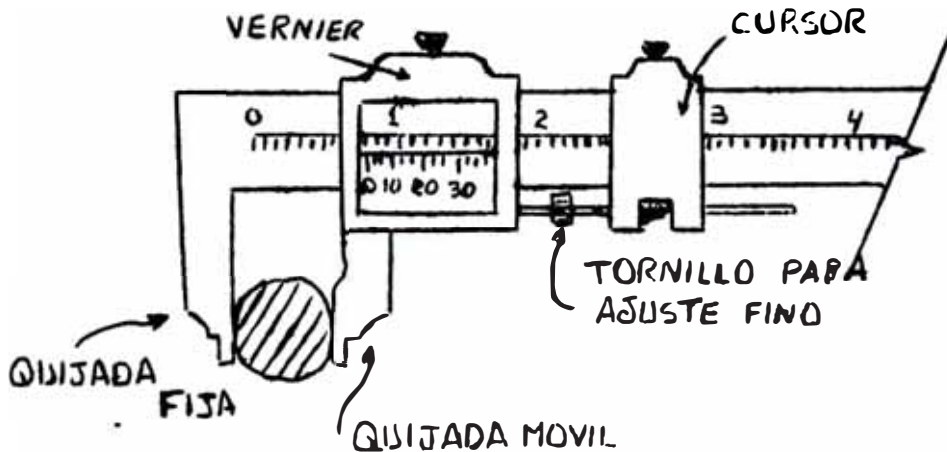


FIG. VI. 2

EL MICROMETRO: Es un dispositivo de medición más preciso que el calibrador Vernier. En vez de usar el arreglo de la escala Vernier, se utiliza una rosca de tornillo calibrada y una escala circunferencial con divisiones que indican la parte fraccional de las divisiones de la escala primaria. Para alcanzar una máxima efectividad de medición se debe tener presente que la presión que se efectue sobre la pieza a calibrar debe ser una presión moderada. En forma similar al Vernier se fija el vástago móvil del micrómetro con un mecanismo de trinquete localizado en el mango. Cuando se utiliza en forma adecuada el micrómetro se puede alcanzar una exactitud del orden de ± 0.0001 pulgada.

La lectura se toma en forma similar a la del Vernier, efectuando una primera lectura en la escala primaria en el vástago de la rosca de tornillo y la mayor aproximación en la escala circunferencial. Las aproximaciones en la escala circunferencial depende del micrómetro que se esté utilizando, generalmente los micrómetros vienen en juegos, que pueden contener micrómetros de 0 - 1/4", de 0-1/2", de 0-3/4", de 0-1", de 0-1 1/2", de 0-2", de 0-3", etc. (Fig. VI.3).

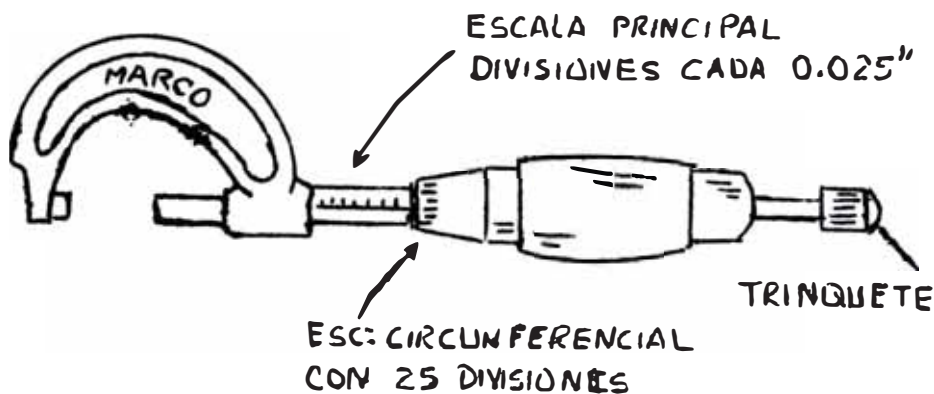


FIG. VI.3

LOS BLOQUES PATRON: Son estándares que se utilizan para calibrar los dispositivos de medición. Son pequeños bloques de acero de aproximadamente 3/8 x 1 3/8, con superficies plenamente pulidas. Los bloques patrón se pueden conseguir en una gran variedad de espesores, de tal manera que con un juego de 81 bloques se puede conseguir dimensiones entre 0.100 y 8.000 pulg. en incrementos de 0.0001 de pulgada si se superponen en forma adecuada, los bloques se ensamblan mediante un proceso de prensado.

MEDICIONES DE VELOCIDAD

Generalmente se encuentra que las máquinas son accionadas en forma directa por el eje de un motor, o después de una ampliación o reducción de la velocidad del elemento motriz. En cualquiera de los casos y en sus diferentes etapas, muchas veces, es necesario el conocimiento de la velocidad angular del elemento rotativo ya que nos permite determinar la velocidad lineal de las máquinas alternativas y sus fuerzas de inercia; y por otro lado la velocidad angular nos permite calcular la potencia transmitida por el elemento rotativo de una máquina.

Los instrumentos utilizados mas comunmente para medir velocidades angulares son:

- 1.- Contador de revoluciones sin cronómetro o con cronómetro incorporado.
- 2.- Tacómetro o taquímetro
- 3.- Estroboscopio.

CONTADORES DE REVOLUCIONES

-Contador de Revoluciones.- El contador de revoluciones simple, es el que nos permite registrar solamente número de vueltas, y tiene que ser usado con un cronómetro independiente. Cuando el número de vueltas no es posible apreciarlo en forma visual, suele utilizarse un registrador de revoluciones portatil que pueden ser: "De tipo dial" que como se muestra en la fig. VI - 4 tiene escalas independientes para cada sentido de rotación y el "de tipo registrador" Fig. VI, 5 que es más fácil de leer que el anterior y que posee un tambor de digitos donde se registra el número de revoluciones que da el eje. Los contadores de mano generalmente estan provistos de una punta especial de caucho para impedir el resbalamiento entre el instrumento y la máquina rotativa.

Para determinar la velocidad, se complementan los contadores de revoluciones con cronómetros independientes. Los contadores de revoluciones son satisfactorios hasta velocidades de 2000 ó 3000 rpm. y se pueden usar hasta 5000 rpm.

En los contadores de revoluciones hay que tener en cuenta:

- A grandes velocidades existe siempre la posibilidad que haya resbalamiento.
- Debe tenerse cuidado que el contador no quede desalineado con el eje rotativo.

- El punto de contacto debe estar libre de aceite.
- Debe colocarse el contador a una presión suficiente que permita mantener un contacto firme.
- Hay que tener bastante cuidado para sincronizar adecuadamente el contador de revoluciones con el cronómetro tanto en el arranque como en las paradas, por lo que se recomienda que la medición debe extenderse a un tiempo mínimo de dos minutos.
- Los cronómetros que se usan junto con los contadores de revoluciones deben ser tratados con cuidado y se les debe limpiar y aceitar periódicamente.

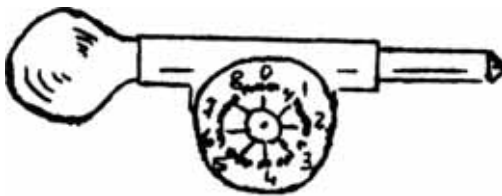


FIG. VI. 4

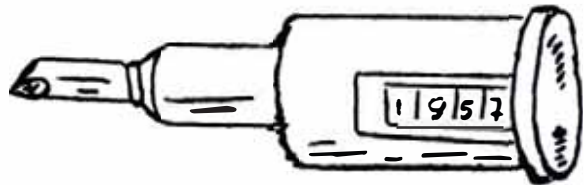


FIG. VI. 5

Taquiscopio.- Para evitar el error que generalmente se produce en los arranques y paradas por la sincronización del contador de revoluciones con el cronómetro, estos dos instrumentos pueden ser reunidos en un sólo aparato llamado taquiscopio. A pesar que con estos instrumentos se elimina el error de sincronización en el arranque y parada, subsiste la posibilidad de resbalamiento. Los taquiscopios pueden usarse para medir velocidades de hasta 5,000 r.p.m. (Fig. VI.6).

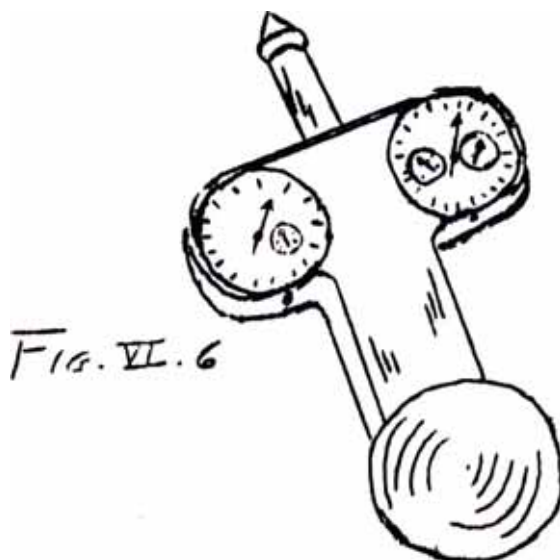


FIG. VI. 6

Indicador de Velocidad.- Es un contador, más perfeccionado que los anteriores que además de registrar las revoluciones y el tiempo en forma independiente, se permite promediar las velocidades instantáneas - dentro de cortos intervalos de tiempo lo que nos da directamente las velocidades en rpm. Pueden usarse para velocidades de hasta 20,000 ó 30,000 rpm. (Fig. VI. 7).

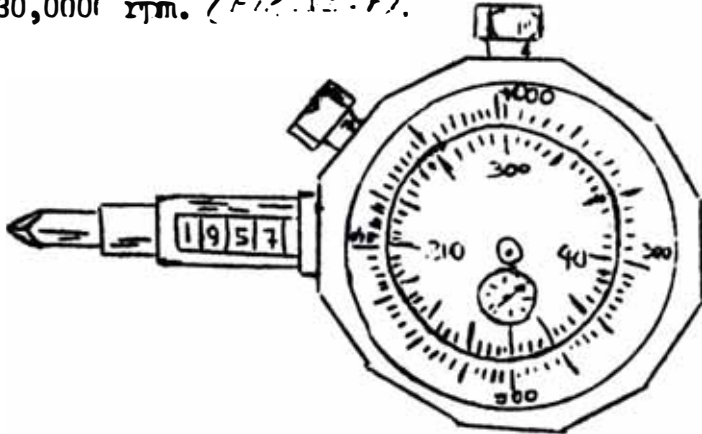


FIG. VI. 7

TACOMETROS O TACUIMETROS

Es un instrumento que indica la velocidad de rotación en forma directa y continua. Se les prefiere al conjunto de cronómetro y contador de revoluciones ya que indican la velocidad independientemente que esta sea constante o no. Se utilizan en forma portátil o instalados en forma permanente. (Fig. VI. 8).

Según sus principios de funcionamiento se conocen como:

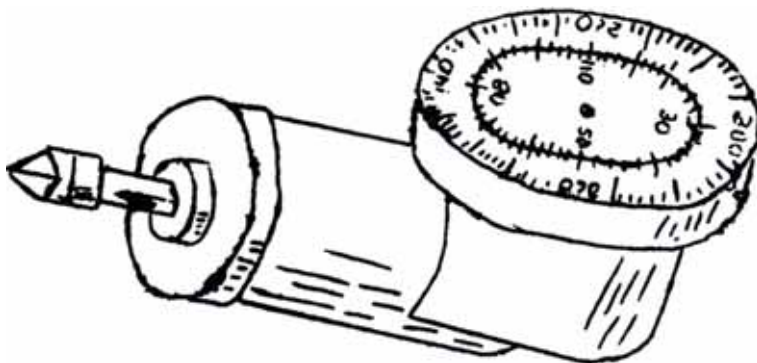


FIG. VI. 8

De Pesas Centrifugas.- Consiste en un mecanismo que a partir de la velocidad de rotación origina una fuerza centrífuga que tiende a mover una pesa en contra de la acción de un resorte. Luego a través de una serie de bielas, la posición de la pesa es comunicada a la aguja del instrumento que indica la velocidad.

El tacómetro de pesas centrifugas no es recomendado como instrumento de precisión por el juego muerto y fricción de las bielas y la in-

cidencia de la temperatura en el resorte.

De Bomba líquida.- Se trata de una pequeña bomba que en función de la velocidad de rotación, impulsa a un líquido por un tubo vertical y según la altura que alcanza este puede determinarse, en una escala graduada directamente la velocidad en rpm. Como la presión de una bomba rotativa es proporcional al cuadrado de su velocidad, no es recomendable para medir velocidades menores del 50 a 60% de la lectura de plena escala.

Electromagnético.- Posee un pequeño generador de corriente continua - que es movido por la máquina cuya velocidad quiere medirse, teniendo este generador un campo producido por un imán permanente ó electro - imán, se produce una tensión que es proporcional a la velocidad. Esta tensión a su vez es captada por un voltímetro calibrado directamente en rpm. Este tacómetro tiene la ventaja que el indicador puede instalarse prácticamente a cualquier distancia del elemento rotativo, dado que la resistencia interna del instrumento es muy alta, no le afecta las longitudes de conexión.

De Languetas vibrantes.- Consiste en un gran número de languetas, - donde cada una tiene su propio periodo de vibración. Estos tacómetros son instalados en la máquina cuya velocidad se quiere evaluar y cada lámina vibra según la intensidad de vibración que recibe de la máquina en movimiento, además tienen por lo general una langueta para cada intervalo de 50 cilos/seg. Junto a las languetas se dispone de una escala en rpm y tienen alcance hasta 3000 ó 4000 rpm, pero no son recomendados como instrumentos de precisión, sobre todo cuando ya tienen cierto tiempo de uso, sin embargo tienen la ventaja de que lo requieren de potencia apreciable para su funcionamiento.

ESTROBOSCOPIOS.

Este instrumento que se basa en la persistencia de la visión del ojo humano, de tal manera que una determinada marca en un eje rotativo - aparecerá fija cuando se observa a través de un obturador que se abre y cierra una vez por cada revolución del eje.

Se puede construir un estroboscopio sencillo, acompañando un disco perforado a un motor cuya velocidad puede ser variada y medida. El eje cuyas rpm se quiere determinar se marca de manera que sea fácil -

mente visible y se observa en rotación a través de las perforaciones - del disco rotativo. La velocidad del disco se ajusta hasta que se ve la marca del eje aparentemente en reposo. En este momento la velocidad del eje es la misma que la velocidad del disco rotativo ó un múltiplo de esta si aparecen varias imágenes en reposo, luego:

$$\text{R.P.M. del eje} = \frac{\text{R.P.M. del disco} \times \text{N}^\circ \text{ de perforaciones}}{\text{N}^\circ \text{ de Imágenes}}$$

Un estroboscopio que se usa frecuentemente es el "Estrobotac" cuyo principio se basa en la frecuencia de destello de un oscilador electrónico con tubo de neón, que es función de la capacitancia de un capacitor variable. Cuando la frecuencia de los destellos se ajusta de tal manera que la marca en el eje o volante aparece fija, las r.p.m. del eje son iguales al número de destellos por minuto ó a un múltiplo entero de este número (el ajuste se efectúa con el capacitor variable). El dial del capacitor está directamente calibrado en RPM.

El estrobotac tiene la ventaja de no requerir potencia de la máquina cuya velocidad se quiere calibrar y no tener que acoplarse a esta, pero no es un instrumento de precisión. Se usan para rangos de 700 a - 14,500 rpm.

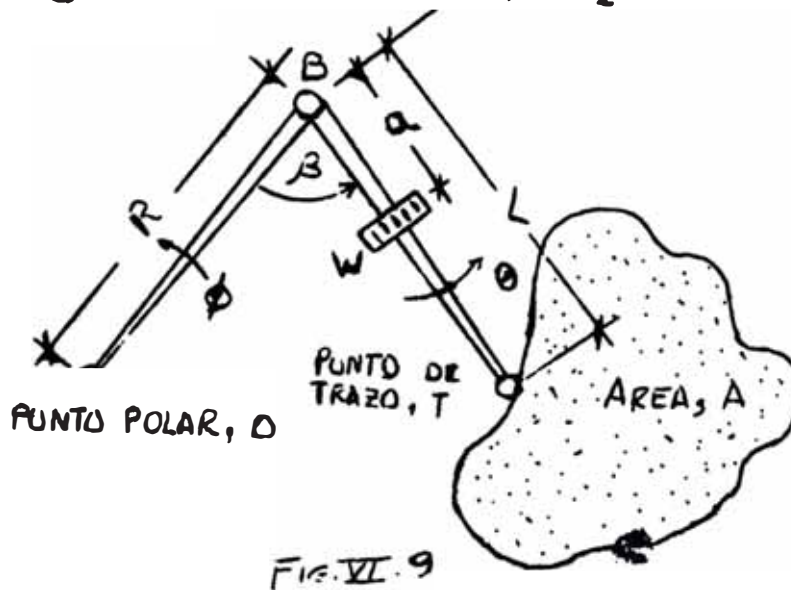
MEDICIONES DE APEAS

Hay muchas aplicaciones en Ingeniería en que se requiere la medición - de un área plana, a menudo un área limitada por una curva tiene un significado físico, por ejemplo las áreas de los planos topográficos; el área del diagrama indicado P - V de un motor de combustión interna que nos da la potencia indicada del motor; el área bajo la curva de una representación de kilowatts en función de horas a lo largo de un mes, que nos da el consumo de kilowatts-hora a lo largo de un mes; el área bajo la curva que representan los m³/seg. que fluyen por un río, representa el caudal que ha circulado en un periodo determinado.

EL PLANIMETRO: Es un integrador mecánico que se utiliza para la medición de áreas planas. El tipo más común es el planimetro polar que se encuentra de brazo trazador fijo y de brazo trazador ajustable, también tenemos el planimetro de rodillo para mediciones de áreas alargadas y angostas y el planimetro radial.

EL PLANIMETRO POLAR, se tiene en una representación esquemática en la Fig. VI.9 donde el punto "O" es fijo, mientras el punto de trazo "T" es el que se mueve a través del perímetro de la figura cuya área se quiere calibrar. El cilindro "W" se encuentra ubicado sobre la barra \overline{BT} , de tal manera que tiene libertad de giro cuando la barra realiza un desplazamiento angular. El cilindro tiene una escala graduada así como también una escala Vernier para poder determinar el número exacto de revoluciones, mientras el punto de trazo se mueve alrededor de la curva. El área a medir y el planímetro deberán estar ubicados sobre una superficie plana, lo suficientemente pulida para que el cilindro W se deslice cuando se efectúa un movimiento de traslación axial, de esta manera se registra otro desplazamiento angular cuando se efectúa un movimiento de traslación axial. Si designamos como "D" el diámetro del cilindro, considerando la demás nomenclatura del esquema, cuando la barra \overline{BT} gira un ángulo de ϕ y la barra \overline{OB} describe un ángulo θ el área barrida por las barras BT y OB es:

$$dA = \frac{1}{2} L^2 d\theta + L \cdot R \cdot \text{Sen } \beta \cdot d\phi + \frac{1}{2} (R^2 + L^2 - 2aL) d\phi \dots \textcircled{1}$$



De la misma forma, la distancia recorrida por el borde del cilindro W debido a la rotación (perímetro) es:

$$dS = a d\theta + R \text{ sen } \beta \cdot d\phi \dots \textcircled{2}$$

Integrando las ecuaciones (1) y (2) A lo largo de una trayectoria completa del punto de trazo alrededor del área.

$$A = \frac{1}{2} L^2 \int d\theta + L \cdot R \int \text{sen } \beta d\phi + \frac{1}{2} (R^2 + L^2 - 2aL) \int d\phi$$

y

$$S = a \int d\theta + R \int \text{sen } \beta d\phi$$

Como la barra de trazo regresa a su posición inicial: $\int d\theta = 0$

$$\circ^\circ S = R \int \text{sen } \beta d\phi$$

$$y A = L \cdot S + \frac{1}{2} (R^2 + L^2 - 2aL) (\phi_2 - \phi_1) \dots \textcircled{3}$$

Si el punto de Pivote "0" está fuera del área como se muestra en el esquema: $\phi_2 = \phi_1$. Si esta dentro del área $\phi_2 - \phi_1 = 2\pi$ También podemos notar que cuando el pivote está fuera del área las distancias R y a no intervienen en el cálculo del área. El último término de la ecuación (3) representa el área del círculo cero, que es el área cuando el pivote está dentro del área y la lectura resulta cero.

Aplicación.- Un planimetro tiene una longitud de 4 pulg. en la barra trazadora y la circunferencia del cilindro es de 2.5 pulg. debido a que se extravió el instructivo del instrumento se desconoce el área del círculo cero. Para determinar la mencionada área, se mide otra, colocando el polo tanto dentro como fuera de esa nueva área. Estando el polo fuera del área, el cilindro registra 2.55 revoluciones. Por otro lado con el polo dentro el cilindro indica -13.01 revoluciones. Calcule el área del círculo y la lectura del planimetro cuando se utiliza para determinar el área de un círculo de 9 pulg. de radio.

Solución: De la ecuación (3) : $A = L \cdot S + A_0$

Donde: $A_0 =$ Círculo de área cero

$A = L \cdot S$, cuando el polo está fuera del área

$S = N \cdot C$ donde: $S =$ Perímetro de la figura

$N =$ Nº de revoluciones del cilindro W

$C =$ Circunferencia del cilindro W

$$\circ^\circ A = 4 \text{ pulg.} \times 2.55 \text{ revoluciones} \times 2.50 \text{ pulg.} = 25.50 \text{ pulg.}^2$$

$$y A_0 = 25.50 \text{ pulg.}^2 - 4 \text{ pulg.} \times -13.01 \text{ Revoluciones} \times 2.50 \text{ pulg.}$$

$$A_0 = 155.6 \text{ pulg.}^2$$

Para medir el área de 9 pulgadas de radio

$$S = \frac{A - A_0}{L} = \frac{\pi (9)^2 - 155.6}{4} = 24.717 \text{ pulg.}$$

El número de revoluciones del cilindro es:

$$N = \frac{S}{2.50} = \frac{24.717 \text{ Pulg.}}{2.50} = 9.887$$

Precauciones en el uso del Planímetro

El error en la lectura de un planímetro se puede deber a:

- Defectos de diseño o fabricación del instrumento.
- El ajuste del instrumento
- El recorrido de la punta trazadora no ha coincidido exactamente con el perímetro de la figura.
- Deslizamiento en algún momento, de la rueda medidora.

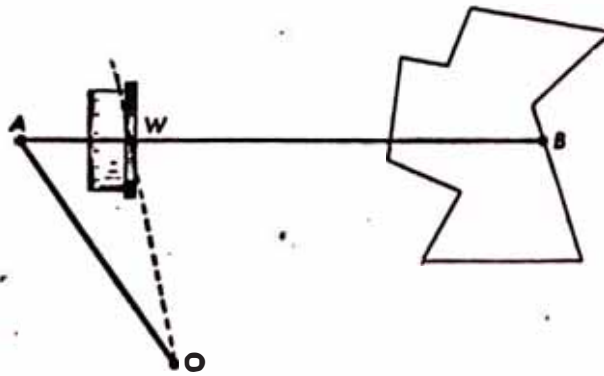
Los dos primeros puntos señalados se pueden considerar como un error del instrumento, el tercer punto como un error de tipo humano y el último punto tiene consideraciones instrumentales y humanas.

Para detectar los errores instrumentales, primero hay que descartar los errores humanos y para ello se deben tomar algunas precauciones.

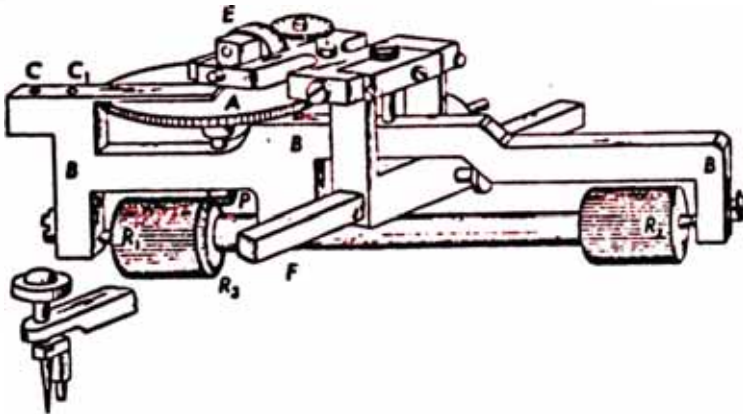
- El ajuste de la punta trazadora debe ser tal que casi toque al papel pero sin rayarlo.
- Hacer un recorrido rápido con la punta trazadora, previamente, sobre la figura a calibrar, para ver si se origina en algún momento un ángulo "A" demasiado pequeño entre los brazos. De ser así se debe variar el punto de pivote.
- En caso que la rueda seguidora se salga del papel en que está la figura se debe cambiar el punto de pivote y si no es suficiente se debe dividir la figura.
- Se debe colocar el contrapeso de tal manera que ni la rueda medidora, ni la punta trazadora se separen del papel.
- Se debe repetir la medición varias veces hasta que se logre una coincidencia aceptable.

VI.2.3. Ejercicios y Ensayos

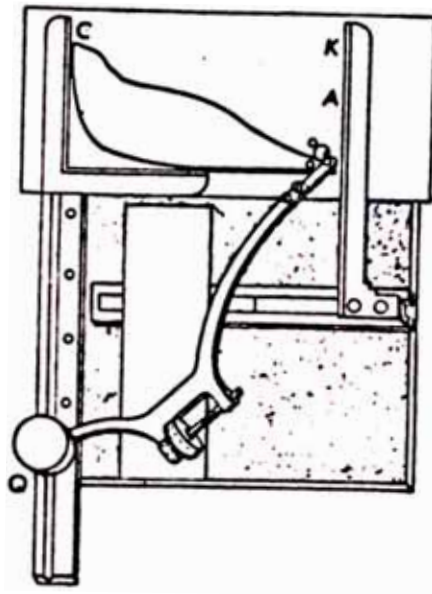
1. Calibrar diferentes piezas con un Vernier o pie de Rey.
2. Seleccionar el micrómetro adecuado y calibrar las mismas - piezas del punto anterior y comparar.
3. Comprobar la calibración adecuada de los Vernier y micróme - tros mediante los bloques patrón.
4. Efectuar la calibración de un planímetro polar. Determinar :
 - a) ¿Hay error instrumental?
 - b) ¿Es el eje de la rueda paralelo al brazo trazador?
 - c) ¿Son correctos el diámetro de la rueda y la longitud del brazo trazador?
 - d) ¿Cuál es el diámetro de la circunferencia cero?.
5. Formas de descartar los errores humanos.
 - a) Construir una circunferencia de aproximadamente 8 cms. ve rificar el diámetro cuidadosamente y conociendo su área: comparar con las obtenidas en las lecturas del instrumento al recorrer la circunferencia en uno y otro sentido.
6. Efectuar las mediciones de velocidad en el eje de un deter- minado motor y/o volante con los instrumentos medidores de velocidad que se disponga.
7. Verificar si hay resbalamiento entre el instrumento y la má- quina cuya velocidad se quiere medir: Utilizar un tacómetro, un taquiscopio y un indicador de velocidad de ser posible, es te ejercicio requiere un motor de velocidad constante y que esta sea conocida. Se colocarán los diferentes instrumentos con variados grados de presión. Comparar.
8. Mínimo tiempo de medición con un contador de revoluciones: Se han sugerido como mínimo dos minutos para aminorar los erro- res de sincronización de arranque y parada. Efectuar medicio- nes en la velocidad de un eje con velocidad constante sobre periodos de 15 segundos. Se calculará la velocidad verdadera y los errores en tanto por ciento para cada determinación de velocidad.



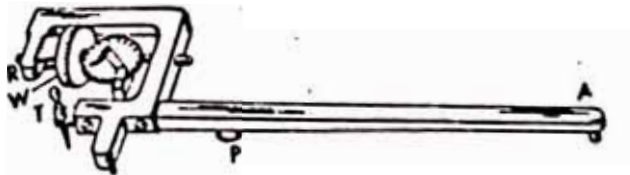
1. - Planímetro polar de Amsler.



Planímetro de rodillo.



- Planímetro de Coffin.



- Planímetro radial.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Holman J.P. "Métodos Experimentales para Ingenieros"
Traducido de la Segunda Edición en Ingles - Mc
Graw Hill de México S.A.
- Seymour Jesse - "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico".
- Profesores UNI - "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I "

TABLA 1 DE ESPECIFICACIONES Y PROPIEDADES DE ACEITES Y LUBRICANTES.

	Clases A, B y C		CLASES A, B y C	
	Valores Mísimos	Valores Mísimos	Viscosidad a	
	Punto de Inflamo. (F.L.A.S.I.)	Punto de Combust. (F.I.R.E.)	100°F máx.	
Extra Liviano	315	355	• 134	a 165
Liviano	325	365	180	a 220
Medio	335	380	270	a 330
Pesado	345	390	360	a 440
Extra Pesado	355	400	450	a 550
Ultra Pesado X	360	410	560	a 650
Máquinas de Vapor A	475	---	120	a 150 210°F
Máquinas de Vapor B	475	---	175	a 265 210°F
Grado 1 a 2	525	---	180	a 220
Máquina de Hielo - grado 100	290	---	95	a 115
Máquina de Hielo - grado 125	290	---	120	a 135
Compresor de aire, Simple etapa	390	---	920	a 1000
Compresor de aire, Múltiples etapas	400	450	410 1000	a 55 2100
Turbina, conexión directa	---	---	150	a 300 1000

VII. TERMOQUIMICA. PODER CALORIFICO DE LOS COMBUSTIBLES. PRESION DE VAPOR - CALOR LATENTE.

VII.1 TERMOQUIMICA

VII.1.1 Objetivo

Determinación de la capacidad calorífica de un sistema y del cambio térmico que acompaña a las reacciones químicas.

VII.1.2 Fundamento Teórico.

TERMOQUIMICA: Es la rama de la físico-química que determina la cantidad de calor absorbida o liberada en una transformación física o química. Siempre que se lleva a cabo una reacción química hay un cambio térmico, dependiendo este de la naturaleza, condición física y cantidades de reactivos.

REACCIONES TERMOQUIMICAS DE ACUERDO AL CALOR INVOLUCRADO: Se clasifican en reacciones exotérmicas en las que hay liberación de calor y reacciones endotérmicas en las que se presenta absorción de calor.

REACCIONES TERMOQUIMICAS DE ACUERDO AL PROCESO QUIMICO INVOLUCRADO: El calor puede ser de neutralización; solución, hidratación y dilución; formación, reacción o combustión.

CALOR DE REACCION: Todas las reacciones químicas van acompañadas de un efecto calorífico. Este efecto puede ser medido a presión o a volumen constante, en el primer caso se mide la variación de la energía interna y el trabajo, en tanto que en el segundo caso se mide sólo la variación de la energía interna. El calor de una reacción exotérmica tiene convencionalmente signo negativo y el de una endotérmica signo positivo.

VII.1.3 Aparatos, Accesorios y Materiales.

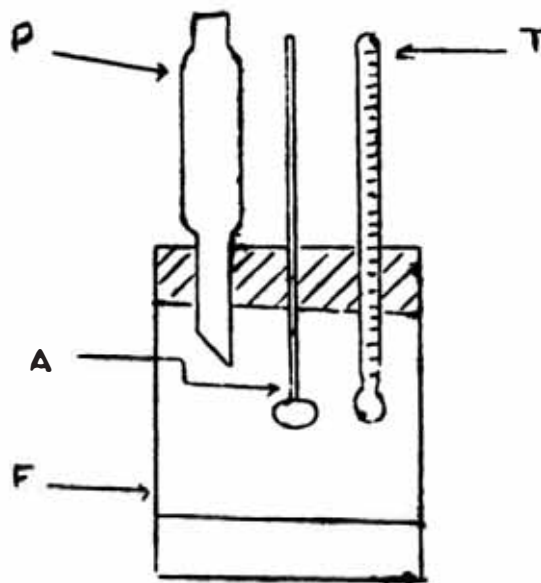
Frasco termo con tapón de corcho y agitador, termómetro de 0.50°C, graduado en décimas, buretas de 25 ml., vaso de 50 ml., Erlenmeyers de 125 ml., probetas de 100 y 250 ml.

pipetas de 5 ml. (Fig. VII.1).

Sulfato de cobre pentahidratado, zinc metálico, agua destilada.

VII.1.4 Procedimiento Experimental.

1) ARME EL SISTEMA OUF SF MUESTRA EN LA FIGURA.



F: FRASCO TERMO.
A: AGITADOR.
T: TERMOMETRO.
P: PERA DE
DECANTACION.

FIG. VII.1
CALORIMETRO

2) CAPACIDAD CALORIFICA DEL CALORIMETRO:

- Coloque 150 ml. de agua de caño en el termo y el mismo volumen de agua helada en la pera (2-8°C).
- Tome las temperaturas exactas de ambas aguas e inmediatamente abra la llave de la pera y deje caer el agua helada, tome el tiempo en el momento en que se realiza la mezcla, mida la temperatura cada 20 seg. agitando constantemente, cuando la temperatura constante termine, anote la mínima temperatura que alcanza el sistema.

3) CALOR DE REACCION DE SULFATO DE COBRE Y ZINC METALICO

- En el mismo frasco termo usado anteriormente, coloque 295 ml. de agua destilada, añada 5 gr. de sulfato de cobre pentahidratado, agite bien y mida la temperatura hasta que permanezca constante.
- Agregue 3.25 gr. de zinc metálico finamente dividido, tape rápidamente el frasco termo, cuidando de poner un tapón en el orificio que fue usado para la pera. Mida la temperatura cada 30 seg. con agitación constante hasta que observe descenso de temperatura. Anote la

máxima temperatura alcanzada en el sistema. En este momento debe haber desaparecido el color azul de la solución.

VII.1.5 Cálculos a realizar

Capacidad calorífica del sistema.- La cantidad de calor ganada - por el agua helada debe ser igual a la cantidad de calor perdida por el agua fría, el frasco termo, agitador, termómetro y alrededores. Si "C" es la capacidad calorífica de todo el sistema que pierde calor, m la masa, c_v calor específico a volumen constante, y T_h temperatura del agua helada, T_f Temperatura - del agua fría y T_e Temperatura de equilibrio. Se tendrá:

$$Q = m \cdot c_v (T_e - T_h) = C (T_f - T_e)$$

La capacidad calorífica de todo el sistema, incluyendo del agua helada, C' estará dado por:

$$C' = C + m \cdot c_v$$

CALOR DE REACCION.- En este caso el calor para la reacción se expresa por la ecuación:

$$q = \frac{C_t (T_4 - T_3)}{M}$$

Donde:

T_4 = Temperatura final del sistema

T_3 = Temperatura de la solución de sulfato de cobre

C_t = La capacidad calorífica incluyendo al metal.

M = Peso molecular del sulfato de cobre

C_m = Capacidad calorífica para el zinc y cobre metálicos =
 $6 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$

n_t = Número de moles metálicos al final de la reacción es igual al número de moles iniciales de metal (0.05)

$$C_T = C' + C_M$$

-Verifique la primera ley de la termoquímica

-Determine la ecuación termoquímica

-Calcule el porcentaje de error respecto a los valores teóricos

-Calcule el calor de reacción a presión constante a partir del calor de reacción a volumen constante.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Maron y Prutton - "Fundamentos de Físico-Química" 3ra. Edición
Editorial LIMUSA - México 1,973
- Pons G. - "Físico - Química" 3ra. Edición. Editorial -
Universo. Lima 1975
- Spencer J. "Elementary Practical Physical Chemistry" -
1ra. Edición. Editorial Bell - Londres 1927.

VII.2 PODER CALORIFICO DE LOS COMBUSTIBLES.

VII.2.1 Objetivo.

Determinar el poder calorífico de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. El poder calorífico es una propiedad determinante de la calidad y eficiencia del combustible en las diferentes máquinas térmicas.

VII.2.2 Fundamento Teórico.

Se define el poder calorífico como la máxima cantidad de calor desprendida (reacción exotérmica) al oxidarse un combustible en una reacción química completa. Esta cantidad de calor es medida a condiciones estandar, se deben dejar enfriar los productos de la combustión a la temperatura original de la mezcla aire-combustible. La energía química es transformada en energía molecular de tipo cinético o potencial de los productos. Como consecuencia de la alta temperatura que alcanzan los productos, pueden producir trabajo directa o indirectamente o ser utilizados para transferir calor.

La energía química está asociada a la reacción química, en nuestro caso, del combustible y es liberada durante el proceso de combustión completa. La energía química es una cantidad fija y es independiente de la naturaleza del proceso de combustión y de las condiciones iniciales.

No hay un método directo de medición de la energía química se calcula a partir del poder calorífico medio e involucra tanto a la energía interna y a la entalpia en sentido restringido.

La mayoría de los combustibles contienen hidrógeno que al quemarse producen vapor de agua y en el proceso de enfriamiento se condensa cierta cantidad de vapor de agua que al liberar calor incide en la magnitud del poder calorífico del combustible.

PODER CALORIFICO BAJO (O NETO): Es el poder calorífico mínimo de un combustible obtenido sin condensación de vapor de agua de formación.

PODER CALORIFICO ALTO (O BRUTO): Es el poder calorífico máximo de un combustible cuando la condensación del vapor de agua de formación es completa.

Cuando los productos de la combustión se enfrían hasta su temperatura original la cantidad de condensado y por lo tanto el poder calorífico depende de la relación aire-combustible original, de la temperatura del aire y la presión barométrica.

Al determinar los aumentos de temperatura resultantes de la combustión, debe utilizarse el valor del poder calorífico bajo, ya que el calor latente del vapor no puede contribuir al aumento de temperatura.

Para calcular el rendimiento térmico basado en el combustible se define como la relación entre el efecto útil producido por los productos de la combustión y el poder calorífico del combustible. En los E.E.U.U se utiliza el poder calorífico bajo para calcular el rendimiento térmico de las máquinas térmicas excepto la turbina de gas, mientras en Europa el cálculo se hace sobre el poder calorífico alto.

Para la combustión completa de un combustible, el calor de reacción coincide con el poder calorífico.

Los combustibles que mas se utilizan son: el carbón, la leña, el bagazo en estado sólido; los diferentes combustibles derivados del petróleo en estado líquido; y el gas natural como el propano de uso doméstico en estado gaseoso.

VII.2.3 La Bomba Calorimétrica.

Es un dispositivo usado comunmente para determinar el poder calorífico de combustibles sólidos y líquidos. El poder calorífico de combustibles gaseosos se determina en calorímetros como el de tipo junkers.

BOMBA CALORIMETRICA DE EMERSON: Contrariamente con lo que ocurre con el calorímetro de junkers, en la bomba calorimétrica las mediciones se efectúan a volumen constante y sin que exista flujo. En la bomba calorimétrica de Emerson se deposita una muestra de masa conocida de combustible en el depósito de metal (la bomba) y se inyecta oxígeno a alta presión, esta bomba está sumergida en un recipiente que contiene agua y se enciende el combustible por medio de un circuito eléctrico. El calor desarrollado por la combustión es transmitido al agua, lo cual nos permite medir el calor liberado

por el combustible. A la vez que se lleva a cabo el proceso de combustión se mide la variación de la temperatura del agua como función del tiempo y a partir del conocimiento de la masa del agua, de la masa y calor específico del recipiente y de la curva del proceso transitorio de calentamiento y enfriamiento se puede calcular la cantidad de energía disipada durante la combustión. La uniformidad de la temperatura del agua que rodea la bomba se consigue mediante un agitador accionado por un motor. En algunos casos se puede transferir calor del exterior al agua para mantener una temperatura uniforme, mientras que en otros se puede dejar la cubierta vacía con el objeto de mantener condiciones cercanas a la adiabática en el recipiente interior. (Fig. VII.2).

Cálculos a realizar y Aparatos.

Considerando dos estados cualesquiera (1) y (2) en combustión adiabática en un sistema cerrado a volumen constante tenemos:

$$\text{Si } Q=0: E_{T_1} = U_{r_1} + E_Q$$

$$T = \int \delta E. \quad E_{T_2} = U_{p_2}$$

$$(E_{T_1}) - (E_{T_2}) = \dot{q} = 0$$

$$(U_{r_1} + E_Q) - U_{p_2} = 0 \quad \dots (\alpha)$$

Donde:

E_{T_1} = Energía que sale del sistema

U_r = Energía interna de las reacciones.

E_Q = Energía Química

U_p = Energía interna de los productos

Q = Calor de combustión

q_v^o = Poder calorífico a volumen constante y condiciones estandar.

Como:

$$q_v^o = (U_r^o + E_Q) - (U_p^o) \quad \dots \text{A CONDICIONES ESTANDAR} \\ (T = 25^\circ\text{C} \text{ y } P = 1 \text{ atm.})$$

$$E_Q = (U_p^o - U_r^o) + q_v^o \quad \dots (\beta)$$

De (α) y (β)

$$q_v^o = (U_{p_2} - U_p^o) - (U_{r_1} - U_r^o)$$

El poder calorífico que se encuentra usualmente en tablas está dado a presión constante y su diferencia con el poder calorífico a volumen constante no es mayor del 1% lo que se suele despreciar en cálculos de Ingeniería. Luego:

$$H = U + PV \quad \text{y} \quad PV = n \bar{R} T$$

$${}^{\circ} \quad q_p^{\circ} = (H_r^{\circ} - H_p^{\circ}) + E_a$$

$$\text{De } (\beta) \quad q_p^{\circ} = (H_r^{\circ} - H_p^{\circ}) + (U_p^{\circ} - U_r^{\circ}) + q_v^{\circ}$$

$$(q_p^{\circ} - q_v^{\circ}) = (n_r - n_p) \pi T^{\circ} \quad \text{Kcal/Kg de combustible.}$$

Donde:

n_r = Número de moles de reactantes gaseosos (O_2)

n_p = Número de moles de productos de combustión disipadores de calor (CO_2)

Luego:

$$Q_c = m_c \times P.C. \quad (\text{Calor cedido por el combustible})$$

$$Q_B = m_B \times C_{PB} \times T_B \quad (\text{Calor ganado por la bomba})$$

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} \times C_{PH_2O} \times T_{H_2O} \quad (\text{calor ganado por el agua})$$

$$Q_c = Q_B + Q_{H_2O}$$

$$Q_c = m_c \cdot P.C. = m_B \cdot C_{PB} \cdot T_B + m_{H_2O} \cdot C_{PH_2O} \cdot T_{H_2O}$$

$$\text{Donde: } T_B = T_{H_2O} = T$$

$${}^{\circ} \quad P.C. = \frac{(T) (m_B \cdot C_{PB} + m_{H_2O} \cdot C_{PH_2O})}{m_c}$$

Donde: $(m_B \cdot C_{PB} + m_{H_2O} \cdot C_{PH_2O})$ se conoce como capacidad térmica de absorción de la bomba y es dato proporcionado por el fabricante (K).

El valor del poder calorífico es necesario corregirlo con el calor liberado por el alambre de ignición, que en el caso del alambre de hierro es de 1,600 cal/gr.; por formación de ácido nítrico debido a las altas temperaturas, 230 cal/gr. de ácido nítrico, cuando no es tan importante la precisión se puede considerar 10 cal; por formación de ácido sulfúrico, también debido a la alta temperatura 1,300 cal/gr. de azufre.

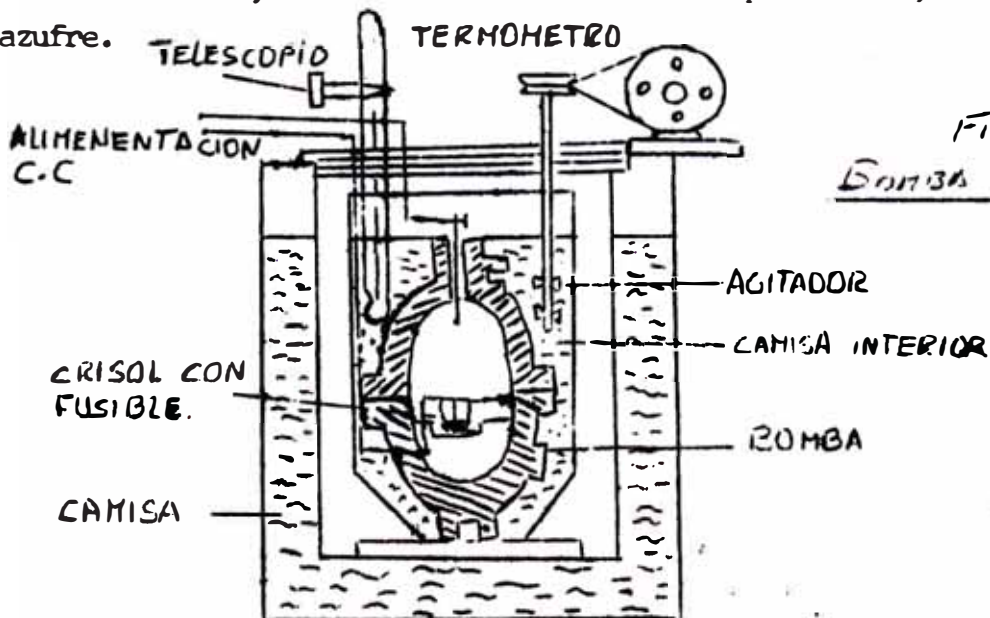


FIG. VII. 2
BOMBA CALORIMÉTRICA

Procedimiento Experimental.

- Una determinada cantidad de combustible, puede ser 1 cm³ ó 1 gr. - de carbón, se coloca en el crisol junto con el alambre que enrollado a manera de bobina debe tocar el carbón, pero no el crisol.
- Se agrega unas gotas de agua (alrededor de 0.5 ml.) al fondo de la bomba para saturar el espacio y se produzca una condensación completa del vapor de combustión para obtener el poder calorífico alto.
- Armese la bomba, suministre O₂ a una presión de aproximadamente 20 Kg/cm² (300 PSI), sumérjala en agua e instale el termómetro y el agitador. El termómetro debe estar sumergido unos 75 mm. de agua y a no menos de 12 mm de la bomba.
- El recipiente interior debe tener unos 1900 gr. de agua a una temperatura de unos 3°F (2°C) de la camisa externa, donde se supone que el agua debe estar a la temperatura ambiente.
- El calor desprendido del sistema a volumen constante es enfriado a su temperatura original y utilizando factores correctivos para condiciones standar (25°C) es posible obtener el poder calorífico:

$$P.C. = \frac{T \times K}{P_c \times V_c} \frac{\text{cal}}{\text{gr.}}$$

Donde:

$K = 2440 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$: Capacidad térmica de absorción de la bomba
(dato del fabricante)

$P_c =$ Densidad del combustible (gr/cm³)

$V_c =$ Volumen del combustible (cm³)

También:

$$T = (T_{\text{max}} - T_e + P_2 - P_1)^\circ\text{C}$$

Donde:

$T_{\text{max}} =$ Temperatura máxima alcanzada

$T_e =$ Temperatura en el instante de encendido

$$P_1 = \frac{R_1}{2} \times T_1$$

$$P_2 = \frac{R_2}{2} \times T_2$$

P_1 y $P_2 \rightarrow$ Factores correctores

R_1 = Regimen medio de medio de aumento de temperatura por minuto, a causa del calor recibido de la camisa entre el instante del encendido y el instante en que se alcanza la temperatura ambiente.

R_2 = Regimen medio de disminuci3n de la temperatura a causa del calor cedido a la camisa entre el momento que se alcanza la temperatura ambiente y el momento en que se alcanza la temperatura m3xima.

T_1 = Tiempo transcurrido desde el momento de encendido hasta alcanzar la temperatura ambiente.

T_2 = Tiempo transcurrido desde el momento en que se alcanza la temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura m3xima.

La temperatura para R_1 y R_2 se toma cada 30 seg. en la experiencia desde el cierre del interruptor (ignici3n) de encendido por un instante y su respectiva apertura hasta que se alcance la m3xima temperatura. Hay que tener en cuenta que el aumento de temperatura es muy grande inmediatamente despu3s del encendido.

-Antes del encendido ponga en marcha el agitador, deje transcurrir unos minutos hasta que se uniforme la temperatura del agua en la camisa de agua y tome lecturas de temperatura cada minuto durante 5 min. Esto es necesario para calcular la p3rdida de calor a la camisa externa.

-Despu3s de alcanzada la m3xima temperatura se continuar3 tomando la temperatura cada minuto durante 5 min. esto es necesario para calcular la p3rdida de calor hacia la camisa externa.

-Deber3 repetirse este ensayo hasta comprobar que entre ellos no difieren m3s del 1%.

PODER CALORIFICO

A) Tipos de Combustibles

<u>Petroleo</u>	<u>Poder Calorifico (Neto)</u>	<u>Gravedad Especifica</u>
Diesel # 2	18,340 BTU/LB	0.858
Residual # 5	17,800 "	0.932
Residual # 6	17,600 "	0.959

B) Fórmulas para calcular el Poder Calorífico

PARA FL CARBON: La fórmula de Dulong predice el poder calorífico de los carbones de alta calidad, de antracita ó bituminosos, con una precisión dentro del 1 1/2 por ciento, excepto raros casos, puede producirse errores del 4 al 5 por ciento, cuando esta ecuación se usa para carbones sub-bituminosos y lignitos.

$$Q_S = 8100 C + 34,500 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2200 S.$$

Donde:

Q_S = Poder calorífico superior (Kcal/Kg)

C = Kg. de carbón total por Kg. de combustible

H = Kg. de hidrógeno total por Kg. de combustible

O = Kg. de Oxígeno total por Kg. de combustible

S = Kg. de Azufre por Kg. de combustible

PARA DERIVADOS DEL PETROLEO: Para los destilados y combustibles residuales que tienen un peso específico API mayor que 18.

$$Q_S = 10150 + 22.2 (\text{peso específico API})$$

Para combustibles residuales con peso específico API inferior a 18.

$$Q_S = 9820 + 32.2 (\text{Peso específico API})$$

VII.2.4 Ejercicios y Ensayos

- 1) Determinar el poder calorífico alto a volumen constante de una muestra de carbón.
- 2) Determinar los poderes caloríficos altos y bajos a presión constante del gas disponible en el laboratorio.
- 3) Determine el poder calorífico alto de una muestra dada de petróleo.
- 4) Determine el poder calorífico alto de una muestra dada de gasolina.
- 5) Si el calorímetro utilizado en el ejercicio (1) no es del tipo adiabático determinar las pérdidas por radiación.
- 6) Si el calorímetro utilizado en el ejercicio (1) es del tipo adiabático, mantenga la camisa exterior a temperatura constante y compare los resultados con los del ejercicio (1) a fin -

de determinar la necesidad de mantener la camisa de agua a una temperatura siempre igual que la del recipiente interior.

VII.2.5 Preguntas

Referencia Bibliográfica.

PREGUNTAS

- 1) Supuesto que se tomen las debidas precauciones ¿será la determinación del poder calorífico de un carbón tan exacta cuando se toma una muestra de 0.2 gr. como cuando se trabaja con una muestra de 1 gr.? ¿Por qué? ¿O de lo contrario si se tomará una muestra de 5 kg.?
- 2) ¿Qué poder calorífico se obtiene en una bomba calorimétrica de Emerson? ¿Por qué?.
- 3) Que puede Ud. decir acerca de la diferencia del poder calorífico alto v. bajo del monóxido de carbono?.
- 4) a) Un combustible contiene 6% de hidrógeno en peso ¿Cuál será la diferencia entre el poder calorífico alto v. bajo del combustible a 15°C v. también a 65°C? b) Si el poder calorífico alto de este combustible es de aproximadamente 7,500 Kcal. por kilogramo. ¿Es el efecto de la temperatura sobre la diferencia de los poderes caloríficos bajo v. alto muy importante?
- 5) En una bomba calorimétrica, el combustible se quema en oxígeno. En la práctica los combustibles arden en el aire. ¿Será - que el nitrógeno del aire absorbe una gran cantidad de calor y por lo tanto el poder calorífico verdadero difiera sustancialmente del determinado por la bomba.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Seymour Jesse - "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico".
- Profesores UNI - "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I"
- Holman J.P. "Métodos Experimentales para Ingenieros".

VII...3 PRESION DE VAPOR -CALOR LATENTE

VII.3.1 Objetivo.

Determinar la presión de vapor de los líquidos a temperaturas mayores que la ambiental y con ellos calcular el calor molar de vaporización, por el método ESTÁTICO.

VII.3.2 Principios Teóricos.

PRESION DE VAPOR.- Es la presión a la cual el líquido y el vapor están en equilibrio. Esta presión llamada también de saturación, es función de la temperatura é independiente de las cantidades relativas de líquido y vapor presentes.

Cada líquido tiene su presión de vapor característica a una temperatura dada. En la práctica, sólo consideraremos sistemas de un solo componente en el cual el líquido y el vapor tienen la misma composición y existe una presión para una temperatura fija.

VARIACION DE LA PRESION DE VAPOR CON LA TEMPERATURA.- La presión de vapor de un líquido es directamente proporcional a la temperatura. Esta relación se observa mediante la ecuación de Clapeyron.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\Delta H}{(v_g - v_l)T} = \frac{\Delta H}{T^2 v} \dots \dots (1)$$

Donde:

ΔH = cantidad de calor absorbido en la vaporización

v_l = ml de líquido

v_g = ml de vapor saturado

dp/dt = relación de presión de vapor con la temperatura.

Si se asume que v_l es despreciable en comparación con v_g y se sustituye $v_g = RT/P$, ΔH considerada también una constante en un rango de temperatura, la ecuación (1) llega a ser:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\Delta H \cdot P}{RT^2} \dots \dots \dots (2)$$

reordenando la ecuación anterior e integrando se tiene:

$$\ln p = -\frac{\Delta H v}{R} (1/T) \dots \dots \dots (3)$$

donde:

$\Delta H v$ calor molar de vaporización (cal/mol)

Si se ~~plotea~~ ^{plotea} $\ln p$ versus $1/T$ se obtiene una función lineal y su

pendiente será = $-\Delta H_v/R$ del cual se halla ΔH_v .

Para algunos propósitos, integrando entre los límites aproximados y asumiendo ΔH_v constante en el rango de temperaturas de la experiencia, de la ecuación (3) se obtiene la segunda ecuación de Clausius-Clapeyron:

$$2.3 \log \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H_v}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \quad (4)$$

Calor Latente de Vaporización.- El calor de vaporización de una sustancia dada es el necesario para hacer pasar la unidad de masa de la misma, del estado líquido al gaseoso a una presión dada. Los calores latentes se obtienen generalmente por evaporación a 1 atm. de presión y se escribe como ΔH .

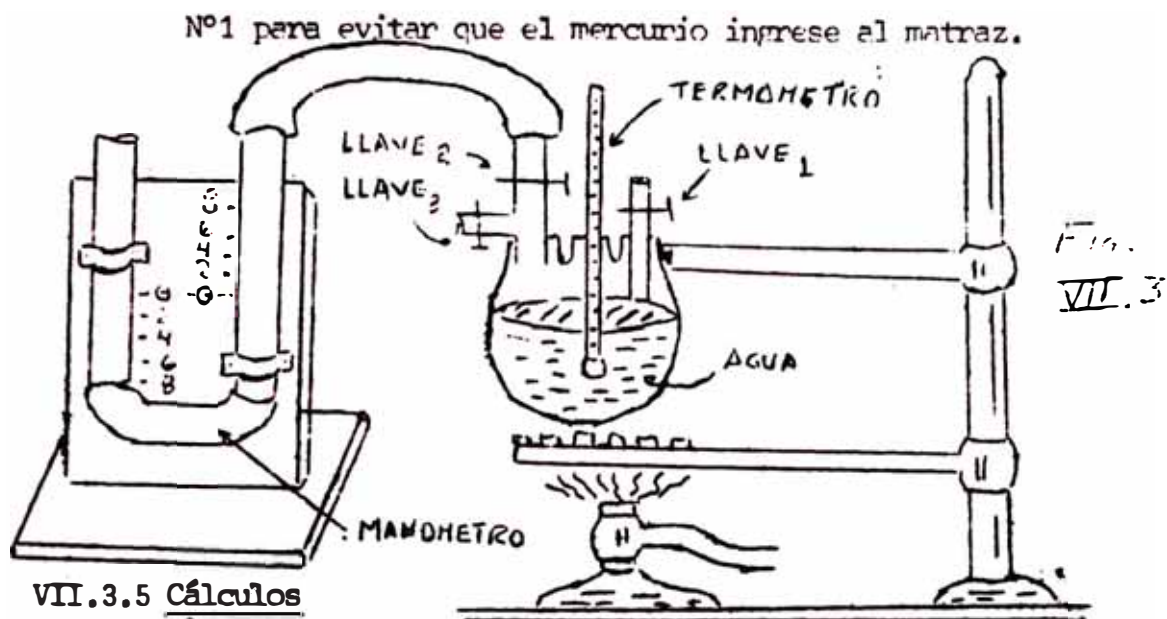
VII.3.3 Aparatos y Reactivos.

Aparatos.- Matraz con tapón trihoradado, termómetro de 0 - 100°C, tubo de vidrio en T, manómetro, llaves, mechero Bunsen.

Reactivos.- Agua.

VII.3.4 Procedimiento.

- a) Instale el equipo de la fig. VII.3.
- b) Llene el matraz con agua destilada hasta un tercio de su volumen total manteniendo las llaves N°1, 2 y 3 abiertas. La presión dentro del matraz será igual a la atmosférica por lo tanto, el nivel del mercurio deberá tomarse en un punto inicial. (h₀)
- c) Cierre las llaves N°2 y 3, manteniendo abierta la llave N°1, caliente el agua del matraz con un mechero hasta ebullición.
- d) Retire inmediatamente el mechero para evitar sobrecalentamiento.
- e) Anote temperaturas y presiones manométricas, empezando 1°C por debajo de la temperatura de ebullición, en un intervalo de 10°C. Debido al enfriamiento en el matraz, el vapor empieza a condensar y crea un ligero vacío dentro de él, por lo tanto, la columna empieza a subir por una rama del manómetro.
- f) Terminado el experimento cierre la llave N°3 y abra la -



VII.3.5 Cálculos

- Con los datos de presión y temperatura construir una gráfica - $\log P$ Vs $1/T$.
- Calcular el calor molar de vaporización de la muestra empleando la ecuación de Clausius-Clapeyron y los datos de la gráfica en a).
- Calcule el calor latente de vaporización.
- Establezca una expresión matemática de variación de la presión de vapor con la temperatura.

Bibliografía

- Maron y Prutton - "Fundamentos de Físico Química".
- Crookford y Nowel - "Manual de Laboratorio de Química Física".
- Noemí Quintana - "Prácticas de Físico Química"

VIII FUERZA ELECTROMOTRIZ DE CELDAS ELECTROQUIMICAS.

BATERIAS. ANALISIS DE AGUA

VIII. 1 FUERZA ELECTROMOTRIZ DE CELDAS ELECTROQUIMICAS - BATERIAS.

VIII.1.1 Objetivo

Estudiar la generación de fuerza electromotriz, a partir de una reacción química y por lo tanto la aplicación de la Ley de Faraday (Celdas Galvánicas).

En forma alternativa se plantea efectuar una práctica de Electrólisis ó de Galvanotecnia que permita efectuar recubrimientos metálicos. Asimismo se plantea, en esta experiencia efectuar el análisis de los componentes de una batería y sus respectivas reacciones.

VIII.1.2

Fundamento Teórico.

FUERZA ELECTROMOTRIZ.- Es la diferencia de potencial que origina el flujo de corriente desde un electrodo de potencial más elevado a otro menor. Esta diferencia de potencial se puede calcular mediante la ecuación de Nerst.

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln. \frac{[\text{Estado oxidado}]}{[\text{Estado reducido}]}$$

Donde:

E = Potencial de oxidación con concentración arbitraria de los Iones ó voltaje de la celda.

E° = Potencial de oxidación normal ó potencial estandar de la celda. Las condiciones estandar implican 1 M (1 molal -ó molar) para materiales solubles, 1 atm. para gases y para sólidos 25°C.

F = 1 Faraday, carga eléctrica de 1 equivalente gramo del Ión.

T = Temperatura absoluta.

R = Constante universal de los gases expresada en Julios.

n = Número de equivalentes químicos del cambio ó número de electrones transferidos en la reacción.

[Estado oxidado] : Concentraciones de Iones productos, en forma general podemos decir que una sustancia química se óxida cuando pierde electrones, independiente si interviene ó no el oxígeno.

[Estado reducido]: Concentraciones de Iones reaccionantes. Una sustancia química se reduce cuando gana electrones.

LEY DE FARADAY. - Cuando una corriente eléctrica pasa a través de una solución la cantidad total del cambio químico producido en cada electrodo es estrictamente proporcional a la cantidad de electricidad que se hace pasar. Para la mayoría de las celdas se considera la cantidad de electricidad de 96,500 AMP - seg ó 1 Fa raday.

REACCION EN LA CELDA GALVANICA Y FUERZA ELECTROMOTRIZ. - Al estudiar celdas es necesario determinar no sólo la f.e.m. sino también la reacción que la produce. La naturaleza de la reacción -- que produce en una celda se deduce de la manera en que se deben conectar sus electrodos con la celda estandar a fin de lograr el balance del potenciametro.

El Electrodo conectado al lado negativo de la celda estandar es negativo, mientras que el conectado al positivo es positivo y como el electrodo negativo contiene un exceso de electrones con respecto al positivo, los electrones fluyen por el circuito extremo, desde el electrodo negativo al positivo ya que cualquier reacción que cede electrones es de oxidación, mientras que cualquier otra que los acepte con la disminución consiguiente de la valencia positiva es una reacción de reducción.

En este caso estudiaremos la Pila de Daniels que consiste en un Electrodo de Zinc sumergido en Sulfato de Cobre, estando ambas soluciones separadas por medio de un ribo poroso (puente salina) que no interviene en la reacción química, pero permite el no acumulamiento de carga neta (positiva ó negativa) a cada lado de la celda, propiciando un intercambio de Iones ya que de lo contrario

no sería posible la circulación continua de electrones. La f.e.m. De dicha pila es de aproximadamente 1 voltio, el electrodo de zinc se torna negativo y el de cobre positivo. Si nos imaginamos que estos electrodos están conectados a un potenciómetro ó a un volti-amperímetro, experimentalmente podemos comprobar que a una temperatura constante el voltaje de la celda es función del cociente de las concentraciones de los Iones de zinc y cupricos. Si la temperatura es 25°C (Estandar) y las concentraciones son iguales el potenciómetro ó el voltímetro indica 1.10 voltios. Si aumenta la concentración del ión zinc ó se disminuye la concentración del ión cúprico el voltaje disminuye y viceversa. Si reemplazamos la media celda cobre - ión cúprico por una media celda consistente en un alambre de plata sumergido en una solución de Nitrato de Plata, De nuevo experimentalmente podríamos comprobar que el voltaje de la celda depende de las concentraciones iónicas y que cuando estas son iguales el potencial de la celda es de 1.56 voltios. Podemos apreciar que este voltaje es significativamente mayor que el de la celda zinc-cobre bajo las mismas condiciones de concentraciones. Vemos así, que el voltaje de una celda galvánica es función tanto de las sustancias químicas que intervienen en la reacción como de sus concentraciones. (Fig VIII. 1).

Para facilitar la comparación de las celdas galvánicas cada una debe ser caracterizada por un voltaje medido bajo cierto conjunto de condiciones estandar. (E°). Este potencial estandar nos determina en parte la cantidad de trabajo que la celda galvánica puede hacer cuando está operando a condiciones estandar. Por ejemplo si conectamos los terminales de la celda a un motor eléctrico de una eficiencia de 100%. En tal caso cuando la corriente i fluye a causa de la diferencia de voltaje AE° durante un tiempo t , el trabajo realizado es

$$\text{Trabajo eléctrico} = AE^\circ \times i \times t.$$

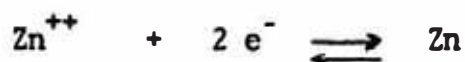
y como el producto de la corriente por el tiempo es la carga total q que ha pasado :

$$\text{Trabajo eléctrico} = AE^\circ \times q.$$

Cuando una celda funciona bajo condiciones estandar su voltaje AE° depende solamente de las concentraciones de los reaccionantes y pro-

Juctos. Por otra parte la cantidad de carga que una celda puede entregar depende de la cantidad (no de la concentración) de material disponible para la reacción de la celda. En resumen AE° representa la fuerza impelente de la reacción química. El signo de AE° está en función del sentido en que se realiza espontáneamente la reacción.

El modo de actuar de la pila puede comprenderse con la ayuda de la Fig. que se muestra a continuación, cada electrodo se halla bañado en una solución de sus iones y hay equilibrio en cada uno, como lo indican las ecuaciones



Sin embargo los iones cobre atraen sus electrones de valencia -- con mayor fuerza que los iones zinc, es decir el cobre se ioniza con menor facilidad que el zinc.

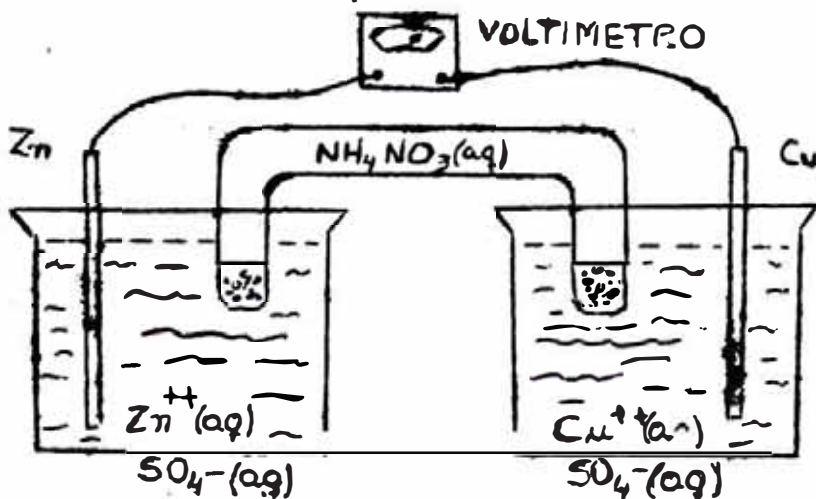


FIG. VIII. 1
CELDA
GALVÁNICA

ELECTROLISIS.- Lo visto hasta el momento, han sido las situaciones en que la reacción espontánea que ocurre en una celda electroquímica provee una fuente de voltaje y de resistencia eléctrica. El caso opuesto es el de la "Electrolisis", donde se utiliza la aplicación de una fuente externa de voltaje para realizar un cambio químico. Los procesos electrolíticos son de gran importancia en la Industria.

VIII.1.3

Aparatos y Reactivos

APARATOS.- Un Potenciometro para estudiantes LEEDS NORTHROP N°

7645, una Caja de Resistencias LEEDS NORTHRUP N° 4776, dos Pila--
las secas de 1.5 voltios cada una, una Llave de doble contacto--
ó simple, un Interruptor (I), una Celda Estandar (c.e.), un --
Galvanómetro y un Termómetro. O en su defecto un Volti-Amperime--
tro.

REACTIVOS.- Soluciones de $\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ 0.1 M, 0.025 M y de
 $\text{Zn SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 0.025 M, 0.00625 M, un puente salina de K cl ó--
 NH_4NO_3 y AGAR . AGAR.

RECUBRIMIENTOS METALICOS EN UNA CELDA ELECTROLITICA

La aplicación de los recubrimientos metálicos, en los últimos--
años se ha visto aún más incrementada en la industria comer---
cial. Estos tipos de industrias son estudiados por una ciencia
técnica, GALVANOTECNIA, y se lleva a cabo ya sea con fines de--
protección a la corrosión, de piezas metálicas, ó también con--
fines decorativos.

La galvanotecnia tiene por objeto producir revestimientos metá--
licos sobre objetos de metal y en grado limitado, sobre obje--
tos no - metálicos.

En general, el metal que se deposita se disuelve de un ánodo
del material en cuestión y se deposita sobre el objeto a reve--
stir, que forma el cátodo, si bien esta disposición puede modi--
ficarse y el metal depositado puede obtenerse de una sal di---
suelta en el baño de galvanostegia.

Antes de llevarse a cabo el recubrimiento metálico de la pieza,
es necesario, la preparación de los artículos a revestir. En -
la práctica industrial, la preparación de los artículos a re--
vestir es una operación tan importante como la misma galvanos--
tegia, si se quiere producir una acabado de alta calidad.. No
pueden darse reglas generales respecto a los métodos utiliza--
dos para preparar los artículos a revestir, ya que hay que con--
siderar el material de que se compone el objeto, el estado en

que se encuentra éste, su forma, su tamaño, su composición, la clase de superficie y otros factores. Pero se tiene algunos parámetros importantes de los cuales podemos seguir, ellos son :

- a) Si se quiere obtener un acabado suave tiene que ser liza la superficie del objeto.

En general, las superficies bastas pueden alisarse y hacerse uniformes por medio del chorro de arena, de métodos de limpieza mecánica, como el esmerilado y pulimentado con abrasivos, ó también el objeto puede sumergirse en una solución ácida, y generalmente de H_2SO_4 , y en algunas ocasiones de HCl .

- b) La remoción de la suciedad, la grasa, la pintura se realiza por medio de algún producto limpiador alcalino, y contiene a menudo disolventes de óxidos, como cianuros y detergentes, como el Na_3PO_4 así como otros materiales.

Estos productos pueden actuar por sí solos o ayudados por la corriente eléctrica y en este caso el objeto se suspende de una varilla y se hace que sea alternativamente el ánodo y el cátodo del circuito.

- c) En el caso de los artículos no-ferrósos, la limpieza se realiza en el llamado baño abrillantador, formado por una mezcla de H_2SO_4 y HNO_3 , a la que se agrega una pequeña cantidad de sal.

RECUBRIMIENTO METALICO DE UNA PIEZA DE ALUMINIO 2S

Cualquiera que sea el tipo de electro recubrimiento sobre aluminio que quiera efectuarse, debe elegirse adecuadamente el tipo de depósito para el trabajo especial de que se trate.

Es posible aplicar un revestimiento instantáneo de zinc al aluminio y luego cobrizarlo, niquelarlo o depositar electrolíticamente sobre él otros metales. Pero existen inconvenientes que estos revestimientos resisten mal la corrosión y los objetos resultantes no sirven mas que para uso limitado. El zinc no presenta este inconveniente y es útil para fines especiales.

EL CROMADO, puede aplicarse directamente sobre el aluminio, pero aún no ha sido posible obtener un cromado con un lustre satisfactorio, como cuando se aplica el cromado sobre un niquelado. Pero sin embargo es importante este tipo de cromado para trabajos especiales, ya que tienen la particularidad de resistir bastante la corrosión.

Para uso general se aconseja que se aplique primero níquel sobre aluminio, después de hacer un poco áspera la superficie y luego puede aplicarse sobre el níquel el metal CROMO.

Material necesario para la experiencia.-

<u>Equipos</u>	<u>Reactivos</u>
- Cuba electrolítica	- Acido sulfúrico
- Rectificador de corriente eléctrica continua (5 Amp.)	- Acido clorhídrico
- Anodo de Níquel	- Cloruro de Sodio.
- Cátodo (pieza a revestir)	- Fosfato de Sodio.
- Vasos de precipitación de 50, 100, 250 y 1000 ml.	- Acido fluorhídrico
- Vacuetas de agitación	- Agua destilada.
- Pipetas de 10 ml.	- Cloruro de níquel
- Buretas de 100 ml.	- Sulfato de magnesio
- 2 Termómetros (50°C)	- Cloruro de amonio
- Reloj secundario.	- Acido bórico.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Daniels y otros "Curso físico - Química Experimental" Séptima Edición - Editorial Mc. Graw - Hill - México 1,972.
- Noemí Quintana "Prácticas de Físico - Química" - UNICA.
- Alfredo Chávez "Copias de Galvanotecnia".
- Mahan Bruce - "Química" - Primera Edición Bilingue. Fondo Educativo Interamericano - 1,968.

B A T E R I A S

Son acumuladores de carga eléctrica, muy utilizados en los diversos sistemas de arranque y para pequeños suministros de corriente eléctrica (de tipo doméstico).

Las diferentes maquinarias con equipo de arranque eléctrico funcionan con batería de plomo porque poseen una resistencia interna baja y por consiguiente sufre una mínima caída de voltaje, cuando se toman corrientes intensas para el motor de arranque.

Las placas están formadas por una rejilla de plomo cuyos intersticios están llenos de plomo esponjoso en las placas negativas y de per-óxido de plomo en las positivas. Las placas positivas se arman intercaladas con las placas negativas, separadas por láminas aislantes, el conjunto queda sumergido en ácido sulfúrico diluido en agua destilada, - que se llama electrólito. El voltaje de cada conjunto está comprendido entre 2.4 y 1.8 voltios, este valor depende del estado de carga. En una misma caja se colocan tres o seis conjuntos para formar las unidades standard de 6 o 12 voltios.

La reacción química en la batería cuando está cargada o descargada - es la siguiente :

CARGADA

Plca Positiva — Peróxido de plomo —
Electrolito — Acido sulfúrico
Placa negativa — plomo esponjoso

DESCARGADA

Sulfato de plomo
Agua
Sulfato de plomo.

De esta reacción se deduce que cuando se consume corriente de la batería, el peróxido de plomo de las placas positivas y el plomo esponjoso de las placas negativas se combinan con el ácido sulfúrico para -- producir sulfato de plomo. Nunca se debe permitir que una batería se descargue por completo ya que el sulfato de plomo que se forma, tiene

mayor volumen que el peróxido de plomo, resultando que éste se desprenda de las rejillas para caer al fondo de la cubeta reduciendo la capacidad de los elementos y la acumulación de lodo que puede llegar a tener un espesor suficiente para poner en corto circuito las placas positivas y negativas.

Por otra parte la sobre-carga produce también excesiva formación de gases en los elementos (celdas) En el período de carga se forman pocos gases o ninguno., hasta que todo el sulfato de plomo es reducido a plomo en las placas negativas u oxidado a peróxido de plomo en las placas positivas, cuando se han terminado estas reacciones y se continúa dando carga a la batería da por resultado la descomposición del agua del electrolito, formando hidrógeno y oxígeno, estos gases salen en forma de burbujas a la superficie, por lo tanto, la formación de gases es una indicación de que la batería se halla completamente cargada. La mezcla de hidrógeno y oxígeno es altamente explosiva, razón por la cual, nunca se deberá permitir que haya llamas descubiertas cerca de una batería que se está cargando.

ELECTROLITO

La proporción entre el ácido sulfúrico y el agua en el electrolito - está determinado por ?

- a) Resistencia eléctrica de la solución.
- b) La velocidad de ataque por el ácido en las placas y separadores.
- c) El voltaje proporcionado por cada elemento (celda).

La relación entre la densidad del electrolito y su resistencia eléctrica es menor cuando la densidad está comprendida entre 1,180 y 1,270, un valor medio cercano a 1,250 es lo que se adopta corrientemente en la práctica.

Cuando la batería está funcionando a temperaturas elevadas, el ácido ataca con más actividad a los elementos de la batería, de aquí que en los climas tropicales la densidad se rebaja hasta 1,220 aproximadamente para aminorar este efecto.

La variación del voltaje con los cambios en la densidad del electrólito no es grande, variando entre 2.0 voltios con la densidad de 1,150- y 2,33 voltios con la densidad de 1,400. Por consiguiente, el voltaje de la batería no es un requisito limitante al elegir la densidad del electrólito.

Al preparar ácido para la batería, a partir de ácido concentrado y agua destilada, tiene una importancia máxima, que el ácido se añada - con mucha lentitud al agua y nunca proceder a la inversa. Al mezclarse el ácido con el agua se genera una cantidad apreciable de calor, por lo tanto, el electrólito debe enfriarse a la temperatura ambiente antes de ser vertida a la batería. Es conveniente tener a mano una solución de bicarbonato de sodio en agua a fin de neutralizar las salpicaduras de ácido sobre la piel o la ropa.

El uso de un densímetro dará una buena indicación del estado de la batería

DENSIDAD DEL ELECTROLITO A	15° :	25°C
A PLENA CARGA	1,270	1,280
A MEDIA CARGA	1,200	1,220
DESCARGADA	1,110	

La verificación de la carga se efectúa aflojando el tapón e introduciendo el densímetro en cada una de las celdas, según el valor que se lea indicará el estado de carga de la batería.

CAUSAS QUE PUEDEN DETERMINAR LA DESCARGA ANORMAL DE LAS BATERIAS.

El sistema de carga que tiene la maquinaria es suficiente para mantener en buen estado las baterías, si se presentan descargas anormales significa que existen defectos en el sistema, siendo los principales los siguiente :

- a) Mal funcionamiento del sistema de recarga (alternador, regulador de tensión, disyuntor del indicador de carga).

- b) Dispersión de corriente por defectos de aislamiento en el sistema eléctrico.
- c) Baterías sulfatadas, con celdas en corto circuito o malogradas.

MANTENIMIENTO DE LA BATERIA:

Es fundamental mantener el electrólito en la batería a 5 ó 10 mm por encima de las placas, como el agua solo se pierde por la formación de gases, las celdas deberán ser rellenadas con agua destilada por lo menos una vez al mes y con mayor frecuencia en tiempo caluroso o cuando la batería está montada en sitios propensos a temperaturas altas.

La parte superior de la batería deberá mantenerse limpia y seca, en caso contrario la corriente se fuga continuamente de un borne a otro en cada celda y la batería se descarga

Quando una batería se ha de dejar fuera de servicio durante algunas semanas o más tiempo, se deberán llenar las celdas por completo y darse una carga de refresco cada cuatro o seis semanas. No es buena práctica mantener la batería permanentemente en carga lenta, porque se pierde demasiada agua y la batería puede deteriorarse por esta causa.

La corrosión de los terminales de los cables se evita untándolos con vaselina luego de limpiarlos completamente. Es esencial que haya buen contacto eléctrico entre los terminales y los bornes de las baterías Si algún borne calienta después de usar el motor de arranque es signo de un mal contacto en ese punto.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Curso de Capacitación - SENAMA.

Objetivo

Determinar las impurezas del agua, para eliminar estos contaminantes ó inhibir su acción nociva, conociendo los valores de PH y dureza del agua, que se utiliza ya sea en sistemas de alimentación a calderos , sistemas de refrigeración y para consumo humano. La determinación de estos valores son importantes para conocer si están dentro del rango de utilización recomendado y de esta manera poder evitar, anomalías de funcionamiento, posibles deterioros y riesgos de accidentes.

Fundamento Teórico

INTRODUCCIÓN.- Hay pocos manantiales para la alimentación de calderas, cuya agua no muestre cierta dureza, incluso la de los lagos naturales. El agua de pozos profundos suele ser mucho más dura que la del río ó lago, debido a las sales disueltas. El agua calificada ordinariamente como potable, es generalmente dura para alimentación de calderas. Practicamente todas las sales naturales son duras y -- contienen sustancias capaces de formar incrustaciones, generalmente sales solubles de calcio y magnesio, invisibles a simple vista. Algunas no se pueden quitar por filtrado y a menos que se eliminen se depositarán en forma de lodo ó de incrustación y este es un punto muy importante por dos razones.

- 1) La acumulación de incrustaciones provoca mayor temperatura en la superficie de los tubos y perjudica a las paredes de los mismos.
- 2) La disminución de la sección de paso de los tubos para el agua - origina pérdidas de carga por rozamiento y circulación defectuosa por la caldera.

DUREZA DEL AGUA.- En general al hablar de la dureza del agua nos referimos al contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), a las sales de magnesio y otros componentes de calcio, de los cuales se hace su equivalencia respectiva para indicarlo como DUREZA TOTAL en términos de carbonato de calcio.

El término DUREZA TEMPORAL, llamada también Dureza por "Carbonatos"- es una dureza aparente, que se determina inicialmente, cuando se está determinando la dureza total con la solución estándar de jabón.

La dureza del agua se expresa en :

- a) Miligramos por litros (m.g./L)
- b) Partes por Millón (p.p.m.)
- c) Granos por galón (g.p.g.) USA.
- d) Grados Hidrotimétricos (m.g./L)
- e) Grados alemanes (dH°) en términos de cal viva (CAO).

PARTES POR MILLON (p.p.m.) Es una unidad empleada en la medición de la concentración que equivale a una unidad de masa de una sustancia presente en un millón de unidades de masa de solución. Por ejemplo 5 p.p.m. equivale a 5 gramos de soluto presente en un millón de gramos de solución,

Tabla 1.

DUREZA	GRAMOS POR GALON (USA) (g.p.g.)	PARTES POR MILLON (p.p.m.)	GRADOS ALEMAN (dH°)
1 grano por galón (USA)	1.0	17.1	0.958
1 parte por millón.	0.058	1.0	0.056
1 grado alemán	1.04	17.9	1.0

NOTA.- 1 mg/Lt. = 1 p.p.m. (si la solución tiene una densidad cercana a la del agua)

1 grano = 0.0649 gramos.

SOLIDOS TOTALES EN EL AGUA .- Vienen a ser la suma de los sólidos en suspensión y los sólidos disueltos. Los sólidos en suspensión (no están en solución química), pueden ser eliminados por filtración ó sedimentación. Los sólidos disueltos (están en solución química) pueden ser determinados a través de la evaporación.

ALCALINIDAD.- Se dice que una agua es alcalina, cuando predominan los iones OH^- sobre los iones H^+ . Es decir es más básica que ácida.

Análisis

METODO SIMPLE PARA DETERMINAR LOS SOLIDOS TOTALES.- Es uno de los métodos más simples y económicos, para determinar los sólidos totales.

En un recipiente en forma de plato con una capacidad entre 125 a 150 cm^3 , el cual ha sido pesado previamente, se colocan 10 cm^3 de la muestra de agua. Luego se procede a evaporar lentamente, hasta que el agua desaparezca! A continuación coloque el recipiente con el residuo en un sistema de enfriamiento y una vez enfriado se pesará el recipiente con el residuo.

El incremento en peso, expresado en miligramos y multiplicado por 100 es igual al total de sólidos expresado en ppm.

- Los sólidos en suspensión, en ppm pueden ser determinados por la diferencia entre el total de sólidos de una muestra de agua evaporada y el total de sólidos de una muestra de agua evaporada filtrada previamente al ensayo.
- Los sólidos disueltos totales (S.D.T.) En p.p.m., se determinan tomando una muestra de agua filtrada y evaporando y enfriando posteriormente.
- Otros métodos para determinar los S.D.T. El total de sólidos disueltos, se puede determinar por medio de HIDROMETROS, con escalas especiales en p.p.m., algunos hidrómetros se calibran para flotar y marcar correctamente la densidad ó gravedad específica, según la temperatura que registra un termómetro especial, instalado dentro de ellos.

Los S.D.T., se pueden determinar a través de un medidor de conducti-

vidad del agua, porque existe una relación entre la conductividad del agua y la concentración salina de sólidos disueltos. Los p.p.m. de los S.D.T., son aproximadamente equivalentes a 75% de la lectura en microhmios del instrumento medidor de conductividad del agua.

La conductividad eléctrica (L) : es la inversa de la resistencia ofrecida por una solución. Su unidad es ohm^{-1} ó *Siemen*. $L = \frac{1}{R}$
la conductividad específica (K): Es la conductividad de un centímetro cubico de solución. Su unidad es $\text{ohm}^{-1} \text{cm}^{-1}$.

$$K = L \frac{D}{A}$$

Donde: D es la distancia entre los electrodos, A es el Area de los electrodos. La relación $\frac{D}{A}$ se denomina constante de la celda.

METODOS PARA DETERMINAR LA DUREZA TOTAL DEL AGUA.- Existen varios métodos, siendo los más comunes los siguientes

- METODO DE LA SOLUCION ESTANDAR DE JABON.- Con el objeto de obtener resultados que puedan reproducirse, las muestras de agua deberán llevarse al mismo valor de PH, (aprox. 8.3.).

La temperatura de la muestra de agua deberá estar entre 15 y 38°C. Las muestras que contienen cantidades apreciables de materia en suspensión deberán sedimentar y filtrar hasta que quede clara, es decir, la muestra debe ser agua filtrada.

Para ajustar el PH, tomar 50 ml. de la muestra que se va a probar en un frasco de vidrio transparente, dotado de un tapón, agregar 3 gotas del indicador de fenolftaleina y ajustese el valor del PH hasta el punto de viraje del indicador, agregando gotas de solución de hidróxido de sodio O.I.N., ó de solución de ácido sulfúrico O.I.N., según se requiera. Por ejemplo si la muestra presenta un color rosa (por la fenolftaleina agregada), agréguese gotas de ácido sulfúrico O.I.N. para remover el color, hasta un ligero tinte rosa en la muestra, si se agrega un exceso de ácido y desapare

ce el color rosa agréguese gotas de la solución de hidróxido de sodio O.I.N., hasta que empiece ha aparecer un tono de color rosa, que indica un PH aproximado de 8.3.

A la muestra de agua (50 ml) con el valor de PH ajustado, agréguese la SOLUCION ESTANDAR DE JABON, por medio de una bureta, en 0.2 ml cada vez, cerrar el recipiente y agitar vigorosamente. Cuando empieza a formarse una espuma permanente, reduzcanse los incrementos de la solución de jabón A 0.1 ml. hasta que, con una agitación posterior la capa de espuma persista sobre la superficie durante un período de 5 minutos. En este momento, el recipiente deberá dejarse en reposo en posición horizontal, para que la espuma tenga más área y deberá anotarse los mililitros de la solución estandar de jabón usados.

Quando se llega a este punto, deberá hacerse la prueba para el punto-final falso, agregando 0.2 ml. de solución de jabón y agítese.

Si la espuma desaparece, la valoración deberá continuarse hasta el punto final, que nos indicará la dureza total del agua en CaCO_3 .

El punto final falso nos indica la presencia de sales de magnesio (Dureza temporal en términos de CaCO_3).

NOTA.- Si se sabe que la muestra contiene solamente pequeñas cantidades de dureza (caso de agua ablandada), las adiciones de jabón deberán hacerse en incrementos de 0.05 ml. cada vez. Si la muestra requiere más de 8 ml. de solución de jabón es preferible tomar una muestra de 25 ml. y diluirla con agua destilada (25 ml.). En este caso debe duplicarse los ml. de solución de jabón usado.

Resultado:

$$D = (J - J_e) \times F$$

Donde: D = Dureza total, en p.p.m. como CaCO_3

J = ml. de solución de jabón empleado.

Je = ml. del factor de espuma

F = Factor de dureza.

Factor de espuma (Je) El Factor de espuma de la solución de jabón, se determina añadiendo 0.05 ml. De la solución estandar de jabón, cada vez, a una muestra de 50 ml. de agua destilada, hasta que se forme una espuma estable, que persista por más de 5 minutos, después de agitar, el número de ml. de jabón empleado nos indica el Je. Como la solución de jabón puede cambiar, el factor de espuma deberá comprobarse cada mes. El factor de espuma se encuentra en el orden de los 0.2 ml.

Factor de Dureza (F) Se debe determinar cada mes, debido a cualquier cambio en la solución de jabón por la evaporación de alcohol etílico. Para hacer esta prueba agréguese 5 ml. del patrón de agua dura estandar (dureza de 1000 p.p.m. de CaCO_3), a 45 ml. de agua destilada. Ajustese la mezcla al punto final de la fenolftaleína y valórese con la solución estandar de jabón, hasta que se produzca una espuma estable durante 5 minutos. El factor de dureza se calcula así :

$$F = \frac{f \times 20}{(\text{ml. de jabón usado} - \text{ml de factor de espuma})}$$

El valor de F se encuentra en el orden de 20.

- METODO DE LA SOLUCION JABONOSA BB. - La determinación de la dureza se hace con 40 ml. de agua filtrada, que se coloca en un recipiente de vidrio, agregándose gota a gota de 0.2 ml en 0.2 ml de la solución BB hasta obtener una espuma compacta y uniforme, que persista por más de 3 minutos.

La solución BB levantará una espuma en 40 ml. de agua destilada, siendo las tres gotas (ml.) el factor de espuma de la solución BB.

Resultado. - Por cada 1 ml. de la solución BB empleada, se obtiene 91.3 mg/Lt de dureza.

- METODO EDTA (ACIDO ETILENODIAMINO TETRA ACETICO)

Es el método más usado en la actualidad. Emplea unas tabletas indicadoras y el reactivo EDTA.

Tomar 5 ml. de agua filtrada, colocarla en un recipiente de vidrio, luego agregarle una tableta indicadora, agitar hasta disolver la tableta (si el agua está dura, tornará un color rojo), luego agregar - gota a gota la solución EDTA y agitar mezclando uniformemente hasta cambiar de color la muestra (cambia a color verde), siendo este el punto final, porque el EDTA ha neutralizado toda la dureza de la muestra.

Resultado.- Cada gota de EDTA agregada equivale a 17.9 mg/litro.

METODO PARA DETERMINAR LA ALCALINIDAD DEL AGUA.- Se utilizan los siguientes reactivos.

- Indicador de Fenolftaleina.- Disuelvanse 5 gr. de fenolftaleina en 1 litro de una solución al 50% de alcohol etílico en agua destilada. Neutralícese con una solución diluida de soda cáustica (hidróxido de sodio) (NaOH), hasta obtener un color rosa pálido.
- Indicador de anarajando de metilo.- Disuélvase 1 gr. de anarajando de metilo en 1 litro de agua destilada.
- Solución estandar de ácido sulfúrico.- A una normalidad N/50 (0.02 N)

CALCULO DE LA ALCALINIDAD PARCIAL (P).- Tomar 2 muestras de agua -- filtradas, cada una de 50 ml., en un recipiente, añádanse dos gotas del indicador neutro de fenolftaleina. Si se produce un color rosa-valórese una de las muestras con la solución de ácido sulfúrico N/50 utilizando una bureta con graduaciones de 0.1 ml. La solución de ácido se deberá agregar lentamente y agitando la muestra hasta que desaparezca el color. Cerca del punto final agréguese solo una ó dos gotas de ácido cada vez. La otra muestra se tiene a la mano con la

finalidad de comparar el color.

$$\text{Alcalinidad (P), como CaCO}_3 \text{ (p.p.m.)} = \frac{\text{ml. de ácido agregado} \times 1,000}{\text{ml. de muestra.}}$$

CALCULO DE LA ALCALINIDAD TOTAL (M).- A la misma muestra usada para la determinación de la alcalinidad "P", agréguese 3 gotas del indicador de anaranjado de metilo, con lo cual la muestra obtendrá un color amarillo anaranjado.

Sin rellenar la bureta, contúase la valoración lentamente, con la solución de ácido sulfúrico N/50, hasta que se observe un tinte rosa definido, en el color amarillo de la muestra, en esos momentos se leerá nuevamente la bureta para conocer la cantidad de la solución estándar del ácido que se ha necesitado en total (para el cálculo de M) para las dos etapas consecutivas de la titulación.

Para este caso, un color rosa intenso indica que se sobrepasó el punto final.

$$\text{Alcalinidad (M), como CaCO}_3 \text{ (p.p.m.)} = \frac{\text{ml. de ácido total agregado} \times 1,000}{\text{ml. de muestra.}}$$

NOTA.- Si la muestra es alcalina a la fenolftaleina, esta se tornará rosa, cuando se agrega el indicador. Esto indica la presencia de hidróxidos alcalinos y carbonatos. Si la muestra es alcalina solamente el anaranjado de metilo, esto es, si no se desarrolla un color rosa cuando se agrega fenolftaleina, pero la muestra cambia el amarillo por la adición del anaranjado de metilo, solamente se encuentran presentes los bicarbonatos, que son menos alcalinos.

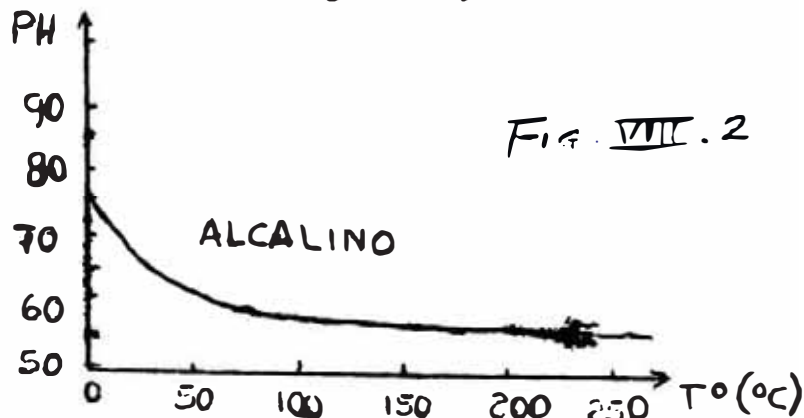
DETERMINACION DEL PH

VALOR DEL PH.- Es un índice de la fracción de hidrógeno ionizado presente en el agua (H^+). Indica la cantidad de iones de H^+ ó de OH^- presentes en el agua.

Rango del PH.- (Para valores de 16°C)

- De 0 a un valor menor de 7 es un PH ácido.
- Valor de 7 indica un PH neutro (agua destilada a 16°C)
- Valor mayor de 7 a 14 indica un PH alcalino o básico.

Variación del PH con la temperatura.- El índice del PH disminuye al aumentar la temperatura, pero la sustancia continua siendo ácida ó básica conforme se determinó inicialmente a 16°C. La variación del PH con la temperatura se indica en el siguiente gráfico.



Coefficiente del PH.- Viene a ser la cantidad de Iones H^+ ó OH^- en unidades de gramo contenidos en 1,000 c.c. de agua.

En general podemos decir:

- Para PH de 0 a 7 (N), se obtiene, 10^{-N} gr de ión H^+ en 1000 c.c. de agua
 - Para PH de 8 a 14 (N), se obtiene, 10^{14-N} gr. de ión OH^- en 1000 c.c. de agua.
- Ejm. PH2, indica $10^{-2} = 0.01$ gr. de ión H^+ contenido en 1000 c.c. de agua.

METODOS PARA DETERMINAR EL PH

- Método electrométrico (PH meter).- Este método es el más exacto para determinar el PH. El potencial producido químicamente es una medida de la concentración de ión H^+ ó OH^- , presente en la solución.

Se basa en que cuando se introduce un electrodo en la muestra de agua se produce una media celda electrolítica, para medir su potencial su correspondiente media celda debe agregarse. El flujo de corriente (Intensidad), de la celda completa es producida por la suma del poten---

cial de las dos medias celdas.

El uso de electrodos de vidrio y antimonio instalados en una tuberías (circuito), permite la continua medición del valor del PH de la solución. La fuerza electromotriz de estos electrodos se envía a través de un amplificador de tubo con vacío. La fem. amplificada puede ser medida a través de un potenciómetro.

-Método colorimétrico.- Es un método comparativo y es menos aproximado que el método electrométrico.

Uso del indicador universal de PH.- Consiste en introducir 100 c.c. de una muestra de agua filtrada, aproximadamente a 16°C en un recipiente de vidrio, luego agregar 5 gotas de indicador universal (DYE). Note el color, y compare con una muestra estandar ó use la tabla de identificación de colores para el PH.

Uso de papel ó lámina indicadora de PH.- Es un método comparativo, que se basa en la introducción de un papel ó lámina especial dentro de la muestra de agua por 5 segundos, luego retirarlo y dejar que tome una determinada coloración, que indica el PH de acuerdo a un muestrario de colores adjunto o usar la tabla que se indica a continuación.

TABLA 2 IDENTIFICACION DE COLORES PARA EL P.H.

RANGO ACIDO		RANGO ALCALINO	
COLOR	VAPOR DEL PH	COLOR	VALOR DEL P.H.
Rojo	3	Verde	8
Rojo oscuro	4	Azul verde	8.5
Rojo naranja	5	Verdoso azul	9
Naranja	5.5	Azul	9.5
Naranja amarillo	6	Violeta	10
Amarillo	6.5	Rojillo violeta	10.5 - 11.0
Verde amarillo	7 a <u>7.5(neutral)</u>	-----	-----

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- PROFESORES U.N.I "LABORATORIO DE INGENIERIA MECANICA I"
- SEMINARIO DE "CALDERAS INDUSTRIALES".
- GAFFERT "CENTRALES DE VAPOR".

APLICACIONES DE LAS EXPERIENCIAS DEL LABORATORIO DE ENERGIA I.

EXP. II MEDICIONES DE TEMPERATURA

Se Pide.- Efectuar mediciones de temperatura, con los diferentes instrumentos que se disponen, para este fin. Al mismo tiempo conocer sus principios de funcionamiento y seleccionarlos adecuadamente.

Termómetros de Bulbo

Instrumentos y Aparatos

- Termómetros

Rango : 0-60 °C, 0-100 °C, 0-250 °C, 100-150 °C

Sensibilidad : 1 °C 1/2 °C 1 °C 1/5 °C

Rango : 0-50 °C, 200-300 °C, 0-360 °C

Sensibilidad : 1/10 °C 1/2 °C 1 °C

- Un termómetro Beckman, Rango de 0-5 °C, sensibilidad 1/10 °C, arriba escala chica de 0-100 con 20 divisiones.
- Un vaso de precipitación.
- Un mechero Bunsen.

Procedimiento .-

- 1) En primer lugar, se pretende que el alumno reconozca los diferentes termómetros de Bulbo, sus partes, rango y sensibilidad.
- 2) Se calienta el vaso conteniendo agua, con el mechero, y luego se apaga este; en un intervalo corto de tiempo, se introduce el termómetro a diferentes niveles en el agua y se toma las siguientes lecturas.

	<u>Agua sin Agitar'</u>	<u>Agua Agitada</u>
Bulbo Sólo	58 °C	57.8 °C
Nivel Cero	58.5 °C	58 °C
Nivel 10	58.8 °C	58.2 °C

Nivel 20	59 °C	58.3 °C
Nivel 30	59 °C	58.4 °C

- Termómetro Utilizado : 0-100 °C, sensibilidad 1/2 °C, de inmersión total.

- Tanto para el agua sin agitar como para el agua agitada, se ha tomado la misma referencia inicial de temperatura (58 °C), introducido solo el bulbo sin agitación.

3) Si consideramos una lectura cualesquiera, de la relación anterior, como es el agua sin agitar a nivel 20, vemos que le corresponde una lectura de 59 °C. Esta lectura deberá ser corregida, por la consideración que se trata de un termómetro de inmersión total, introducido solo parcialmente.

- Temperatura Ambiente : 30 °C

- Temperatura del ambiente cerca a la superficie del agua : 35 °C.

Aplicando la fórmula de corrección o error (según guía teórica)

$$E = C \times \Delta \text{ °C} \times (T_1 - T_2)$$

$$E = 0.00016 \times (59-20) \text{ °C} \times (59 \text{ °C} - 35 \text{ °C})$$

$$E = 0.14976$$

Luego la temperatura verdadera será :

$$T_v = 59 \text{ °C} + 0.14976$$

$$T_v = 59.14976 \text{ °C}$$

4) Verificación de lecturas bajas de temperatura con el termómetro de Beckman, como son los productos de la cámara de conservación u otros similares.

$$T_{\text{mermelada}} = 4.23 \text{ °C}$$

$$T_{\text{jugo}} = 4.21 \text{ °C}$$

Conclusiones

- 1) El reconocimiento de los diversos termómetros mencionados, si son de inmersión total o parcial, su rango de aplicación y su sensibilidad, le dan cierto criterio de aplicación al estudiante.
- 2) Una aplicación simple con un termómetro de bulbo, que permite apreciar la variación de las lecturas a su altura de inmersión, reduciéndose estas diferencias cuando el líquido es agitado.
- 3) También podemos apreciar la corrección de una lectura determinada de temperatura a cierto nivel de inmersión, por estar trabajando con un termómetro de inmersión total.
- 4) Por último una aplicación directa de un termómetro Beckman.

Termómetro Bimetálico

Instrumentos.- Como no se cuenta con un termómetro bimetálico de tipo comercial, se ha improvisado un bimetálico uniendo latón y acero inoxidable con soldadura autógena, ambas láminas tienen un espesor de 0.5 m.m. c/u, las cuales se han unido a 30 °C.

Procedimiento.- Se desea comprobar, la dilatación de esta tira bimetálica cuando es sometida a una temperatura de 80 °C.

El radio de curvatura que se genera con la tira bimetálica, es de aproximadamente 3 metros.

Cálculos y Resultados.- Aplicando la Ecuación de la Guía Teórica para el elemento bimetálico :

$$r = \frac{t \cdot \left\{ 3 (1+m)^2 + (1+m n) [m^2 + (1/m n)] \right\}}{6 (\alpha_2 - \alpha_1) (T - T_0) (1+m)^2}$$

$$t = 1 \text{ m.m}$$

$$m = 1$$

$$n = \frac{28 \times 10^6}{14 \times 10^6} = 2$$

$$\alpha_1 = 1.6 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_2 = 2.02 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$T = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$r = \frac{1 \left\{ 3 (1 + 1)^2 + (1 + 1 \times 2) \left[1^2 + (1/1 \times 2) \right] \right\}}{6 (2.02 \times 10^{-5} - 1.6 \times 10^{-5}) (80-30) (1+1)^2}$$

$$r = 3273.8 \text{ m m.}$$

Conclusiones.- Como se podrá apreciar de los resultados (a pesar que al medir un radio de curvatura tan grande no se obtiene gran precisión) lo conseguido en forma práctica está bastante cercano del resultado teórico.

si hubiesemos conseguido utilizar la combinación latón-invar el radio de curvatura hubiese resultado bastante menor por la diferencia más apreciable de los coeficientes de expansión de estos metales.

Termómetro de Tubo Bourdon

Instrumentos y Resultados.- Contamos con un Termómetro de Bourdon, de capilar con gas, con el cual hemos verificado las temperaturas del agua caliente que eran leídas a través de un termómetro de bulbo, sin obtener mayor variación.

Termocupla

Instrumentos.-

- Una termocupla, cuyo rango es de 0 °C a 1,200 °C, sensibilidad 50 °C, variancia 2.5 °C.
- Un horno mufla, cuya máxima temperatura es de 900 °C.
- Un pedazo de plomo.
- Un recipiente de latón.

Procedimiento y Resultados.-

- Se puso un pedazo de plomo dentro de un recipiente de latón y luego

se introdujo dentro de la mufla, a continuación se encendió el horno con la termocupla conectada.

- Se dejó un tiempo de 10 minutos y luego se abrió el horno, observándose que la termocupla marcaba 155 °C, lo cual fue comprobado con un termómetro de bulbo, sin embargo dentro del recipiente de latón la temperatura que marcaba el termómetro de bulbo sólo llegaba a 77 °C. Por lo que se dejó un pedazo de plomo directamente en el horno.
- Se conectó nuevamente el horno y en 7 minutos más alcanza una temperatura de 375 °C en la termocupla, abriendo el horno y comprobando que el pedazo de plomo colocado directamente en el horno se había fundido totalmente, mientras que el pedazo que permanecía en el recipiente de latón, todavía no comenzaba su fusión.

Conclusiones.

- En tablas, el punto de fusión del plomo es de 327 °C, mientras que para el latón, es aproximadamente, 1100 °C. De allí que esta experiencia nos sirve para comprobar el punto de fusión del plomo, cosa que no se pudo hacer con el latón por su alto punto de fusión.
- Por otro lado conociendo el material de la termocupla, es posible de terminar la f.e.m. generada para que el elemento traductor marque una temperatura determinada.

Pirómetro Óptico

Instrumentos.-

- Pirómetro óptico con un rango de 700 a 1500 °C.
- Horno Mufla.

Procedimiento y Resultados.-

- Se llevó la temperatura del horno mufla hasta 750 °C y se colocó el pirómetro óptico a través de una mirilla, que posee la mufla.
- La lectura del pirómetro óptico fue de 718 °C.

Conclusiones.- La diferencia apreciable en las lecturas tanto de la termocupla como del pirómetro óptico se atribuye a que este último instrumento se recomienda para temperaturas > 800 °C.

Por la alta radiación que se requiere, para un eficiente funcionamiento.

EXP. III

MEDICIONES DE PRESION

Se pide.- Efectuar mediciones de presión con los diversos elementos de medición con que se cuenta, estar en condiciones de analizar sus principios de funcionamiento y de seleccionarlos adecuadamente.

Cálculo de las Presiones Atmosféricas

Para su lectura hemos utilizado dos tipos de instrumentos, el barómetro de mercurio y con el aneroide de reloj. Obteniéndose los siguientes resultados :

- Con el Barómetro de Mercurio La lectura en el barómetro fue de 729 mm Hg. y tiene un rango de 690 a 810 y una sensibilidad de 1 mm Hg.
- Con el Aneroide de Reloj : Al parecer este instrumento es bien sensible a los cambios climáticos (Temperatura y presión) ya que los datos escogidos fueron :

- Día Jueves 17 de Enero, hora	2.30 p.m.	731 mm Hg. a 26 C.
	7.00 p.m.	732 mm Hg. a 22 C.
- Día Sábado 26 de Enero, hora 11.10 a.m. 731 mm Hg. a 27 C
 Tiene un Rango de 680 a 810 y una sensibilidad de 1 mm Hg.

Cálculo de Presiones Fluctuantes

Cuando se trata de medir presiones fluctuantes, que son variables con cierta regularidad. Se usan los manómetros de una sola rama, en nues

tro experimento hemos utilizado el agua para que sea más fácil su lectura.

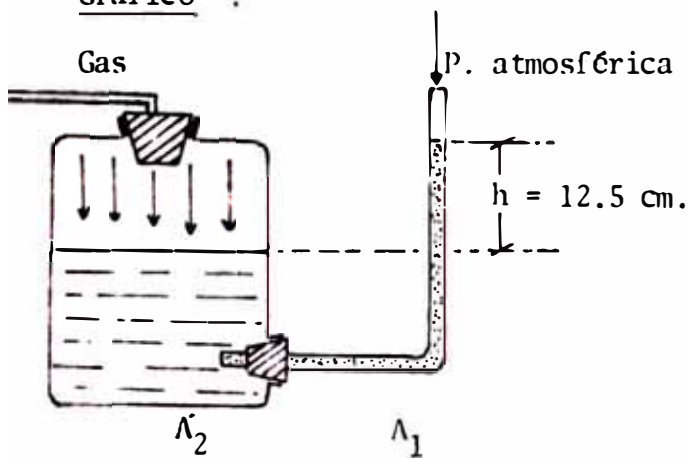
Temperatura = 27°C

Presión = 731 mm Hg.

Instrumentos.-

- | | |
|--------------------------------|---------------------|
| 1.- Recipiente de boca angosta | 4.- Gas |
| 2.- Tubo en L | 5.- Escala Graduada |
| 3.- Agua | |

Gráfico :



$A_1 = \text{Area del Tubo} = 0.75$

$A_2 = \text{Area del Frasco} = 16.5$

Procedimiento.-

- Se vierte agua en el frasco hasta la mitad del recipiente.
- Se le pone un tapón con un tubo, y una manguera conectada a la válvula de gas.
- Se abre lentamente la válvula del gas (tratar de abrir y cerrar la válvula para originar una presión fluctuante).
- Se toma la lectura en la rama.

Cálculos :

- La diferencia de altura fue de 12.5 cm de H₂O.

Si	1 Atm	→	1,033 cm. de H ₂ O	} ⇒ X = 0.0121 atm.
	X	→	12.5 cm de H ₂ O	

- Relación de áreas :

$$\frac{2 \pi (D/2)^2}{2 \pi (d/2)^2} = \frac{D^2}{d^2} \Rightarrow \frac{(16.5 \text{ cm})^2}{(0.75 \text{ cm})^2} \Rightarrow \frac{311}{1} = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1}$$

lo que implica que cuando el frasco grande baje un mm. la lectura en la rama será de 311 mm.

Conclusiones y Observaciones.-

- Se utiliza para presiones fluctuantes debido a que solamente en la rama se notará las fluctuaciones, en el frasco son despreciables.
- Cuando se utiliza agua como líquido manométrico se miden presiones bastante menores que una atmósfera, ya que tendríamos que utilizar una rama de 10 mt. para medir una atmósfera.
- Por el tubo pequeño , podemos inyectar presiones grandes a medir.
- Se pueden calcular diferentes presiones dependiendo de los líquidos manométricos. (Su peso específico)

Manómetros de Tubo en U

Se usan para medir las presiones manométricas de una línea o dos líneas.

Experimento : 2

Tema : APLICACION DEL MANOMETRO EN U.

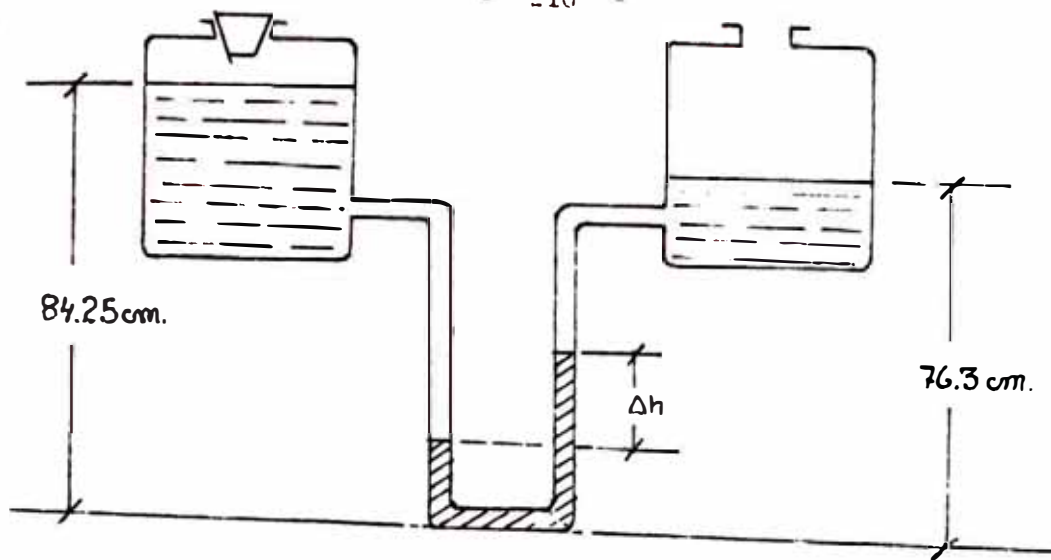
Temperatura = 27 °C

Presión = 731 mm Hg.

Instrumentos :

- | | | |
|-------------------|---------------------|---------------|
| 1.- 2 Recipientes | 3.- Escala graduada | 5.- Mangueras |
| 2.- Tubo en U | 4.- Agua | 6.- Tapones |

Gráfico :



Procedimiento. -

- Se arma el equipo de la figura.
- Presionar las mangueras (Para que no salga el agua). Se vierten en ambos recipientes diferentes cantidades de agua.
- El tubo en U se encuentra solamente lleno de aire.
- Se sueltan ambas mangueras en forma pausada.
- En ese mismo instante se toma el incremento de altura en el Tubo. (Después, se distorsiona).

Cálculos :

- Con respecto a un nivel de referencia se toman las medidas de los niveles de agua en el frasco

84.25 cm -

76.3

8.98 cm

- Al realizar nuestros cálculos obtuvimos un incremento de presión que está bastante aproximado al cálculo anterior. $P = 8.9 \text{ gr/cm}^2$.

Observaciones .-

- Se puede utilizar en vez de agua, aire a diferentes presiones.
- Si quisieramos obtener la presión absoluta no se hace más que sumar la presión atmosférica.

Manómetros Inclinaos

Instrumento. - Considerando el manómetro inclinado graficado en la -

guía teórica, cuya rama incluida hace un ángulo $\alpha = 30^\circ$; y con una pequeña altura de columna de agua vertical $h = 1.5$ cm.

Cálculo y Resultados.- Utilizando la fórmula para manómetros inclinados:

$$h = h' \cdot \text{Sen } \alpha$$

Siendo la columna inclinada $h' = 3.1$ cms.

Luego : $h = 3.1 \times \text{Sen } 30^\circ = 1.55$ cms.

Que es un valor bastante cercano al de la columna vertical, teniendo la ventaja la columna inclinada que se puede leer con mayor comodidad y exactitud. Esto implica una presión de $P = 1.55 \text{ gr/cm}^2$.

$$P = \gamma \cdot h = 1 \text{ gr/cm}^3 \times 1.55 \text{ cms.} = 1.55 \text{ gr/cm}^2$$

Manómetros de Dos Fluidos

Instrumento.- Igualmente del gráfico respectivo de la guía teórica, utilizando como líquidos manométricos el agua (A) y el aceite (B), por no ser miscibles, recojemos una altura $h = 1.8$ cms., al medir una pequeña presión generada por la incidencia de un gas. El diámetro del tubo manométrico es de 1.5 cm. y el de las botellas es de 5 cms.

Cálculos y Resultados.- Aplicando la fórmula para el manómetro de dos fluidos.

$$P = h \left[\gamma_A - \gamma_B + \gamma_A \times \frac{A_{\text{del tubo}}}{A_{\text{de las botellas}}} \right]$$

$$\gamma_A = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_B = 0.82 \text{ gr/cm}^3$$

$$A_{\text{del tubo}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1.5)^2}{4} = 1.77$$

$$A_{\text{de las botellas}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (5)^2}{4} = 19.63$$

$$P = 1.8 \text{ cms.} \quad 1 - 0.82 + 1 \times \frac{1.77}{19.63} \quad \text{gr/cm}^3$$

$$P = 0.486 \text{ gr/cm}^2$$

Medidores de Expansión de un Sólido

Los medidores, como el Manómetro Bourdón, el medidor de Diafragma, el medidor de fuelle, el medidor de resorte helicoidal, los encontramos en ambas Plantas Piloto. Como una de las prácticas más importantes con estos medidores es la calibración, con un medidor de peso muerto, de los mismos y este recién se está por implementar o adquirir, nos hemos limitado a practicar los ajustes, en estos manómetros, señalados en la guía teórica.

Válvula de Seguridad de Palanca

Instrumento.- Comprende a la palanca del 1er. género mostrada en la guía teórica. Este dispositivo lo encontramos tanto en la Planta Piloto de Conservas como en la de Alcoholes.

Cálculos y Resultados.-

Haciendo un balance de fuerzas y momentos en el dispositivo referido, tenemos :

$$P \times a = W \times b$$

Donde :

Luego :

$$a = 5 \text{ cms.}$$

$$b = 30 \text{ cms.}$$

$$W = 3.0 \text{ Kgs}$$

$$P = \frac{W \times b}{a} = \frac{3.0 \times 30}{5} = 18 \text{ Kg.}$$

Que vendría a ser la fuerza a la que abre la válvula de seguridad, su presión depende del Area de la Válvula.

En nuestro caso el asiento de la válvula es un círculo de 2 cms. de diámetro.

Luego :

$$\Lambda = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (2)^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

Siendo :

$$\text{Presión de Abertura} = \frac{P}{\Lambda} = \frac{18 \text{ Kg}}{3.14 \text{ cm}^2} = 5.73 \text{ Kg/cm}^2$$

Conclusiones.- Podemos apreciar del gráfico que desplazando la posición del peso (W), variamos las magnitudes a y b, con lo que podemos conseguir diferentes presiones de apertura de la válvula, según las necesidades de operación.

EXP. IV

PROCESOS CON GASES

Se pide.- La verificación de las diferentes leyes, principios y propiedades en el estado gaseoso y la comprobación de sus respectivos procesos.

PROCESO ISOTERMICO

Temperatura : $27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$ Presión : 731.3 mm Hg. ... 9.25 a.m.
730.0 mm Hg. ... 12.30 p.m.

Aparatos e Instrumentos : Pera de Braum, tubo milimetrado, sujetador de aro, sujetador de tubo, pinzas de mol, mangueras, regla. (De acuerdo al gráfico de la guía teórica).

Datos .- Experimentales.-

Gas: Aire

Posición - Volumen Leído - Volumen Corregido (V) - Incremento de Agua(Δh)

1	10 ml	13.2 ml	0 mm.
2	9.65 ml	12.85 ml	24.65 mm.
3	9.5 ml	12.7 ml	49.5 mm.
4	9.65 ml	12.85 ml	24.65 mm.

5 10.2 ml. 13.40 ml. - 61.2 mm.

Posición de la Pera

- 1.- Al mismo nivel : 10 ml de aire (en el tubo)
- 2.- Subimos 25 cm. del punto inicial.
- 3.- Subimos 50 cm. del punto inicial.
- 4.- De 50 cm. la bajamos a 25 cm.
- 5.- Bajamos 61.4 cm. del punto inicial.

Temperatura del líquido 26.2 °C

Volumen muerto en el tubo 3.2 ml.

Datos Experimentales.-

Gas : CO₂

Posición - Volumen leído - Volumen Corregido(V) - Incremento de Agua (Δ h)

1	10 ml	13.4 ml	0 mm.
2	9.8 ml	13.2 ml	14.8 mm.
3	9.6 ml	13.0 ml	29.6 mm.
4	9.8 ml	13.2 ml	14.8 mm.
5	10.2 ml	13.6 ml	-15.2 mm.

Posición de la Pera

- 1.- Al mismo nivel : 10 ml (en el tubo) de CO₂
- 2.- A 15 cm. del nivel lo subimos.
- 3.- A 30 cm. del nivel lo subimos
- 4.- De 30 cm. lo bajamos a 15 cm.

Temperatura del líquido 26.2 °C.

Volumen muerto en el tubo 3.4 ml.

Mezcla de Gases : (Aire - CO₂)

Datos Experimentales.- Se hace una mezcla con los gases utilizados en el experimento anterior (Aire- CO₂). Esto se obtiene colocando un tubo

capilar en los extremos del tubo milimetrado. Luego se levanta la Pera de Braum hasta que el gas pase al otro tubo milimetrado, esto se hará en forma lenta para permitir la mezcla de ambos gases.

Posición- Volumen Leído- Volumen Corregido(V) -Incremento de Agua(Δ h)

1	23.9 ml	27.1 ml	0 mm.
2	23.3 ml	26.5 ml	24.1 mm.
3	22.9 ml	26.1 ml	48.3 mm.
4	23.3 ml	26.5 ml	24.1 mm.
5	24.3 ml	27.5 ml	-57.3 mm

Posición de la Pera

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1.- Al mismo nivel | Temperatura del líquido= 27 °C |
| 2.- Subimos a 25 cm. del nivel | Volumen Muerto en el Tubo= 3.2 ml. |
| 3.- Subimos a 50 cm. del nivel | |
| 4.- Bajamos de 50 a 25 cm. | |
| 5.- Bajamos de 59.5 cm. del nivel | |

Cálculos y Resultados.-

Para el Aire (N₂)

$$P_{\text{abs.}} = P_{\text{man.}} + 1 \text{Atm.}$$

$$1 \text{ ATM} \quad 731 \text{ mm Hg} = 0.9936 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 0.99707 \text{ gr/cm}^3 \quad (27 \text{ °C}) \quad P_{\text{man.}} = \gamma \cdot \Delta h$$

A) Posición	P_{man} (Kg/cm ²)	$P_{\text{abs.}}$ (P) (Kg/cm ²)	P.V. (Kg-cm.)
1	0	0.99707	13.16
2	2.458×10^{-3}	0.99953	12.84
3	4.935×10^{-3}	1.00201	12.73
4	2.458×10^{-3}	0.99953	12.84
5	-6.102×10^{-3}	0.99097	13.28

B) Presiones en Columnas de Mercurio

$$P_{\text{Gas seco}} = P - P_{\text{vapor}} = P - 27 \text{ (mm Hg)}$$

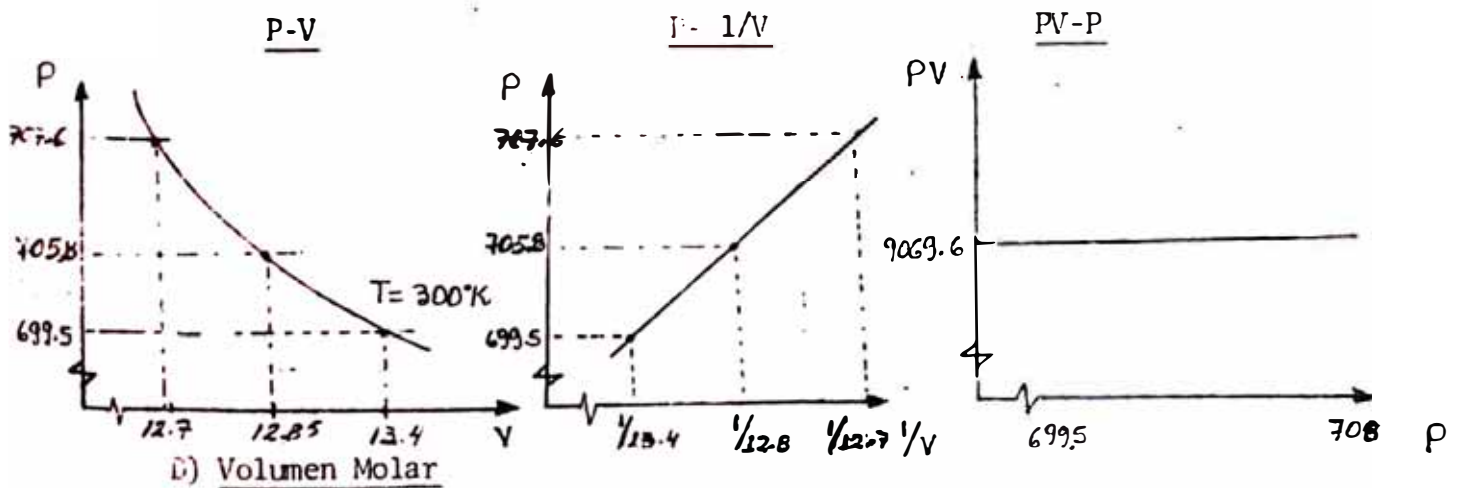
$$P_{\text{vapor de agua (27°C)}} = 0.0367 \text{ Kg/cm}^2 = 27 \text{ mm Hg. (Pag. 359 Seymour)}$$

$$1 \text{ Torricelli} = 1 \text{ mm Hg.}$$

$$P_{\text{g.s.}} \times V_{\text{corregido}} = K$$

Posición	$P_{\text{man.}}$ (mmHg)	$P_{\text{abs.}}$ (mmHg)	(P)	$P_{\text{abs. g.s}}$ (mmHg)	$P \times V = K$ (mltorric)
1	0	731		704	9292.8
2	1.81	732.81		705.81	9069.6
3	3.64	734.64		707.64	8987.0
4	1.81	732.81		705.81	9069.6
5	-4.50	726.50		699.50	9373.3

C) Gráficos



D) Volumen Molar

$$V_{m1} = \frac{V_1}{n_1}$$

$$V_1 = 13.2 \text{ ml} = 13.2 \text{ c.c.} = 13.2 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$n_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{0.9778 \times 10^2 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \times 13.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}} = 5.17 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}$$

$$P_1 \text{ (abs.)} = 0.99707 \text{ Kg/cm}^2 = 0.9778 \text{ bar} = 0.9778 \times 10^5 P_a =$$

$$= 0.9778 \times 10^2 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Luego :

$$v_{m1} = \frac{132 \times 10^{-7} \text{ m}^3}{5.17 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}} = 25.53 \frac{\text{m}^3}{\text{K}_{\text{mol}}}$$

Posición	1	2	3	4
$P_{\text{abs.}} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	0.9778×10^2	0.9802×10^2	0.9826×10^2	0.9802×10^2
Vol. molar ($\text{m}^3/\text{K}_{\text{mol}}$)	25.53	25.45	25.40	25.45

Posición	5
$P_{\text{abs.}} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	0.9718×10^2
Vol. molar ($\text{m}^3/\text{K}_{\text{mol}}$)	25.67

E) La Masa (p.c.e)

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R_a T_1} = \frac{0.9778 \times 10^2 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \times 13.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{0.287 \text{ KJ/Kg K} \times 300 \text{ K.}} = 1.50 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$$

$$R_a = R_{\text{aire}} = 0.287 \text{ KJ/Kg K}$$

Posición	1	2	3	4
Masa (Kg)	1.50×10^{-5}	1.46×10^{-5}	1.45×10^{-5}	1.46×10^{-5}

Posición	5
Masa (Kg)	1.51×10^{-5}

$$m = \text{Cte.} \approx 1.48 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$$

F) Cálculos de algunas relaciones Termodinámicas

- Calor y Trabajo :

$$m_a = 1.48 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$$

$$R_a = 0.287 \text{ KJ/Kg K}$$

$$T_a = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ K} = \text{Cte.}$$

Luego :

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = m_a \times R_a \times T_a \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 1.48 \times 10^{-5} \text{ Kg} \times 0.287 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} \times 300 \text{ K} \times \ln \frac{12.85}{13.2}$$

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = - 3.47 \times 10^{-5} \text{ KJ}$$

- Energía Interna y Entalpía

$$\Delta U = \Delta H = 0$$

- Entropía

$$\Delta S_{1-2} = \frac{Q_{1-2}}{T} = \frac{- 3.47 \times 10^{-5} \text{ KJ}}{300 \text{ K}} = -1.14 \times 10^{-7} \frac{\text{KJ}}{\text{K}}$$

Para cada etapa (p.c.e.)

Proceso o Etapa	Q = W (KJ)	ΔU = ΔH (KJ)	ΔS (KJ/K)
1-2	-3.47×10^{-5}	0	-1.14×10^{-7}
2-3	-1.50×10^{-5}	0	-5.00×10^{-8}
3-4	1.50×10^{-5}	0	5.00×10^{-8}
4-5	5.34×10^{-5}	0	1.78×10^{-7}

Para el Ciclo Completo (p.c.c.)

$$- W_{\text{total}} = Q_{\text{total}} = Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-5}$$

$$-W_{\text{total}} = Q_{\text{total}} = -3.47 \times 10^{-5} - 1.50 \times 10^{-5} + 1.50 \times 10^{-5} + 5.34 \times 10^{-5}$$

$$-W_{\text{total}} = Q_{\text{total}} = 1.87 \times 10^{-5} \text{ KJ}$$

$$-AU_{\text{total}} = AU_{\text{total}} = 0 \text{ KJ}$$

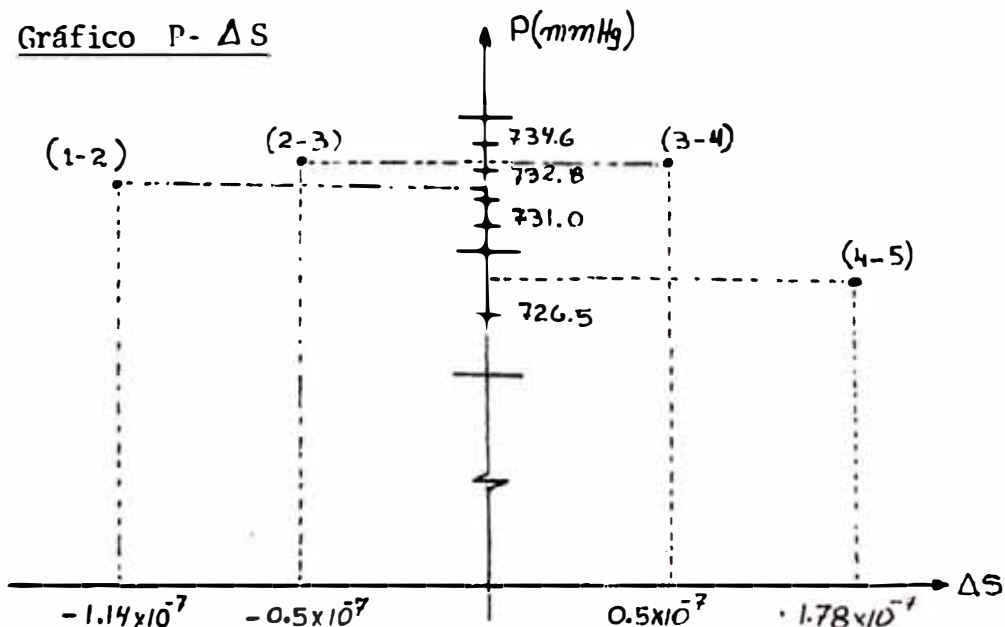
$$\begin{aligned} -AS_{\text{total}} &= AS_{1-2} + AS_{2-3} + AS_{3-4} + AS_{4-5} \\ &= -1.14 \times 10^{-7} - 0.500 \times 10^{-7} + 0.500 \times 10^{-7} \times \\ &\quad \times 1.78 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

$$AS_{\text{total}} = 0.64 \times 10^{-7} \text{ KJ/K}$$

$$= 6.40 \times 10^{-8} \text{ KJ/K}$$

- El signo negativo (-) del trabajo significa que el sistema recibe trabajo (por lo que aumenta su temperatura).
- El signo positivo (+) del trabajo significa que el sistema da trabajo (disminuyendo su temperatura).
- El signo negativo (-) del calor significa que el sistema cede calor (para mantener su temperatura constante).
- El signo positivo (+) del calor significa que el sistema percibe calor (para mantener su temperatura constante).
- Cuando se trata de la Entropía de un Sistema, esta puede ser negativa, más no la entropía del Universo.

G) Gráfico P- ΔS



- Cuando aumenta la presión, el ΔS disminuye
- Cuando aumenta el volumen, el ΔS aumenta.

H) Verificación de la 1ra. Ley de la Termodinámica (p.c.c.)

$$Q = W + \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

Considerando : $\Delta EC = \Delta EP = 0$

$$1.87 \times 10^{-5} = 1.87 \times 10^{-5} + 0 + 0 + 0$$

$$1.87 \times 10^{-5} = 1.87 \times 10^{-5} \text{ KJ}$$

Para el CO₂

$$P_{\text{abs.}} = P_{\text{man.}} + 1 \text{ Atm.}$$

$$1 \text{ ATM} = 730 \text{ mmHg} = 0.9922 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{agua}} \approx 0.99716 \text{ gr/cm}^3 \text{ (26.2 } ^\circ\text{C)}$$

A) Posición	Presión _{man.} = $\gamma \cdot \Delta H$ (Kg/cm ²)	Presión _{abs.} (P) (Kg/cm ²)	P.V. (Kg-cm)
1	0	0.99716	13.36
2	1.48×10^{-3}	0.99864	13.18
3	2.96×10^{-3}	1.00012	13.00
4	1.48×10^{-3}	0.99864	13.13
5	-1.52×10^{-3}	0.99564	13.54

B) Presiones en Columnas de Mercurio

$$P_{\text{abs.gas seco}} = P_{\text{abs.}} - P_{\text{vapor}} = P_{\text{abs}} - 25.46 \text{ (mm Hg)}$$

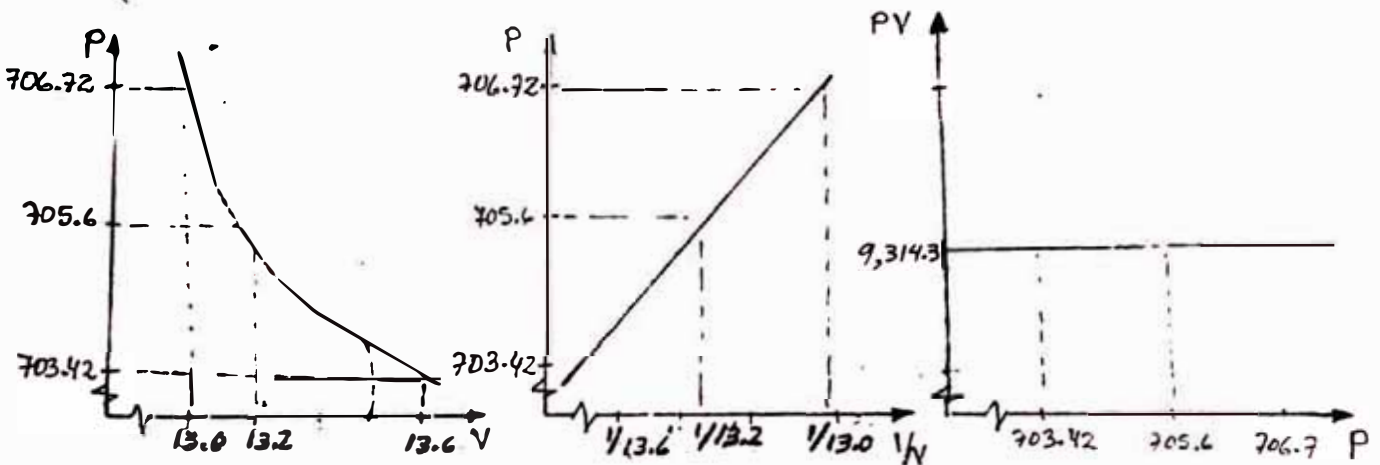
Posición	$P_{man.}$ (mmHg)	$P_{abs.}$ (mmHg) (P_A)	$P_{abs. gas seco}$ (mmHg)	$P \times V = K$ (mlxTorr.)
1	0	730	704.54	9,440.8
2	1.09	731.09	705.63	9,314.3
3	2.18	732.18	706.72	9,187.4
4	1.09	731.09	705.63	9,314.3
5	-1.12	728.88	703.42	9,566.5

$P_{vapor} (26.2 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0.0346 \text{ Kg/cm}^2 = 25.46 \text{ mmHg}$ (Pag. 359 Seymour)

1 Torr = 1 mm Hg

$P_{g.s.} \times V_{corregido} = K$

C) Gráficos P-V, P- 1/V, PV-P



D) Volumen Molar (p.c.e.)

$$\bar{v}_{m1} = \frac{V_1}{n}$$

$T = 26.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $P = 730 \text{ mm HG}$
 $= 299.2 \text{ K}$

$V_1 = 13.4 \text{ ml} = 13.4 \text{ e.c.} = 134 \times 10^{-7} \text{ m}^3$

$$n_1 = \frac{P_1 V_1}{\bar{R} T_1} = \frac{0.9779 \times 10^2 \text{ KN/m}^2 \times 13.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8.3143 \text{ KJ/K}_{mol} \times 299.2 \text{ K}}$$

$= 5.27 \times 10^{-7} \text{ K}_{mol.}$

$$P_1(\text{ABS}) = 0.99716 \text{ Kg/cm}^2 = 0.9779 \text{ bar} = 0.9779 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$= 0.9779 \times 10^2 \text{ KN/m}^2$$

luego :

$$\sqrt{m}_1 = \frac{134 \times 10^{-7} \text{ m}^3}{5.27 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}} = 25.43 \text{ m}^3/\text{K}_{\text{mol}}$$

Posición	1	2	3	4	5
$P_{\text{abs.}}$ (KN/m^2)	0.9779×10^2	0.9793×10^2	0.9808×10^2	0.9793×10^2	0.9764×10^2
Vol.Molar ($\text{m}^3/\text{K}_{\text{mol}}$)	25.43	25.38	25.34	25.38	25.47

E) La Masa (p.c.e.)

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R_a T_1} = \frac{0.9779 \times 10^2 \text{ KN/m}^2 \times 13.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{0.189 \text{ KJ/Kg K} \times 300 \text{ K}} = 2.31 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$$

$$R_{\text{CO}_2} = 0.189 \text{ KJ/Kg K}$$

Posición	1	2	3	4	5
Masa (Kg)	2.31×10^{-5}	2.28×10^{-5}	2.25×10^{-5}	2.28×10^{-5}	2.34×10^{-5}

$$m = \text{Cte} \approx 2.29 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$$

F) Cálculos de Algunas Relaciones Termodinámicas

- Calor y Trabajo

$$m_{\text{CO}_2} = 2.29 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

$$R_{\text{CO}_2} = 0.189 \text{ KJ/Kg K}$$

$$T_{\text{CO}_2} = 26.2 \text{ }^\circ\text{C} = 299.2 \text{ K} = \text{Cte.}$$

Luego :

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = m_{CO_2} \cdot R_{CO_2} \cdot T_{CO_2} \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 2.29 \times 10^{-5} \text{ Kg} \times 0.189 \text{ KJ/Kg K} \times 299.2 \text{ K} \times \ln \frac{13.2}{13.4}$$

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = -1.95 \times 10^{-5} \text{ KJ}$$

- Energía Interna y Entalpía

$$\Delta U = \Delta H = 0$$

- Entropía

$$\Delta S_{1-2} = \frac{Q_{1-2}}{T} = \frac{-1.95 \times 10^{-5} \text{ KJ}}{299.2 \text{ K}} = -6.52 \times 10^{-8} \frac{\text{KJ}}{\text{K}}$$

Para cada etapa (p.c.e.)

Proceso o Etapa	Q = W (KJ)	$\Delta U = \Delta H$ (KJ)	ΔS (KJ/K)
1-2	-1.95×10^{-5}	0	-6.52×10^{-8}
2-3	-1.98×10^{-5}	0	-6.62×10^{-8}
3-4	1.98×10^{-5}	0	6.62×10^{-8}
4-5	3.87×10^{-5}	0	12.93×10^{-8}

Para el Ciclo Completo (p.c.c.)

$$- W_{\text{total}} = Q_{\text{total}} = Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-5}$$

$$= -1.95 \times 10^{-5} - 1.98 \times 10^{-5} + 1.98 \times 10^{-5} + 3.87 \times 10^{-5}$$

$$W_{\text{total}} = Q_{\text{total}} = 1.92 \times 10^{-5} \text{ KJ}$$

$$- \Delta U_{\text{total}} = \Delta H_{\text{total}} = 0 \text{ KJ}$$

$$- \Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{1-2} + \Delta S_{2-3} + \Delta S_{3-4} + \Delta S_{4-5}$$

$$\begin{aligned} - \Delta S_{\text{total}} &= -6.52 \times 10^{-8} - 6.62 \times 10^{-8} + 6.62 \times 10^{-8} + 12.93 \times 10^{-8} \\ &= 6.48 \times 10^{-8} \text{ KJ/K} \end{aligned}$$

Nota.- Las interpretaciones de los signos del calor y trabajo y la relación de la presión y el volumen con la Entropía, son las mismas que las efectuadas para el aire.

G) Verificación de la Lra. Ley de la Termodinámica (p.c.c.)

$$Q = W + \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

Considerando : $\Delta EC = \Delta EP = 0$

$$1.92 \times 10^{-5} \text{ KJ} = 1.92 \times 10^{-5} \text{ KJ} + 0 + 0 + 0$$

$$1.92 \times 10^{-5} \text{ KJ} = 1.92 \times 10^{-5} \text{ KJ}$$

Para Mezcla de Gases (N₂-CO₂)

$$P_{\text{abs.}} = P_{\text{man.}} + P_{\text{atm.}}$$

$$1 \text{ ATM} = 731 \text{ mm Hg} = 0.9936 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma'_{\text{agua}} = 0.99707 \text{ gr/cm}^3 \text{ (27 } ^\circ\text{C)}$$

A) Presiones en Columnas de Mercurio

$$P_{\text{gas seco}} = P - P_{\text{vapor}} = P - 27 \text{ (mm Hg)}$$

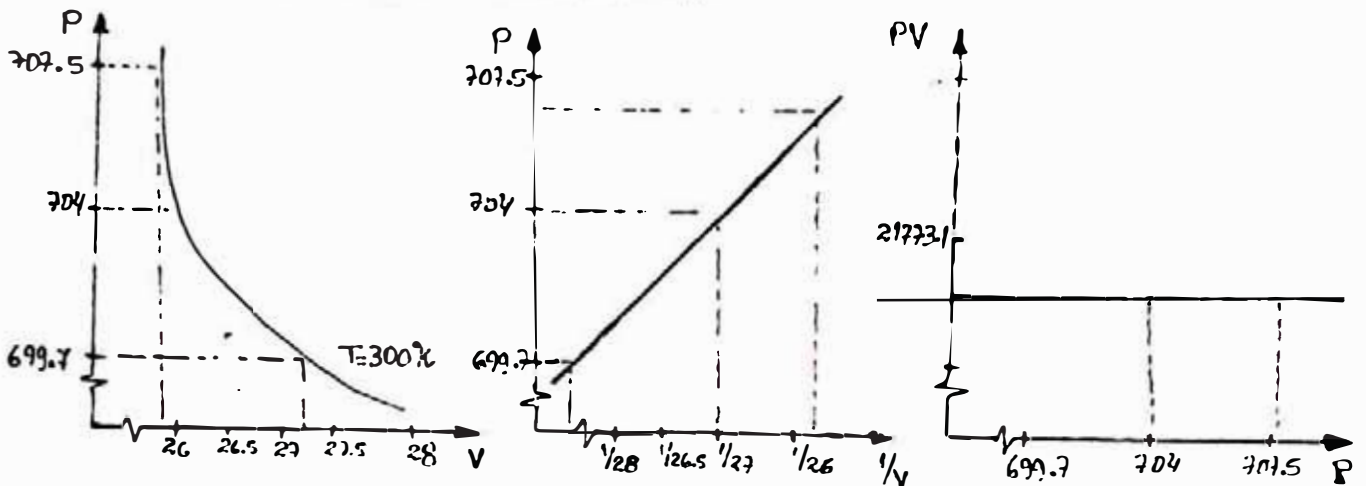
$$P_{\text{vapor}} \text{ (27 } ^\circ\text{C)} = 0.0367 \text{ Kg/cm}^2 = 27 \text{ mm Hg (Pag. 359 Seymour)}$$

$$P_{\text{g.s.}} \times V_{\text{corregido}} = K$$

$$P_{\text{man.}} = \gamma' \times \Delta h.$$

Posición	$P_{man.}$ (mm Hg)	$P_{abs.}$ (mm Hg) (P)	$P_{abs. g.s}$ (mm Hg)	$P \times V = K$ (ml x torr.)
1	0	731	704	21753.6
2	1.77	732.77	705.77	21173.1
3	3.55	734.55	707.55	20660.5
4	1.77	732.77	705.77	21173.1
5	-4.22	726.78	699.72	23162.7

B) Gráficos P-V, P - 1/V, PV-P



C) Masa de la Mezcla

$$m_{m1} = \frac{P_{m1} V_{m1}}{R_m \cdot T_{m1}} = \frac{0.9743 \times 10^2 \text{ KN/m}^2 \times 30.9 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{0.2304 \text{ KJ/Kg K} \times 300 \text{ K}} = 3.82 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

$$P_{m1} = 731 \text{ mm Hg} = 0.9743 \text{ bar} = 0.9743 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$= 0.9743 \times 10^2 \text{ KN/m}^2$$

Posición	1	2	3	4	5
$P_{abs. 2}$ (KN/m ²)	0.9743×10^2	0.9767×10^2	0.9791×10^2	0.9767×10^2	0.9687×10^2
m_m (Kg)	3.82×10^{-5}	3.74×10^{-5}	3.70×10^{-5}	3.74×10^{-5}	3.85×10^{-5}

$$m_{N_2 + CO_2} \quad 3.81 \times 10^{-5} \quad 3.74 \times 10^{-5} \quad 3.70 \times 10^{-5} \quad 3.74 \times 10^{-5} \quad 3.85 \times 10^{-5}$$

(Kg)

$$R_m = \frac{\bar{R}}{M_m}$$

$$M_m = \sum f(n)_i \cdot M_i$$

$$= \frac{n_{N_2}}{n} \times M_{N_2} + \frac{n_{CO_2}}{n} \times M_{CO_2}$$

$$= \frac{5.17 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}}{10.44 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}} \times 28 \frac{\text{Kg}}{\text{K}_{\text{mol}}} + \frac{5.27 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}}{10.44 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}}} \times 44 \frac{\text{Kg}}{\text{K}_{\text{mol}}}$$

$$M_m = 36.08 \text{ Kg/K}_{\text{mol}}$$

Luego :

$$R_m = \frac{8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \cdot \text{K}}{36.08 \text{ Kg/K}_{\text{mol}}} = 0.2304 \text{ KJ/Kg K}$$

D) Comprobación de la Ley de Dalton. - (Proceso 1-2)

$$N_2 \rightarrow P_1 = \frac{n_1 \bar{R} T}{V} \quad \bar{R} = 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K}$$

$$CO_2 \rightarrow P_2 = \frac{n_2 \bar{R} T}{V} \quad T = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$\text{Mezcla} \rightarrow P_m = \frac{n_m \cdot \bar{R} T}{V} \quad V = 27.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$P_1 = \frac{5.17 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}} \times 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}}{27.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 47.58 \text{ KN/m}^2$$

$$P_2 = \frac{5.27 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}} \times 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}}{27.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 48.50 \text{ KN/m}^2$$

$$\underline{\underline{= 96.08 \text{ KN/m}^2}}$$

$$P_m = \frac{10.44 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}} \times 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}}{27.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 96.08 \text{ KN/m}^2$$

Luego :

$$P_m = P_1 + P_2 \quad (\text{para el volumen de la mezcla})$$

E) Comprobación de la Ley de Amagat.- (Proceso 1-2)

$$N_2 \rightsquigarrow V_1 = \frac{n_1 \bar{R} T}{P} \qquad \text{Mezcla} \rightsquigarrow V_m = \frac{n_m \cdot \bar{R} T}{P}$$

$$CO_2 \rightsquigarrow V_2 = \frac{n_2 \bar{R} T}{P}$$

$$V_1 = \frac{5.17 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}} \times 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}}{96.08 \text{ KN/m}^2} = 134.22 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{5.27 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}} \times 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}}{96.08 \text{ KN/m}^2} = 136.81 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\underline{\underline{= 271.03 \times 10^{-7} \text{ m}^3}}$$

$$V_m = \frac{10.44 \times 10^{-7} \text{ K}_{\text{mol}} \times 8.3143 \text{ KJ/K}_{\text{mol}} \text{ K} \times 300 \text{ K}}{96.08 \text{ KN/m}^2} = 271.03 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

- F) Si los dos extremos estuvieran cerrados, sólo actuaría sobre los respectivos gases la altura de columna de agua, según la posición de la ampolla, más no la presión atmosférica; luego el volumen de determinado gas sería mayor en comparación que cuando actúa la presión atmosférica.
- G) El líquido manométrico se elige de acuerdo a las presiones que se quiere medir. Es decir si las presiones son apreciables se debe escoger un líquido manométrico de un alto peso específico (como el mercurio), sin embargo si las presiones son pequeñas se pueden utilizar al agua como líquido manométrico.

Conclusiones y Recomendaciones

- En los diferentes cálculos, se han comprobado los principios del comportamiento de los gases, sus propiedades y sus leyes, teniendo en consideración que los resultados prácticos no son estrictamente exactos, por una serie de limitaciones como son : La hermeticidad de los equipos instalados, las lecturas fluctuantes y la relatividad de las propiedades asumidas como constantes.
- Es importante destacar que la aplicación de las diferentes fórmulas donde entre a tallar la presión, se debe hacer descontando la presión de vapor; para que las cantidades referidas a la masa y al número de moles no sean mayormente distorsionadas.
- También hay que precisar que el cambio de Entropía siempre es mayor o igual a cero, para un sistema aislado o cuando se refiere al cam

bio de entropía del Universo; sin embargo el cambio de Entropía en el sistema puede ser negativo, positivo o cero.

EXP. V. MEDICIONES DE DENSIDAD, PESO ESPECIFICO Y GRAVEDAD ESPECIFICA; DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD

V.1. Mediciones de Densidad, Peso Específico y Gravedad Específica

Se pide.- La determinación de la densidad, peso específico y gravedad específica para diferentes muestras y diversos métodos.

Aparatos, Cálculos y Resultados.-

Peso Específico en Sólidos

Método de Volumen y Peso.- Según Guía Teórica, se utiliza una regla graduada, un calibrador o Vernier y un Dinamómetro.

Muestra de Bronce : Un cilindro hueco (cojinete) de : $L = 8 \text{ cms.}$,
 $D_i = 2.5 \text{ cms.}$, $D_e = 3.25 \text{ cms.}$

$$V = \frac{\pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) \times L}{4} = \frac{\pi (0.0325^2 - 0.0250^2)}{4} \times 0.08$$

$$V = 2.71 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Con el Dinamómetro : $W = 0.230 \text{ Kg.}$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{0.230 \text{ Kg}}{2.71 \times 10^{-5} \text{ m}^3} = 8,487 \text{ Kg/m}^3$$

Muestra de Vidrio : Un paralelepipedo de : L = 15 cms., A= 10 cm.
e = 1.6 cms.

$$V = L \times A \times e = 0.15 \times 0.10 \times 0.016 = 2.4 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Con el Dinamómetro : W = 0.6 Kgs.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{0.6 \text{ Kgs.}}{2.4 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 2,500 \text{ Kg/m}^3$$

Método del Pesado Hidrostático.- Según guía teórica. Se utiliza un recipiente graduado, agua y un Dinamómetro.

Muestra de Acero : Forma Irregular.

$$\gamma_m = \frac{Wm_1 \times \gamma_{\text{agua}}}{E}$$

Con el Dinamómetro

$$Wm_1 = 1.600 \text{ Kg}$$

$$Wm_2 = 1.385 \text{ Kg}$$

$$\text{También : } \gamma_{\text{agua}} = 997 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Luego : } E = Wm_1 - Wm_2 = 1.600 - 1.385 = 0.215 \text{ Kg.}$$

$$m = \frac{1.600 \text{ Kg} \times 997 \text{ Kg/m}^3}{0.215 \text{ Kg}} = 7,419.5 \text{ Kg/m}^3$$

Peso Específico y Gravedad Específica en Líquidos

Método del Hidrómetro.- Según guía teórica. Se utiliza una probeta

con agua y un Hidrómetro (mide Peso Específico).

Muestra de Agua Destilada

T = 27 °C , Rango del Hidrómetro : 900 - 1100 Kg/m³

$$G.E. = \frac{W_L}{W_{\text{Agua D.}}} = \frac{\gamma_L}{\gamma_{\text{Agua D.}}} = \frac{1010 \text{ Kg/m}^3}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 1.01$$

Muestra de Agua :

T = 27 °C , Rango del Hidrómetro : 900 - 1100 Kg/m³

$$G.E. = \frac{W_L}{W_{\text{Agua D.}}} = \frac{\gamma_L}{\gamma_{\text{Agua D.}}} = \frac{996 \text{ Kg/m}^3}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.996$$

Muestra de Aceite :

T = 27 °C , Rango del Hidrómetro : 800-950 Kg/m³

$$G.E. = \frac{W_L}{W_{\text{A.D.}}} = \frac{\gamma_L}{\gamma_{\text{A.D.}}} = \frac{830 \text{ Kg/m}^3}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.83$$

Utilización de la Balanza Westphal para
Líquidos

Vertir el líquido a medir en el cilindro cuidadosamente limpiado y secado de antemano. Parece lo más indicado llenar el cilindro con el líquido a medir hasta 2 a 2.5 cm. del borde superior.

Colocar el cilindro bajo el cuerpo de inmersión, variando la altura de la columna de la balanza, se sumerge el cuerpo de inmersión comple

tamente bajo la superficie del líquido, teniendo cuidado que el flotador no toque ni la pared ni el fondo del cilindro.

Se sobreentiende que en consecuencia de dicha manipulación se perturba el equilibrio de la balanza y a fin de restablecerlo se debe cargar el brazo con pesas corredizas, dado que el peso de la pesa corrediza más grande, es igual exactamente al del agua destilada de 20 °C desalojada por el cuerpo de inmersión; se restablece el equilibrio colgando al gancho del brazo de la balanza, esta misma pesa corrediza; si el líquido examinado es efectivamente agua destilada de 20 °C de temperatura.

No obstante, en cuanto se trata de un líquido más liviano que el agua, no se puede dejar la pesa corrediza más grande en el gancho, sino se le traslada a alguna de las divisiones del brazo de la balanza aún se halle bajo la raya control de la escala.

Sin embargo, en este caso la pesa no pasa por una entera unidad sino corresponderá a tantas décimas cuanto resulta el número de las divisiones de la posición de la pesa corrediza. La pesa corrediza siguiente, más pequeña, cuyo peso es la 1/10 parte de la pesa corrediza más grande, solo figuraría con su valor efectivo en la medición si; puesta en el gancho, restableciese el equilibrio.

Como se debe colocarla; no obstante, en una de las divisiones, claro - esté que allí no significaría más que una centésima parte.

A base de consideraciones similares, la pesa corrediza siguiente representará tantas milésimas partes; y la que sigue tantas diez milésimas partes como indica el número de orden de la división en que puede colocarse la pesa corrediza, mientras que la lengüeta de la balanza - queda en el medio de la escala o se para frente a ella. Es decir, que al restablecerle el estado de equilibrio, la pesa corrediza más gran-

de indica décimas y las siguientes centésimas, milésimas o diez milésimas respectivamente según el número de orden de la división donde han contribuido a restablecer el equilibrio. Si por ejemplo, el equilibrio ha sido alcanzado con la pesa corrediza más grande a la séptima división, la siguiente en la sexta, la subsiguiente en la segunda y la última en la tercera, la densidad relativa del equilibrio será de 0.7623.

En caso de que el líquido examinado sea más pesado que el agua destilada de 20 °C, se cuelga al gancho la pesa de compensación y una de las pesas corredizas de peso idéntico en alguna de las divisiones del brazo, donde equivaldrá a una décima, por la colocación de las siguientes pesas corredizas más pequeñas se consigue el restablecimiento del equilibrio de la balanza, destruido al sumergir el flotador en el líquido a examinar. La lectura se efectúa como antes. Es decir si el equilibrio fuera restablecido con la segunda pesa corrediza más grande colocada en la primera división, la siguiente más pequeña en la novena, la subsiguiente en la segunda y la última en la octava, la densidad relativa del líquido examinado será de 1.1928. Siendo lo mismo, la densidad relativa, el peso específico relativo o la gravedad específica.

Para calcular la densidad absoluta o el peso específico absoluto (o simplemente peso específico), se deduce a partir del valor leído anteriormente en la balanza.

Utilización de la Balanza Westphal para

Sólidos

Colgar al gancho del estribo de la balanza el platillo portapesas y enganchar en éste el platillo de inmersión, colocando en el primero

una pesa de 20 grs. La balanza debe hallarse en posición de equilibrio mediante la tuerca taradora.

Ubicar el material sólido a examinar cuyo peso debe ser menos de 20 grs. en el platillo de inmersión, sustituyendo en el platillo portapesas los 20 gramos alojados, por suficiente carga, para que la balanza vuelva a ocupar su posición de equilibrio. Sustrayendo, en este estado, de los 20 grs. de las pesas colocadas en el platillo portapesas, se obtiene el peso del objeto examinado.

A continuación sumergir el objeto colocado sobre el platillo de inmersión en el cilindro de medición (cubilete) más grande, llenado con agua destilada de 20 °C, por lo que se perturba, naturalmente, el estado de equilibrio. Con objeto de restablecerlo primero suspender en el gancho la pesa de compensación (16) del platillo de inmersión, luego, equilibrar la balanza con ayuda de las pesas corredizas. El valor numérico leído a base de la posición de las pesas corredizas colocadas dará la pérdida de peso del material examinado.

En conocimiento -según lo que antecede- del peso seco del material, - así como su pérdida de peso consecutiva a la inmersión en el agua, se obtiene la gravedad específica dividiendo el peso precedente con el indicado por la posición de las correderas. Si, por ejemplo, se ha determinado un peso seco de 7.82 g. y la pérdida del peso indicado - por las pesas corredizas se eleva a 0.92 la gravedad específica del material examinado se elevará a 8.5.

Los valores leídos en la balanza dan la densidad relativa con respecto al agua destilada de 20 °C. Este dato solo constituye un número - sin unidad de medición, pero la densidad absoluta y el peso específico cuyo valor numérico corresponde al valor de la primera, puede computarse de los datos obtenidos en la balanza.

Determinación de la Gravedad Específica y del Peso Específico de Líquidos por el Método de la Balanza Westphal

Experiencia (I) Con el Agua Destilada.

- 1.- Primeramente calibramos adecuadamente con sumo cuidado, la balanza.
- 2.- Procedemos luego a calcular su densidad relativa o gravedad específica.
- 3.- Lo cual nos dió los siguientes resultados

Temperatura ambiental	28 °C.
Temperatura de Agua Destilada	20 °C.
Lectura de la Balanza	1.0001

Experiencia (II) Con agua a diferente temperatura siempre usando la balanza Westphal.

- 1.- Utilizamos para esto un vaso de precipitación, un mechero a gas, un termómetro cuyo rango es de 0 °C a 250 °C y cuya sensibilidad es de 1/2 °C.
- 2.- Luego procedemos a calentar el agua y tomar su temperatura, dentro de un lapso conveniente obtenemos los siguientes resultados en la balanza :

°C	Gravedad Específica	Peso Específico (Kg/m ³)
26	0.9971	997.1
45	0.9903	990.3
55	0.9865	986.5
63	0.9820	982.0
70	0.9788	978.8
93	0.9642	964.2

Experiencia (III) Con el Kerosene a la temperatura de 29 °C (temperatura normal).

- 1.- Realizamos los mismos pasos que con el agua.
- 2.- La balanza nos da el siguiente dato:

$$\text{G.E.} = 0.8013 \quad \text{luego} \quad \gamma' = 801.3 \text{ Kg/m}^3$$

Nota : Con esta experiencia, estamos en condiciones de medir el peso específico, la densidad o la gravedad específica de cualquier sustancia por el método de la balanza Westphal.

Determinación del Peso Específico de Líquidos por el Método del Picnómetro

Experiencia (IV) Con el agua

- 1.- Ponemos el Picnómetro vacío, observando que el mismo esté completamente seco, de no ser así secarlo en una estufa (primero con el agua destilada y luego se repite para la muestra de agua).

$$\text{Peso del Picnómetro vacío} \quad W_1 = 28.2 \text{ gr.}$$

$$\text{Peso del Picnómetro vacío} \quad W_3 = 28 \text{ grs.}$$

- 2.- Temperatura del agua $26 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{Temperatura ambiental} \quad 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 3.- Pesamos el Picnómetro con el agua teniendo cuidado de llenarlo completamente hasta el capilar

$$\text{Peso del Picnómetro con el agua destilada} \quad W_2 = 77.8 \text{ gr.}$$

$$\text{Peso del Picnómetro con el agua} \quad W_4 = 77.5 \text{ gr.}$$

- 4.- Volumen del Picnómetro 50 cm^3

$$\text{Peso del Agua Destilada} \quad 49.8 \text{ gr.}$$

$$\text{Peso del agua} \quad 49.5 \text{ gr.}$$

5.- Hacemos el cálculo :

$$\text{G.E. } \frac{26 \text{ }^{\circ}\text{C}}{26 \text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1} = \frac{77.5 - 28}{77.8 - 28.2} = 0.998$$

$$\text{G.E. } \frac{26 \text{ }^{\circ}\text{C}}{15 \text{ }^{\circ}\text{C}} = \text{G.E. } \frac{26 \text{ }^{\circ}\text{C}}{26 \text{ }^{\circ}\text{C}} \times \frac{26 \text{ }^{\circ}\text{C}}{15 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 0.998 \times \frac{997.1}{999.04} = 0.996$$

Experiencia (V) Con Kerosene

1.- Seguimos los mismos pasos del que con el agua.

2.- Obtuvimos los siguientes resultados :

Peso del Picnómetro vacío	$W_1 = W_3 = 28 \text{ gr.}$
Temperatura ambiental	28 °C
Temperatura del Kerosene	27.5 °C.
Peso del Picnómetro con el Kerosene	$W_4 = 67 \text{ gr.}$
Peso del Picnómetro con el agua destilada	$W_2 = 75.6 \text{ gr.}$
Volumen del Picnómetro	50 cm.
Peso del Kerosene	39 gr.

$$\text{G.E. } \frac{27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1} = \frac{67 - 28}{75.6 - 28} = 0.819$$

$$\text{G.E. } \frac{27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{15 \text{ }^{\circ}\text{C}} = \text{G.E. } \frac{27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}} \times \frac{27.5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{15 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 0.819 \times \frac{996}{999.04} = 0.817$$

Nota : De esta manera también al igual que en la balanza Westphal,

estamos en condiciones de medir el peso específico de cualquier sustancia líquida por el método del picnómetro.

Conclusiones y Recomendaciones

- En los resultados obtenidos, como se han calibrado las muestras con el dinamómetro, implica que hemos medido pesos y por lo tanto lo que hemos determinado son los pesos específicos.
- Siendo la temperatura recomendada de medición 15 °C, algunas veces es necesario trabajar a una menor temperatura cuando se trata de líquidos volátiles y algunas veces a mayor temperatura cuando se trata de líquidos de viscosidad elevada.
- Cuando se requieren resultados de precisión, deberá corregirse los pesos por el empuje de flotación del aire.

V.2 DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD

Se pide.- Determinar la viscosidad de tres líquidos diferentes (Agua, Cloroformo y un Aceite Liviano).

Aparatos y Accesorios.- Viscosímetro Ostwald graficado en la guía teórica.

Datos Experimentales.- $P = 732 \text{ mm Hg.}$ $T = 25 \text{ °C.}$

<u>Agua Destilada</u>		<u>Cloroformo</u>		<u>Aceite</u>	
T °C	<u>Tiempo (t)</u>	T °C	<u>Tiempo (t)</u>	T °C	<u>Tiempo (t)</u>
25	15"	25	9"	25	320 seg.
30	13"	30	8.5"	30	300 seg.
50	10"	50	7.5"	50	210 seg.

Cálculos y Resultados.-

<u>T °C</u>	<u>d Agua Destilada</u>
25	0.9970 gr/cm ³
30	0.9954 gr/cm ³
50	0.9891 gr/cm ³

a) Determinación de las Densidades de las Muestras a las Temperaturas de Trabajo

- Para el Cloroformo

Datos : $B = 1.273 \times 10^{-3}$ $d^{15 \text{ °C}} = 1.0099 \text{ gr/cc}$

Fórmula :

$$d^{T \text{ °C}} = \frac{d^{T_0 \text{ °C}}}{1 - B (T_0 - T)}$$

Donde : T = Temperatura de Trabajo

$$T_0 = 15 \text{ °C}$$

T = 25 °C

$$d^{25 \text{ °C}} = \frac{1.0099}{1 - (1.273 \times 10^{-3}) (15-25)}$$

$$d^{25 \text{ °C}} = 0.9972 \text{ gr/cc}$$

T = 30 °C

$$d^{30 \text{ °C}} = \frac{1.0099}{1 - (1.273 \times 10^{-3}) (15 - 30)}$$

$$d^{30 \text{ °C}} = 0.991 \text{ gr/cc.}$$

$$\underline{T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$d^{50 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{1.0099}{1 - (1.273 \times 10^{-3})} \quad (15-50)$$

$$d^{50 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.9668 \text{ gr/cc.}$$

Para el aceite.-

Datos : $B = 1.602 \times 10^{-3}$

$$\underline{T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$d^{25 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{0.888}{1 - (1.602 \times 10^{-3})} \quad (15-25)$$

$$d^{25 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.874 \text{ gr/cc.}$$

$$\underline{T = 30 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$d^{30 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{0.888}{1 - (1.602 \times 10^{-3})} \quad (15-30)$$

$$d^{30 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.867 \text{ gr/cc.}$$

$$\underline{T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$d^{50 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{0.888}{1 - (1.602 \times 10^{-3})} \quad (15-50)$$

$$d^{50 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.841 \text{ gr/cc.}$$

b) Determinación de las Viscosidades Absolutas de las Muestras

$$\text{Fórmula : } \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2}$$

Para el Cloroformo

T = 25 °C

<u>Agua</u>	<u>Cloroformo</u>
$d_2 = 0.997 \text{ gr/cc}$	$d_1 = 0.9972 \text{ gr/cc.}$
$t_2 = 15 \text{ seg}$	$t_1 = 9 \text{ seg}$
$\mu_2 = 0.8937$	$\mu_1 = ?$

$$\mu_1 = \mu_2 \left(\frac{d_1 t_1}{d_2 t_2} \right)$$

$$\mu_1 = 0.8937 \frac{(0.9972) (9) \text{ gr/cc x seg}}{(0.9970) (15) \text{ gr/cc x seg}}$$

$$\mu_1 = 0.5363 \text{ cp.}$$

T = 30 °C

<u>Agua</u>	<u>Cloroformo</u>
$d_2 = 0.9954 \text{ gr/cc.}$	$d_1 = 0.991 \text{ gr/cc.}$
$t_2 = 13 \text{ seg}$	$t_1 = 8.5 \text{ seg}$
$\mu_2 = 0.8007 \text{ cp}$	$\mu_1 = ?$

$$\mu_1 = 0.8007 \text{ cp.} \frac{(0.991) (8.5)}{(0.9954) (13)}$$

$$\mu_1 = 0.5212 \text{ cp.}$$

T = 50 °C

<u>Agua</u>	<u>Cloroformo</u>
$d_2 = 0.981 \text{ gr/cc.}$	$d_1 = 0.9668 \text{ gr/cc}$
$t_2 = 10 \text{ seg}$	$t_1 = 7.5 \text{ seg}$

$$\mu_2 = 0.5494 \text{ cp.}$$

$$\mu_1 = ?$$

$$\mu_1 = 0.5494 \text{ cp.} \frac{(0.9668) (7.5)}{(0.9891) (10)}$$

$$\mu_1 = 0.4028 \text{ cp.}$$

Para el aceite

T = 25 °C

Agua

Aceite

$$d_2 = 0.9970 \text{ gr/cc.}$$

$$d_1 = 0.874 \text{ gr/cc.}$$

$$t_2 = 15 \text{ seg.}$$

$$t_1 = 320 \text{ seg.}$$

$$\mu_2 = 0.8937 \text{ cp.}$$

$$\mu_1 = ?$$

$$\mu_1 = 0.8937 \text{ cp.} \frac{(0.874) (320)}{(0.9970) (15)}$$

$$\mu_1 = 16.70 \text{ cp.}$$

T = 30 °C

Agua

Aceite

$$d_2 = 0.9954 \text{ gr/cc.}$$

$$d_1 = 0.867 \text{ gr/cc.}$$

$$t_2 = 13 \text{ seg}$$

$$t_1 = 300 \text{ seg}$$

$$\mu_2 = 0.8007 \text{ cp.}$$

$$\mu_1 = ?$$

$$\mu_1 = 0.8007 \text{ cp.} \frac{(0.867) (300)}{(0.9954) (13)}$$

$$\mu_1 = 16.09 \text{ cp.}$$

T = 50 °C

Agua

$d_2 = 0.9891 \text{ gr/cc}$

$t_2 = 10 \text{ seg.}$

$\mu_2 = 0.5494 \text{ cp.}$

Aceite

$d_1 = 0.841 \text{ gr/cc.}$

$t_1 = 210 \text{ seg.}$

$\mu_1 = ?$

$$\mu_1 = 0.5494 \text{ cp.} \frac{(0.841) (210)}{(0.9891) (10)}$$

$$\mu_1 = 9.80 \text{ cp.}$$

c) Determinación de las Viscosidades Cinemáticas de las muestras

Fórmula :

$$D = \frac{\mu}{d}$$

Para el Cloroformo

T = 25 °C

$$D_1 = \frac{\mu_1}{d_1}$$

$$D_1 = \frac{0.5363 \text{ cp.}}{0.9972 \text{ gr/cc.}}$$

$$D_1 = \frac{0.5363 \times 10^{-2}}{0.9972} \frac{\frac{\text{gr}}{\text{seg cm}}}{\frac{\text{gr}}{\text{cc}}}$$

$$D_1 = 5.38 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$$

$$D_1 = 5.38 \times 10^{-3} \text{ stoke}$$

$$D_1 = 5.30 \times 10^{-1} \text{ cs.}$$

T = 30 °C

$$D_1 = \frac{0.5212 \text{ cp.}}{0.991 \text{ gr/cc.}}$$

$$D_1 = 5.26 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$$

$$D_1 = 5.26 \times 10^{-1} \text{ cs.}$$

$$D_1 = 5.26 \times 10^{-1} \text{ cs.}$$

T = 50 °C

$$D_1 = \frac{0.4028 \text{ cp.}}{0.9668 \text{ gr/cc.}}$$

$$D_1 = 4.17 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$$

$$D_1 = 4.17 \times 10^{-1} \text{ cs.}$$

Para el aceite

T = 25 °C

$$D_1 = \frac{16.7 \times 10^{-2}}{0.874} \frac{\frac{\text{gr}}{\text{sex} \times \text{cm}}}{\frac{\text{gr}}{\text{cc}}}$$

$$D_1 = 19.11 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$$

$$D_1 = 19.11 \times 10^{-2} \text{ stoke}$$

$$D_1 = 19.11 \text{ cs.}$$

T = 30 °C

$$D_1 = \frac{16.09 \text{ cp.}}{0.867 \text{ gr/cc.}}$$

$$D_1 = 18.59 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$$

$$D_1 = 18.59 \text{ cs.}$$

T = 50 °C

$$D_1 = \frac{9.8 \text{ cp}}{0.841 \text{ gr/cc.}}$$

$$D_1 = 11.65 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$$

$$D_1 = 11.65 \text{ cs.}$$

d) Determinación de las Viscosidades relativas de las muestras

Fórmula : $\eta_{\text{rel}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$

Para el Cloroformo

T = 25 °C

$$\eta_{rel.} = \frac{0.5363 \text{ cp.}}{0.8937 \text{ cp.}} = 0.60$$

T = 30 °C

$$\eta_{rel.} = \frac{0.5212 \text{ cp.}}{0.8007 \text{ cp.}} = 0.65$$

T = 50 °C

$$\eta_{rel.} = \frac{0.4028 \text{ cp.}}{0.5494} = 0.73$$

Para el aceite

T = 25 °C

$$\eta_{rel.} = \frac{16.7 \text{ cp.}}{0.8937 \text{ cp.}} = 18.69$$

T = 30 °C

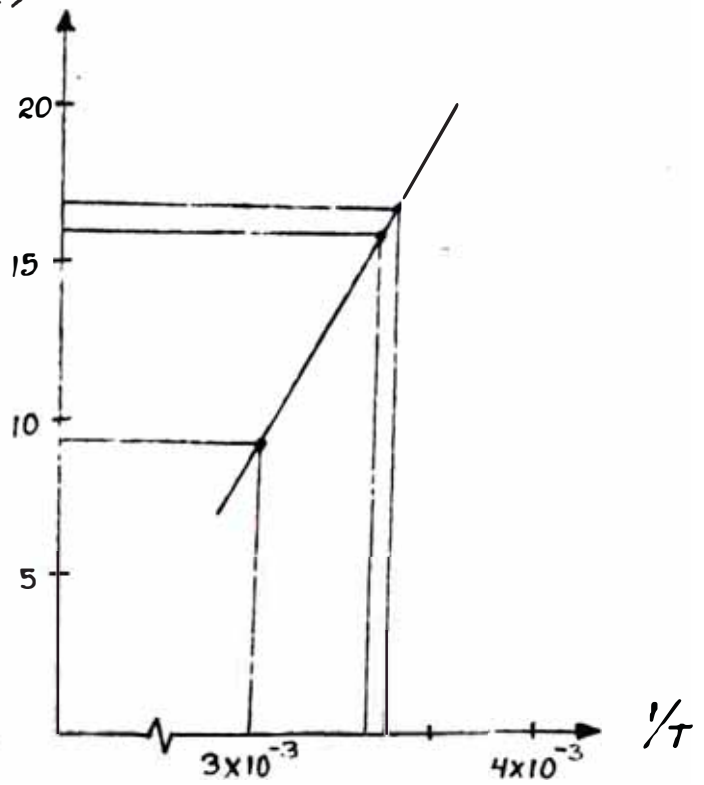
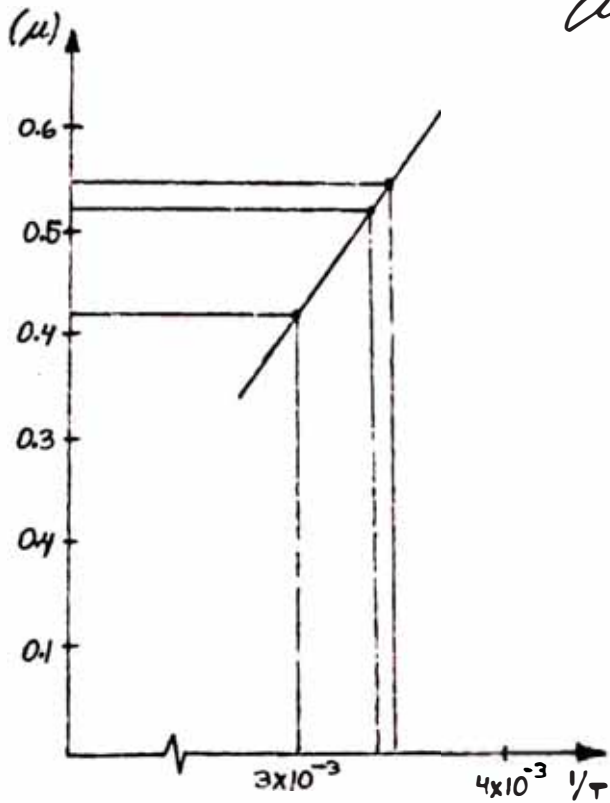
$$\eta_{rel.} = \frac{16.09 \text{ cp.}}{0.8007 \text{ cp.}} = 20.09$$

T = 50 °C

$$\eta_{rel.} = \frac{9.8 \text{ cp.}}{0.5494 \text{ cp.}} = 17.84$$

e) Gráfico de las Viscosidades Absolutas vs. la Inversa de las Temperaturas absolutas para las muestras

<u>T (°C)</u>	<u>Cloroformo</u>		<u>μ (cp)</u>	<u>Aceite</u>	
	<u>μ (cp)</u>	<u>1/T (1/K)</u>		<u>1/T (1/K)</u>	
25	0.5363	3.36×10^{-3}	16.70	3.36×10^{-3}	
30	0.5212	3.30×10^{-3}	16.09	3.30×10^{-3}	
50	0.4028	3.09×10^{-3}	9.80	3.09×10^{-3}	



Conclusiones y Recomendaciones.

- Vemos que ambas tendencias tienen el comportamiento de una línea recta.
- El aceite tiene una mayor pendiente que el cloroformo, lo que implica que el cambio de viscosidad del aceite con la temperatura, es mayor.
- También podemos apreciar que para los líquidos, la viscosidad disminuye conforme aumenta la temperatura.
- Hemos comprobado que el Viscosímetro Ostwald es aplicable únicamente a líquidos poco viscosos y para aceites livianos.

EXP. VI. DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLAMACION Y DE COMBUSTION.
MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y AREA

VI.1 DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLAMACION Y DE COMBUSTION

Se pide.- Determinar el Punto de inflamación y de Combustión del kerosene y de un aceite liviano.

Aparatos y Accesorios.- Un vaso abierto de Cleveland implementado en el Laboratorio. Cuyos componentes y disposición se muestra en la fig. de la guía teórica.

Datos Experimentales.- Condiciones Ambientales

$$P = 732 \text{ mm Hg}$$

$$T = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

<u>Punto de Inflamación</u>		<u>Punto de Combustión</u>
Kerosene	55 °C	62 °C
Aceite Liviano	85 °C	102 °C

Conclusiones y Recomendaciones.

- El vaso abierto de Cleveland no es recomendado para aceites combustibles cuyo punto de inflamación esté por debajo de 80 °C, sin embargo por no contar con un dispositivo experimental acabado, se ha probado con el kerosene, ya que la mayoría de aceites lubricantes tiene un punto de inflamación bastante alto.

Por otro lado se ha seleccionado un aceite liviano, cuyo punto de inflamación y combustión nos ha sido posible alcanzar.

- Es recomendable mejorar el mecanismo de llama piloto que permita cruzar la llama en forma adecuada, y en el tiempo recomendado. Igualmente hay que mejorar el aislamiento de la fuente de calor.

VI.2 MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y AREA

Se pide.- Efectuar diversas mediciones con los elementos medidores que se dispongan.

Instrumentos de Medición

- Dos Vernier de 8" ó 20 cms.
- Un contador de revoluciones con su cronómetro.
- Un Planímetro de brazo trazador ajustable.

Datos Experimentales

Se han calibrado tres piezas diferentes con el Vernier, con todas sus dimensiones, tanto en unidades métricas como inglesas.

- Se han tomado las RPM en tres ejes con diferentes velocidades con un contador de revoluciones y un cronómetro.
- Se han efectuado determinaciones de Area de figuras regulares e irregulares, grandes y pequeñas; y con el pivote dentro y fuera de ellas.

Conclusiones y Resultados.

- Se ha creído conveniente no poner los resultados de las diferentes mediciones por considerarlas de lectura directa y elemental. Sin embargo como resultados de estas mediciones se han recogido algunas sugerencias.

Para el uso de Vernier, la presión de las tenazas sobre la pieza a calibrar debe ser ligera.

- Tanto en el contador de revoluciones, como en el Tacómetro se generan distorsiones en la lectura, cuando la presión de la punta del jebe que hace contacto con el eje, no es la suficiente. Esta distorsión se debe al resbalamiento que se produce al no existir la suficiente presión.

- En el caso del Planímetro se ha efectuado, previamente a su utilización, la calibración del mismo.
 - 1) Para lo cual se debe chequear si hay error instrumental, calibrando una figura de área conocida.
 - 2) Si lo hay, ver si el eje de la rueda está paralelo al brazo trazador.
 - 3) También chequear si son correctos, tanto el diámetro de la rueda, como la longitud del brazo trazador.
- Para determinar o comprobar el Área de Círculo cero deberá efectuarse la medición de una área cualquiera con el pivote dentro y fuera de dicha figura.

EXP. VII TERMOQUIMICA - PRESTON DE VAPOR - CALOR LATENTE

VII.1

TERMOQUIMICA

Se pide.- Determinar la capacidad calorífica del sistema y el calor de reacción.

Aparatos e Instrumentos.- Los señalados en la guía teórica para cada experiencia.

Determinación de la Capacidad Calorífica

Datos Experimentales.-

<u>N° de Experiencias</u>	<u>T°H₂O Fría (T_f)</u>	<u>T°H₂O Helado (T_h)</u>	<u>T°Mezcla (T_e)</u>
1ra.	25.8 °C	8 °C	16.8 °C
2da.	24.2 °C	8 °C	16.6 °C
3ra.	25.5 °C		17.1 °C

Cálculos y Resultados

a) Primera Prueba

$$c = m c_v \frac{(T_e - T_h)}{(T_f - T_e)}$$

$$c = 100 (1) \frac{(16.8 - 8)}{(25.8 - 16.8)}$$

$$c = 97.777 \text{ cal } ^\circ\text{C}$$

Luego :

$$c' = c + m c_v$$

$$c' = 97.777 + 100 (1)$$

$$c' = 197.777 \text{ cal.}$$

b) Segunda Prueba

$$c = m c_v \frac{(T_e - T_h)}{(T_f - T_e)}$$

$$c = 100 (1) \frac{(16.6 - 8)}{(24.2 - 16.6)}$$

$$c = 113.158 \text{ cal } ^\circ\text{C}$$

Luego :

$$c' = c + m c_v$$

$$c' = 113.152 + 100 (1)$$

$$c' = 213.158 \text{ cal.}$$

c) Tercera Prueba

$$c = m c_v \frac{(T_e - T_h)}{(T_f - T_e)}$$

$$c = 100 (1) \frac{(17.1 - 8)}{(25.5 - 17.1)}$$

$$c = 108.333 \text{ cal } ^\circ\text{C}$$

Luego :

$$c' = c + m c_v$$

$$c' = 108.333 + 100 (1)$$

$$c' = 208.333 \text{ cal.}$$

Determinación del Calor de Reacción

Datos Experimentales.-

$$\frac{T_4}{}$$

$$29.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{T_3}{}$$

$$25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{M}{}$$

$$0.05 \text{ mol}$$

Donde :

T_4 \longrightarrow Temperatura final del sistema

T_3 \longrightarrow Temperatura de la solución del Cu SO_4

M \longrightarrow Número de moles del Cu SO_4

c' \longrightarrow Capacidad calorífica del metal y del calorímetro.

Cálculos y Resultados

a) Primera Prueba

$$c' = 197.7$$

$$c_T = c' + c_m$$

$$q = \frac{c_T (T_4 - T_3)}{M}$$

$$c_T = 197.7 + 0.3$$

$$c_m = 6 \text{ cal /mol} \times 0.05$$

$$c_T = 198$$

$$c_m = 0.3 \text{ cal}$$

$$\text{Luego :} \quad q = \frac{198 (29.9 - 25 \text{ }^\circ\text{C})}{0.05}$$

$$q = 19,404 \text{ cal } ^\circ\text{C/mol}$$

b) Segunda Prueba

$$c' = 213.158$$

Luego :

$$c_T = 213.158 + 0.3$$

$$q = c_T \frac{(T_4 - T_3)}{M}$$

$$c_T = 213.458$$

$$q = 213.458 \frac{(29.9 - 25)}{0.05}$$

$$q = 20,918.884 \text{ cal } ^\circ\text{C/mol}$$

c) Tercera Prueba

$$c' = 208.333$$

$$c_T = 208.333 + 0.3$$

$$c_T = 208.633$$

Luego :

$$q = c_T \frac{(T_4 - T_3)}{M}$$

$$q = 208.633 \frac{(29.9 - 25)}{0.05}$$

$$q = 20,446.034 \text{ cal } ^\circ\text{C/mol}$$

Conclusiones y Recomendaciones. -

- Para la capacidad calorífica, los diferentes resultados obtenidos se debe a que se han utilizado valores diferentes de T_f y T_h .
- En el calor de reacción para obtener el resultado; utilizamos Cu SO_4 diluido, siendo su temperatura de 25°C que es la temperatura inicial, al hacerlo reaccionar con Zn se formó Zn SO_4 con una temperatura de 29.9°C que es la temperatura final. A partir de es tos datos más valores c' obtenidos previamente, se obtuvo el calor de reacción (q).
 - La variación en los resultados del calor de reacción se deben a la variación de las temperaturas T_f y T_h . Es decir porque fueron tomados en diferentes momentos del medio ambiente.
 - El calor de reacción está en razón inversa al número de moles del sulfato de cobre.
 - Se recomienda que antes de empezar las prácticas, los materiales deben estar bien limpios y esterilizados.

VII.2

PRESION DE VAPOR - CALOR LATENTE

Se pide.- Determinar la presión de vapor y el calor latente de vaporización del agua.

Aparatos y Accesorios.- Los descritos en la guía teórica.

Datos y Resultados.- Condiciones ambientales :

$$P = 732 \text{ mm Hg}$$

$$T = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

DATOS		RESULTADOS			
h (cm)	T (°C)	T (K)	P_v 9mm Hg)	$\log P_v$	$1/T \times 10^{-3}$ (1/K)
0	99	372	732	2.865	2.688
2	98	371	712.08	2.852	2.695
4.6	97	370	686.19	2.836	2.703
7.2	96	369	660.29	2.820	2.710
9.8	95	368	634.40	2.802	2.717
11.2	94	367	618.47	2.930	2.725
13.6	93	366	596.56	2.776	2.732
16	92	365	572.66	2.758	2.740
17.2	91	364	560.71	2.749	2.747
19.2	90	363	540.79	2.733	2.755
20.8	89	362	524.86	2.720	2.762

Cálculos.-

a) Con los datos de presión y temperatura construir una gráfica

$$\log P_v \cdot V_s \cdot 1/T$$

Datos : $P_{\text{atm.}} = 732 \text{ mm Hg}$

$$\gamma_{\text{Hg}} = 13.54 \text{ gr/cc.}$$

Fórmula : $P_v = P_{atm.} - \gamma'_{Hg.} \times h$

Para h = 0

$$P_v = 732 \text{ mm Hg} - 0$$

$$P_v = 732 \text{ mm Hg}$$

Para h = 2

$$P_v = 732 \text{ mm Hg} - (13.54 \text{ gr/cc}) (2 \text{ cm}) \frac{760 \text{ mm Hg}}{1033.3 \text{ gr/cm}^2}$$

$$P_v = 712.082 \text{ mm Hg}$$

Para h = 4.6

$$P_v = 732 \text{ mm Hg} - (13.54 \text{ gr/cc}) (4.6 \text{ cm.}) \frac{760 \text{ mm Hg.}}{1033.3 \text{ gr/cm}^2}$$

$$P_v = 686.190 \text{ mm Hg}$$

Para h = 7.2

$$P_v = 732 \text{ mm Hg} - (13.54 \text{ gr/cc.}) (7.2 \text{ cm.}) \frac{760 \text{ mm Hg}}{1033.3 \text{ gr/cm}^2}$$

$$P_v = 660.296 \text{ mm Hg.}$$

Los demás cálculos se efectúan de la misma manera.

b) Cálculo del calor molar de vaporización (H_v)

Tomando dos puntos de la gráfica, hallamos la pendiente "m"

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Donde : $Y_1 = 2.836$

$$Y_2 = 2.733$$

$$X_1 = 2.703 \times 10^{-3}$$

$$X_2 = 2.755 \times 10^{-3}$$

Reemplazando :

$$m = \frac{2.733 - 2.836}{2.755 \times 10^{-3} - 2.703 \times 10^{-3}}$$

$$m = - 1980.769$$

Además :

$$m = \frac{- H_V}{2.303 R}$$

$$\text{ya que : } \text{Log. } P_V = - \frac{H_V}{2.303 R} (1/T)$$

Donde : $m = - 1980.769$

$$R = 1.98 \text{ cal/mol}$$

$$H_V = - (2.303 R) m$$

$$H_V = - (2.303) (1.98 \text{ cal/mol}) (- 1980.769)$$

$$H_V = 9032.188 \text{ cal/mol}$$

Hallando el porcentaje de error

$$\text{Fórmula : } \% \text{ Error} = \frac{\Delta H_{vt} - \Delta H_v \text{ exp}}{H_{vt}} \times 100$$

Donde :

$$\Delta H_{vt} = 9710 \text{ cal/mol (calor de vaporización teórica)}$$

$$\Delta H_v \text{ exp.} = 9032.188 \text{ cal/mol (calor de vaporización experimental)}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{9710 - 9032.188}{9710} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 6.98 \%$$

c) Expresión Matemática de Variación de la Presión de Vapor con la Temperatura

$$\text{Log } P_v = \left(\frac{-\Delta H_v}{2.303 R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + c$$

La P_v de un líquido es directamente proporcional a la temperatura.

Al aumentar la temperatura se requiere mayor presión para establecer un equilibrio entre el vapor y el líquido.

Esta variación de la presión con la temperatura se expresa matemáticamente con la ecuación de Clausius-Clapeyron y debe compararse con la Ecuación de una recta con pendiente negativa.

En la fórmula hallamos "c".

Tomando : $m = -1980.769$

$$\text{Log. } P_v = 2.836 \qquad \frac{1}{T} = 2.703 \times 10^{-3}$$

Reemplazando :

$$2.836 = (-1980.769) (2.703 \times 10^{-3}) + c$$

$$c = 8.190$$

Entonces :

$$\underbrace{\text{Log } P_v}_Y = \underbrace{(-1980.769)}_m \underbrace{\left(\frac{1}{T} \right)}_X + \underbrace{8.190}_c$$

Como podemos ver comparando con la Ecuación de una recta :

$$Y = mX + c.$$

d) Hallar el punto de ebullición gráficamente

La intersección del punto en el eje Y_T es igual a 2.688×10^{-3} ,

Donde

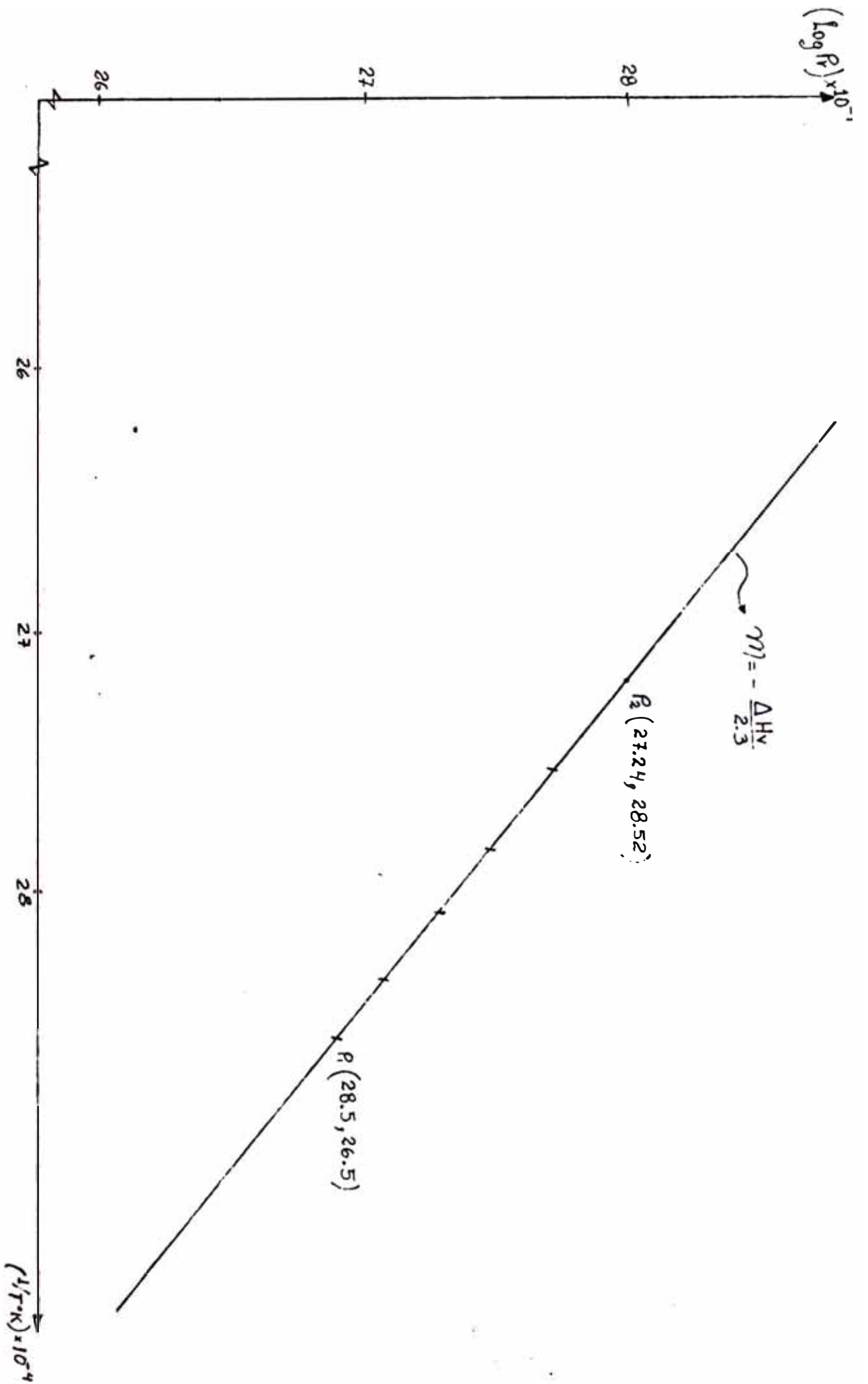
$$T = 372 \text{ K}$$

Convirtiendo a grados centígrados

$T = 99 \text{ }^\circ\text{C}$, siendo este el punto de ebullición.

Conclusiones.-

- Al aumentar la T° es mayor el número de moléculas que adquieren la energía suficiente para escapar de la fase líquida y en consecuencia se precisa mayor presión para establecer un equilibrio entre el vapor y el líquido. Además la P_v de un líquido es constante a una temperatura dada, pero aumenta si la temperatura aumenta, y disminuye si la temperatura disminuye; es decir es directamente proporcional a la temperatura.
- Se llega a obtener la presión de vapor de un líquido cuando el líquido y el vapor están en equilibrio, en función de la temperatura más no de las cantidades de líquido y vapor presentes.
- El punto de ebullición de un líquido es la temperatura a la cual su presión de vapor iguala a la externa ejercida sobre la superficie.



EXP. VIII. FUERZA ELECTROMOTRIZ DE CELDAS ELECTROQUIMICAS

BATERIAS. ANALISIS DEL AGUA

VIII.1 FUERZA ELECTROMOTRIZ DE CELDAS ELECTROQUIMICAS -BATERIAS

Se pide.- Verificar la fuerza electromotriz generada con una celda galvánica, tipo pila Daniels. Aplicar el principio de Electrólisis y efectuar un recubrimiento de niquelado sobre aluminio. Efectuar mediciones elementales con una batería y comprobar sus principios de funcionamiento.

Aparatos y Materiales.- Los mencionados en la guía teórica.

Fuerza Electromotriz en Celdas Galvánicas

Datos Experimentales.-

Se ha implementado la disposición de una celda galvánica, tipo pila Daniels (Cu - Zn) y mediante un Voltímetro se ha dado lectura a la fuerza electromotriz generada que corresponde a 1.08 voltios para una misma concentración de los iones y a 1.15 para una concentración de

$$[Zn^{++}] = 1 \text{ M} \quad \text{y} \quad [Cu^{++}] = 0.01 \text{ M}$$

Comprobación Teórica.-

De la Ecuación de Nerst :

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Estado Oxidado}]}{[\text{Estado Reducido}]}$$

Convirtiendo a logaritmo de base 10.

$$E = E^{\circ} - \frac{2.3 RT}{nF} \log. \frac{[\text{Estado Oxidado}]}{[\text{Estado Reducido}]}$$

$$E = E^{\circ} - \frac{2.3 RT}{nF} \text{Log.} \frac{[Cu^{++}]}{[Zn^{++}]}$$

Donde : $E^{\circ} = 1.10$ voltios

$n = 2$

$T = 25^{\circ}C = 298$ K

$F = 23,060$ cal/voltio

$R = 1.98$ cal/mol-grado

Luego :

$$E = E^{\circ} - \frac{0.059}{n} \text{Log.} \frac{[Cu^{++}]}{[Zn^{++}]}$$

Quando las concentraciones de los iones productos y reaccionantes son las mismas.

$$E = E^{\circ} - \frac{0.059}{2} \text{Log.} 1$$

$$E = E^{\circ} \quad \rightarrow \quad E = 1.10 \text{ voltios.}$$

Quando las concentraciones son : $[Zn^{++}] = 1$ M y $[Cu^{++}] = 0.01$ M

$$E = E^{\circ} - \frac{0.059}{2} \text{Log} \left(\frac{0.01}{1} \right)$$

$$E = E^{\circ} - \frac{0.059}{2} (-2) \quad E = E^{\circ} + 0.059$$

$$E = 1.10 + 0.06 \quad E = 1.16 \text{ voltios}$$

Conclusiones.

Como podemos apreciar los valores experimentales resultan bastante cercanos a los resultados teóricos.

- También podemos apreciar que cuando las concentraciones de los iones son iguales el valor de la fuerza electromotriz es igual al de la fuerza electromotriz estandar.
- En general si la concentración del ión producto aumenta o disminuye

la del ión reaccionante, la fuerza electromotriz aumenta y viceversa.

- El amperímetro indica la dirección del flujo de electrones.

Pasos para realizar un revestimiento sobre aluminio (25)

Son los siguientes :

- 1.- Elimínese la grasa.
- 2.- Enjuagarse con agua limpia y fría.
- 3.- Sumérgase durante 10 a 15 seg. en 1 parte de ácido fluorhídrico de 48 a 52 % y 9 partes de agua.
- 4.- Enjuagarse con agua fría y limpia.
- 5.- Sumérgase en la siguiente solución Cloruro de Niquel 277 gs., Hcl (Densidad = 1.18) 0.2 lts., agua 1 lt., temperatura 24 °a 27°C.

El tiempo de inmersión tiene que fijarse con gran cuidado, ya que este es el paso más importante del proceso. Esto se consigue revistiendo electrolíticamente una serie de muestras con diferentes tiempos de inmersión y doblándolas o rompiéndolas. Una inmersión de 35 seg. suele dar buenos resultados, aunque los factores como la temperatura, la pureza de los productos químicos contenidos en el baño de inmersión, y el temple y el pulimento del metal revestido afectan al tiempo necesario.

La velocidad con que actúe la inmersión puede regularse por la cantidad de ácido y la temperatura.

Por lo general, es conveniente fijar un período de inmersión de 15 a 40 seg. en los trabajos de fabricación en serie.

- 6.- Enjuáguese con agua fría y limpia.
- 7.- Niquélese con una densidad de corriente de 1.6 amp/dm^2 y con la siguiente composición del baño de niquelado : Sales puras de níquel = 142 gr/Lt., Sulfato de Magnesio = 75 gr/lit, Cloruro de amonio = 15 gr/lit, ácido bórico = 15 gr/lit. El tiempo de inmersión en el baño se determinará sobre la base de obtener la resistencia deseada a la corrosión. Se sugiere un tiempo de niquelado de 1 hora.
- 8.- Enjuáguese en agua fría y séquese mediante inmersión en agua caliente.
- 9.- Púlase el Niquelado.
- 10.- Límpiase y aplíquese el revestimiento electrolítico del otro metal si desea.

BATERIAS

Aparatos e Instrumentos

- Baterías de 6 y 12 voltios.
- Baterías Seccionadas-
- Un Volti-amperímetro.
- Un Densímetro
- Una Regla Metálica.

Datos Experimentales.-

- Se ha efectuado la comprobación del voltaje de una batería, mediante un voltímetro, y ésta ha dado 11.8 voltios.
- Se ha comprobado la densidad del electrolito en cada celda, mediante un densímetro, resultando los siguientes valores :

<u>CELDA</u>	1	2	3	4	5	6
<u>DENSIDAD</u>	1190	1198	1204	1200	1196	1202

El Electrólito se encuentra a aproximadamente 6mm. por encima de las placas.

CONCLUSIONES Y RESULTADOS. -

- Una Batería viene a ser un conjunto de celdas galvâneas dispuestas en serie, en donde el peróxido de plomo hace las veces de ánodo (+), el plomo esponjoso, las veces de cátodo (-), inmersos en una solución de ácido sulfurico con agua destilada, que se llama electrolito.
- Cada celda ó elemento genera un voltaje comprendido entre 2.4 y 1.8 voltios. En el caso de nuestra batería le corresponde un voltaje de aproximadamente 1.97 voltios.
- Se dice que una batería esta cruzada, cuando se da lugar a un cortocircuito, generado por el excesivo desprendimiento del sulfato de plomo que se forma cuando se descarga por completo la batería, al poner en contacto este sedimento las placas positivas y negativas.
- La descomposición del agua del electrolito en gases de hidrógeno y oxigeno, originan burbujas en la superficie del electrolito.

to, siendo esto una indicación de que la batería ya se terminó de cargar.

Las lecturas del densímetro, nos dan el estado de carga de la batería y nos indica si debemos someter a esta a un proceso de regeneración para volver a sus componentes y concentraciones recomendadas. En el caso de nuestra batería, podemos deducir - de las lecturas del densímetro, que está a media carga.

VIII.2 ANALISIS DEL AGUA.

Se pide.- Determinar los sólidos, la dureza, la alcalinidad y el P.H. del agua del caldero, antes y después de la regeneración.

1) Método simple para determinar los sólidos totales.- Por evaporación y enfriamiento del agua, según método descrito anteriormente nos dá : Utilizando una muestra de agua sin filtrar una cápsula de porcelana, una balanza analítica, una estufa - y un calentador eléctrico indirecto con baño de agua.

$P.C._v$ = Peso cápsula vacía = 49.59484 gr.

$P.C._a$ = Peso cápsula con agua = 59.61000 gr.

$P.C._s$ = Peso cápsula con sólidos = 49.62653 gr. (después de e vaporada toda el agua).

Residuo de sólidos totales = $P.C._x - P.C._v = 49.62653$
 $49.59484.$

= 0.03169 gr. = 31.69 mg.

Como se ha determinado 31.69 mg. en 10 cm³ de agua.

En 1000 cm³ = 1 litro de agua habrán 3,169 mg. de sólidos totales.

LUEGO Sólidos totales = 3,169 ppm.

2) Determinación de sólidos disueltos totales (S.D.T.).- Al igual

que el proceso anterior, solamente teniendo en cuenta que la muestra de agua sea filtrada previamente en papel celulosico.

$$\begin{aligned}
 P.C._v &= 50.74352 \text{ gr.} & S.D.T. &= P.C._s - P.C._v \\
 P.C._a &= 60.41635 \text{ gr.} & &= 50.74695 - 50.74352 \\
 P.C._s &= 50.74695 \text{ gr.} & &= 0.00343 \text{ gr} = 3.43 \text{ mg.}
 \end{aligned}$$

Como estos S.D.T. se han encontrado en una solución de 10 cm³ de agua.

En 1 Litro de agua corresponde 343 mg de S.D.T.

LUEGO: S.D.T. = 343 ppm.

3) Determinación de los sólidos en suspensión.

$$\begin{aligned}
 \text{Sólidos en suspensión} &= \text{Sólidos totales} - S.D.T. \\
 &= 3,169 \text{ ppm} - 343 \text{ ppm.}
 \end{aligned}$$

LUEGO : Sólidos en suspensión = 2,826 ppm.

4) Otros métodos para determinar los S.D.T.

- Método del Hidrómetro : Tomando una muestra de agua filtrada.

$$S.D.T. = 323 \text{ ppm.}$$

- Método del medidor de conductividad: Igualmente tomando una muestra de agua filtrada.

$$\text{Lectura del Instrumento} \longrightarrow L = 414.7 \frac{1}{u \Sigma}$$

LUEGO : S.D.T. = 0.75 x 414.7

S.D.T. = 311 ppm.

Determinación de la dureza total del agua

- 1) Por el método EDTA .- Por las durezas bajas del agua para el caldero cada gota del reactivo EDTA que equivale a 17.9 mg / Litro se ha dividido en 2 partes que equivalen ha aproximadamente 9 mg./ltr. c/parte. y según el método descrito en la guía teórica.

Muestra A (Antes de Regeneración)

Dureza = 36 ppm.

Muestra B (Después de la Regeneración)

Dureza = 9 ppm.

Determinación de la Alcalinidad del Agua

- 1) Cálculo de la Alcalinidad Parcial (P).- Según método descrito - en la guía teórica.

Muestra A (Antes de Regenerar) : Con indicador de Fenolftaleina y valoración con ácido sulfúrico 0.02 N.

Alcalinidad (P), como Ca CO₃ (p.p.m.) = $\frac{0 \text{ ml. de ácido} \times 1000}{50 \text{ ml.}}$

P = 0

Muestra B (Después de Regenerada): Igual que la anterior.

$$P = \frac{0.5 \text{ m.l. de ácido} \times 1000}{50 \text{ ml.}}$$

$$P = 10$$

2) Cálculo de la Alcalinidad Total (M)- Según método descrito en -
la guía teórica.

Muestra A (Antes de Regenerar) : Con indicador de anaranjado-
de,metilo y valoración con ácido sulfúrico 0.02 N.

$$\text{Alcalinidad (M), como Ca CO}_3 \text{ (p.p.m.)} = \frac{9.75 \text{ ml. de ácido} \times 1000}{50 \text{ ml.}}$$

$$M = 195 \text{ p.p.m.}$$

Muestra B (Después de Regenerar): Igual que el anterior.

$$M = \frac{5.5 \text{ ml. de ácido} \times 1000}{50 \text{ ml.}}$$

$$M = 110 \text{ p.p.m.}$$

Determinación del P.H.

1) Método Electrométrico (P.H. metro). Según método descrito en la

guía teórica, con un P.H. metro eléctrico

Muestra A P.H. = 8

Muestra B P.H. 7.5.

2) Método colorimétrico (Lámina indicadora P.H.)

Muestra A Color verde : P.H. = 8

Muestra B Color verde amarillo : P.H. = 7 - 7.5.

Conclusiones y Recomendaciones

- En los tres primeros métodos para la determinación de los sólidos hay que tener en cuenta que las muestras de agua no son exactamente de 10 cm^3 , lo que implica una pequeña corrección en los resultados de la dureza.
- La diferencia en los resultados de los S.D.T., se atribuye en parte a la eficiencia de filtrado del papel celulósico y a la lectura del hidrómetro que no es exacta, considerando que el método más exacto es el conductímetro.
- En la determinación de la alcalinidad parcial del agua, el resultado $P = 0$ implica que la muestra "A" no es alcalina a la fenolftaleína y no contiene hidróxidos alcalinos y carbonatos. Mientras que la otra muestra "B" que es alcalina a la fenolftaleína (Parcial) al anaranjado de metilo (total), contiene hidróxidos alcalinos y carbonatos aparte de los bicarbonatos que son menos alcalinos.
- El método electrométrico es más exacto que el colorimétrico.

CAPITULO 5

DESARROLLO Y ADECUACION DEL "LABORATORIO DE ENERGI A II"

5.1 Manual de Experiencias del Curso de Laboratorio de Energía II

En esta parte del proyecto se presenta la segunda guía - teórica - práctica que comprende las experiencias a realizarse a partir de la capacidad instalada en las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes, en lo que respecta a "Evaluación de Maquinarias y Dispositivos Hidráulicos" principalmente.

LABORATORIO DE ENERGIA II

CONTENIDO

- I. Descripción General de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes - Evaluaciones Preliminares.
- II. Medición de la Humedad - Determinación de los estados de vapor
- III. Flujos - Medición de Caudales.
- IV. Flujo en Tuberías - Pérdidas en Instalaciones con Agua.
- V. Escurrimiento - Compresores.
- VI. Bombas Centrífugas y de Profundidad.

I. DESCRIPCION GENERAL DE LAS PLANTAS PILOTO DE CONSERVAS Y ALCOHOLES. EVALUACIONES PRELIMINARES

Objetivo.- Que el estudiante conozca en forma genérica, la finalidad, organización y funcionamiento de las Plantas Piloto. Que efectúe el reconocimiento de los accesorios e instrumentos estudiados en los cursos previos, y verifique su aplicación - en procesos industriales. Todo esto tendiente a que el estudiante cuando realice las subsiguientes experiencias con las maquinarias, dispositivos y sistemas de las Plantas Piloto, pueda vincularlas por la función que cumplen con el funcionamiento de las Plantas como un todo.

Finalidad de las Plantas Piloto.- Las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes tiene tres objetivos definidos : De producción, Académico, y de Investigación; de tal manera que en su conjunto pueden materializar uno de los fines de la Universidad, como es la proyección hacia la comunidad.

Organización de las Plantas Piloto.- Actualmente se encuentran administradas por un Comité Directivo integrado por cuatro docentes de las Facultades de Ingeniería Química; Farmacia y Bioquímica, Agronomía e Ingeniería Mecánica y Eléctrica y un Asesor Técnico. Además cuentan con un Departamento de Producción; Control de Calidad; Materia Prima y Comercialización; y Mantenimiento y Evaluación de Maquinarias; a cargo de cada una de las Facultades mencionadas anteriormente.

I.1 PLANTA PILOTO DE CONSERVAS

La Planta Piloto de Conservas (E-5) para el procesamiento de frutas y verduras, que cumple fines productivos y didácticos

RELACION DE EQUIPOS Y CARACTERISTICAS DE LOS ELECTROMOTORES

N° CODIFICACION	DENOMINACION DE LOS EQUIPOS	ELECTROMOTORES N°	COS Ø	POTENCIA		CAPAC.DE CORR. (AMP)	DIST.DEL MOT. A TABLERO(m)	VELOCIDAD RPM.
				HP	KW			
ES - 5.1	Equipo elevador y selec.de frutas	M1	0.78	2.1	1.57	6.275	19.0	1620
ES - 5.2	Equipo triturador y precalentador	M2	0.75	2.2	1.64	7.831	17.0	11 50
ES - 5.3	Majador (2)	M3 y M4	0.79	3	2.2	7.435	13.0(prom.)	1150
ES - 5.5	Equipo esférico de vacio	M5	0.76	1.5	1.1	3.864	5.0	1720
ES - 5.6	Llenadora semiautomática de produc.	M6	0.77	2	1.5	5.080	11.0	1730
ES - 5.7	Máquina cerradora de latas	M7	0.75	1.5	1.1	3.915	10.5	1690
ES - 5.8	Equipo de cocción para siropes(2)	M8 y M9	0.76	0.75	0.55	2.576	8.0(prom.)	1470
ES - 5.10	Equipo cortador y molidor universal	M10	0.65	0.9	0.67	3.614	8.0	1740
ES - 5.13	Máquina exprimidora de cítricos	M11	0.70	1.5	1.1	4.195	13.0	1130
ES - 5.15	Descortezador de frutas	M12	0.60	1	0.75	3.263	23.0	1140
ES - 5.17	Prensa empaquetadora hidráulica	M13	0.70	1	0.75	2.796	10.0	1730
ES - 5.19	Molino de muelas - esmeril fino	M14	0.94	5.4	4	11.246	10.0	3445
ES - 5.20	Homogenizador a presión	M15	0.90	0.3cv	0.221	0.644	11.0	1720
ES-5.21.1	Cabrestante "DBMAG"	M16	0.83	1.5	1.1	3.538	20.0	1140
ES-5.21.2	Electrobomba Helicoidal	M17,M18 M19,M20 M21,M22	0.65	1.5	1.1	4.518	10.0(prom.)	1140
ES-5.21.3	Electrobomba de vacio	M23	0.88	10	7.5	16.686	5.5	3430
ES-5.21.4	Compresor de aire	M24	0.70	1	0.75	2.610	25.0	1400

//.....

E5-5.21.5	Electrobomba de condensador	M25	0.70	1	0.75	2.797	11.5	1700
E5-5.21.5	Electrobomba de condensador	M26	0.70	1	0.75	2.797	6.0	1700
	Cámara de refrigeración	M27	0.76	1.8	1.34	4.379	25.0	1710
	Electrobomba C. tanque hidron. (2)	M28 y M29	0.65	2.5	1.84	7.530	4.5 (prom.)	3450
	Electrobomba C. del caldero	M30	0.65	5	3.73	15.060	8.5	3480
	Electrobomba C. sist. ablandam.	M31	0.65	0.33	0.25	1.005	4.5	3450
	Electrobomba C. tanque petrolé	M32	0.65	0.33	0.25	1.005	4.8	3450
	Electrobomba Helicoidal (2).	M33 y M34	0.65	2	1.5	5.080	variable	150/410

NOTA. - En el apéndice se adjunta el Plano de "Ubicación de Equipos" de la Planta de Conservas.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS TERMICOS E HIDRAULICOS

CODIFICACION N°	DENOMINACION DE LOS EQUIPOS	CAPACIDAD		CONSUMO		PRESION DEL VAPOR		PRESION DEL AGUA	PESO
		O VOLUMEN		DE VAPOR	DE AGUA				
E5 - 5.1	Equipo elevador y selecc.de frutas	Máx.600 kg/hr	Máx.7001t/hr					3 atm.sp.	500 kg
E5 - 5.2	Triturador y Precalentador	Máx.600kg/hr	100kg/hr			1.5atm.s.p			410 kg
E5 - 5.3	Majador - Pulpador (Zunid.)	400/600kg/hr							200 kg
E5 - 5.4	Recipiente colector (8 unid)	80 lit.							16 kg
E5 - 5.5	Equipo esférico de vacio	80 lit.	1 m3/hr	100kg/hr		1.5atm.s.p			250 kg
E5 - 5.6	Llenadora semiautomática	80 lit.	15kg/hr						110 kg
E5 - 5.7	Máquina cerradora de latas								380 kg
E5 - 5.8	Equipo de cocción para siropes	100 lit.	15-25kg/hr			1.5amp.s.p			130 kg
E5 - 5.9	Instal.de cocción a vapor volteable	20lit/pza.	60kg/hr			1.5amp.s.p.			170 kg
E5 - 5.10	Equipo cortador-moledor universal	variada							90
E5 - 5.11	Autoclave de esterilización	100 lts.	70 kg/hr	140 lt/hr		4 atm.s.p.			170
E5 - 5.12	Tanque de esterilización	400 lts.	máx.60kg/hr	3001t/hr		1.5atm.s.p.			150
E5 - 5.13	Máquina exprimidora de cítricos	máx.400kg/hr							
E5 - 5.15	Descortezador de frutas	máx.400kg/hr				-q-			
E5 - 5.17	Prensa empaquetadora hidráulica	200-300kg/hr							
E5 - 5.18	Filtro - Prensa	máx.4001t/hr							
E5 - 5.19	Molino de muelas de esmeril fino	300kg/hr							
E5 - 5.20	Homogenizador a presión	150 kg/hr							

fue adquirida el año 1973, producto de un convenio Húngaro-Peruano.

En esta Planta Piloto se puede procesar frutas como : El mango, la ciruela, la naranja, la piña, el limón, la papaya, etc; y también diferentes verduras como la papa, tomate, alverjas, etc.

De las diferentes frutas se pueden elaborar jugos, mermeladas conservas y productos deshidratados. La conservación de los productos se puede realizar tanto por tratamiento térmico como por conservación química.

La capacidad de procesamiento de esta Planta, depende de la materia prima a procesar y de la tecnología de procesamiento aplicada, variando entre 50 y 350 kilos de materia prima por hora.

Función de los equipos de la Planta de Conservas.-

EQUIPO ELEVADOR Y SELECCIONADOR DE FRUTAS (5-1). Sirve para la selección y lavado de los distintos tipos de frutas y vegetales. El lavado tiene lugar en la parte inferior de un tanque, desde donde la fruta es extraída mediante una banda transportadora de goma. El enjuague se realiza con un sistema de rociado a cierta presión.

TRITURADOR Y PRECALENTADOR (5-2). Realiza la trituración y el precalentamiento de distintos tipos de frutas y vegetales blandos. La fruta o vegetal, pasa inicialmente a través del triturador, para luego ingresar al recipiente cilíndrico, provisto de un duplicador o calentador a vapor de camisa doble. A su vez a lo largo del recipiente cilíndrico se encuentra un eje con paletas, el cual mueve y hace avanzar a la materia que está siendo calentada.

MAJADOR - PULPADOR (5-3). Sirve para eliminar las semillas y cáscara de los distintos tipos de frutas y vegetales, y así forman la pulpa. Algunas veces se utilizan los dos majadores en serie.

RECIPIENTE COLECTOR (5-4). Sirve para el transporte o almacenamiento de distintos tipos de materias, desperdicios, etc. - También es adecuado para el lavado de materias primas delicadas con ayuda de una cesta insertable perforada.

EQUIPO ESFERICO DE VACIO (5-5). Se utiliza para espesar los jugos de frutas y vegetales. El lugar de calentamiento es de paredes dobles. La agitación de la materia se realiza con un mezclador en forma de ancla. La evaporación tiene lugar en un condensador semibarométrico.

LLENADORA SEMIAUTOMATICA (5-6). Sirve para el llenado de los diferentes envases que se utilizan para jugos de frutas y concentrados.

MAQUINA CERRADORA DE LATAS (5-7). Es una máquina semiautomática que permite el sellado de las latas que se utilizan para jugos, conservas y productos deshidratados.

EQUIPO DE COCCION PARA SIROPES (5-8). Puede utilizarse para la preparación de soluciones de distintos tipos; siropes, jugos de relleno, etc. Es adecuado también para la clarificación de jugos filtrados. La formación de la solución se facilita con la agitación y el calentamiento en el duplicador.

INSTALACION DE COCCION A VAPOR VOLTEABLE (5-9). Comprende 3 marmitas volteo montadas en un mismo soporte, volteables a mano con ayuda de una transmisión de tornillo sin fin. Las marmitas están provistas de calentamiento por duplicador. Ca

da una posee una cesta perforadora de pre-cocción.

EQUIPO CORTADOR-MOLEDOR UNIVERSAL (5-10). Se utiliza para cortar en pedazos y en rebanadas distintos tipos de frutas, vegetales y carnes, y para moler especias. La máquina básica está provista de las piezas adicionales apropiadas para realizar los distintos tipos de operaciones.

Las partes que se pueden adicionar al molidor universal son :

- Adaptador para cortar en pedazos y en rebanadas : Capacidad 300-500 Kg/hr.; peso 45 Kg.
- Moledora de Carne : Capacidad 95-150 Kg/hr.; Peso 12.5 Kg.
- Máquina Auxiliar Amajadora : Capacidad máxima 200 Kg/hr.;
Peso 12 Kg.
- Molino de Especias Capacidad máxima 8 Kg/hr.; peso 15 Kg.

Material : Aluminio anodizado, hierro colado estañado y acero al carbono.

AUTOCLAVE DE ESTERILIZACION (5-11). Sirve para la posterior esterilización del producto terminado. Los envases de cristal y las latas son puestas en una cesta perforada para llevarse al autoclave.

TANQUE DE ESTERILIZACION (5-12). Sirve para la esterilización posterior a una más baja temperatura. Los envases de cristal son puestas en una cesta perforada y después son llevados a un baño de agua calentado directamente a vapor.

MAQUINA EXPRIMIDORA DE CITRICOS (5-13). Máquina Exprimidora de cidra de 4 cabezas. Estas son movidas con una transmisión única.

COLECTOR DE JUGO CON FILTRO INSERTADO (5-14). Sirve para la recolección y almacenamiento temporal del jugo de cidra conte

nido del exprimidor. Tiene un filtro insertado para retener las fibras. El resto es semejante al elemento descrito en 5.4.

DESCORTEZADOR DE FRUTAS (5.15). Consiste en un recipiente - con plato giratorio, cubierto en su totalidad con una superficie abrasiva, que permite sacar la corteza de algunas materias relativamente duras o separar la pulpa con cáscara de la pepa, de algunas materias blandas.

PRENSA EMPAQUETADORA HIDRAULICA (5.17). Se utiliza para obtener jugo en la preparación del jugo de fruta filtrado. Componen la prensa : rejillas, filtros de tela y el mecanismo hidráulico de presión.

FILTRO-PRENSA (5.18). Se utiliza para el filtrado del jugo - de fruta puro sin fibras. El filtrado se realiza con la ayuda de placas de asbesto. Las placas y los marcos son aprisionados por una armazón tubular rodante.

MOLINO DE MUELA DE ESMERIL FINO (5-19). Tipo "FRIMA". Se utiliza en la obtención de pulpa de distintos tipos de materiales.

HOMOGENIZADOR A PRESION (5.20). Se utiliza para homogeneizar el jugo de frutas con fibras y los concentrados.

CABRESTANTE "DEMAG" (5.21.1). Sirve para manipular las cestas esterilizadoras.

BOMBA HELICOIDAL (5.21.2). De carcaza de goma. Realiza el transporte de materiales pastosos y fluidos.

BOMBA DE VACIO (5.21.3). De tipo rotativa de anillo de agua. Crea el vacío para espesar la pulpa en la esfera de vacío.

COMPRESOR DE AIRE (5.21.4). Se utiliza para generar una sobre

presión en la autoclave de esterilización.

BOMBA PARA CONDENSADO (5.21.5 y 5.21.6). Se utilizan para trasegar el agua del condensado.

CAMARA DE REFRIGERACION. Se utiliza para la conservación de la materia prima y de los productos acabados.

SALA DE MAQUINAS (CALDERO). Comprende el caldero pirutubular, el sistema externo de tratamiento de agua, tanque neumático para el agua, bombas trasegadoras, y todos los diversos accesorios e instrumentos propios del caldero.

SISTEMAS. DE TUBERIAS. Sistema de tubería de agua de color verde, sistema de tubería de vapor de color rojo, y sistema de tubería de condensado de color azul.

TABLERO DE CONTROL ELECTRICO. Comprende los diferentes dispositivos eléctricos para el control centralizado o localizador de los diferentes módulos o equipos.

NOTA.- El material de los diferentes equipos y dispositivos de la Planta de Conservas es de : Acero Inoxidable (K0 36), todas las partes del equipo, tuberías y recipientes que pueden tener contacto con la materia prima en proceso, el resto de las partes que comprenden los equipos, tuberías y dispositivos que no toman contacto con la materia en proceso generalmente es de acero al carbono. Siendo el material de las tuberías seleccionado de acuerdo a su tipo de aplicación.

Instrumentos y Medios de Prueba.-

La Planta Piloto de Conservas está provista de instrumentos, y otros que se han tenido que adicionar, que hacen posible el control del proceso de producción y las evaluaciones de las diferentes máquinas térmicas e hidráulicas.

- 1) En el transcurso de la elaboración y en cada una de las operaciones, es posible medir la temperatura de los productos que intervienen y que salen.
- 2) Para medir la cantidad de productos se utilizan balanzas y en caso de fluídos, rotámetros principalmente. Con el conocimiento de los datos de temperatura y cantidad, es posible calcular el balance térmico y de material.
- 3) Con la medición del agua condensada, es posible determinar el vapor utilizado para los diferentes procesos y en algunos casos contamos con dispositivos medidores de flujo de vapor, como es el de tipo de plato con orificio. La cantidad de agua de enfriamiento la medimos con un rotámetro. Son medidas también las presiones del agua y del vapor. Con estas mediciones es posible realizar el balance térmico desde el punto de vista energético.
- 4) Es posible medir la potencia eléctrica de cada una de las máquinas. Mediante estos datos en cada una de las operaciones y en el proceso de fabricación completo, podemos disponer de la demanda de energía eléctrica requerida. También es posible el cálculo de transferencia de calor en los diferentes dispositivos térmicos.

Distintos tipos de energía necesarios para la operación de la Planta

Espacio Requerido

- 1) Los tipos de energía para la Planta Piloto de Conservas y sus cantidades requeridas son las siguientes :
Vapor saturado 300 - 400 Kg/Hr, a 6 atmósferas de presión.
Agua Potable 2.5 m³/Hr, a 3 Atm. de sobrepresión.
Agua de Enfriamiento : 1 m³/Hr, a 3 Atm. de sobrepresión y

16 °C.

Potencia Eléctrica : 15 Kw.

2) Superficie Requerida

Nave para la Planta 8 x 15 m.

Laboratorio 4 x 5 m.

Almacenes 8 x 5 m.

I.2 PLANTA PILOTO DE ALCOHOLES

La Planta Destiladora para la elaboración de Piscos, Aguardientes y Alcohol Industrial de Frutas y Tubérculos (F-8), que -satisface principalmente requerimientos productivos y también académicos fue adquirida igualmente en el año 73 como consecuencia de un Convenio con Hungría.

Esta Planta elabora Pisco y Alcohol de materia prima que contiene almidón y azúcar y puede producir

- Pisco puro de uva.
- Licor de diferentes frutas, como Mango, tuna, higo, dátiles, ciruela, piña, etc.
- Aguardiente de : Camote, papa, yuca, arroz, maíz, zanahoria, etc.
- Alcohol Industrial de 97 % (volumétricos)

La capacidad de la Planta es de aproximadamente 35 litros de Pisco, Licor, Aguardiente por hora.

Las capacidades de Energía y Servicio son

1. Energía Eléctrica (Trifásica, 380 V).

Capacidad Total (Consumo Máximo) 8 Kw.

Capacidad Promedia 3 - 4 Kw.

2. Vapor 4 Bar.
 Promedio 60 - 80 Kg/hr.
 Carga Máxima: 150 - 200 Kg/hr.

3. Agua de Refrigeración
 Temperatura Agua Potable Entrante Máx. - 20 °C.
 Promedio : 4 m³/hr.

4. Capacidad del canal, eliminación de líquidos
 Promedio : 4 m³/hr.

La organización es la misma que la de la Planta de Conservas y está a cargo del mismo cuerpo directivo.

Relación de Maquinarias y Equipo de la Planta Piloto de Alcoholes

DENOMINACION DE LOS EQUIPOS Y SUS ESPECIFICACIONES TECNICAS.

DENOMINACION	ELECTROMOTORES			CAPACIDAD O VOLUMEN	PRESION DE TRABAJO	SUPERFIC. DE CALENTAM.	TEMP. DE SERVICIO	PESO
	HP	KW	RPM					
Elevador de Cangilnes	1	0.75	860					
Calentador cónico "HENZE"	-	-	-	500 kg.	máx. 6 atm.		165°C	420 kg
Enfriador cilindrico con agitador	4	3	1740	1000 lts.	-		160°C	710 kg
Columna de destilación 1	-	-	-	-	0 atm.		100°C	202 kg
Columna de destilación 2	-	-	-	-	0 atm.		100°C	138.5 kg
Condensador 1 (2do. piso)	-	-	-	-	0 atm.	1 m2	100°C	54 kg
Condensador 2 (2do. piso)	-	-	-	-	0 atm.	2.5 m2	100°C	74 kg
Condensador 3 (2do. piso)	-	-	-	-	0 atm.	0.25 m2	50°C	32 kg
Columna rectificadora	-	-	-	140 lts	0.2/3 atm.	-	100/144°C	268 kg
Condensador 1 (3er. piso)	-	-	-	-	0 atm.	0.25 m2	50°C	33 kg
Condensador 2 (3er piso)	-	-	-	-	0 atm.	2.2.5 m2	100°C	74 kg
Moedor de plato	4	3	1740	800kg/hr				60 kg
Electrobomba Helicoidal.	2	1.5	1150	0.2/0.6 m3/hr				
Cámara de Refrigeración	1.8	1.34	1710	17.3 m3	-	-	4°C	

Función de los Equipos de la Planta de Alcoholes

ELEVADOR DE CANGILONES. O elevador de Capachos, sirve para trasladar los tubérculos o granos como la papa, el camote, la yuca, el maíz, el arroz, etc. Para depositarlos en el Henze.

CALENTADOR CONICO "HENZE". Trabaja con vapor, que permite sancochar la materia prima, posee válvula de contrapeso.

ENFRIADOR CILINDRICO CON AGITADOR. La materia prima sancochada, es enfriada con un sistema de serpentín con agua fría y a la vez es removida por medio de un agitador de hélice.

COLUMNAS DE DESTILACION 1, 2. Se utilizan para producir piscos y aguardientes, trabajan con inyección directa de vapor a presión atmosférica.

CONDENSADORES 1, 2, 3. Están ubicados en el 2°Piso y permiten la condensación del producto destilado en las columnas de destilación 1 y 2 .

COLUMNA RECTIFICADORA. Se utiliza a continuación de la columna de destilación cuando se quiere elevar el contenido de alcohol de un determinado producto, para obtener alcohol industrial.

CONDENSADORES 1, 2. Están ubicados en el 3er. Piso y permiten la condensación del producto que se está rectificando.

MOLEDOR DE PLATO. Se utiliza para triturar o moler diversos productos, que no son necesarios que pasen por el Henze para la obtención del mosto de dichos productos. Por ejemplo las frutas.

ELECTROBOMBA HELICOIDAL. Se utiliza para trasegar líquidos con cierta viscosidad como son los diversos mostos.

CAMARA DE REFRIGERACION. Se utiliza para la conservación de la materia prima de los productos terminados.

CUBAS DE FERMENTACION. Se tiene 6 cubas de aproximadamente 2000 litros c/u y vienen a ser los recipientes donde fermenta el mosto una vez que sale del "Enfriador Cilíndrico con Agitador"; hasta que llegue a su punto óptimo y se le pasa a las columnas de destilación.

SISTEMAS DE TUBERIAS. Comprende el sistema de tuberías de agua de color verde, sistema de tuberías de vapor de color rojo, y sistema de tuberías de condensado de color azul.

TABLERO DE CONTROL ELECTRICO- Comprende los diferentes dispositivos eléctricos para el control centralizado o localizado de los diferentes módulos o equipos.

NOTA.- Los instrumentos y medios de prueba, así como los materiales de los equipos, tuberías, recipientes, etc., es lo mismo que lo descrito para la Planta de Conservas.

I.3 EVALUACIONES PRELIMINARES

SALIDA POR ORIFICIOS

Objetivo.- El poder calcular el caudal de descarga en un orificio o tubo de salida, de los diferentes tipos que se presentan a continuación.

De la misma manera el alcance a través de los orificios de salida, originados por la carga hidrostática.

Fundamento teórico.- Estudiemos el caso en que un líquido sale de un recipiente a la atmósfera a través de un orificio - cuya sección tiene el área F. (Ver Fig. I.1). Cuando el líquido se contrae y el área de su sección F contr. es menor que la del orificio F. Llamemos ϵ a la relación F contr./F. El valor de esta relación es siempre menor que la unidad y recibe el nombre de coeficiente de contracción.

Consideremos dos secciones : La sección de la superficie libre 0 - 0, donde la presión es P_0 y la velocidad de la corriente del líquido W_0 , y la sección I-I, donde dicha velocidad será igual a W_i .

Situemos el eje de coordenadas a lo largo del eje del orificio y llamemos H a la altura del nivel del líquido sobre este eje. En éste caso la ecuación de Bernoulli para las dos secciones consideradas tendrá la forma :

$$z_0 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{W_0^2}{2g} = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{W_i^2}{2g} + h \text{ perd.}$$

donde :

$h \text{ perd.} \longrightarrow$: Es la pérdida de presión que se produce al salir el líquido por el orificio; $h \text{ perd.}$

$$h \text{ perd.} = C \cdot \frac{W_i^2}{2g}$$

$C \longrightarrow$: Es el coeficiente de resistencia referido a la sección de paso del orificio.

$z_0 + \frac{P_0}{\rho g} = H \longrightarrow$: Es la energía específica potencial (altura piezo-métrica) de la partícula de líquido que se encuentra en la sección 0 - 0; y

$Z + \frac{P}{\rho g} = 0 \rightarrow$: Es la energía potencial específica de la partícula líquido en la sección I.I.

tomando $W_0 = 0$; en vista de su pequeñez en comparación con W_i obtenemos : (Ver figura)

$$H = \frac{W_i^2}{2g} + C \cdot \frac{W_i^2}{2g} \quad \text{ó} \quad H = (1 + C) \frac{W_i^2}{2g}$$

De donde la velocidad de salida

$$W_i = \frac{1}{\sqrt{1 + C}} \sqrt{2gH}, \quad \text{si} \quad \frac{1}{\sqrt{1 + C}} = \emptyset$$

Donde :

\emptyset : Coeficiente de velocidad

Luego :

$$W_i = \emptyset \sqrt{2gH}$$

Según datos experimentales $\emptyset = 0.97$ para la disposición que se muestra a continuación. (TABLE 1).

La cantidad de líquido que sale

$$Q = F_{\text{contr.}} \cdot W_i \quad .(m^3/s)$$

Teniendo en cuenta la expresión anterior de W y el coeficiente de contracción de la vena (ϵ).

$$Q = \epsilon \emptyset F \sqrt{2gH} = \mu \cdot F \sqrt{2gH}$$

Donde :

$\mu = \epsilon \emptyset$: Coeficiente de descarga.

De la última ecuación se deduce que la cantidad de líquido que sale por una sección de paso dada, viene determinada por el producto $\epsilon \cdot \theta$. Para aumentar el gasto de líquido se unen al orificio tubos de distinta forma, llamados tubos de salida (boquillas, pitones, venturi, según los casos). La longitud de los tubos de salida L deben ser 3 ó 4 veces mayor que el diámetro D . Cuando se usan estos tubos la contracción de la vena se produce dentro de ellos. A la salida del tubo la vena llena toda la sección y $\epsilon = 1$.

El aumento del gasto del líquido cuando se emplean tubos de salida se explica por el hecho de que en la zona de contracción máxima se forma un vacío, lo que hace que en esta sección aumente la velocidad.

En la tabla anterior se dan los coeficientes experimentales para los orificios y para diferentes tubos de salida.

Alcance del líquido : De las Ecuaciones del movimiento curvilíneo, (se supone que el efecto del aire es despreciable).

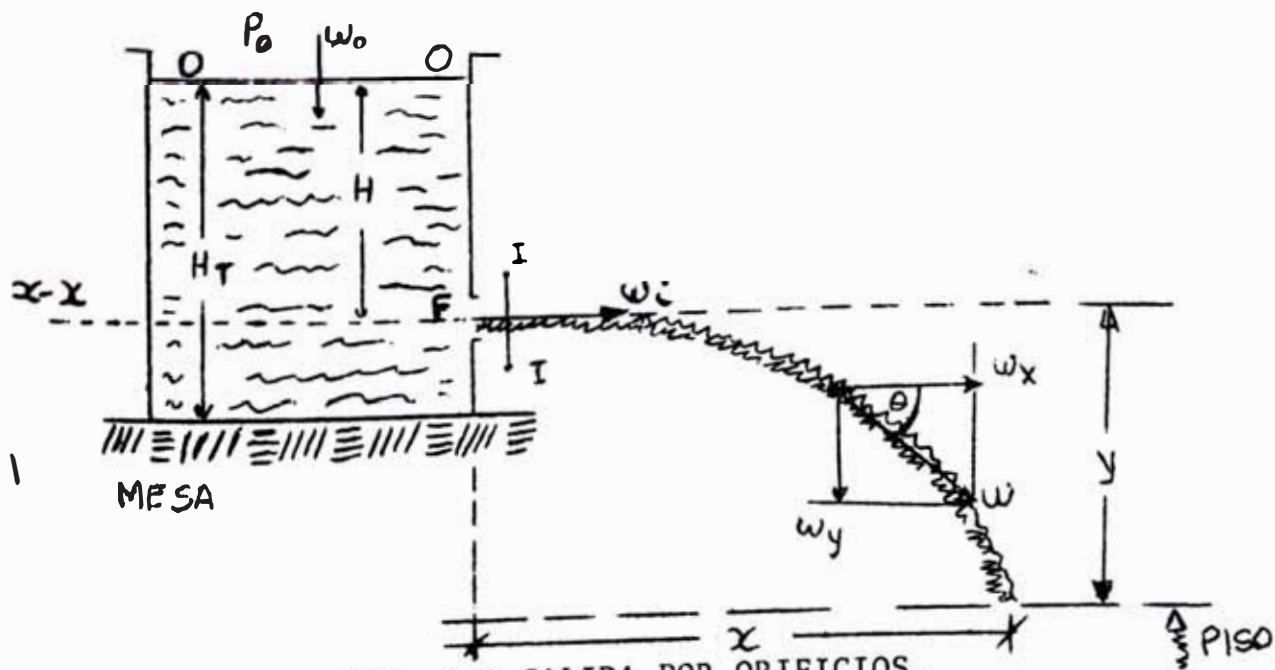


FIG. I.1 SALIDA POR ORIFICIOS.

Además el movimiento de caída del chorro es de aceleración constante "g" dirigida hacia abajo en su componente vertical y de aceleración cero en su componente horizontal. Luego

$$a_y = -g \quad \text{y} \quad a_x = 0$$

Por otro lado el origen de nuestro marco de referencia es el punto de salida del líquido a través del orificio. Luego $X_i = Y_i = 0$. La velocidad para $t = 0$, que es el punto de inicio del chorro de agua, es V_i , que forma un ángulo θ_i con la dirección positiva de las X. Luego en forma general :

$$W_{xi} = W_i \cos \theta_i \quad \text{y} \quad W_{yi} = W_i \sin \theta_i$$

Como no hay componente horizontal de la aceleración, la componente horizontal de la velocidad será constante : $W_x = W_i \cos \theta_i$

La componente horizontal de la velocidad conserva su valor inicial durante todo el movimiento.

La componente vertical de la velocidad cambiará con el tiempo, de acuerdo con el movimiento vertical con aceleración constante hacia abajo, de manera que : $W_y = W_i \sin \theta_i - g t$.

La magnitud de la velocidad resultante en un instante cualquiera es : $W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$

El ángulo θ que forma el vector de velocidad con la horizontal en ese instante dado está dado por :

$$\text{Tg } \theta = \frac{W_y}{W_x}$$

La velocidad es tangente a la trayectoria del chorro en cada punto.

El alcance (X) de la posición de un diferencial de chorro en cualquier momento es : $X = (W_i \text{ Cos } \theta_i) t$, considerando : $X_i = 0$, $a_x = 0$ y $V_{xi} = V_i \text{ Cos } \theta_i$.

La distancia (Y), obtenida con : $Y_i = 0$, $a_y = -g$, y $W_{yi} = W_i \text{ Sen } \theta_i$ es :

$$Y = (W_i \text{ Sen } \theta_i) t - \frac{1}{2} g t^2$$

Combinando estas dos últimas ecuaciones, eliminando al parámetro t, obtenemos :

$$Y = (\text{Tg } \theta_i) X - \frac{g}{2 (W_i \text{ Cos } \theta_i)^2} X^2$$

Por último para el caso de la figura mostrada, donde se efectúa la salida del chorro con $\theta_i = 0$, tenemos :

$$W_{xi} = W_i \text{ Cos } \theta_i \rightsquigarrow W_{xi} = W_i \text{ Cos } 0 \rightsquigarrow W_{xi} = W_i$$

$$W_{yi} = W_i \text{ Sen } \theta_i \rightsquigarrow W_{yi} = W_i \text{ Sen } 0 \rightsquigarrow W_{yi} = 0$$

Luego como :

$$Y = (W_i \text{ Sen } \theta_i) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad , \quad \text{para } \theta_i = 0$$

$$Y = - \frac{1}{2} g t^2 \quad \rightsquigarrow \quad t = \sqrt{- \frac{2Y}{g}}$$

Si :

$$X = (W_i \text{ Cos } \theta_i) t \quad , \quad \text{para } \theta_i = 0$$

$$X = W_i t \quad , \quad \text{como } W_i = \emptyset \sqrt{2 g H}$$

(Del desarrollo de la Ec. de Bernoulli)

Luego

$$X = \phi \sqrt{2 g H} \cdot \sqrt{\frac{2 y'}{g}}$$
$$X = 2 \phi \sqrt{Y \cdot H}$$

Donde

ϕ' : Coeficiente de velocidad

Aparatos y Accesorios.

- Un frasco de vidrio con orificio de salida lateral en la parte baja.
- Tres tapones con tubos de 3 diámetros diferentes y un tapón sin tubo.
- Una wincha.
- Un recipiente de 1 litro.
- Un cronómetro.

Procedimiento

- 1.- Coloque el tapón con el tubo de menor diámetro en el orificio de salida del frasco.
- 2.- Gradúe el frasco de litro en litro a partir del centro del orificio de salida (1, 2, 3, 4, 5 lts.)
- 3.- A continuación llene el frasco hasta la última marca y colóquelo a una determinada altura del piso (Y).
- 4.- Deje salir el chorro de agua en la marca de 5 litros y mida con la wincha el alcance del chorro (X), en ese instante, y la altura hidrostática (H) del nivel del líquido al centro del orificio de salida. Igualmente el caudal (Q).
- 5.- Repita las medidas del punto anterior para las marcas de

4, 3, 2, y 1 litro sobre el orificio.

6.- Repita los pasos 1, 2, 3, 4 y 5 para los tapones del tubo de diámetro intermedio. Igualmente para el tubo de diámetro mayor y para el tapón sólo sin tubo.

Las longitudes de los tubos deberán ser aproximadamente 3 veces el diámetro del orificio.

Se pide

- Tabular los datos que se solicitan en los puntos anteriores.
- A partir de las ecuaciones para la velocidad inicial, caudal y alcance calcular y tabular los valores para 4 diferentes diámetros de salida, tomar en cuenta la forma de la entrada y las pérdidas por contracción.
- Graficar el caudal real y teórico; y el alcance teórico. Y real vs. la carga hidrostática.

Referencia Bibliográfica

- Jovaj "Máquinas Térmicas"
- Holiday "Física"

RELACIONES DE TRANSMISION

Objetivo.- Conocer la aplicación directa, de como calcular una relación de transmisión, ya sea para engranajes, fajas, cadenas, etc. De tal manera que nos permita calcular las RPM de salida en los ejes de los módulos de las Plantas Piloto.

Principios Fundamentales.-

Relaciones de Transmisión para Engranajes

Partiendo de que las velocidades lineales del piñón y del

engranaje son iguales :

$$V_G = V_p = \tilde{\omega} N'_G \cdot D_G = \tilde{\omega} \cdot D_p \cdot N'_p$$

luego :

$$m_G = \frac{D_G}{D_p} = \frac{N'_p}{N'_G} \dots \dots \dots (1)$$

Donde :

m_G = Relación de transmisión (del engranaje al piñón)

D_G = Diámetro de paso del engranaje

D_p = Diámetro de paso del piñón

N'_p = RPM del piñón

N'_G = RPM del engranaje.

Por otro lado : $L = N \times p$ y $L = \tilde{\omega} \cdot D$

Donde :

L = Longitud de la circunferencia de paso.

N = Número de dientes

p = Paso circular

D = Diámetro de paso

Luego :

$$N \times p = \tilde{\omega} \cdot D \quad \rightsquigarrow \quad p = \frac{\tilde{\omega} \cdot D}{N}$$

Como :

$$p_G = p_p = \frac{\tilde{\omega} \cdot D_G}{N_G} = \frac{\tilde{\omega} \cdot D_p}{N_p}$$

$$m_G = \frac{D_G}{D_p} = \frac{N_p}{N_G} \dots \dots \dots (2)$$

De (1) y (2) :

$$m_G = \frac{D_G}{D_P} = \frac{N_G}{N_P} = \frac{N'_P}{N'_G}$$

- Relaciones de Transmisión para Poleas

$$m_P = \frac{D_1}{D_2} = \frac{N'_2}{N'_1}$$

Donde :

m_P = Relación de transmisión para poleas

D_1 = Diámetro de la polea mayor

D_2 = Diámetro de la polea menor

N'_2 = RPM de la polea menor

N'_1 = RPM de la polea mayor.

- Relaciones de Transmisión para cadenas

$$m_C = \frac{D_C}{D_P} = \frac{N'_P}{N'_C} = \frac{N_C}{N_P}$$

Donde :

m_C = Relación de transmisión para cadenas

D_C = Diámetro de paso de la catalina

D_P = Diámetro de paso del piñón

N'_P = RPM del piñón

N'_C = RPM de la catalina

N_C = Número de dientes de la catalina

N_P = Número de dientes del piñón.

Aparatos

- Un contómetro
- Un cronómetro

Procedimiento



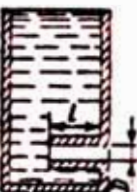

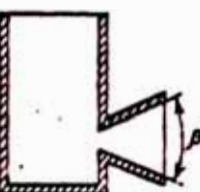
- 1) Tomar el número de dientes del engranaje y piñón en el caso de los engranajes y/o de la catalina y piñón en el caso de las transmisiones por cadenas. Para las transmisiones por poleas tomar los diámetros de paso de éstas.
- 2) Si la transmisión en su conjunto posee reductor, tendrá que medirse las RPM de uno de los ejes con contómetro y cronómetro, para luego calcular la relación de transmisión del reductor.
- 3) Según el tipo de reductor se podrá calcular las RPM del T.S.F. y de la rueda si es un reductor de tornillo sin fin; y las RPM del engranaje y del piñón si es un reductor de engranajes.

Referencia Bibliográfica

- SHAUM "Diseño de Elementos de Máquinas".

TABLA 1

Coeficientes experimentales para los orificios y tubos de salida

Tipo de tubo de salida		ϵ	C	ϕ	μ
	$l < 3D$ Orificio en una pared delgada	0,64	0,06	0,97	0,62
	$l = (3+4)D$ Tubo de salida cilíndrico situado fuera del depósito	1	0,49	0,82	0,82*
	$l = (3+4)D$ Tubo de salida cilíndrico situado dentro del depósito	1	1	0,71	0,71
	$l = (3+4)D$ Tubo cónico convergente $\beta = 0,07\pi$	0,98	0,06	0,97	0,95
	$l = (3+4)D$ Tubo cónico divergente $\beta = 0,04\pi$	1	3,94	0,45	0,45

* Con los bordes de entrada redondeados $\mu = 0,97$

II. MEDICION DE LA HUMEDAD Y DETERMINACION DE LOS ESTADOS DE VAPOR

II.1 MEDICION DE LA HUMEDAD

Objetivo.

Determinar la humedad contenida en una mezcla, principalmente en el aire atmosférico por su utilización tan difundida. Y también en

Mezclas de aire vapor en calderos, turbinas de vapor.

Enfriamiento de agua por evaporación en aire.

Acondicionamiento de aire.

La cantidad de vapor de agua, presente en la atmósfera varía ampliamente con las condiciones atmosféricas. El aire atmosférico se utiliza en un gran número de procesos de Ingeniería siendo en algunos casos útil, en otro perjudicial y algunas veces indiferente. En los dos primeros casos, mencionados anteriormente, nos interesa determinar el contenido de humedad, para una utilización adecuada, especialmente en el caso que la humedad resulta perjudicial.

El control de la humedad atmosférica es uno de los mayores problemas en la industria, ya que afecta el comportamiento de muchos materiales comerciales, tales como : Madera, papel, textiles, pintura, tabaco, pastas y harinas. También tiene mucha importancia su determinación, para la implementación de sistemas de aire acondicionado que se utiliza en el hogar y oficinas.

Fundamento Teórico

Higrometría.- Es la medida de la humedad de una mezcla. A tem

peraturas inferiores a 65 °C, la desviación del vapor de agua respecto de las leyes de los gases ideales es menor que el 0.75 por ciento.

Presión de Saturación.- Es la presión de vapor para la condición de equilibrio entre las fases líquida y de vapor. Esta presión dada (es decir, es la presión del líquido cuando hierve a la temperatura dada), es la de ebullición del líquido.

Punto de Rocío.- Dado que no hay un método directo para determinar el contenido de vapor de agua en el aire, se le debe calcular a partir de otras mediciones. Un método se basa en la determinación del punto de rocío.

El punto de rocío es la temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor cuando una mezcla de gas-vapor se enfría a presión total constante, permaneciendo invariables las presiones parciales de los gases componentes.

Para la precisión ordinaria, el aire atmosférico puede ser considerado como un gas perfecto bajo las condiciones que se encuentran normalmente en la técnica del acondicionamiento de aire, es decir a presiones no mucho mayores que la atmosférica y temperaturas de hasta 65 °C. Por consiguiente, la presión del vapor de agua del aire se mantiene constante cuando el aire se enfría a presión total constante, hasta que se alcanza la temperatura del punto de rocío, (Ver Fig. II.1). En el punto de rocío, la presión parcial del vapor de agua es igual a la presión de saturación a la temperatura dada (del punto de rocío alcanzado). Pero la presión del vapor había permanecido constante mientras se le enfriaba hasta el punto de rocío. Por lo tanto la presión de vapor antes del

enfriamiento es igual a la presión de saturación para la temperatura del punto de rocío. Así, la determinación del punto de rocío permite establecer la presión del vapor, la misma que va a servir para calcular la humedad relativa y la humedad específica. La humedad absoluta también puede determinarse a partir del conocimiento de la presión de vapor, aplicando la ecuación característica de los gases ideales.

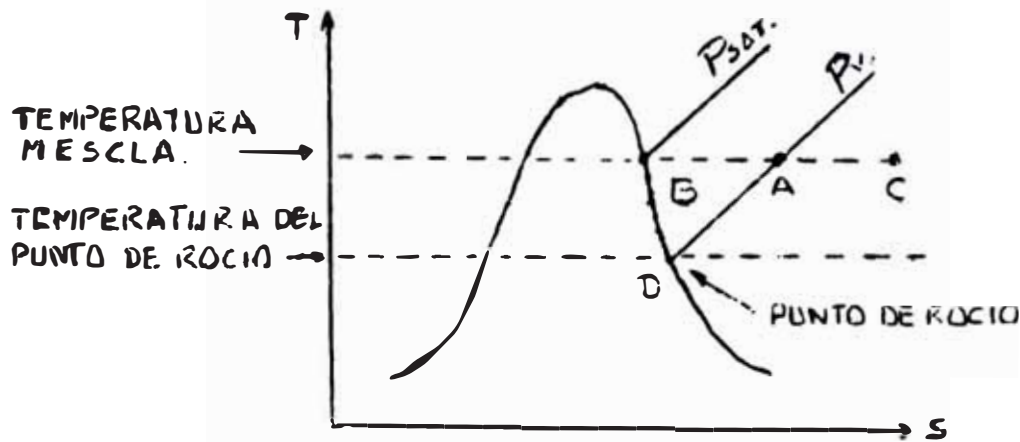


FIG. II.1 DIAGRAMA T-S DEL AGUA

Humedad Relativa.- (H.R.) Es la relación de la cantidad de vapor de agua presente en un volumen dado de aire, a la cantidad que se hallaría presente si ese volumen estuviera saturado a la temperatura dada. (Temperatura constante de la mezcla), Ver Fig.II.1

También se define la humedad relativa como la relación de la presión parcial de vapor de agua, de una mezcla vapor-aire, a la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de la mezcla.

Las dos definiciones son equivalentes cuando se considera el vapor de agua como un gas ideal.

$$H.R. = \frac{W_V}{W_{SAT}} = \frac{P_V}{P_{SAT}} = \frac{\rho_V}{\rho_{SAT}} = \frac{V_{SAT}}{V_V}$$

En el gráfico anterior :

A → Es la condición del agua en la mezcla, a la presión P_V

B → Representa la P_{SAT} de la mezcla A y también de la mezcla C.

D → Punto de rocío para la mezcla A, también presión de saturación de la mezcla A, a presión total constante.

$$H.R._A > H.R._C$$

$$H.R._B = 1 = 100\%$$

El término HR nos indica también el grado de sobrecalentamiento del vapor de agua en la mezcla de aire. El Punto C tiene más vapor sobrecalentado que el punto A.

Ejemplo : Se puede apreciar el contenido de humedad en el aire ambiente cuando nos encontramos dentro de un vehículo - con las lunas cerradas (casi hermético) y en el medio ambiente que lo rodea hay un cambio de temperatura (de caliente a frío), apreciamos que en el interior del vehículo se van formando gotas de agua, porque se ha llegado al punto de rocío.

Aire Saturado.- Cuando el aire está saturado con vapor de agua y que la presión del vapor es igual a la presión de saturación para la temperatura dada. (Humedad relativa 100 %).

Humedad Específica.- (H.E.) Es la relación entre la cantidad de vapor de agua en masa (m_V) y la masa de aire seco (m_a) en una mezcla vapor-aire. Se expresa en Kg. o grs. de vapor de agua por Kg. de aire.

$$h.E. = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a}$$

P_v = Presión de vapor

P_a = Presión del aire seco = Presión Total
- Presión de Vapor.

Humedad Absoluta. - Del aire atmosférico, es la cantidad de vapor de agua (en masa) que se halla presente en un volumen dado de aire. Se le expresa a menudo en gramos o kilogramos de agua por metro cúbico de aire.

Instrumentos para medir la humedad

Psicrómetro de Revoleo. - Comprende un termómetro de bulbo seco y un termómetro de bulbo húmedo tal como se muestra en la figura II.2.

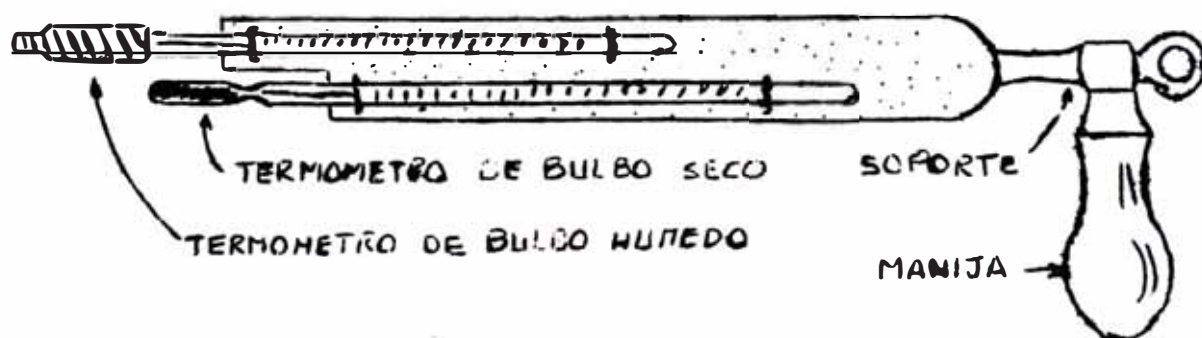


FIG. II.2 PSICROMETRO DE REVOLEO

El termómetro húmedo, que indica la temperatura del bulbo húmedo (TBH) difiere del seco que indica la temperatura de bulbo seco (TBS), en que su bulbo o depósito de mercurio está envuelto en un paño (tela) mojado con agua.

Cuando la corriente de aire humedo sopla los bulbos de estos termómetros, el termómetro de bulbo seco que es un termómetro común indica la temperatura verdadera del aire o sea la temperatura del aire húmedo. Mientras que el termómetro de bulbo húmedo indica la temperatura a la que está el agua contenida en la tela húmeda que envuelve el bulbo de este termómetro.

En el caso del termómetro de bulbo húmedo, cuando el aire sopla sobre el, el agua se evapora de la superficie de la tela mojada, si el aire húmedo (corriente de aire) no está saturado. La evaporación del agua será tanto más intensa cuanto más seco esté el aire (es decir cuanto menor sea la presión parcial del vapor en el aire).

Como en evaporar la humedad se gasta una cantidad de calor igual al calor de vaporización del agua, que se extrae en primer lugar de la misma agua, la temperatura de la tela húmeda descenderá si al termómetro húmedo no llegara calor del exterior, de las capas de aire que lo rodean. La temperatura de la tela húmeda descendería hasta hacerse igual a la temperatura de saturación del agua a una presión igual a la parcial del vapor de agua en el aire analizado, es decir a la temperatura del punto de rocío para la presión dada del vapor de agua. En este momento el agua que hay en la tela deja de evaporarse a la temperatura del punto de rocío y hallando para ella la presión de saturación del vapor de agua (valiéndose de tablas o de diagramas del agua), se determina la presión parcial del vapor de agua en el aire húmedo y por lo tanto la humedad del aire.

Sin embargo, en realidad, cuando desciende la temperatura del termómetro en tela húmeda y debido que al ocurrir esto aparece una diferencia entre la temperatura del agua de la tela y la temperatura del aire que la rodea, se produce un flujo de calor, procedente de las capas de aire próximas a la tela húmeda, en virtud de lo cual el equilibrio se establece (temperatura constante en la tela) no a la temperatura del punto de rocío, sino a una temperatura algo más alta, que recibe el nombre de temperatura del termómetro de bulbo húmedo.

La diferencia entre la temperatura del termómetro seco (T.B.S.) y la temperatura del termómetro húmedo (TBH) es proporcional a la humedad del aire. Cuanto más seco sea el aire, tanto mayor será esta diferencia (TBS >>>> TBH), mientras que cuando el aire está saturado de vapor significa TBS = TBH.

La dependencia del contenido de vapor en el aire, con respecto a las magnitudes TBS y TBH se establece por medio de experiencias sucesivas, de acuerdo con cuyos resultados se construye EL DIAGRAMA PSICROMETRICO. Por las indicaciones de un psicrómetro y valiéndose de estos diagramas o Tablas es fácil determinar el contenido de vapor de agua en el aire (HE o HR).
(*VER CARTA PSICROMETRICA Y TABLAS DE VAPOR*)

Hygrodeik y el Higrómetro de Mason.- Se utilizan estos higrómetros para evitar las inconveniencias del uso del psicrómetro de revoleo. Estos instrumentos no pueden considerarse de precisión, por cuanto dependen de la circulación natural para proveer el movimiento relativo entre el aire y el bulbo húmedo. Si se les ubica en una posición donde el aire está relativamente en reposo, se concibe que el aire que rodea el bulbo húmedo pueda alcanzar un grado de humedad bastante mayor

que la del ambiente. En este caso los instrumentos no son confiables. A menudo se usan pequeños ventiladores para obtener la necesaria velocidad del aire respecto del bulbo húmedo.

Higrómetro de Absorción.- Se basa en el principio que algunas sustancias sufren cambios físicos (longitud) según absorben o ceden humedad. Ejm. El pelo humano. Instrumento similar al manómetro de Bourdon.

Higrómetro Químico.- Se basa en que algunas sustancias como el ácido sulfúrico, el cloruro de Calcio y el Pentóxido Fosfórico tienen gran afinidad con el agua y la absorben química y físicamente.

El aire se hace pasar por un conducto, donde están los tubos con estas sustancias químicas, las cuales se pesan antes y después del ensayo, siendo la diferencia de peso igual al peso del vapor de agua absorbido. La relación del peso del vapor de agua al peso del aire que se ha hecho pasar por los tubos es la humedad específica.

Modo de utilizar el Psicrómetro de Revoleo

- 1) Sacar la tapa inferior y sumergir en el agua, para saturar la mecha.
- 2) Llenar el reservorio del psicrómetro con agua y colocar la tapa.
- 3) Sacar el cuerpo del psicrómetro (elemento con el termómetro de bulbo seco y húmedo) del tubo hasta que quede libre totalmente y pueda girar libremente.
- 4) Haga girar el cuerpo psicrométrico entre 120 y 180 RPM du

- rante 1 1/2 minuto, para estabilizar la temperatura.
- 5) Leer inmediatamente la T del bulbo seco y del bulbo húmedo.
 - 6) Introducir el cuerpo psicrométrico, haciendo coincidir la T del bulbo seco (leída), con la T del Bulbo húmedo (leída) que está fija en el tubo y leer el % de H.R. que se indica por la flecha en la escala inferior.
 - 7) De no contar el psicrómetro con la escala de humedad o pretender una mejor precisión con la T.B.S. y la T.B.H. ir a la carta psicrométrica para determinar la H.R.

Aparatos para la Experiencia

- Medidor de Humedad de Inmersión (FIG. II.3)

Marca NEDVESSEGMERO - HUNGRIA

- Rango del termómetro de bulbo seco (T.B.S.) = 0-120 °C.
- Rango del termómetro de bulbo húmedo (T.B.H.) = 0 - 120 °C.
- Paño húmedecido en un recipiente cilíndrico, con circulación natural del aire.
- Se recomienda llenar el recipiente para humedecimiento con agua destilada. Aproximadamente un litro.

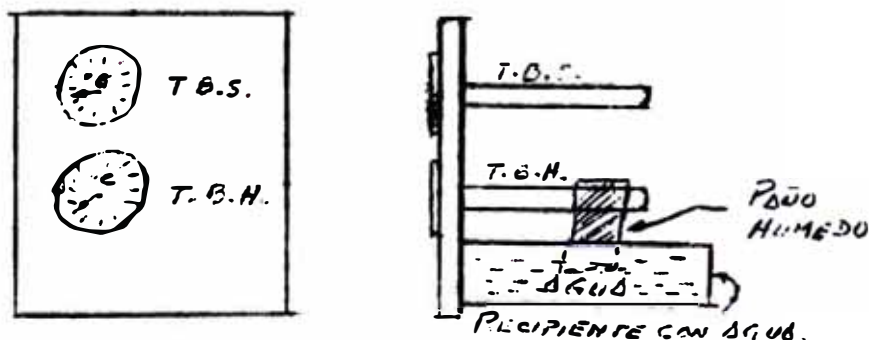


FIG. II.3 MEDIDOR DE HUMEDAD DE INMERSION

Procedimiento

- Se sitúa el medidor de humedad en el ambiente o lugar en que se quiere determinar la humedad.
- Se llena el recipiente humedecelcor con agua destilada.
- Debe tenerse cuidado en que el paño del T.B.H. esté completamente limpio.

Es preferible que haya una mínima corriente de aire en el lugar en que se mide la humedad, para favorecer la evaporación del agua.

- Con la T.B.S. y la T.B.H. determinadas ir a la carta psicrométrica y a las Tablas de Vapor de agua para hallar los diferentes parámetros que se señalan a continuación.

Se pide

- Determinar La humedad relativa, la humedad específica, la presión de saturación a la temperatura de la mezcla, la temperatura del punto de rocío, la presión parcial del vapor de agua, el volumen específico y la entalpía específica en un ambiente bajo techo.
- Repetir las determinaciones del punto anterior, cuando se sitúa el medidor de humedad al aire libre, con sombra.
- Igual que el punto uno, con el medidor de humedad al aire libre, sin sombra.

Referencia Bibliográfica

- Profesor UNI " Laboratorio de Ing. Mecánica I".
- Seymour "El Laboratorio del Ing. Mecánico".

II.2 DETERMINACION DE LOS ESTADOS DE VAPOR

Objetivo

Hallar la calidad de una determinada muestra de vapor.

Fundamento Teórico

Calorímetro Universal.- Este tipo de calorímetro basa su funcionamiento en la separación del agua del vapor mediante cambios de dirección del flujo de una determinada muestra de vapor húmedo al pasar a través del calorímetro.

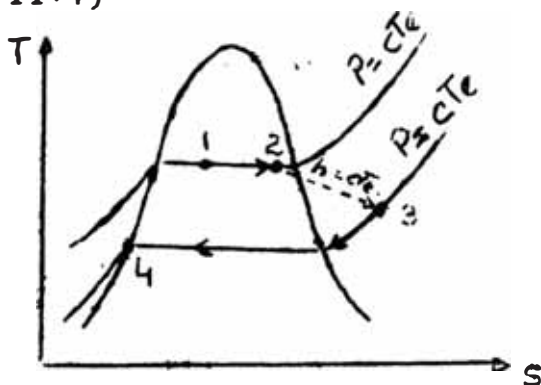
El vapor húmedo entra por la parte alta del calorímetro; choca contra unas placas desviadoras, como existe una gran diferencia de densidades del vapor y del agua; este cambio de dirección nos permite obtener el agua de este vapor húmedo; considerando que el agua tiene una inercia mayor.

El vapor seco se estrangula al pasar por un espacio anular; es sobrecalentado para finalmente ser condensado y recogido.

El calorímetro universal es un calorímetro combinado que comprende un calorímetro separador y un calorímetro estrangulador.

En un diagrama T-S obtenemos los siguientes procesos

(FIG. II.4)



1-2 : SEPARACION DEL AGUA DEL VAPOR .

2-3 : ESTRANGULACION .

3-4 : ENFRIAMIENTO Y CONDENSACION .

FIG. II.4 PROCESOS EN UN CALORIMETRO UNIVERSAL.

Este calorímetro es recomendable cuando el contenido de hume-

dad es alto.

Procesos

1-2 : Separación del agua del vapor

2-3 : Estrangulación

3-4 : Enfriamiento y Condensación

Considerando :

m_T = Masa total del vapor húmedo

m_S = Masa del líquido separado

m_C = Masa de Condensado.

m_V = Masa de Vapor Seco

X_1 = Calidad de la muestra

X_2 = Calidad a la salida del separador

Asi mismo :

$$h_2 = h_{f2} + X_2 h_{fg2} \dots\dots\dots \text{pero } h_3 = h_2$$

De donde :

$$X_2 = \frac{h_3 - h_{f2}}{H_{FG2}} \dots\dots\dots (1)$$

Teniendo en cuenta que :

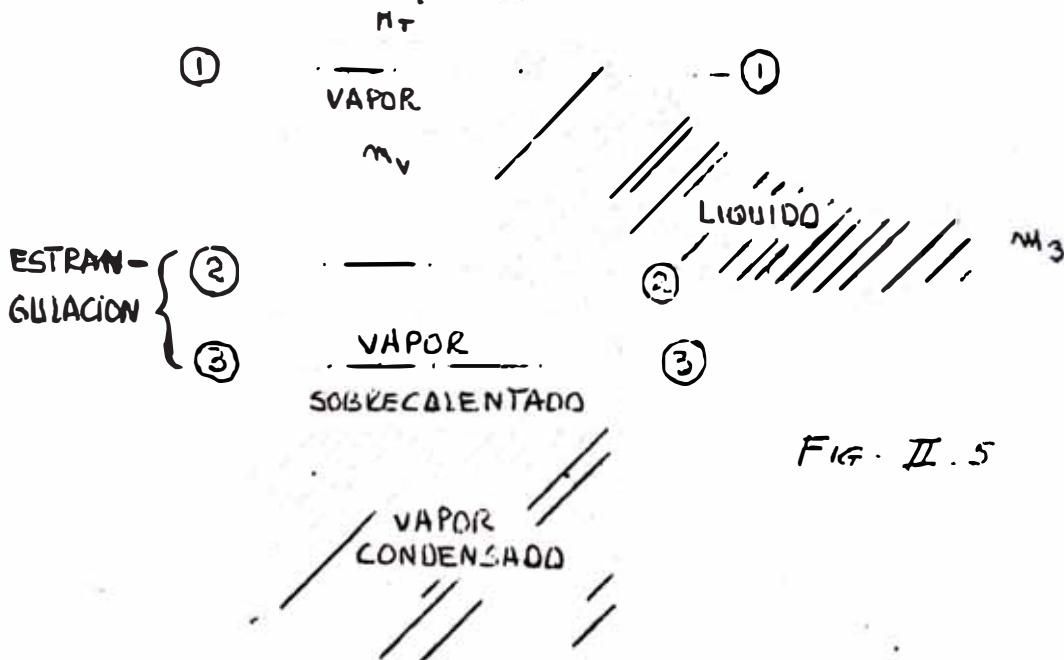


FIG. II.5

Entonces teniendo como guía la distribución de la figura anterior : (FIG. II.5)

$$x_2 = \frac{m_V}{m_C} \dots\dots\dots (2)$$

Reemplazando (2) en (1) :

$$m_V = \frac{h_3 - h_{f2}}{h_{fg2}} \times m_C \dots\dots\dots (3)$$

Así mismo :

$$x_1 = \frac{m_V}{m_T} = \frac{m_V}{m_S + m_C} \dots\dots\dots (4)$$

Luego : (3) en (4):

$$x_1 = \left(\frac{m_C}{m_S + m_C} \right) \cdot \left(\frac{h_3 - h_{f2}}{h_{fg2}} \right)$$

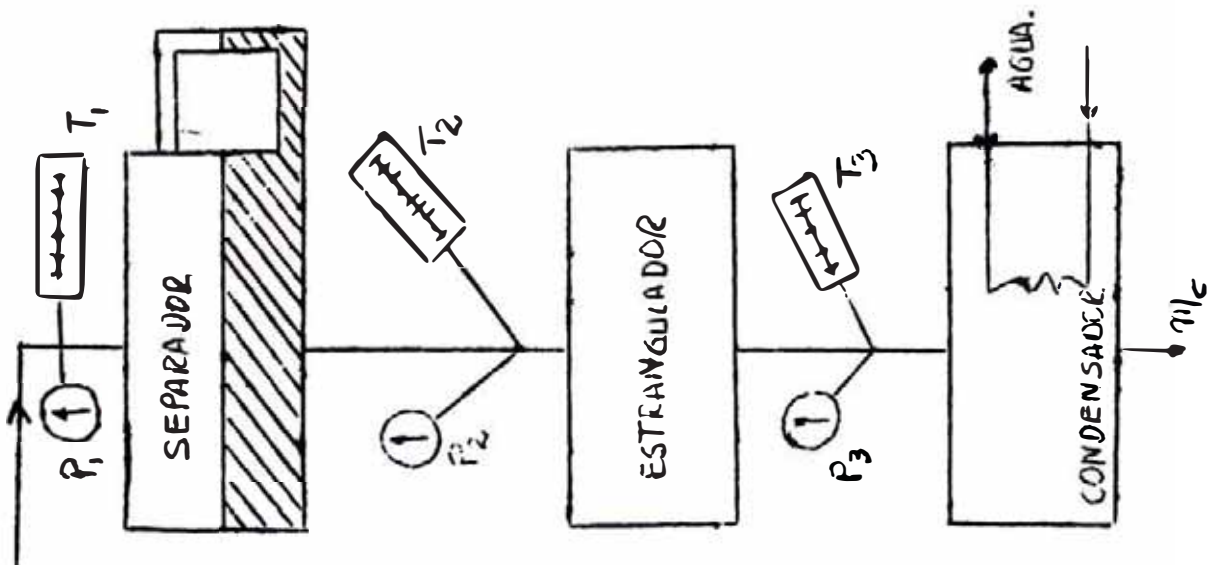


FIG. II.6 ESQUEMA DE UN CALORIMETRO UNIVERSAL

Procedimiento

- 1.- Hacer pasar vapor a través del calorímetro.
- 2.- Tomar mediciones de temperatura en los puntos (1) , (2) y (3) de la Fig. II.6
- 3.- De las tablas de vapor se obtienen h_3 , h_{f2} y h_{f32} .
- 4.- Medir la masa separada y la masa condensada.

Recomendaciones Generales

La separación incompleta del agua y vapor, así como errores de medición traen consigo erróneos valores de la calidad.

Cuestionario

- 1.- En qué consiste un Proceso de Estrangulamiento.
- 2.- La masa separada es la humedad contenida en el vapor
¿Por qué?

Calorímetro de Estrangulación

Este es un calorímetro de estrangulación, implementado en las Plantas Piloto. El principio en que se basa este calorímetro, es que la mayoría de vapores saturados dan lugar a un vapor sobrecalentado cuando se le somete a un proceso de estrangulación, excepto en el caso que el contenido de humedad del vapor sea alto.

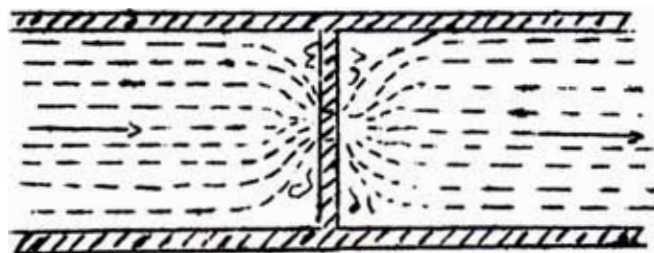


FIG. II.7 PROCESO DE ESTRANGULACION

Es un proceso de estrangulación, como el ilustrado en la figura II.7 , puede aplicarse al fluido la ecuación de la conservación de la energía. La estrangulación causa normalmente una gran reducción del caudal. Así, la energía cinética, antes del dispositivo de estrangulación es muy baja y se puede considerar despreciable.

Durante la estrangulación del fluido hay un aumento de velocidad y por lo tanto de energía cinética. No obstante, esta energía cinética desaparece a poca distancia del punto en que se produce la restricción. El hecho de que no haya una variación apreciable de la energía cinética, es decir para mantener la en un valor bajo; va a depender de poder tener una área transversal de flujo restringida (orificio pequeño), de tal manera que nos permita también restringir el caudal, por otro lado también va a estar en función de la densidad del fluido. Para que no haya una pérdida apreciable de calor causada por el dispositivo de estrangulación se tiene que tener en cuenta la magnitud de la superficie expuesta, el área del estrangulador y la relación de temperaturas del fluido y del ambiente, por lo que se deben tomar las precauciones necesarias para evitar el intercambio de calor.

Si el estrangulador está diseñado de modo que no haya una variación neta apreciable de la energía cinética, ni intercambio apreciable de calor, no hay entonces una variación apreciable de entalpía.

El proceso real de estrangulamiento es irreversible, sin embargo como la entalpía es una propiedad, se puede imaginar una trayectoria equivalente entre el punto inicial y el punto

final en los diagramas para la entalpía constante.

En el diagrama T-S mostrado para el "Calorímetro Universal" podemos apreciar la línea punteada que corresponde al proceso con entalpía constante, que es el que se da en el "Calorímetro de Estrangulación" que estamos viendo. Como en el punto (2), que tenemos va por saturado con una determinada humedad, no es suficiente conocer la presión y temperatura de saturación, para determinar su estado, ya que son propiedades dependientes una de otra; es necesario hallar una tercera propiedad para determinar el estado (2). Esto se logra, determinando la presión y temperatura del vapor sobrecalentado, punto (3), donde si son propiedades independientes, lo que nos permite determinar de tablas o diagramas, la entalpía en el punto (3). Como en el calorímetro de estrangulación la entalpía es constante, podemos concluir que $h_2 = h_3$, con lo que queda determinado el punto (2).

Conociendo la entalpía en (2) y la presión o temperatura en este punto podemos decir que conocemos dos propiedades independientes, con lo cual se determina el estado (2) y a partir de estas dos propiedades se pueden fijar todas las demás. Entre ellas el contenido de humedad, calidad o título del vapor (X), que es el objetivo de esta experiencia.

Para ello se utilizan las relaciones :

$$h_{\text{calorímetro}} = h_{\text{tubería}} = h_g - Y h_{pg}$$

$$h_{\text{calorímetro}} = h_{\text{tubería}} = h_f + X h_{fg}$$

El termómetro puede tener un error de 1 ó 2 grados, de modo

que puede parecer que hay un sobrecalentamiento de 1 ó 2 grados en el calorímetro, en presencia, sin embargo de cierta humedad. En consecuencia es conveniente tener un sobrecalentamiento mínimo de 3 a 5 °C antes de usar los datos obtenidos en el calorímetro. (Los grados de sobrecalentamiento son iguales a la diferencia entre la temperatura verdadera y la temperatura de saturación a la presión dada). Por otro lado, si la estrangulación con descarga a la atmósfera no produce un sobrecalentamiento suficiente para garantizar el uso del calorímetro, la descarga puede hacerse a una cámara de vacío, a fin de producir una mayor caída de presión.

En el calorímetro que vamos a utilizar para nuestra experiencia, cuya disposición se muestra en la Fig. II.8, hay que tener cuidado de que el pozo del termómetro, insertado en la parte de baja presión del calorímetro, no restrinja el flujo hasta el punto de hacer apreciable la energía cinética del vapor en esta parte del calorímetro.

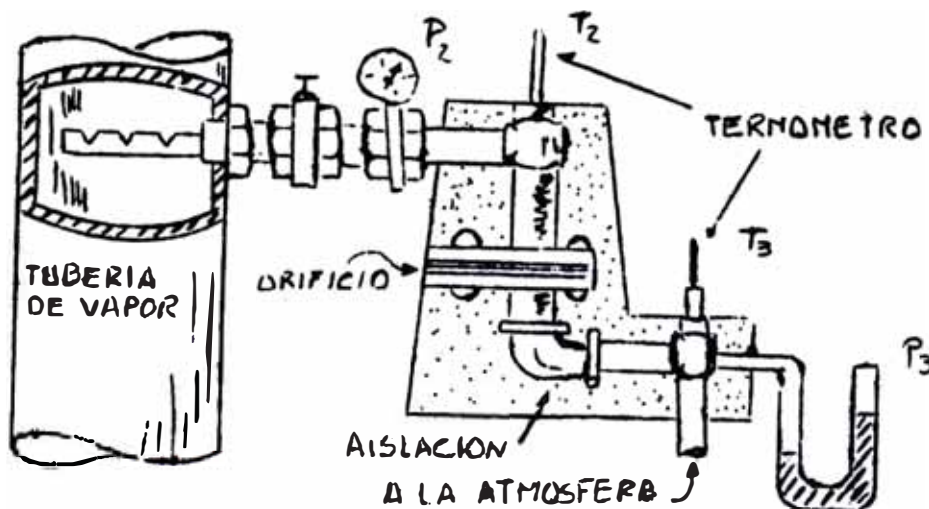


FIG. II.8 CALORIMETRO DE ESTRANGULACION IMPLEMENTADO.

Referencia Bibliográfica

Seymour "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"

- Profesores UNI "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I."

III. FLUJOS - MEDICION DE CAUDALES

Objetivo

Conocer los fundamentos teóricos y prácticos en la medición de flujos compresibles e incompresibles que fundamentalmente se utiliza en la industria.

Fundamento Teórico

Estudio de Flujos.- Los fluidos por su naturaleza son altamente móviles, el transporte de fluidos suele darse en canales abiertos o conductos cerrados. En forma muy general podemos diferenciar los siguientes tipos de flujo:

- Flujos Exteriores : Que vienen a ser flujos alrededor de cuerpos tales como perfiles de alas, cohetes, superficies de navíos, etc.

Flujos Interiores Los flujos están limitados por contornos definidos, como por ejemplo el flujo a través de tuberías, conductos y toberas.

- Flujos con Efectos Viscosos Es importante poder determinar cuando los efectos viscosos tienen importancia. Según Newton para un flujo exterior, la tensión cortante que define la viscosidad está relacionada con la viscosidad del fluido propiamente y con el gradiente de velocidades; por lo que aún para pequeñas viscosidades, existirá siempre una región delgada alrededor del cuerpo donde debido al gradiente de velocidades se produce una "adherencia" al contorno que implica una importante tensión cortante y toma el nombre de capa límite. Por otro lado si para el mismo cuerpo el fluido tuviera una alta viscosidad, debemos considerar

un flujo viscoso sobre gran parte del campo del flujo y no solo en la capa límite. En general los flujos exteriores en Ingeniería Aeronáutica e Ingeniería Naval, se suelen considerar sin rozamiento, excepto en la capa límite.

En el caso del flujo en un tubo capilar, excepto para volúmenes de flujo considerables, generalmente se considera un flujo totalmente viscoso, incluso para fluidos de baja viscosidad y tubos de pequeña longitud. De la misma manera - los flujos en tubería que transportan aceite y agua a distancias notables, generalmente se consideran como flujos viscosos.

Flujos No Viscosos : Los conductos que transportan aire a distancia relativamente cortas como son las tuberías de aire acondicionado y los túneles de viento, pueden considerar su flujo como sin rozamiento, excepto en la capa límite. Es un flujo ideal.

- Flujo Laminar Cuando la velocidad del fluido es baja, el fluido tiende a moverse en forma ordenada y las capas de fluido se deslizan una sobre otra.

Flujo Turbulento : Es un flujo irregular, sinuoso, origina un a mayor tensión de corte, produce más irreversibilidades o pérdidas.

Podemos apreciar en los dibujos que se ofrecen a continuación la experiencia de Reynolds sobre un flujo viscoso. - Se hace fluir agua a través de una tubería de vidrio, cuya velocidad se controla con una válvula. Se inyecta un tinte que tenga el mismo peso específico que el agua. Cuando la válvula se encuentra ligeramente abierta se aprecia que el tinte se mueve como un filete y se trata de

un flujo laminar Fig. III.1. Conforme se va abriendo la válvula el tinte se aprecia con un movimiento fluctuante que se denomina flujo de transición Fig. III.2. Mientras, que cuando la válvula se sigue aperturando se produce una dispersión del tinte y se denomina flujo turbulento

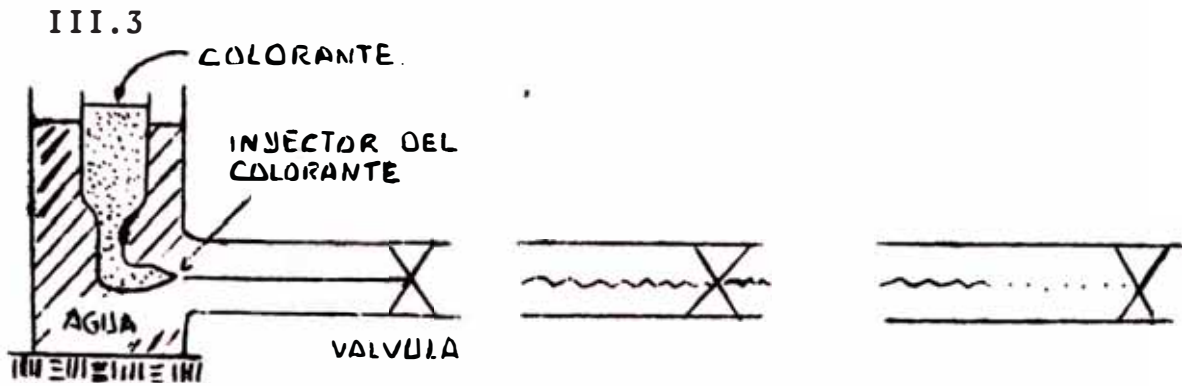


FIG. III.1 FLUJO LAMINAR

FIG. III.2 EN TRANSICION

FIG. III.3 TURBULENTO

- Flujo Permanente : Es aquel, que sus propiedades y características son independientes del tiempo y puede darse en un flujo laminar (FIG. III.4) donde la velocidad es constante en función del tiempo y en un flujo turbulento (FIG. III.5) donde la velocidad media se considera constante en función del tiempo.

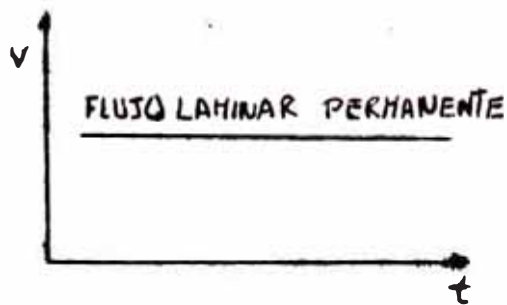


FIG. III.4

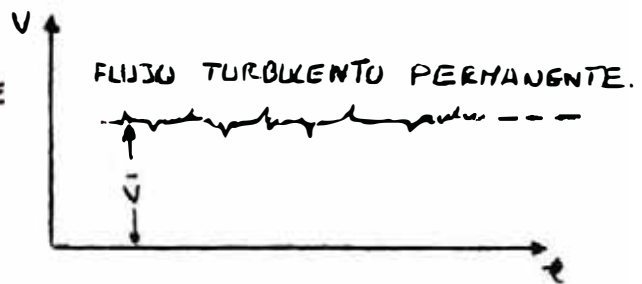


FIG. III.5

- Flujo No Permanente : Un flujo turbulento no permanente puede considerarse como aquel en que la velocidad media varía en función del tiempo. (Fig. III.6)



FIG. III.6

- Flujo Incompresible : La densidad y el peso específico se toman como constantes. Es el caso de los fluidos líquidos y los fluidos gaseosos a bajas velocidades. Ejms. : Bombas de Agua, Turbomáquinas, Turbina Hidráulica, Ventilador de Aire. Bajas velocidades se considera 0.2 Mach., 0.3 Mach.
- Flujo Compresible : La densidad y el peso específico varían es el caso de gases y vapores a altas velocidades y presiones. Ejms. de Turbomáquinas, Compresor de Aire y Turbosoplador. Entre los equipos tenemos plantas de vapor y de transporte neumático donde se utilizan compresores. Se considera flujo compresible en velocidades subsónicas, cuando varía entre 0.4 a 1 Mach.

Donde :

$$\text{Mach} = \frac{V}{C}$$

V → Velocidad del cuerpo -
móvil o del aire en movimiento.

$$C = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T}$$

C → Velocidad del sonido en el aire.

$$\gamma = 1.4$$

$$R = 287 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

T = Temperatura en K

$$\text{Ejm. : } 0.2 \text{ Mach} = \frac{V}{340}$$

$$V = 68 \text{ m/seg}$$

TIPOS DE INSTRUMENTOS MEDIDORES DE CAUDAL

Los diferentes instrumentos medidores de caudal se pueden ubicar en dos grupos :

- 1) Medidores de Masa o Volumen : Los instrumentos que se ubican en este grupo, se basan en la medición de masa o volumen que fluye en un determinado tiempo y para obtener el caudal o gasto se divide esta masa o volumen acumulado entre el tiempo que ha demorado en fluir.

$$Q = \frac{m}{t} \quad (\text{Kg/seg.}, \text{Kg/min.}, \text{Lb/seg}, \text{Lb/min})$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{m}^3/\text{seg.}, \text{m}^3/\text{min.}, \text{pie}^3/\text{seg.}, \text{pie}^3/\text{min.}, \text{Galones /min.}, \text{Barriles/Hr.})$$

- 2) Medidores de Flujos de Masa o Volumen : Los instrumentos considerados en este grupo miden el flujo de masa o volumen y pueden clasificarse como medidores de desplazamiento positivo o cantidad y medidores por el método de restricción de flujo o alturas de presión.

Los medidores de desplazamiento positivo o cantidad como su nombre lo indica se basan en mediciones de cantidad del fluido. En este tipo de medidor el fluido que se quiere medir entra progresivamente en compartimientos de volumen bien definido que constituyen el mecanismo primario del medidor. A medida que estos compartimientos se van lle-

nando, ellos giran lo suficiente como para permitir su descarga. El mecanismo secundario sirve para sumar esas porciones aisladas y dar el gasto o caudal a través del medidor, que es igual al producto del volumen de los compartimientos por el número de compartimientos y las R.P.M. del rotor.

Los medidores por el método de restricción de flujo y/o altura de presión se basan en que un líquido que fluye por una tubería tiene una cantidad determinada o fija de energía total, que es la suma de la energía potencial o de posición, la energía de presión y la energía cinética ó de velocidad - (FIG. III . 7).

Ecuación de Bernoulli :

$$Z + P/\rho + V^2/2g = \text{CTE}$$

Para medir el gasto o caudal con estos medidores, se introduce en la tubería una restricción al flujo. Algunos de esta restricción puede ser un venturí, una tobera o un plato de orificio, pero cualquiera que sea el tipo de restricción su función es la de aumentar la velocidad del líquido a través de la restricción. Al aumentar la velocidad, la altura de velocidad aumenta, también, y la presión tiene que bajar, disminuyendo la altura de presión. De la diferencia entre las presiones antes y después de la restricción se puede calcular la velocidad del líquido y conociendo el área de la tubería se puede calcular el gasto o caudal

$$Q = V \cdot A$$

\bar{V} - Velocidad (t/seg., Mt/min, pie/seg, pie/min)

A - Area (Mt², pie²)

Q - Caudal (Mt³/seg, Mt³/min., pie³/seg., pie³/min.)

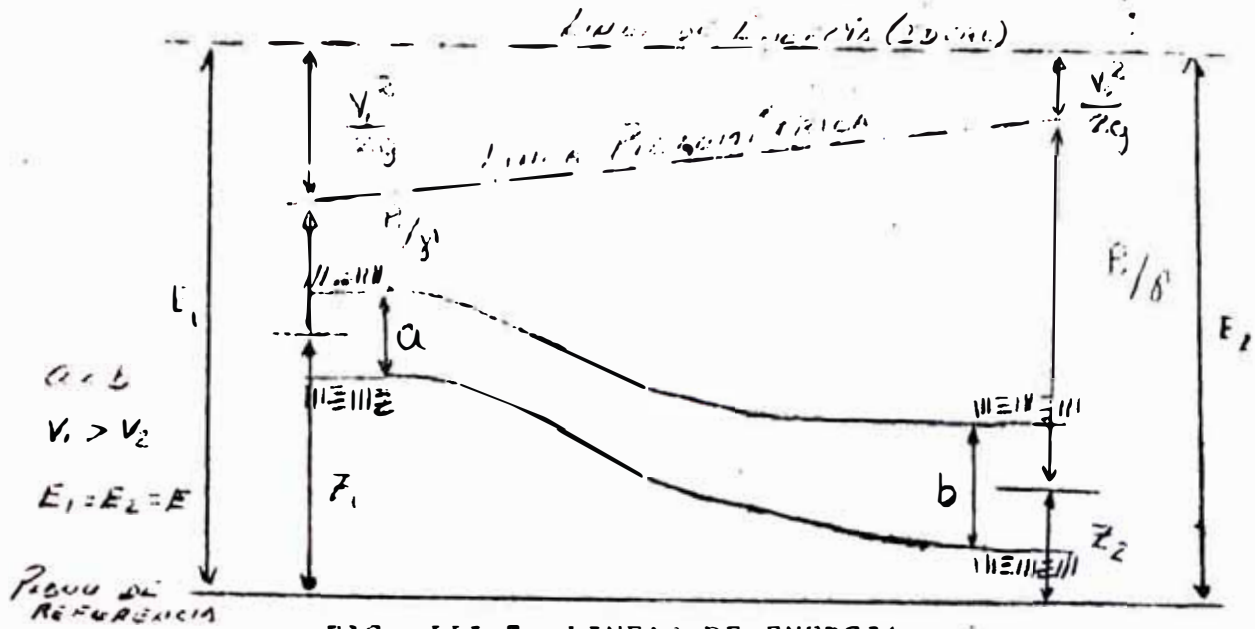


FIG. III.7 LINEAS DE ENERGIA

MEDIDORES DE CAUDAL PARA FLUJOS INCOMPRESIBLES

- Medidores de Masa o Volumen. - Tenemos :

1) Tanque Simple : Consiste en dos tanques separados por medio de un tabique de placa metálica. El nivel de agua que tiene el tanque se observa en un tubo transparente conectado al fondo del tanque, basado en el principio de vasos comunicantes. Se le adosa una graduación, donde se pueda leer directamente el volumen del líquido acumulado. Cuando este tanque se llena el exceso de líquido rebosa hacia el otro tanque. Para iniciar la medición se cierran las llaves de desague del tanque. (Fig. III.8).

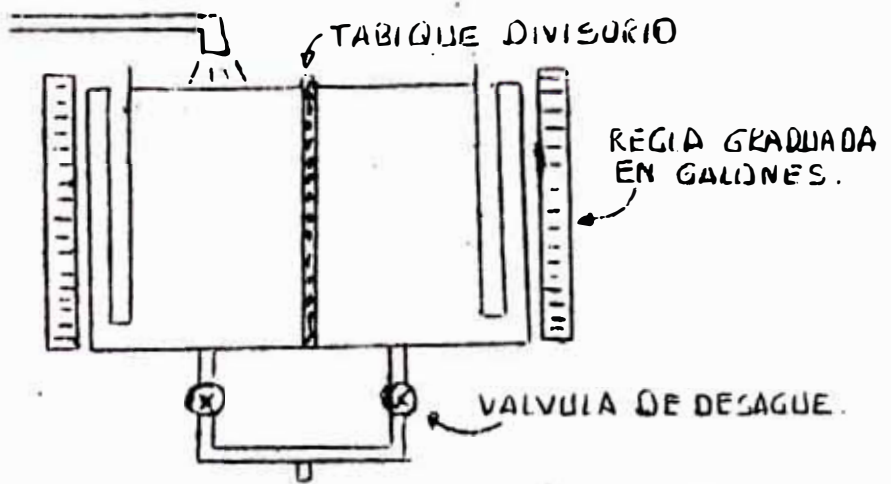


FIG. III.8 TANQUE SIMPLE

- Medidores de Desplazamiento Positivo o Cantidad. - Tenemos :

1) Medidor de Disco Nutante : O contador de flujo, es bastante utilizado como medidor de agua de tipo doméstico.

Este medidor opera bajo el principio de disco nutante. El líquido entra al medidor por el lado izquierdo, pasa por arriba a través del colador a la parte superior de la caja. Desde ahí sigue hacia abajo a través de la cámara medidora a la base del medidor donde descarga a la tubería de salida. Cuando el flujo entra a la cámara medidora hace girar al disco con un movimiento de nutación (cabeceo) respecto a un eje vertical, tanto la parte superior como la inferior del disco permanece en contacto con la cámara. Mientras el disco nuda transmite un movimiento al tren de engranajes que mueve el mecanismo contador, el movimiento del fluido es continuo y no tiene pulsaciones. (Fig. III.9)

2) Medidor de Pistón Rotatorio. - La cámara medidora es cilíndrica con un soporte central y una platina divisora y tiene lumbrera de admisión de un lado y lumbrera de descarga en el otro. El pistón mismo no gira, sino que se desliza en forma oscilante para un lado y otro en su ranura sobre el puente, y siempre se mueve en la dirección del flujo. La colocación de las lumbreras es tal que siempre están abriendo o cerrando para admitir o descargar líquido de los espacios que se agrandan o se achican. El movimiento del pistón se transmite a un juego de engranajes intermedios y al registrador, el cual registra la cantidad de líquido desplazado. (Fig. III.10)

- 3) Medidor de Alabes Rotatorios Los alabes están montados en resortes, con lo cual se logra que mantengan contacto continuo con la caja del medidor. Conforme gira el tanque excéntrico, se atrapa una cantidad fija de fluido en cada sección comprendida entre cada par de alabes; en forma simultánea se expulsa el fluido. El volumen del fluido líquido desplazado se obtiene mediante un registrador conectado a la flecha del tambor excéntrico. Este tipo de medidor es relativamente insensible a la viscosidad ya que los alabes siempre mantienen buen contacto con el interior de la caja. (Fig. III.11)
- 4) Medidor de Impulsor Lobulado Se usa tanto para mediciones de gas como de líquidos. Los impulsores y la carcasa se maquinan cuidadosamente de manera que tengan un ajuste exacto, de tal forma que el fluido que entra es atrapado entre ambos lóbulos y conducido a la salida, como resultado de su rotación. El número de revoluciones de los lóbulos es una indicación directa del gasto volumétrico. (Fig. III.12).

Medidores por el Método de Restricción de Flujo y/o altura de Presión :

En estos medidores se puede presentar las diferentes combinaciones de variación o constancia de áreas y alturas de presión. Por lo que los clasificaremos en

A) Medidores de Area Constante y Altura Variable

- 1) Tubo Pitot
- 1) Tubo Venturi
- 3) Tobera
- 4) Placa con orificio.

B) Medidores de Area Variable y Altura Constante

1) Rotámetros

c) Medidores de Area Variable y Altura Variable

1) Vertedero

D) Medidores de Area Constante y Altura Constantes

1) Tubo de Reynolds

A-1) Tubo de Pitot : Es un dispositivo que consiste en dos tubos coaxiales. En el tubo interno se capta la presión total y en el externo la presión estática. Cuando estos dos tubos se conectan a las ramas de un manómetro de columna líquida se lee la presión de velocidad en el manómetro que viene a ser la diferencia entre la presión total o de estancamiento y la presión estática. (Fig. III-13)

Presión estática, viene a ser la fuerza por unidad de área ejercida sobre las paredes de un recipiente por un fluido que está en reposo. Si no tomamos en cuenta el efecto de la gravedad, la presión estática es la misma en todo el volumen del líquido en reposo. Una forma de captar la presión estática de un fluido sería si desplazáramos un instrumento a la misma velocidad y en la dirección y sentido del fluido en movimiento. Pero esto no es práctico, por lo que se acostumbra a medir la presión estática insertando un tubo manométrico en la pared del recipiente, de tal forma que haga ángulo recto con la dirección del fluido en movimiento, teniendo en cuenta que no sobresalga el tubo insertado y que no tenga aristas que causen errores por impacto o remolinos.

En suma la presión estática viene a ser la presión debida al movimiento molecular de un fluido, pero no la que se origina debido al movimiento del fluido. (Figs III. 14 y III. 15)



FIG. III.14 TUBOS PARA
MEDIR PRESION ESTATICA

FIG. III.15 ANILLO
PIEZOMETRICO

La presión de velocidad, viene a ser la fuerza por unidad de área ejercida por el movimiento del fluido como un todo sobre un plano perpendicular a la dirección del movimiento. Las presiones de velocidad se miden con el tubo Pitot y se usan principalmente en la determinación de velocidades o caudales.

La presión total ó dinámica, es la suma de las presiones estática y de velocidad. Es la presión total ejercida por un fluido en movimiento sobre un plano perpendicular al movimiento. La presión total también se conoce como presión de estancamiento y puede medirse con un tubo de impacto, se considera como la presión estática que se ejercería si un fluido en movimiento se llevara al reposo, de tal manera que la presión de velocidad se transformase en presión estática. Fig. III.16.

Una forma simple de una disposición de un tubo de Pitot

se muestra en la Figura III.17

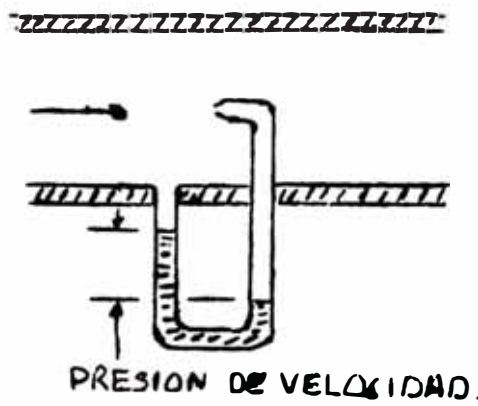
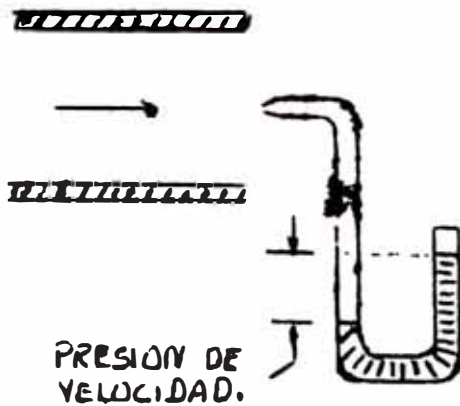


FIG. III.16 TUBO DE IMPACTO EN EL EXTREMO DE UN CONDUCTOR. CON TUBO ESTATICO SEPARADO. FIG. III.17 TUBO DE PITOT EN EL EXTREMO DE UN CONDUCTOR. CON TUBO ESTATICO SEPARADO.

En las figuras anteriores consideraremos que una pequeña corriente de fluido, velocidad no disturbada -- aguas arriba, llega hasta la punta del tubo de Pitot. Inicialmente tendrá una velocidad V_1 y finalmente se detiene.

De la ecuación de la energía :

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$

Si $z_1 = z_2$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \dots \dots \dots (\alpha)$$

Como : $V_2 = 0$ $h = - \frac{V_1^2}{2g}$

El signo negativo indica que ha habido un aumento de presión.

El aumento de presión

$$h = \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{o sea} \quad V_1 = \sqrt{2gh}$$

Si consideramos de (α) :

$$P_1 - P_2 = \rho \frac{V_1^2}{2} = \gamma_{1.m.} h \rightarrow V_1 = \frac{2 \gamma_{1.m.} h}{\rho_{fluido}}$$

$\gamma_{1.m.}$ → Peso específico del líquido manométrico.

ρ_{fluido} → Densidad del fluido en movimiento.

Como toda la corriente que fluye hacia el tubo no se logra detener, debido a que parte se desviará alrededor del borde, luego el valor real de V_1 será diferente del valor teórico.

Esta variación dependerá del diseño del tubo. Para compensar esta variación se introduce el coeficiente "C", llamado coeficiente del tubo de Pitot.

Conforme el diseño del tubo de Pitot sea el más adecuado, el valor del coeficiente "C" tiende a la unidad.

Luego :

$$V_1 = C \cdot \sqrt{2gh} \quad \text{o} \quad V_1 = C \sqrt{\frac{2 \gamma_{1.m.} h}{\rho_{fluido}}}$$

Para calcular el caudal de aire en un ducto se utiliza:

$$Q = \bar{V} \cdot A$$

Donde \bar{V} es la velocidad promedio, que generalmente no es posible medir directamente. En el caso de flu-

jo turbulento se asume aproximadamente $\bar{V} = 0.82 V_{\text{máx.}}$ y para el flujo laminar $\bar{V} = 0.5 V_{\text{máx.}}$ Para cálculos más precisos se divide el área transversal del conducto en cinco partes iguales o áreas iguales.

Luego : (De la Fig. III.13)

$$\begin{aligned} \bar{v} (r_0^2 - r_1^2) + \bar{v} (r_1^2 - r_2^2) + \bar{v} (r_2^2 - r_3^2) + \\ \bar{v} (r_3^2 - r_4^2) + \bar{v} r_4^2 = \bar{v} r_0^2 \end{aligned}$$

También :

$$\bar{v} (r_0^2 - r_1^2) = \bar{v} (r_1^2 - r_2^2) = \bar{v} (r_2^2 - r_3^2) =$$

$$\bar{v} (r_3^2 - r_4^2) = \bar{v} r_4^2$$

$$\therefore 5 \bar{v} (r_0^2 - r_1^2) = \bar{v} r_0^2$$

$$r_1 = \sqrt{4/5} r_0 \quad \rightarrow \quad r_1 = 0.894 r_0$$

$$r_2 = 0.775 r_0$$

$$r_3 = 0.632 r_0$$

$$r_4 = 0.447 r_0$$

Si consideramos el centroide de las áreas A_1, A_2, A_3 y A_4 ubicadas en el centro al tomarse éstas como rectángulos y en el caso del área A_5 el centroide ubicado a $2/3$ de la base, considera esta como triángulo. Luego si tomamos las velocidades en estos puntos y las promediamos obtenemos una velocidad promedio para cada sec-

ción recta.

$$Q = A_0 \cdot \bar{V} = A_1 \bar{V}_1 + A_2 \bar{V}_2 + A_3 \bar{V}_3 + A_4 \bar{V}_4 + A_5 \bar{V}_5$$

Como : $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_5$ y $A_0 = 5 A_1$

$$5 A_1 \bar{V} = A_1 (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3 + \bar{V}_4 + \bar{V}_5)$$

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3 + \bar{V}_4 + \bar{V}_5}{5}$$

En forma genérica : $\bar{V} = \frac{\sum \bar{V}}{n}$, donde n es el número de áreas en que se ha dividido la sección recta.

Luego : $Q = \bar{V} \cdot A_0$

A-2) Tubo de Venturi : Consiste en dos porciones cónicas con los diámetros menores conectados por un tramo corto de tubería paralela que forma la menor sección del venturi y toma el nombre de garganta. (Fig. III.18)

El cono de aguas abajo, de la garganta, es de mayor longitud que el de aguas arriba y el ángulo de expresión del cono mayor es un factor importante en la construcción del venturi. En cualquier restricción, la mayor parte de las pérdidas ocurren en la expansión, después de la garganta, donde se forma remolino. Cuanto menor es el ángulo de expansión, menor será la pérdida debida a remolinos. Hay un límite práctico para el ángulo de expansión pues si este se hace muy pequeño el cono de expansión, será muy largo y llega el momento en que las pérdidas debida a la fricción serán más grandes que las pérdidas por la for-

mación de remolinos. El menor ángulo que se emplea es de 5° , siendo más común el de 7° . También se emplean ángulos entre 14° y 15° . Fig. III.19.

El ángulo de contracción no es tan importante como el de expansión.

Otro factor importante es la relación que existe entre el área de la tubería (A_1) y el área de la garganta (A_2) del venturi. En la fig. III.19 se ve las curvas que dan las pérdidas (como porcentaje de la energía total) que ocurren cuando el líquido fluye a través de un venturi. Cada curva da el valor de la pérdida para venturís que tienen diferentes relaciones de área. En el cono de expansión se produce una transformación de presión de velocidad en presión estática.

Aplicando la ecuación de la energía en el venturi entre los puntos 1 y 2.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

Además : $A_1 V_1 = A_2 V_2$ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2} = m$

En (1) :

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{V_2^2 (1 - m^2)}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

Relacionando las presiones en el manómetro

$$\frac{P_1}{\rho g} + h_1 - \left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \right) \times H - h_2 = \frac{P_2}{\rho g} \quad (\text{En altura de agua})$$

Reordenando :

$$\frac{P_1}{\rho g} + H - \left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \right) \cdot H = \frac{P_2}{\rho g} \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = H \left[1 - \left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \right) \right] \dots$$

..... (3)

Reemplazando (3) en (2) :

$$H \left[1 - \left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \right) \right] = \frac{V_2^2 (1 - m^2)}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{1 - m^2}} \cdot \sqrt{2gH \left[1 - \left(\frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \right) \right]}$$

$$V_2 = K \sqrt{2gH \left[1 - \frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} \right]}$$

Donde K es un factor de aproximación de velocidad.

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}$$

El caudal teórico : $Q_r = V_2 \cdot A_2$

El caudal real : $Q_R = C_d \cdot Q_r$

C_d = Coeficiente de descarga

A-3) La Tobera : Básicamente la tobera no es sino un venturi al que le falta el cono de expansión. La tobera no se usa mucho en la medición de flujo de líquidos sino más

bien en flujos de gases, aire o vapor. Fig. III.20.

Las características de la tobera median entre las del venturi y las del plato con orificio.

A-4) El Plato de Orificio : Este es el elemento primario que más se emplea en la medición de flujos. La razón principal a que debe su popularidad es su bajo costo y fácil instalación.

Es muy costoso fabricar un venturi de acuerdo con las especificaciones pues esto requiere un gran cuidado y un acabado de precisión, las curvas tienen que ser aerodinámicas y como éstas se hallan en el interior del venturi son difíciles de hacer y comprobar. Algo similar ocurre en la tobera. En el plato de orificio no hay tales dificultades pues cualquier tornero puede hacer o rectificar un plato de orificio.

El plato de orificio consiste en una plancha delgada de metal que se acomoda entre los pernos que sujetan las bridas adyacentes en la tubería. El diámetro del plato es tal que los pernos de la brida le impide moverse. En el centro del plato está el orificio. El orificio debe ser de forma cilíndrica o sea el diámetro de entrada debe ser igual al diámetro de salida. El orificio debe ser perpendicular al plato.

Para determinar el grosor del plato se siguen recomendaciones como :

El grosor de plato para tubería hasta de 4" inclusive (tamaño nominal) debe ser por lo menos 1/16 de pulgada.

Para tubería desde 4" hasta 16" el grosor del plato no debe ser menor de 1/4 de pulgada.

Una de las cosas más importantes en la construcción de platos de orificios es que el borde de entrada del orificio sea de lo más filudo posible. Figs. III.21.

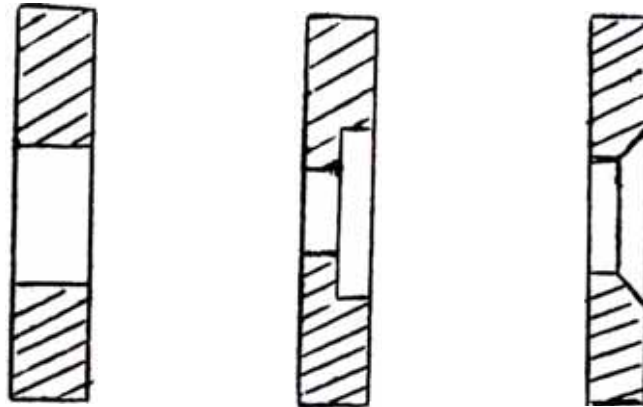


FIG. III.21 PLATOS CON ORIFICIO

Coefficiente de Descarga y Vena Contracta, son dos términos importantes en el estudio de los elementos primarios de medidores de caudal.

Se ha visto que un aumento de velocidad en una restricción trae como consecuencia una reducción en la presión y que del diferencial de presión es posible calcular la velocidad en el tubo y de allí el caudal.

En la práctica resulta que el valor calculado del caudal es mayor que el valor actual como se puede comprobar pesando el líquido que pasa en cierto tiempo. El exceso del caudal calculado con respecto al caudal real depende del elemento primario utilizado. Por ello se utiliza un coeficiente de descarga (C_d) que multiplicado por el caudal calculado nos da el caudal real.

$$Q_R = C_d \cdot Q_c$$

Para venturís y toberas el coeficiente de descarga toma

valores entre 0.95 y 0.99, dependiendo del diseño.

En el plato de orificio ocurre el fenómeno de la "Vena Contracta" y debido a esto el coeficiente de descarga disminuye considerablemente y fluctúa alrededor de 0.60.

Para explicar el fenómeno de la vena contracta, lo mejor es referirse al dibujo que sigue. (Fig. III.22).

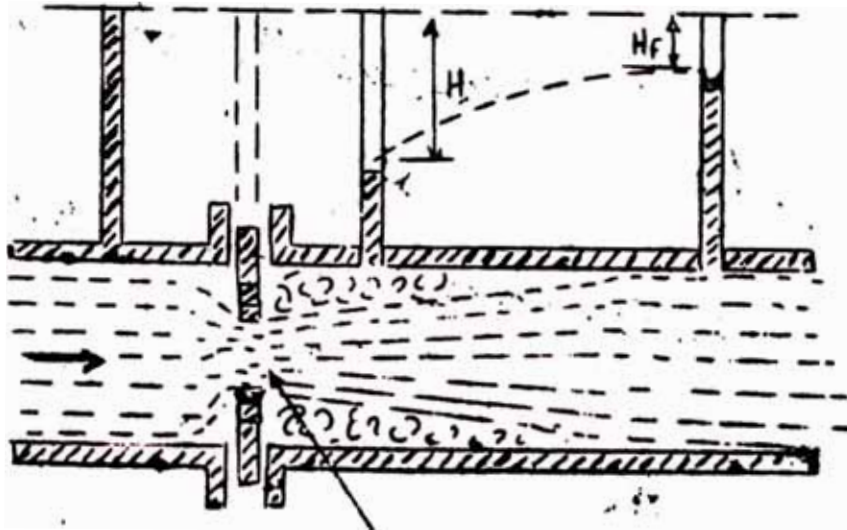


FIG. III.22 VENA CONTRACTA

En este dibujo se ve que el agua que se aproxima al orificio tiene que cambiar de rumbo. El agua sigue una trayectoria curva al entrar al orificio, excepto el agua que viene por el centro del tubo y una vez que pasa el plato puede enderezarse. Resulta entonces que el chorro de agua, después del orificio tiene un mínimo diámetro - que es menor que el diámetro del orificio y que se llama "vena contracta"-

El resto del tubo en la zona, está lleno de agua que está en remolinos como se nota en la figura.

Luego los factores que afectan el coeficiente de descarga del plato de orificio son : (Ver gráficos al final del capítulo). (Figs. III-22.a, III.22.b, III.22.c)

- a) La relación entre las áreas del orificio y de la tubería.
- b) La velocidad del líquido en la tubería.
- c) El diseño del orificio.

B-1) El Rotámetro : Es un dispositivo medidor de caudal que consta de un tubo vertical transparente, ligeramente cónico, el extremo más grande del cono queda arriba. Dentro del tubo juega libremente un flotador con forma de plomada. El flotador está en contacto directo con el líquido que se ha de medir y este fluye hacia arriba por el tubo cónico.

Cuando no hay flujo alguno el flotador descansa sobre el tope inferior y obtura la entrada inferior. Cuando comienza el flujo, el flotador debe levantarse de su asiento inferior y moverse hacia arriba por el tubo cónico y a medida que sube, es mayor el paso libre que queda para el líquido a los lados del flotador. A medida que el flujo aumenta, el flotador sube en el tubo, dejando cada vez más grande el espacio anular de paso. La lectura de la altura del flotador se da directamente en unidades de área y viene a ser el área anular de la altura a que se encuentra el flotador y como ésta está determinada por el volumen del flujo, se puede decir que es un medidor de área variable.

Hay unas ranuras diagonales o estrías como se quiera apreciar en los costados del flotador que lo mantienen girando y que también lo mantienen alejado de las paredes de vidrio de manera que se mantiene en el centro del tubo y no hay fricción entre el flotador y el tubo cónico. Esta rotación también tiende a mantener el flotador libre de burbujas y de mugre.

El rotámetro no necesita tramos especialmente rectos, sean instalados antes o después del rotámetro, tampoco afectan su precisión los codos,

uniones y pequeñas irregularidades de la tubería.

La escala ^{se} construye en escala simple y para variar la capacidad del medidor, por lo general se cambia el flotador (de tamaño o material); y algunas veces el tubo cónico de vidrio. Los flotadores pueden - construirse de metales de densidad variable, como plomo, aluminio, vidrio o acero inoxidable.

Fuerzas de un Rotámetro (Fig. III.23)

- a) La fuerza de la gravedad (Peso) que actúa hacia abajo sobre el flotador (W_f).
- b) Fuerza debida al empuje hidrostático (hacia arriba del fluido) sobre el flotador (F_E)-
- c) Fuerza de la resistencia al movimiento resultante de la fricción de la viscosidad alrededor del flotador. Esta fuerza en muchos casos puede despreciarse por ser muy pequeña (F_R).
- d) Diferencia de presión, puede expresarse por el equilibrio de fuerzas en el flotador, que actúan tanto en su superficie superior como inferior. ($P_1 - P_2$) .
En la superficie inferior actúa la presión de impacto P_1 (N/m^2) y en la superficie superior actúa la presión estática, P_2 (N/m^2), corriente abajo.
- e) El área efectiva (A_e) del flotador en ángulo recto con la corriente.
- f) La diferencia de presión ($P_1 - P_2$) por el A_e , produce una fuerza en la dirección de la corriente. F_p (N).
- g) $V_f =$ Volumen del flotador (m^3)
- h) $\rho_f =$ Densidad del flotador (Kg/m^3)
- i) $\rho =$ Densidad del fluido (Kg/m^3)

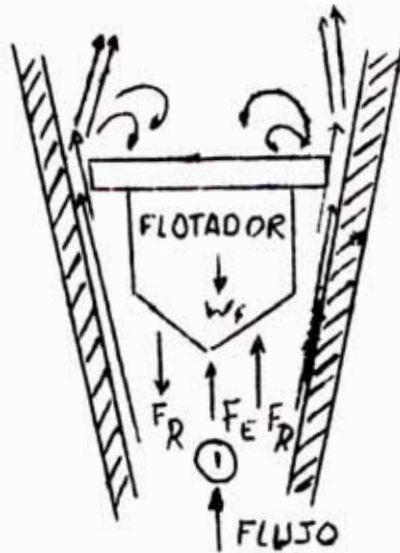


FIG. III-23 FUERZAS EN EL ROTAMETRO

(Peso del flotador) = (Diferencia de presiones x Area efectiva) +
(Empuje Hidrostático o sobre el flotador)

$$W_f = F_p + F_E$$

$$V_f \times \rho_f \times g = (P_1 - P_2) \times A_e + V_f \times \rho \times g$$

Ordenando términos

$$(P_1 - P_2) \times A_e = V_f \times \rho_f \times g - V_f \times \rho \times g$$

$$(P_1 - P_2) \times A_e = V_f (\rho_f - \rho) g$$

$$P_1 - P_2 = \frac{V_f}{A_e} (\rho_f - \rho) g \dots\dots\dots (\alpha)$$

La velocidad del fluido por el espacio anular es :

$$v^2 = 2 g h_2 \dots\dots\dots (\beta)$$

$$\text{También : } h_2 \times \rho \times g = P_1 - P_2 \dots\dots\dots (\gamma)$$

Luego : (α) y (γ) en (β) :

$$V_2^2 = 2g \frac{P_1 - P_2}{\rho \times g} = 2g \frac{V_f}{A_e} \frac{(\rho_f - \rho)}{\rho}$$

Entonces el caudal que fluye por el espacio anular es :

$$Q_R = C_d \times A_2 \times V_2 = C_d \times A_2 \sqrt{2g \frac{V_f}{A_e} \frac{(\rho_f - \rho)}{\rho}} \quad (\text{m}^3/\text{seg})$$

Donde : A_2 = Area del orificio anular.

En unidades de masa :

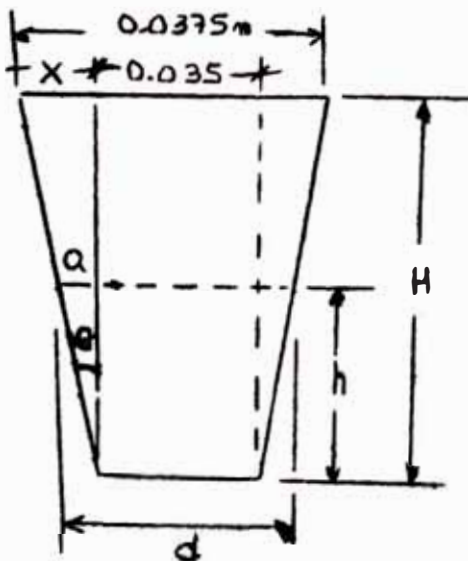
$$Q_R = C_d \times A_2 \sqrt{2g \frac{V_f}{A_e} (\rho_f - \rho) \times \rho} \quad (\text{Kg/seg})$$

Para calcular el área y la velocidad a diferentes alturas :

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{y} \quad v = \frac{Q}{A}$$

Donde los valores de "d" se hallan de la siguiente manera :

Siendo la forma del rotámetro como se muestra : (Fig. III.24)



$$T_g \theta = \frac{A}{H} = \frac{a}{h}$$

$$\text{Luego :} \quad a = \frac{Ah}{H}$$

Donde :

$$A = 0.003 \text{ m.}$$

$$H = 0.3 \text{ m.}$$

Para nuestro rotámetro.

$$d = (2a + 0.0425) \text{ m}$$

FIG. III.24 ROTAMETRO

Luego calculamos A_2 y V para cada altura.

Nota.- Ver disposición del rotámetro de la Planta al final del capítulo. (Fig. III.24.a).

(C-1) Vertedero : Este dispositivo se utiliza para medir caudales, principalmente agua, en canal abierto. Dado que el nivel del líquido varía con el caudal, efectuando la medición de la altura de agua delante del vertedero o weirs, se calcula el caudal.

Existen varias formas de weirs, entre las más utilizadas están la rectangular y la triangular. En la figura III.25 mostramos un weirs triangular, en donde la columna hidráulica o de presión que produce el fluido, varía con la altura, siendo mayor en el fondo del weir; por lo que a su vez existe un gradiente de velocidad de arriba a abajo. Como consecuencia de esta variación de velocidad es necesario calcular el caudal en función de un área elemental con la integración respectiva.

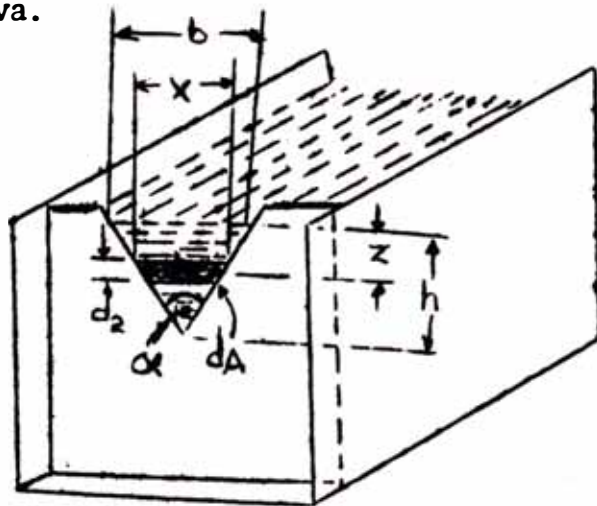


FIG. III.25 WEIRS O VERTEDERO

El caudal real $d q$ lo calculamos de la siguiente manera :

$$d q = C \sqrt{2 g Z} \quad d A$$

Como : $d A = x \cdot dx$ y $\frac{x}{b} = \frac{h - z}{h}$ $x = b \frac{h - z}{h}$

Luego :

$$dq = C \sqrt{2gz} \times \frac{b}{h} (h-z) dz$$

$$q = C \sqrt{2gz} \frac{b}{h} \int_{z=0}^{z=h} (h-z) z^{1/2} dz$$

$$= C \sqrt{2gz} \frac{b}{h} \int_{z=0}^{z=h} (h z^{1/2} dz - z^{3/2} dz)$$

$$= C \sqrt{2gz} \frac{b}{h} \left[\frac{2}{3} h^{5/2} - \frac{2}{5} h^{5/2} \right]$$

$$= C \sqrt{2gz} \frac{b}{h} \times \frac{4}{15} h^{5/2} = \frac{4}{15} \times C \sqrt{2gz} b h^{3/2}$$

Pero :

$$Tg \frac{\alpha}{2} = \frac{b/2}{h} \quad \Rightarrow \quad b = 2 h \times Tg \quad \alpha/2$$

$$q = \frac{8}{15} \times C \sqrt{2gz} \quad Tg \quad \alpha/2 \times h^{5/2}$$

Donde : C → Coeficiente de descarga.

D-1) Tubo de Reynolds : Es un dispositivo que se utiliza para medir el caudal de fluidos líquidos y consiste en un tubo con el orificio en el fondo. El caudal está en función de la altura del líquido encima del orificio, la cual se mide mediante un tubo transparente conectado a la parte inferior del tubo. (Fig. III.26.)

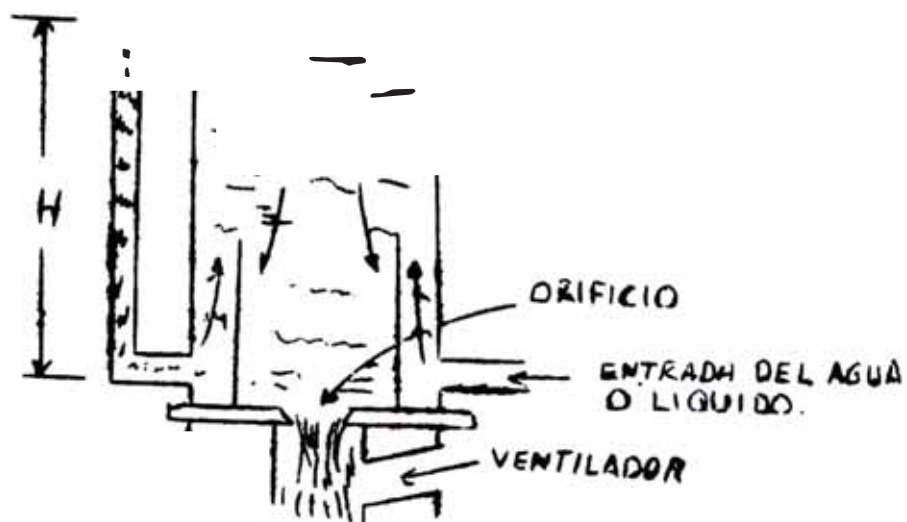


FIG. III.26 TUJO DE REYNOLDS

El caudal se calcula con la relación

$$Q_R = K H^n$$

Tomando logaritmos

$$\ln Q_R = \ln K + n \ln H$$

Si graficamos estos puntos en un papel logarítmico (Log x log) obtendremos las constantes K y n. Luego midiendo solamente H, estamos en condiciones de calcular el caudal real (Q_R).

K = Constante que depende del tipo de flujo y forma geométrica del orificio.

H = Altura del líquido sobre el orificio.

n = Constante

Otros Medidores de Caudal

Anemómetro : Es un dispositivo medidor de flujo de gases, con la particularidad de que estos producen una fuerza incidente considerablemente más baja que los líquidos, para hacer girar los alabes. Estos alabes, por lo tanto, deben ser muy livianos o tener una gran área superficial. El rotor debe estar balanceado con precisión y la fric

ción en los cojinetes debe ser mínima. El rotor a través de un mecanismo de engranajes cónicos, acciona un Contador que nos indica la velocidad del flujo. Es de Tipo Alabes Rotatorios.

MEDIDORES DE CAUDAL PARA FLUJO COMPRESIBLE

FLUJO COMPRESIBLE : El estudio de este tipo de flujo es de suma importancia, por sus diversas aplicaciones en el campo de la industria y la investigación. Su estudio teórico y las técnicas involucradas en su medición y cálculo, resultan indispensables para el análisis de equipos que operan con aire, gases y vapores a altas presiones y con flujos de masa variables. Este tipo de flujo se encuentra en Plantas Térmicas de Vapor, Plantas Térmicas de Gas, Compresores, Transporte Neumático, Turbosopladores, Turbo Jet, etc.

Fundamento Teórico El Flujo compresible es aquel en que varía su densidad y su peso específico, lo mismo que se da en gases y vapores a altas velocidades y presiones. Puesto que una variación de la densidad va acompañado de una variación de temperatura y transferencia de calor, necesitaremos aplicar algunos principios termodinámicos como la segunda ley de la Termodinámica.

El flujo compresible, al igual que el incompresible, se divide en las siguientes clasificaciones

- Flujo Exterior e Interior
- Flujo Rotacional e Irrotacional
- Flujo Permanente y No Permanente.

Además de estas divisiones ya conocidas es útil establecer las siguientes clasificaciones adicionales.

- Flujo Subsónico Compresible, es aquel en que, el número de Mach debe ser superior en alguna parte de la región del flujo a 0.4 y no sobrepasar el valor 1, en ninguna parte.

$$0.4 < M < 1$$

- Flujo Transónico, es aquel comprendido entre números de Mach, ligeramente mayores y menores que la unidad.

$$M \approx 1$$

- Flujo Supersónico, es aquel en que el número de Mach es superior a la unidad pero inferior que 3.

$$1 < M < 3$$

- Flujo Hipersónico, Es aquel en que el número de Mach sobrepasa el valor de 3.

$$M > 3$$

Quando el número de Mach es superior a la unidad

se encuentra una variación notable en el comportamiento del fluido, si se compara con otro fluido cuyo número de Mach es inferior a 1. Lo que generalmente solemos apreciar en forma común es el comportamiento de fluidos en la zona subsónica.

En el flujo supersónico se produce el cono de Mach, como consecuencia de la propagación de ondas, que implica que a su interior se tiene la "zona de acción" y a su exterior se encuentra la "zona de silencio", cosa que no pasa en el flujo subsónico donde la propagación de ondas se da en todas direcciones y no se produce el cono de Mach, de manera que no existe una "zona de silencio". De allí que un avión que se mueve a velocidad supersónica no se oye por un observador en reposo, hasta que el avión ha pasado.

Métodos de Medición de Caudales : Tenemos un primer método que es bastante práctico y sencillo y consiste en el "pesado" o "medición de volúmen" del gas fluido. Por otro lado, tenemos los métodos de medición denominados "inferenciales", que se basan en la medición de una propiedad característica que suele ser la presión, la cual se relaciona mediante la Ecua-

ción de Bernoulli o de la energía con la velocidad, la que a su vez nos permite determinar el caudal.

a) Medidores de Peso o Volumen. - Consiste en medir la masa o volumen de un caudal fluido en un tiempo definido. Este método suele utilizarse para caudales escasos y en el caso de los gases debe utilizarse una balanza muy sensible, que permita captar el peso de gas que es bastante inferior al del recipiente.

Un dispositivo especialmente diseñado, que utiliza este principio, es el gasómetro.

b) Medidores de Area Constante y Presión Variable. -

- Orificios : Son contruidos con placas de diferentes espesores, los cuales se colocan transversalmente a lo largo de un ducto teniendo su principal desventaja en la alta caída de presión de la línea.
- Toberas : En el caso de una tobera convergente se trata de un acortamiento gradual de la sección de un flujo. Igualmente tiene la desventaja de tener una caída de presión, alta.
- Venturís : Son acortamientos y ensanchamientos graduales de sección de un flujo. La caída de presión en la línea es pequeña.

c) Medidores de Corriente. -

- Anemómetros : Son dispositivos que captan el flujo de un determinado fluido, a través de sus alabes o aletas que mediante un mecanismo intermedio, transfiere el movimiento del fluido a un elemento medidor, en donde lee la velocidad.
- Tubo de Pitot : Capta la presión total y estática de un determinado fluido a través de un ducto, lo que permite medir la presión de la velocidad mediante un manómetro diferencial que efectúa la toma de la presión total en una rama y de la presión estática en

la otra. Esto nos permite calcular la velocidad del flujo y esta a su vez el caudal.

Análisis Teórico General : Este análisis es válido para los diferentes medidores descritos anteriormente, con excepción del medidor de masa y volumen y del Anemómetro.

Consideremos el primer principio de la termodinámica para un flujo laminar permanente que no produce trabajo útil.

Esta es la ecuación de Bernoulli o de la Energía para un flujo permanente que se le ha agregado, entre corchetes, los términos de pérdida de energía o presión.

Estas pérdidas comprenden, el aumento de la energía interna del fluido que generalmente se pierde y el calor transferido desde el fluido al medio ambiente que se considera antieconómico y es una pérdida.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + z_2 + \left[\frac{(J_2 - J_1)}{g} - \frac{1}{\rho} \frac{dQ}{dn} \right]$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1 V_1}{g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2 V_2}{g} + z_2 + \left[\frac{(U_2 - U_1)}{g} - \frac{dQ}{dn} \right]$$

Si $Q=0$ (calor)

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1 V_1}{g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2 V_2}{g} + z_2 + \frac{(J_2 - J_1)}{g} \dots\dots\dots (I)$$

Por la ecuación de continuidad :

$$P_1 V_1 A_1 = P_2 V_2 A_2 \qquad V_1 = \frac{V_2 D_2^2}{D_1^2} \times \frac{P_2}{P_1}$$

Si hacemos : $D_2/D_1 = \beta$ y $P = 1/\rho$

$$V_1 = V_2 \times \beta^2 \times P_1/P_2$$

Reemplazando en (I) :

$$\frac{(V_2 \cdot B^2 \cdot \frac{V_1}{V_2})^2}{2g} + \frac{P_1 V_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2 V_2}{g} + z_2 + \frac{U_2 - U_1}{g}$$

Agrupando :

$$\frac{V_2^2}{2g} \left[1 - B^4 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right] = (z_1 - z_2) + \frac{(U_1 - U_2)}{g} + \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2)}{g} \dots\dots\dots (II)$$

Pero : $h = U + P V$ y $z_1 = z_2$

(Entalpia)

Donde : V = Volumen Especifico

Luego : En (II) la velocidad del flujo es :

$$V_2 = \sqrt{\frac{2}{1 - B^4 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2}} \times \sqrt{(h_1 - h_2)}$$

Para el caso de Gases Ideales y Flujo Isoentr6nico el caudal (q) ser6 :

$$q = P \cdot A \cdot V.$$

$$q = P_2 \times A_2 \times \sqrt{\frac{2}{1 - B^4 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2}} \times \sqrt{(h_1 - h_2)}$$

$$q = A_2 \sqrt{2 P_1 \Delta P \left[\frac{\frac{K}{K-1} \cdot \frac{1}{1 - P_2/P_1} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/K} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]}{1 - B^4 \left(P_2/P_1 \right)^{2/K}} \right]^{1/2}}$$

$$q = A_2 M \sqrt{2 \rho_1 \Delta P} \left[\frac{K \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/K} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K+1}{K}}}{K-1} \cdot \frac{1 - B^4}{1 - B^4 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/K}} \right]^{1/2}$$

Donde : M = Factor de Aproximación.

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 - B^4 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/K}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - B^4 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2}}$$

$$\theta = \left[\frac{K}{K-1} \cdot \frac{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/K} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K+1}{K}}}{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)} \cdot \frac{1 - B^4}{1 - B^4 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/K}} \right]^{1/2}$$

Donde : θ \rightarrow Factor de expansión para venturís y toberas en flujo compresible

Siendo : $\theta_o = 1 - \left[0.41 + 0.35 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \frac{P_1 - P_2}{K P_1} \rightarrow$ Factor de expansión para orificios, pudiéndose poner la relación de Areas en función de B.

$$B = \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{1/2}$$

Luego :

El caudal teórico es :

$$q_T = A_2 \cdot M \cdot \theta \sqrt{2 \rho_1 \Delta P}$$

El caudal Real es :

$$q_r = A_2 \cdot M \cdot C \cdot \theta \cdot \sqrt{2 \rho_1 \Delta P}$$

$$q_r = A_2 \cdot K \cdot \theta \cdot \sqrt{2 \rho_1 \Delta P}$$

Donde :

C → Coeficiente de descarga (calculado mediante Iteraciones)

K → Coeficiente de Flujo

$$K = M \cdot C$$

El coeficiente de descarga debe ser obtenido por calibración, se le presenta como una función del número de Reynolds.

En el caso particular del Tubo de Pitot :

$$\frac{P_T - P_{\text{Estát.}}}{\gamma} = \frac{P_V}{\gamma} = \frac{V^2}{2g}$$

Luego :

$$V^2 = 2g \cdot \frac{P_V}{\gamma}, \quad \text{como : } \gamma = \rho \cdot g$$

$$\therefore V^2 = 2g \cdot \frac{P_V}{\rho g} \quad \rightarrow \quad V = \sqrt{2 P_V / \rho}$$

Donde :

$P_V = P_{\text{total}} - P_{\text{estática}}$ (En Pascal) = Presión de velocidad.

ρ = Densidad en Kg/m^3

$V = \text{m/s}$

Para un flujo compresible se corrige la velocidad

$$V = c \sqrt{2 P_V / \rho}$$

Nota.- Los gráficos van al final del capítulo (Coeficientes de corrección). (Fig. III.27 y IV.20, además de los gráficos de coeficientes de descarga mostrados anteriormente).

Procedimiento para determinar caudales en flujo compresible

- 1) Calcúlese a partir de los datos el caudal teórico.
- 2) A continuación asumir un coeficiente de descarga C .
- 3) Con el coeficiente de descarga, calcúlese el caudal real y el número de Reynolds.
- 4) Con el N° de Reynolds se verifica el coeficiente de descarga y en caso de no corresponderle; se asume nuevamente otro coeficiente de descarga y se repiten los pasos 3 y 4 nuevamente. En el momento que el coeficiente de descarga, concuerda con el asumido, se dice que se ha encontrado la solución y por lo tanto el caudal real.

En el caso de haber utilizado un gasómetro, el coeficiente de descarga ya queda precisado, ya no es necesario el procedimiento descrito.

Quadro Resumen de Características de Medidores de Caudal

Este cuadro se muestra al final del capítulo. (2.3.4.1).

Referencia Bibliográfica

- Seymour "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"
- Profesor UNI "Laboratorio de Ingeniería Mecánica I"
- Folleto "Internacional Petroleum Company"
- Ivanov "Prácticas de Flujo".

MEDICION DE GASTO

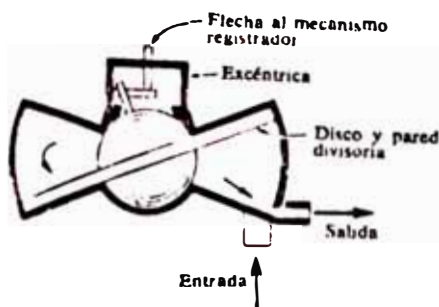
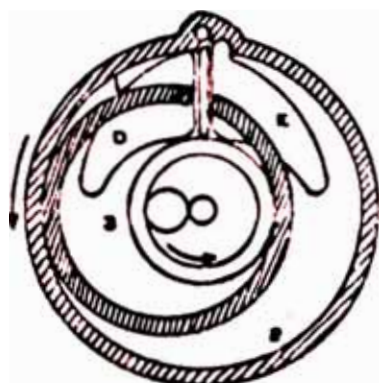
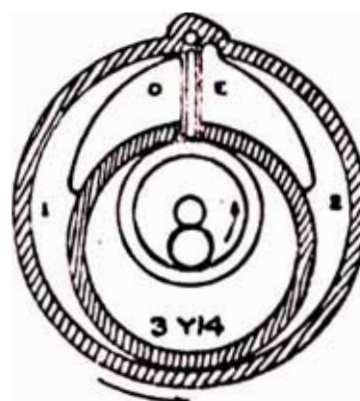


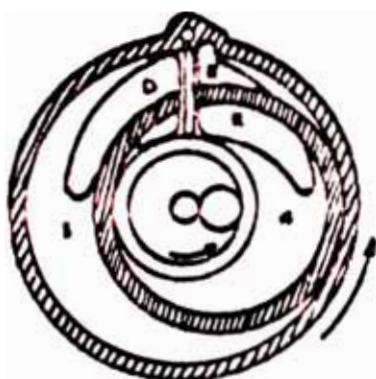
FIG III 9 Esquema de un medidor de disco rotante.



A los espacios 1 y 3 entra líquido por la lumbrera D y de los espacios 2 y 4, se descarga a través de la lumbrera E.



El émbolo ha adelantado agrandando así el espacio 1 que conecta con la lumbrera de admisión. El espacio 2 que conecta con la lumbrera de descargue ha disminuido, mientras que los espacios 3 y 4 se han combinado y están a punto de pasar a descargar por la lumbrera de descargue.



El espacio 1 todavía está admitiendo el líquido por la lumbrera de admisión, y el espacio 3 está en estos momentos empezando a comunicar con la lumbrera de entrada. Los espacios 2 y 4 están descargando por la lumbrera de descargue.



El líquido entra al espacio 3 y se descarga del espacio 4, mientras que los espacios 1 y 2 se han combinado y están a punto de descargar a medida que el émbolo adelanta una vez más para ocupar la posición indicada en el dibujo.

FIG III 10 MEDIDOR DE PISTON ROTATORIO

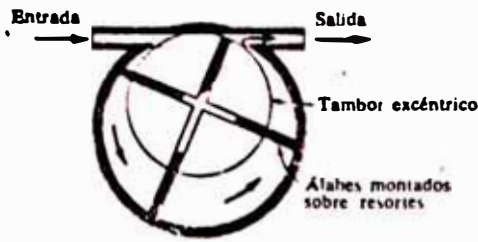


FIG III 11 Diagrama esquemático de un medidor de gasto de álabes rotatorios.

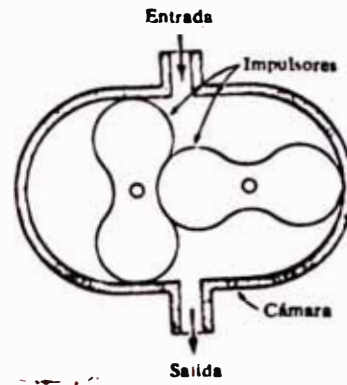


FIG III 12 Diagrama esquemático de un medidor de flujo de impulsor lobulado.

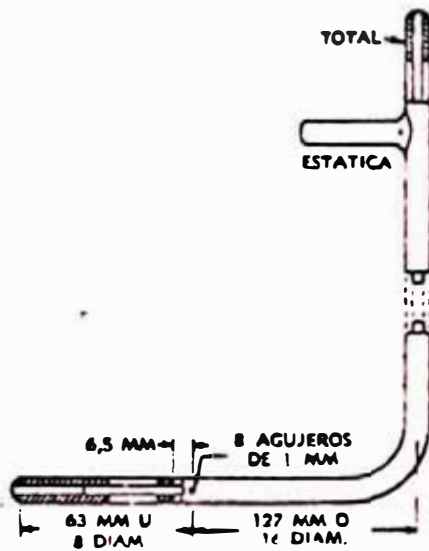


FIG III 13-a - Tubo de Pitot.

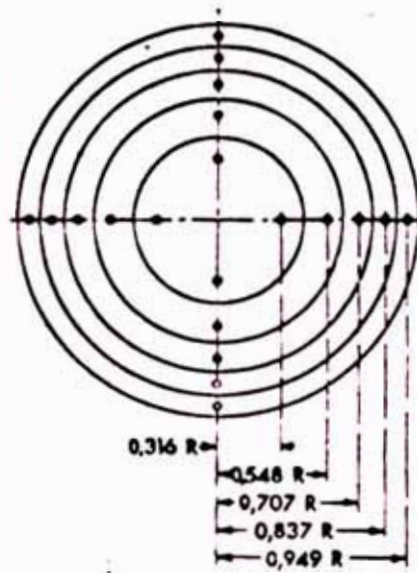


FIG III 13-b' Posiciones del tubo de Pitot.

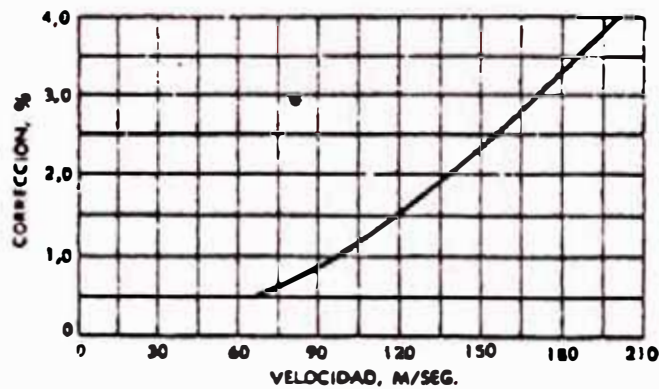


FIG III 13-c - Corrección de las velocidades para flujo compresible. (De *Fluid Meter Their Theory and Applications*, ASME, 1937.)

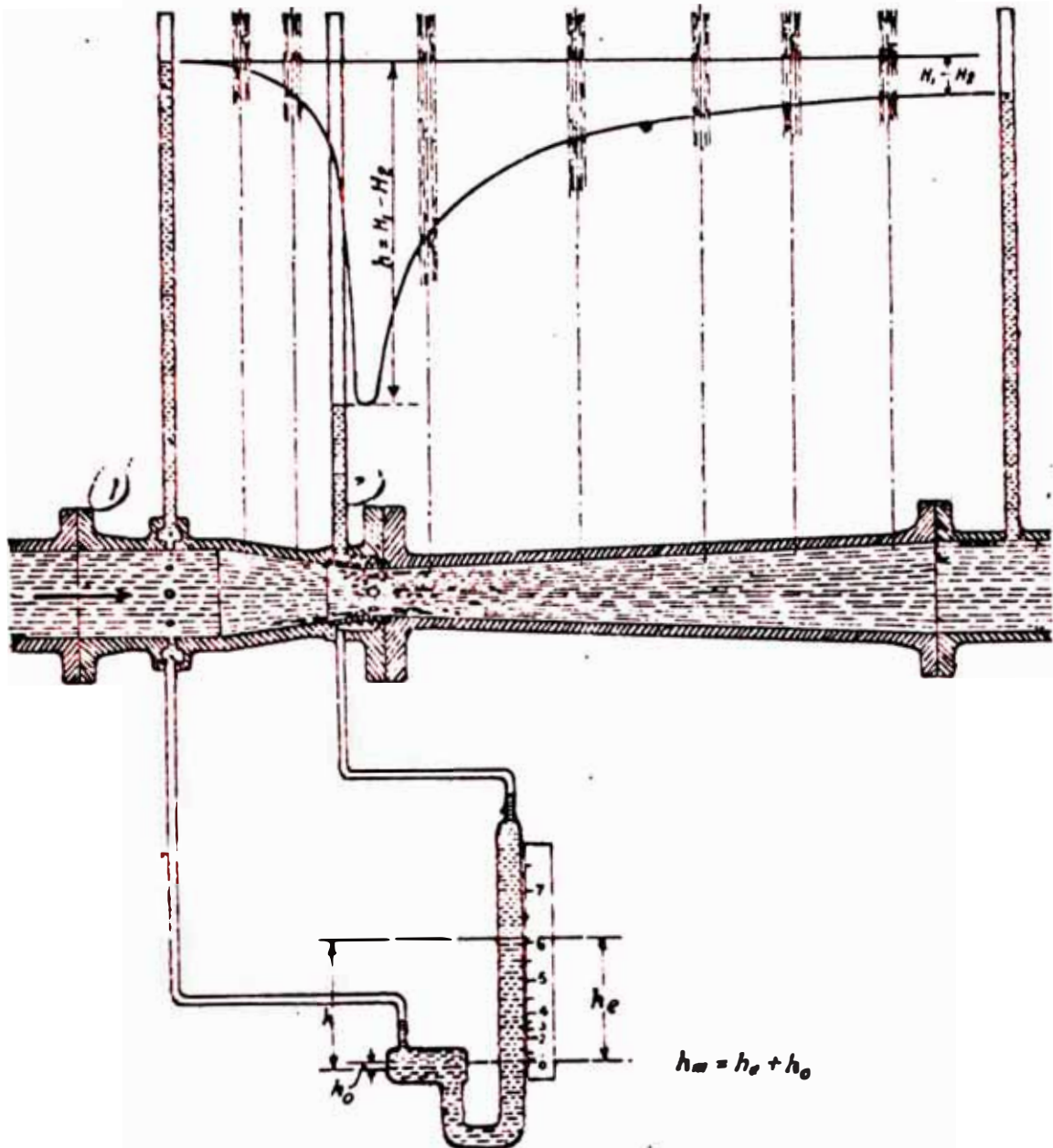


FIG III 18 VENTURI

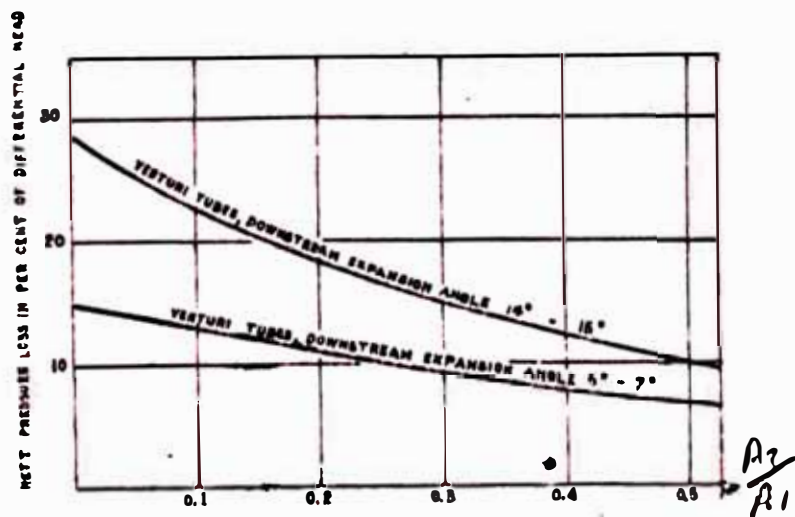


FIG III 19 DIAGRAMA DE PERDIDAS.

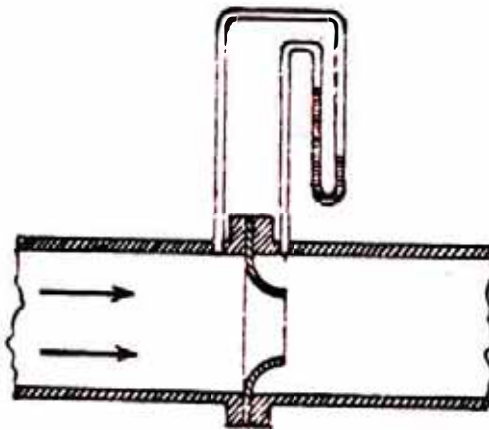


FIG III 20 La tobera.

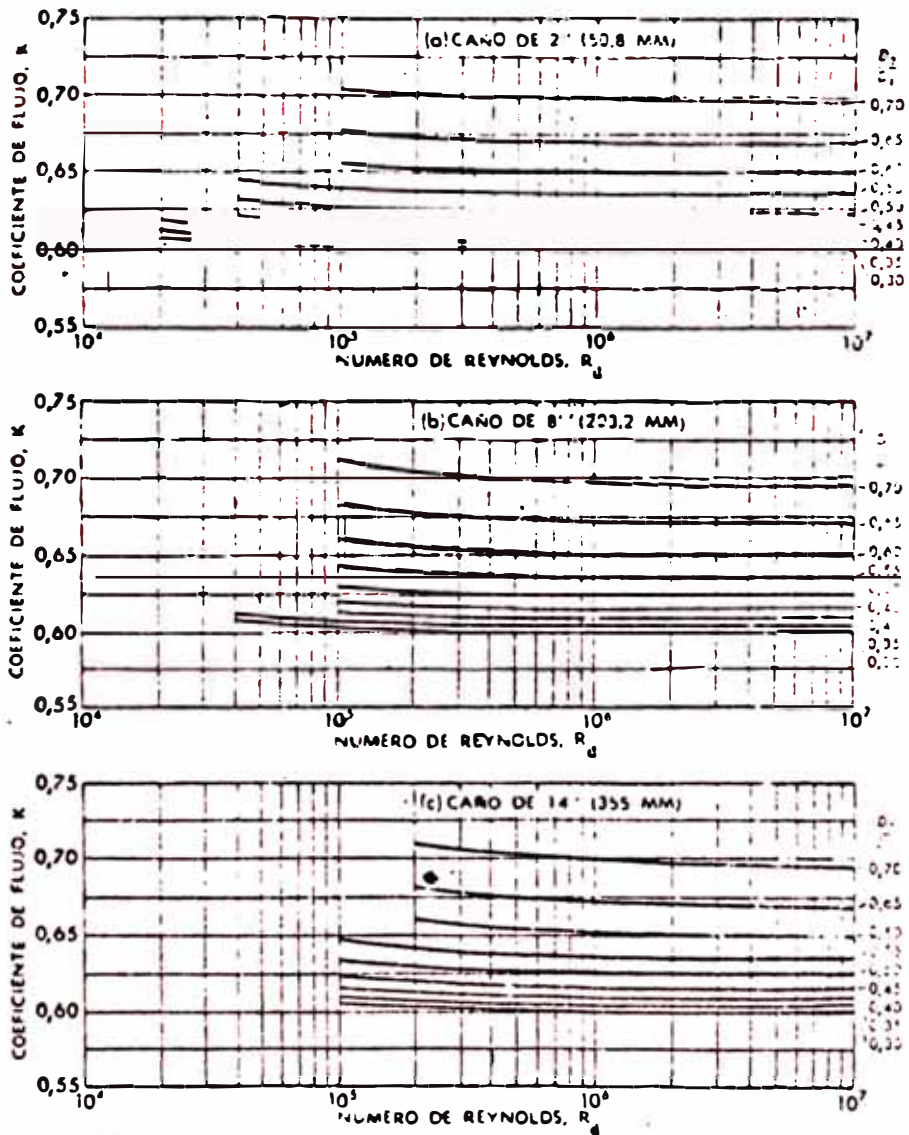


FIG III 22-CL - Coeficientes de caudal K, para orificios en placas delgadas, derivaciones de vena contracta. (Ibidem.)

Relación de áreas [$(D_1/D_2)^2$]	Mínimo número de Reynolds
0,05	70.000
0,1	73.000
0,2	91.000
0,3	110.000
0,4	150.000
0,5	190.000

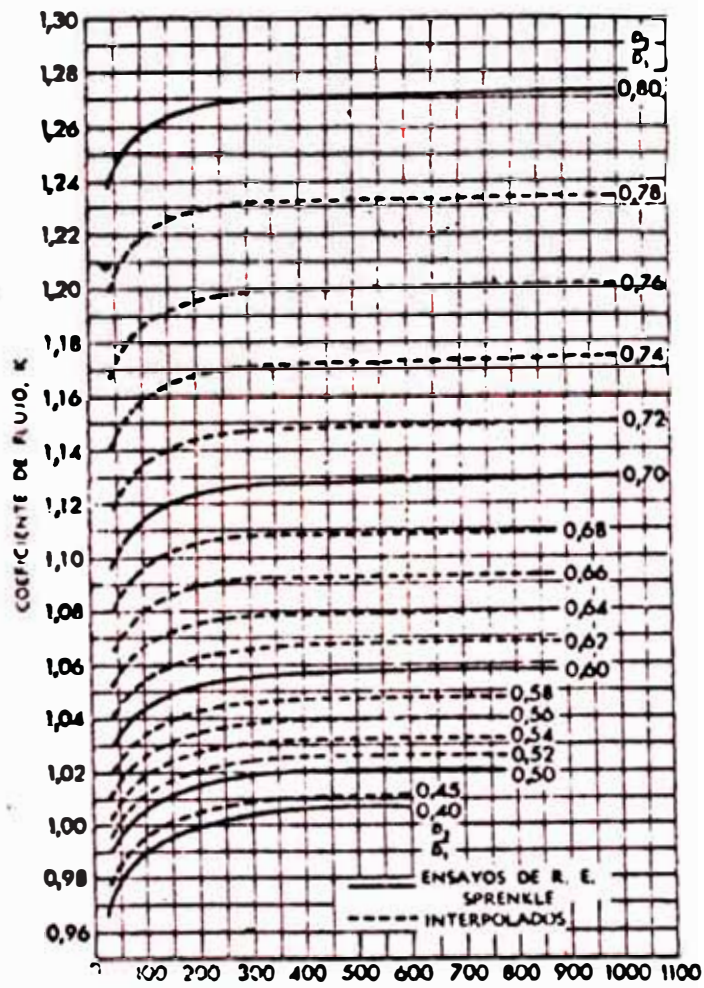


Fig III 22-b · Coeficientes de caudal K , para toberas de gran radio, alta relación. (Ibidem.)

$(D_2/D_1)^2$	K	$(D_2/D_1)^2$	K
0.05	0,987	0.30	1,016
0.10	0,989	0.35	1,028
0.15	0,993	0.40	1,041
0.20	0,999	0.45	1,059
0.25	1,006	0.50	1,081

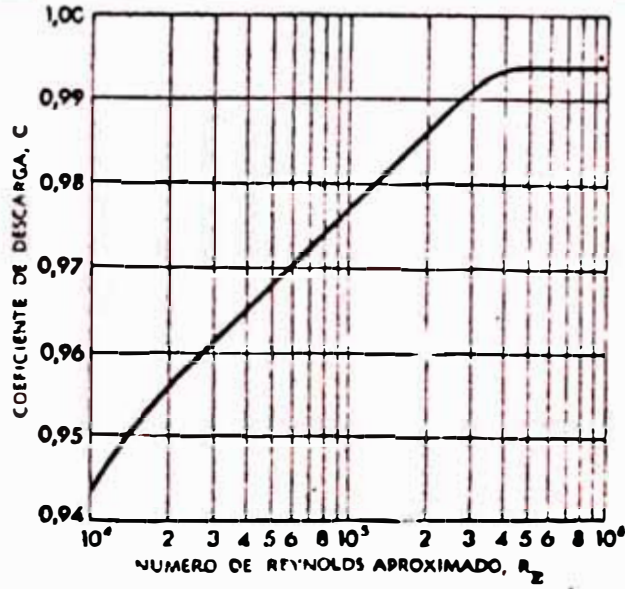


FIG III 22-b - Coeficientes de descarga para toberas de gran radio, baja relación. (Ibidem.)

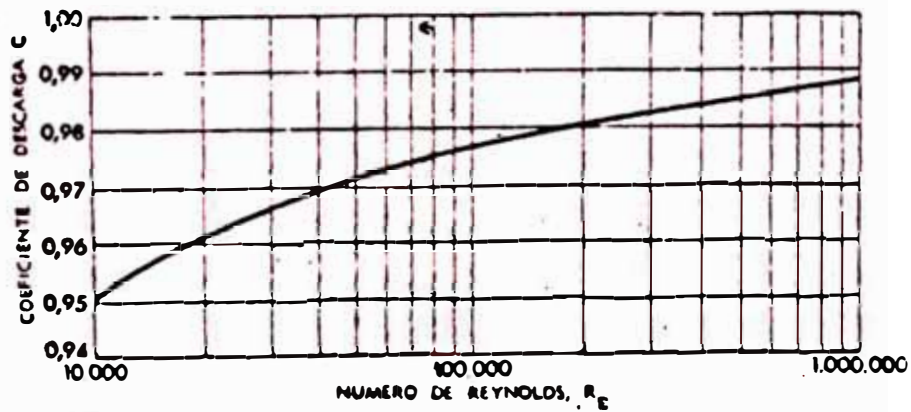


FIG III 22-c - Coeficientes de descarga para el tubo de Venturi. (De Fluid Meter, Theory and Applications, ASME, 1937.)

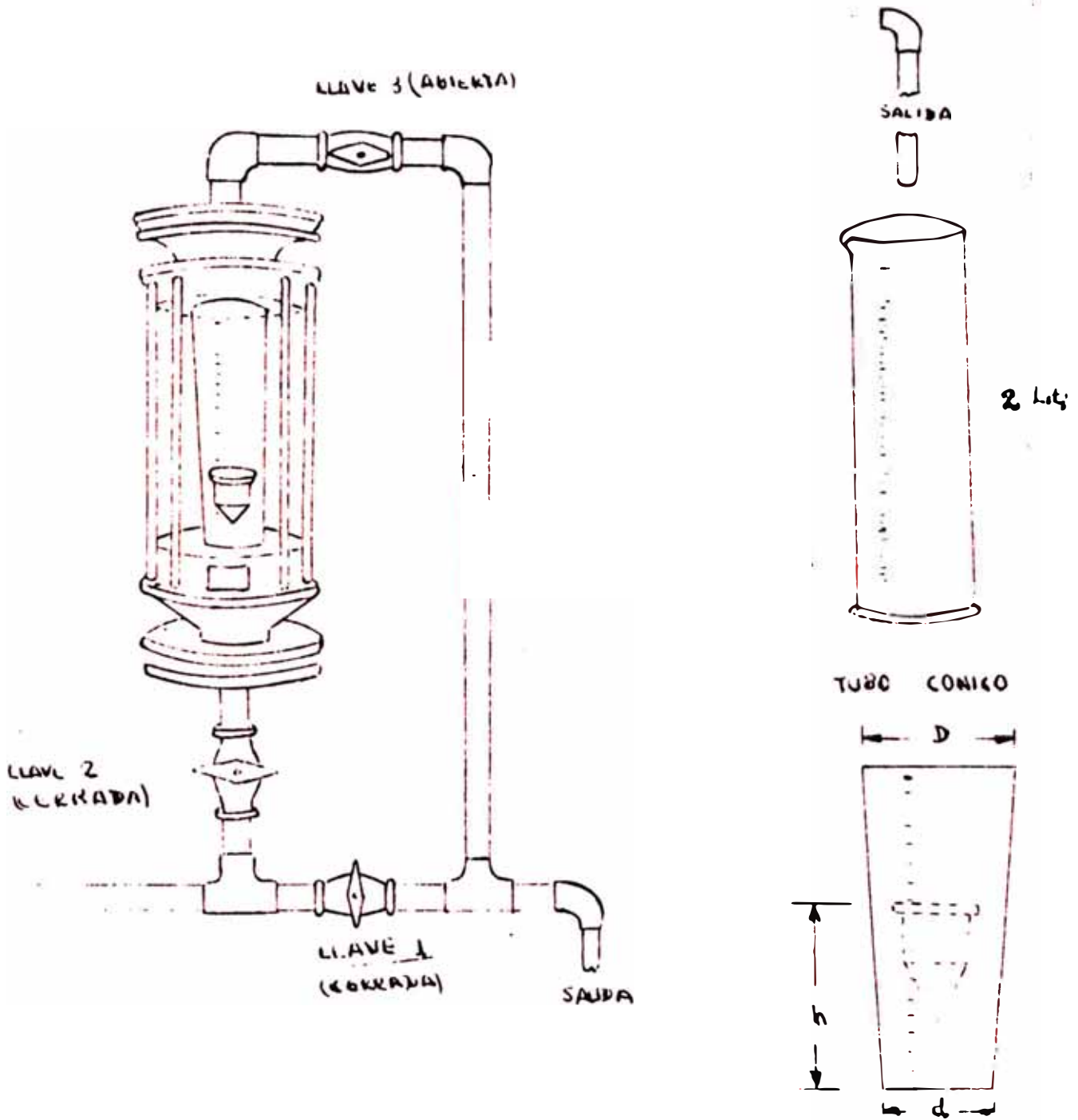
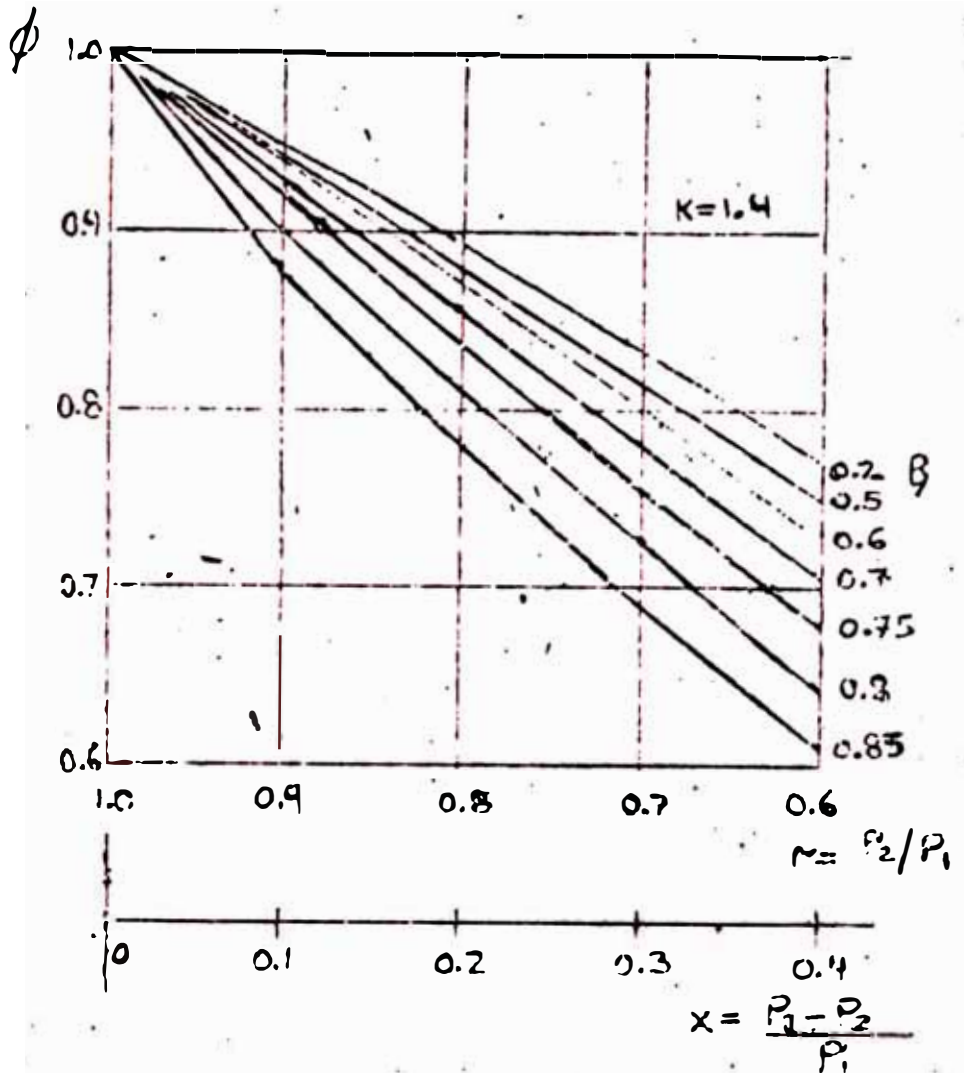


FIG. III. 24 a. ROTAMETRO

COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD (ϕ)

FIG III 27

El coeficiente de compresibilidad ϕ no es necesario calcularlo cada vez, si no que viene tabulado para diferentes caídas de presión y diferente relación de áreas, en el caso del aire se tiene :



FACTORES DE EXPANSION PARA VENTURIS Y TOBERAS.

$B =$ Relación de Diametros ($\frac{d}{D}$)

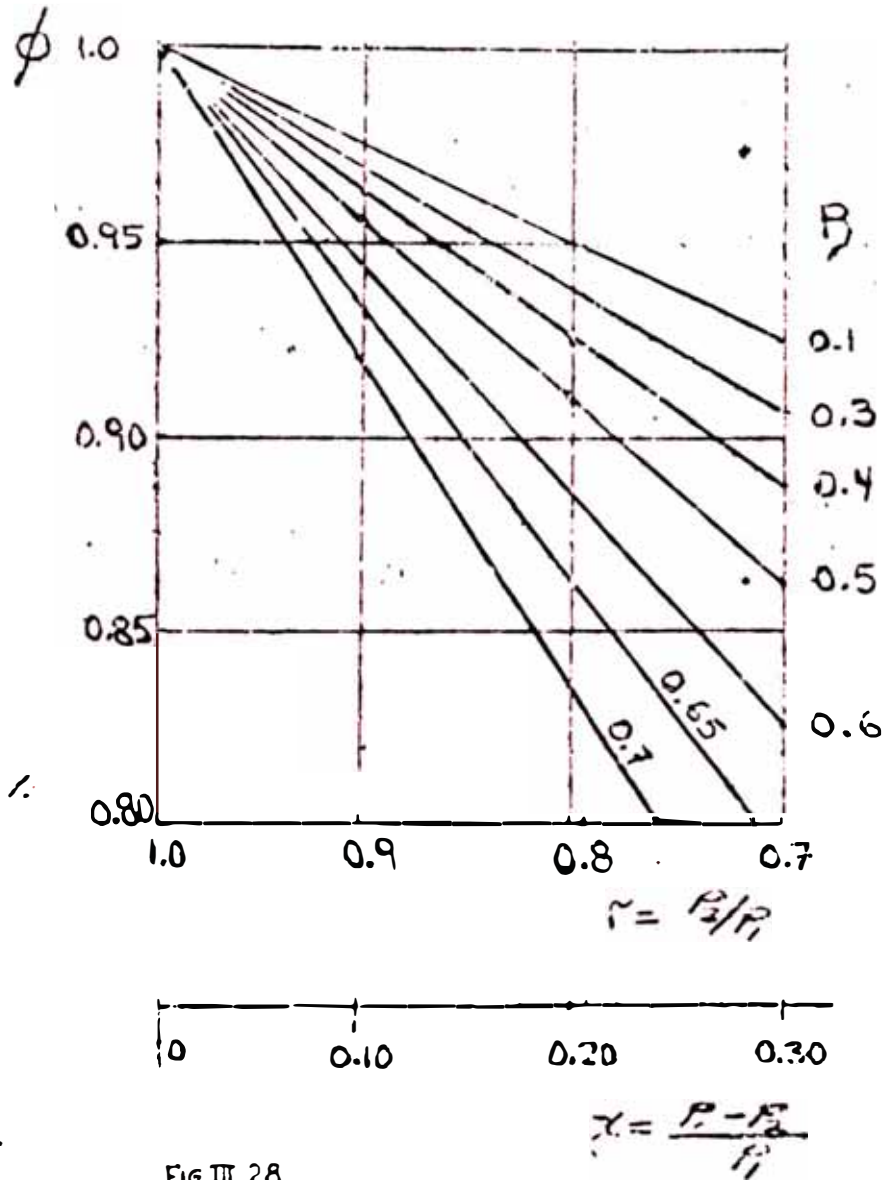


FIG III 28

FACTORES DE EXPANSION PARA ORIFICIOS.

Ref: Metodos experimentales para ingenieros capitulo 7.

Tabla 1. Características de operación de algunos tipos de medidores de gas de acuerdo a la Ref [11].

Tipo de medidor	Factores del fluido				Factores de aplicación				Factores de instalación						
	Rango del máximo flujo líquido, atm. gases, cfm	Relación de rango a rango de la escala	Presión máxima	Rango de temp. °C	Material	Escala	Indicación	Escala	Exigencia	Materiales de construcción	Caida de presión psi	Tamaño de la línea	Consideraciones especiales sobre la tubería	Requisitos especiales de potencia	Comentarios
Orificio	Líquido 0.2-1,000 Gas 40-100,000	5:1	6,000	-45-2,000	4,000	Roz. cuadr.	Presión diferencial remota	1:2 escala total p. dif.	Con todos los metales	0.1-10	1.5-12 y mayor	Fuerza de 10 diámetros a arriba, 3 a abajo	Ninguno	Ninguno	10
Tubera	Líquido 0.5-15,000 Gas 100-50,000	5:1	1,500	-60-1,500	4,000	Roz. cuadr.	Presión diferencial remota	1:2 escala total p. dif.	Ronce, hierro, acero y acero inoxidable	0.1-20	1.2-3 y mayor	Fuerza de 10 diámetros a arriba, 3 a abajo	Ninguno	Ninguno	14
Venturi	Líquido 0.5-15,000 Gas 100-50,000	5:1	1,500	-60-1,500	4,000	Roz. cuadr.	Presión diferencial remota	1:2 escala total p. dif.	Ronce, hierro, acero, acero inoxidable y plástico	0.1-15	1.2-3 y mayor	Fuerza de 10 diámetros a arriba, 3 a abajo	Ninguno	Ninguno	15
Rotámetro de tubo de vidrio	Líquido 5 cc. min-20 Gas 40 cc min-500	10:1	250	-50-400	100	Lineal	Local o remota eléctrico o neumático	1:2 escala total	Con todos los metales, plástico y cerámicas	0.2-10 de H ₂ O 1.0 psi	0.25-4	Solo vertical	Ninguno	Ninguno	10
Rotámetro de tubo de metal	Líquido 0.5-4,000 Gas 0.6-1,000	10:1	5,000	300-1,000	100	Lineal	Local o remota eléctrico o neumático	1:2 escala total	Con todos los metales, plástico y cerámicas	10-100 de H ₂ O 10 psi	0.5-12	Solo vertical	Ninguno	Ninguno	12
Turbina o propela	Líquido 0.004-50,000 Gas 0.300-1,000	15:1 10:1	15,000	-45-1,000	30	Lineal	Fuerza remota	0.5 escala remota	Aluminio, acero inoxidable	2-10	0.125-1/4	Cualquier posición	115 V 60 Hz 40 W	5.0	
Desplazamiento positivo	Líquido 0.25-1,000 (tiempo)	10:1	150	0-100	2,000	Lineal	Fuerza local o remota	1 de la lectura	Ronce, hierro, acero y acero inoxidable	1-20	0.5-6	Se fuerza toda la tubería	Ninguno	1.0	
Medidor magnético	Líquido conductivo 0.002-50,000 solamente	20:1	600	-200-360	1,000	Lineal	Fuerza remota	0.5 escala total	Plástico, acero inoxidable con hierro no conductivo	Muy pequeña	0.1-1/4	Cualquier posición	115 V 60 Hz 200 W	6.0	

• Relación entre la lectura máxima escala de instrumento y la mínima lectura buena de instrumentación

IV. FLUJO EN TUBERIAS - PERDIDAS EN INSTALACIONES CON AGUA

El transporte de fluidos en tuberías, corresponde al flujo interno y abarca el transporte en diferentes tipos de ductos y a través de sus elementos reguladores, medidores y accesorios.

En el estudio de la mecánica de fluidos algunas veces prevalecen determinadas propiedades, siendo mínima la influencia de otras propiedades. Por ejemplo en estática, el peso específico es la propiedad más importante, mientras en el flujo de fluidos la densidad y la viscosidad adquieren singular importancia.

Cuando se da una compresibilidad importante en un flujo, debe tomarse en cuenta los principios termodinámicos.

En el caso de presiones manométricas negativas, cobra importancia la tensión de vapor, y cuando los conductos son de sección pequeña la tensión superficial es preponderante.

En la selección de un conducto para transportar un determinado fluido debe tenerse en cuenta dos factores opuestos. Por un lado se deberá tratar de tener un mínimo tamaño de ducto para bajar el costo de inversión; sin embargo por otro lado conviene que el tamaño del ducto sea mayor para disminuir la fricción y por lo tanto el costo de bombeo. En la práctica lo que se hace es conjugar los dos factores, buscando el punto donde el costo de inversión inicial más el costo de bombeo es mínimo.

En la presente experiencia no trataremos sobre el aspecto económico, limitándonos al estudio de las pérdidas o caídas de presión a lo largo de las tuberías, considerando accesorios.

Objetivo.- Analizar los factores que intervienen en el flujo de fluidos en tuberías. Las pérdidas de presión y los métodos de medición y correlación de estos factores, como verificación de ecuaciones, tablas, dia-

gramas que rigen los flujos.

Equipos a usarse.-

- Sistemas de Tuberías que transportan agua, tanto en la Planta Piloto de Conservas como en la de Alcoholes. (Ver Plano N° 4 y 6 Adjunto).

Fundamento Teórico

I) Pérdidas Primarias o Lineales en Tuberías

Son pérdidas debidas al rozamiento del fluido con las paredes del conducto, estas pérdidas dependen del número de Reynolds y de la rugosidad de la tubería y no se pueden eliminar, solo es posible minimizarlas.

Caída de Presión en el Flujo Laminar.- Consideraremos un flujo de un fluido con las siguientes limitaciones :

- La sección recta del ducto es constante.
- El fluido llena completamente el ducto.
- El flujo es estacionario.
- El flujo es unidireccional.
- El ducto es horizontal.
- La temperatura del fluido permanece constante.

En la práctica se suelen dar estas condiciones en el transporte de fluidos, donde la temperatura del fluido está próxima a la temperatura ambiente o el ducto se encuentra con aislamiento adecuado, tal que permite despreocuparse la transferencia de calor. Cuando el fluido es un gas o vapor, la limitación de ducto horizontal no tiene importancia ya que la incidencia de la gravedad es mínima.

En la figura IV.2 se representa un flujo laminar en un ducto circular.

Se ha aislado un cilindro de la corriente fluida. La P_2 actúa corriente abajo. Por efectos de fricción la presión $P_2 < P_1$. El esfuerzo de corte

en un punto cualquiera es $\mu \cdot dv/dr$, siendo μ la viscosidad del

fluído y d_v/d_r la variación de la velocidad del fluído respecto del radio. Luego la fuerza de corte es $-\mu \cdot (d_v/d_r) \cdot 2\pi \cdot r \cdot l$.

El signo negativo significa que la velocidad decrece con el radio. La fuerza que incide sobre el líquido para equilibrar la acción de corte es $(P_1 - P_2) \pi \cdot r^2$.

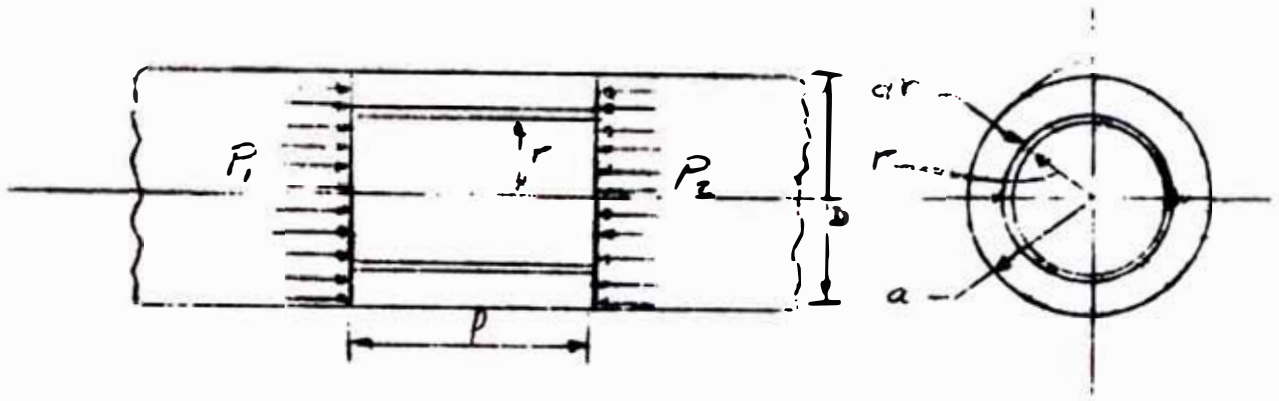


FIG. IV.2 FLUJO LAMINAR EN UN DUCTO CILINDRICO

Luego :

$$(P_1 - P_2) \pi \cdot r^2 = -\mu \cdot \frac{d_v}{d_r} \cdot 2\pi \cdot r$$

$$\rightarrow d_v = \frac{-(P_1 - P_2) r \cdot dr}{2\mu \cdot l}$$

Integrando, sale una constante de integración. Esta constante de integración puede ser evaluada aceptando que la velocidad se hace igual a cero cuando $r = a = D/2$.

De la expresión de la velocidad en función de r , deducimos la velocidad media.

$$V_{media} = \frac{(P_1 - P_2) D^2}{32\mu l}$$

Multiplicando esta expresión por el área $\pi \cdot D^2/4$ se obtiene el caudal volumétrico de descarga.

$$Q = \frac{\pi (P_1 - P_2) D^4}{128 \mu \cdot l} \quad (\text{Ecuación de Poiseuille})$$

También puede escribir expresión :

$$P_1 - P_2 = \frac{128 Q \mu \cdot l}{\pi \cdot D^4}$$

Quando se conoce el caudal y se quiere averiguar la caída de presión.

Como : $h = \frac{P}{\gamma}$ (altura de presión o columna hidráulica)

$$h_f = h_1 - h_2 = \frac{128 Q \mu \cdot l}{\pi \cdot D^4 \cdot \gamma} \quad (\text{Ecuación de Poiseuille})$$

Donde : h_f = Pérdida de altura de presión por rozamiento.

Caída de Presión en el Flujo Turbulento. - El análisis en el flujo turbulento no se presta a una deducción matemática como la efectuada con el flujo laminar. Por lo que investigadores como Darcy han terminado experimentalmente las pérdidas, a través de una expresión que es válida tanto para el flujo turbulento como para el laminar. Siendo "f" un factor de proporcionalidad adimensional conocido como factor de fricción y su valor está definido por el tipo de flujo.

$$h_f = h_1 - h_2 = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación de Darcy})$$

Luego tenemos la columna hidráulica, de pérdidas, en función de la velocidad, el diámetro del caño y la longitud de este.

Determinación del Factor de Fricción para el Flujo Laminar

Igualando las dos últimas ecuaciones y reemplazando

$$Q = A \cdot V = (\bar{v} \cdot D^2/4) V \quad \text{y} \quad \Delta p = \rho g = (R_e \mu / D \cdot V) g.$$

Tenemos :

(De la ecuación 1).

$$h_f = h_1 - h_2 = \frac{32 L V^2}{R_e D g} = \frac{64}{R_e} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2 g}$$

Así para el flujo laminar el factor de fricción es :

$$f = \frac{64}{R_e} \quad \text{Flujo Laminar} \rightarrow R_e < 2,000 \text{ ó } 2,200$$

Este es un valor analítico demostrado experimentalmente.

Determinación del Factor de Fricción para el Flujo Turbulento

- Experimentalmente se ha demostrado que el factor de fricción para el flujo turbulento está en función del número de Reynolds en una tubería.
- Para un mismo número de Reynolds hay diferentes valores del factor de fricción de acuerdo a la modificación del área del conducto.
- El diámetro no incide en el factor de fricción cuando el flujo es laminar, más si cuando el flujo es turbulento.
- La caída de presión en el flujo laminar, no depende de la naturaleza de la superficie interna del conducto, sin embargo en el flujo turbulento la naturaleza de la superficie interna del caño controla la caída de presión.

a) Para el Flujo Turbulento Liso

$$\text{Si } R_e \leq 10^5$$

$$f = 0.316 R_e^{-1/4} \quad (\text{Relación de Blasius})$$

$$\text{Si } R_e > 10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} (R_e \sqrt{f}) - 0.3 \text{ (Relación de Karman)}$$

b) Para el Flujo Turbulento Rugoso

$$\frac{1}{\sqrt{f}} - 2 \log_{10} \frac{D}{2 \epsilon} = g (R^*) \quad \text{(Nikuradse)}$$

$$R^* = \frac{\epsilon V}{D} \sqrt{\frac{f}{3}}$$

Para Tuberías Experimentales (Rugosidad Uniforme)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} - 2 \log_{10} \frac{D}{2 \epsilon} = 1.74 \quad \text{(Karman)}$$

Para Tuberías Industriales (Rugosidad Depende del Acabado)

$$f = 0.790 \sqrt{\frac{\epsilon}{D}} \quad \text{(Prandtl)}$$

El factor de fricción 'f' es la energía disipada para vencer el frotamiento, en función de las propiedades del fluido en movimiento y de las de la tubería, así como las del movimiento relativo.

Las propiedades significativas de la tubería serán su longitud (L), su diámetro inferior (D) y la rugosidad o profundidades de las irregularidades ϵ . Del fluido son su masa (m), su densidad (ρ) y su viscosidad (μ). El movimiento relativo entre el fluido y el tubo determina la velocidad del fluido (V).

Luego el factor de fricción es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería.

$$f = f (R_e, \epsilon/D)$$

Donde :

μ = Viscosidad absoluta a temperatura media.

\mathcal{P} = Viscosidad cinemática a temperatura media

L = Longitud de referencia del conducto.

$L = DH$ = Diámetro Hidráulico para conductos circulares.

Como :

$$R_e = \frac{V \cdot L}{\mathcal{P}} = \rho \frac{V \cdot L}{\mu}$$

Luego :

$$f = \theta \left[\left(\frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \right) (\epsilon/D) \right] \quad (\text{DE TABLA 1})$$

Se puede verificar mediante el análisis dimensional.

En el gráfico del 'Coeficiente de frotamiento en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la superficie del tubo'. Que se presenta a continuación (al final se acompaña el diagrama de Moody).
(Fig. IV-8)

Este gráfico se ha determinado en forma experimental, para poder obtener el factor de fricción tanto para el flujo laminar como para el flujo turbulento. En este gráfico se puede apreciar que hay una sola curva de factores de fricción en la región del flujo laminar y en cambio hay muchas en la región de flujo turbulento.

Cada una de estas curvas está representada por un valor dado de la rugosidad relativa (ϵ/D).

A medida que el número de Reynolds aumenta, los valores de los factores de fricción tienden a valores constantes. Se observará que a la derecha de la curva de guiones, llamada región de turbulencia completa, los valores de los coeficientes de fricción pueden tomarse como constantes.

Estos valores de los factores de fricción deben considerarse como valores medios, utilizados a falta de información más precisa. Hay que tener en cuenta que por las variantes de fabricación y por el tiempo de uso de las tuberías este valor puede tener ciertas variaciones.

Números de Reynolds

$R_e \leq 2000$ Flujo Laminar.

$R_e \geq 2,300$ Flujo Turbulento.

$2,000 < R_e < 2,300$ Flujo en Transición.

II) Pérdidas Secundarias o Singulares en Tuberías

Las pérdidas secundarias o singulares son las que tienen lugar cuando el fluido pasa por un estrangulamiento o cambio brusco de sección, que puede ser un codo, una válvula o cualquier otro accesorio de tubería que producen perturbaciones y remolinos. A diferencia de las pérdidas primarias o lineales que ocurren en tramos rectos de tuberías de sección uniforme.

En un ensanchamiento brusco si V_a representa la velocidad media del fluido antes de ensancharse la sección y V_b la velocidad después del ensanchamiento, la pérdida de carga viene dada por : (Fig. IV.3)

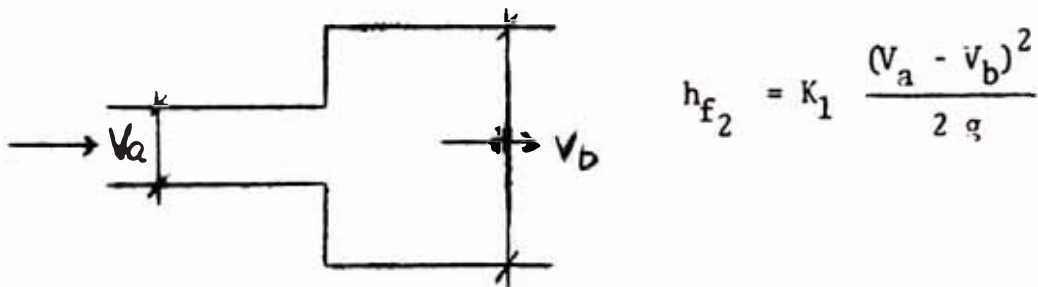


FIG. IV.3 PERDIDA EN ENSANCHAMIENTOS

En una contracción brusca de la sección tubería, el fluido es forzado hacia el eje, no haciendo contacto con las paredes inmediatamente después de la contracción. Si la velocidad antes de la sección reducida la llamamos V_a y a la velocidad del fluido después de establecer contacto con la pared de la sección reducida V_b , la pérdida de carga viene dada por : (Fig. IV.4)

$$h_{f_2} = \frac{(V_b - V_a)^2}{2g}$$

Siendo :

d_2/d_1	K
0.2	0.44
0.4	0.38
0.6	0.29
0.8	0.16

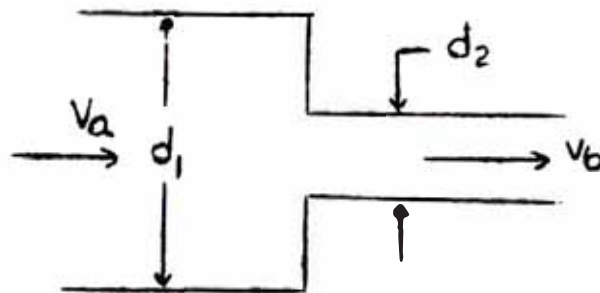


FIG. IV.4 PERDIDA EN CONTRACCIONES

La pérdida de carga en varios tipos de accesorios (codos, válvulas, etc.) puede ser expresado por la fórmula.

$$h_{f_2} = K_3 \frac{v^2}{2g}$$

Un hecho importante que debe observarse es que en todos los casos, las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la velocidad y, por consiguientemente reducir las pérdidas, deberá ^{mantenerse} ~~mantenerse~~ como sea posible la velocidad. Los coeficientes que se dan a continuación son aproximados, para una mayor precisión se sugiere remitirse a las tablas de pérdidas de la experiencia de bombas centrífugas, que está en función de los diámetros de los accesorios.

Coefficiente de Pérdida de Carga para varios accesorios

Accesorio	K-
- Válvula de Globo (completamente abierta)	10.0
- Válvula de Angulo (completamente abierta)	5.0
- Válvula de Retención (completamente abierta)	2.5
- Válvula de Compuerta (completamente abierta)	0.19
- Codo en " U "	2.2
- Conexión en "T" Standar	1.8
- Codo a 90° Estandar	0.9
- Codo a 90° de Radio Medio	0.75
- Codo a 90° de Radio Largo	0.60
- Válvula de compuerta (1/4 cerrada)	1.15
- Válvula de compuerta (1/2 cerrada)	5.6
- Válvula de compuerta (3/4 cerrada)	22.0

III. Pérdidas Totales en Tuberías

$$h_f = h_{f_1} + h_{f_2}$$

h_{f_1} = Pérdidas primarias o lineales.

h_{f_2} = Pérdidas Secundarias o Singulares.

h_f = Pérdidas Totales

Donde :

$$h_{f_1} = f \frac{L}{D \cdot H} \frac{v^2}{2g}$$

y

$$h_{f_2} = K \frac{v^2}{2g}$$

f = Factor de fricción.

L = Longitud de la tubería.

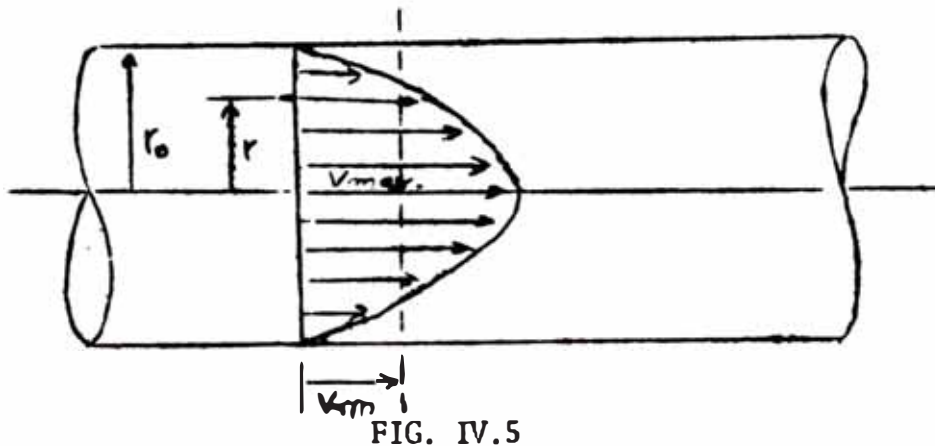
D H = Diámetro hidráulico de la tubería (cuando la sección transversal no es circular), debe reemplazar al diámetro D tanto en la expresión del número de Reynolds y en las ecuaciones de caída de presión.

$$D H = 4 \left(\frac{\text{Área de Sección Transversal}}{\text{Perímetro Mojado}} \right)$$

K = Constante de Pérdidas Secundarias.

Perfil de Flujo Laminar en Tuberías

Perfil de flujo laminar en una tubería horizontal.



$$V_{media} = 0.5 V_{m\acute{a}x.}$$

La distribución de velocidades es parabólica.

Luego :

$$\frac{V}{V_{m\acute{a}x.}} = 1 - \left(\frac{r}{r_o} \right)^2$$

El régimen laminar se presenta para un $R_e \leq 2,000$

Su factor de fricción es función inversa de R_e . $f = \frac{64}{R_e}$

Perfil de Flujo Turbulento en Tuberías

Gráfico de la distribución de velocidad en el flujo turbulento.

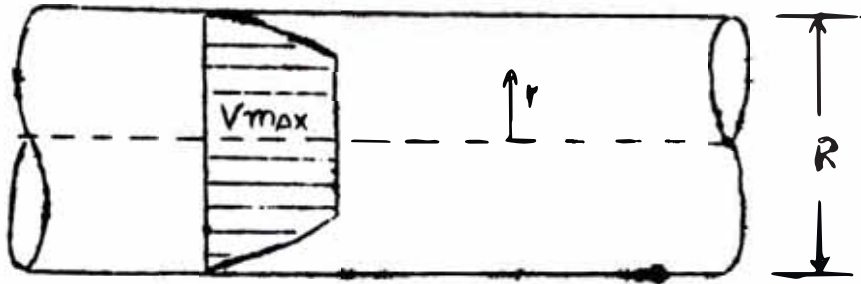


FIG. IV.6

El flujo turbulento tiene su existencia para $Re \geq 2,300$.

La velocidad media para el flujo turbulento es :

$$V_{media} = V_{m\acute{a}x} \left[\frac{2 n^2}{(n+1) (2n+1)} \right]$$

6

$$V_{media} \approx 0.82 V_{m\acute{a}x}$$

Así mismo :

$$\frac{V}{V_{m\acute{a}x}} = \left(1 + \frac{r}{R} \right)^{1/n}$$

Donde : $65 \leq n \leq 10$

Líneas de Alturas Piezométricas y de Alturas Totales

Los conceptos de líneas de alturas piezométricas y de alturas totales son útiles para el análisis de flujos internos. Si en cada punto a lo largo de un sistema de tuberías se determina el valor de P/γ y se lleva verticalment hacia arriba desde el centro de la tubería, el lugar de los puntos extremos es la línea de alturas piezométricas. Con más generalidad, si se hace la suma.

$$\frac{P}{\gamma} + Z$$

y se lleva gráficamente como ordenada, tomando como abcisa la longitud de la tubería, se obtiene la línea de alturas piezométricas.

La línea de alturas piezométricas es el lugar de las alturas a la que subirá el líquido en tubos verticales conectados a agujeros piezométricos situados en la tubería. Cuando la presión en la conducción es menor que la atmosférica P/γ es negativo y la línea de alturas piezométricas está por debajo de la tubería.

La línea de alturas totales es la línea que une la serie de puntos que señalan la energía total en cada punto de la tubería tomada como ordenada, llevada en correspondencia a la longitud de la tubería tomada como abcisa. Es el gráfico de

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z$$

Para cada punto de la conducción por definición, la línea de alturas totales está siempre verticalmente por encima de la línea de alturas piezométricas a una distancia de $v^2/2g$, despreciando el factor de corrección de la energía cinética.

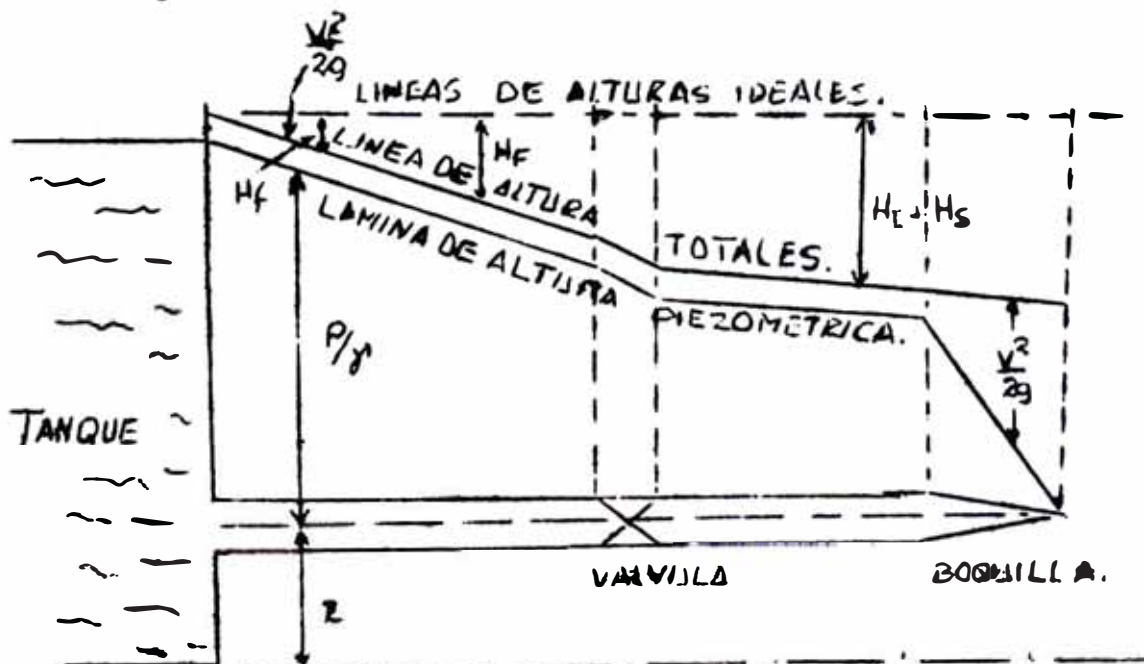


FIG. IV.7 LINEAS DE ENERGIA

Las líneas de alturas piezométricas y totales se representan en la figura IV.6 para una tubería sencilla que contiene una entrada en arista viva, una válvula y una boquilla al final de la conducción. Para construir estas líneas, cuando se dá la superficie del depósito, es necesario primeramente aplicar la Ecuación de la Energía desde el depósito hasta la salida, incluyendo todas las pérdidas menores, así como las pérdidas por rozamiento en las paredes de la tubería y despejar entonces la altura de velocidad $v^2/2g$. Después para encontrar la altura piezométrica en cualquier punto, incluyendo todas las pérdidas entre los dos puntos. En la Ecuación de la Energía se despeja $(P/\rho + Z)$ que se lleva al gráfico por encima del origen arbitrario. Para encontrar la línea de alturas totales en el mismo punto se despeja en la ecuación $\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho} + Z$, que se lleva al gráfico

co a partir del origen arbitrario.

La línea punteada horizontal corresponde a la línea de altura ideal, sin considerar pérdidas.

Procedimientos para el Ensayo

- 1) Cada uno de los subgrupos, graficará un croquis de distribución de las tuberías de Agua (Un subgrupo de la Planta de Conservas y el otro de la Planta de Alconoles), especificando el metrado y los diversos accesorios entre el tanque neumático de la sala de Máquinas hasta el último grifo de salida en cada una de las Plantas.
- 2) A continuación cada subgrupo efectuará sus respectivas mediciones o lecturas de presión al inicio y al final del sistema de tuberías (en los manómetros respectivos) para diferentes caudales, de tal manera que se conozca la caída de presión real.
- 3) Luego en el croquis respectivo verificar mediante el cálculo teórico la caída de presión dada, a través de las pérdidas primarias y secundarias.

- 4) Acompañar al informe respectivo las conclusiones y observaciones que justifiquen la similitud o diferencia de los resultados de las caídas de presión real y teórica.

Referencia Bibliográfica

- Seymour "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"
- Profesores UNI "Laboratorio de Ingeniería Mecánica II"
- Streeter "Mecánica de los Fluidos"

LA FRICCIÓN EN EL FLUJO FLUIDO

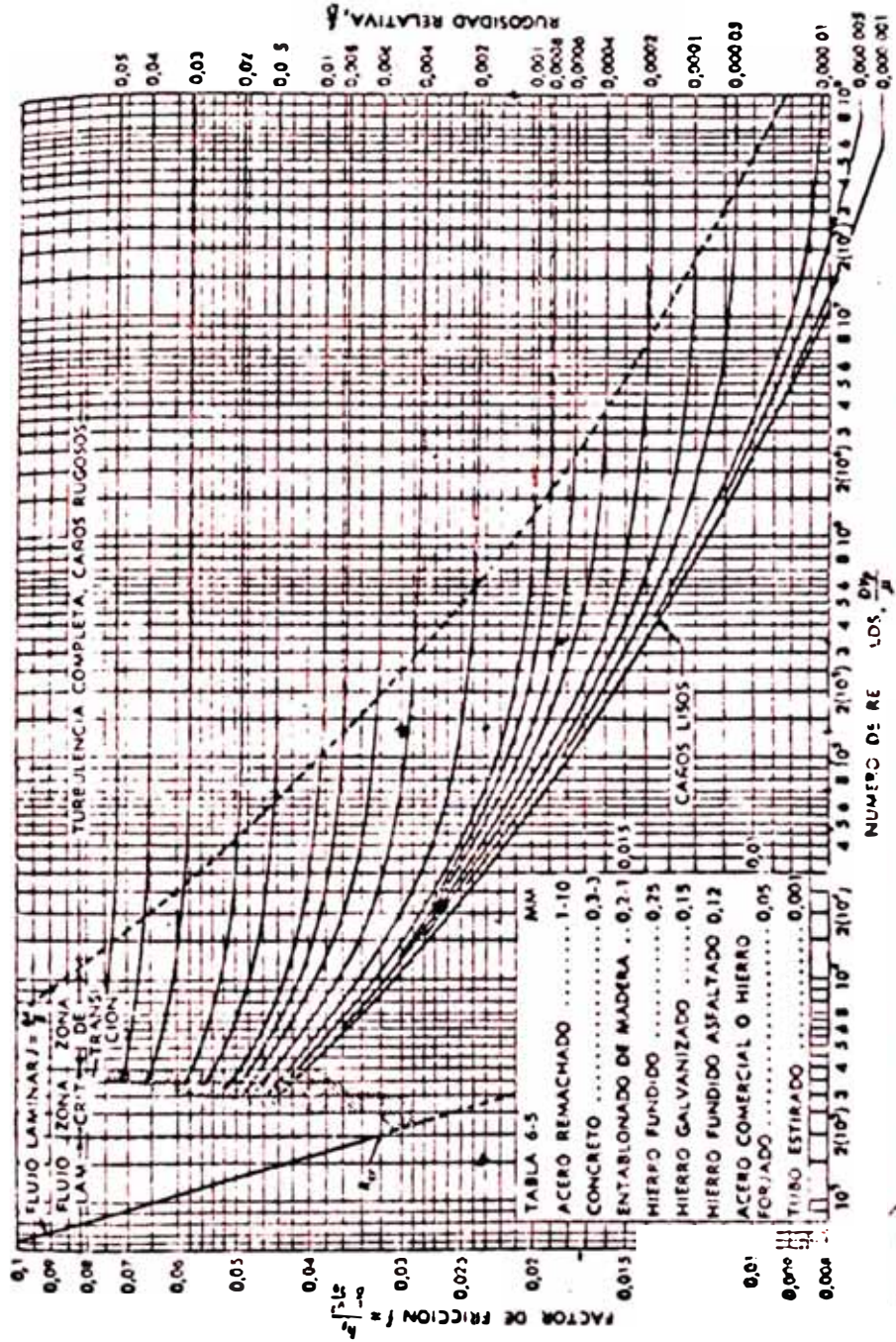


FIG IV Curvas de fricción. f vs Re en mm de la ϵ a 6.5 se a la altura media de las protuberancias

TABLA 1 — PROPIEDADES DEL AGUA (PRESIÓN ATMOSFÉRICA NORMAL)

Temperatura °F	Densidad Kg/m ³	Calor especifico	Viscosidad • Kg (m) (h)	Conductividad termica, Kcal/(m) (h) °C,
32 (0°C)	999.87	1.007	6.156	0.561
39 (4°C)	1.000.00	1.004	5.660	0.591
45	999.91	1.002	5.193	0.595
50 (10°C)	999.73	1.000	4.714	0.500
55	999.43	0.999	4.368	0.504
60	999.04	0.999	4.062	0.509
65	998.56	0.999	3.785	0.513
70	998.00	0.999	3.532	0.518
75	997.35	0.998	3.306	0.522
80	996.63	0.998	3.094	0.527
85	995.82	0.998	2.916	0.530
90	994.96	0.998	2.748	0.534
95	994.06	0.997	2.595	0.537
100	993.07	0.998	2.454	0.542
110	990.91	0.998	2.211	0.549
120	988.55	0.999	2.012	0.556
130	985.99	0.999	1.842	0.561
140 (60°C)	983.24	0.999	1.689	0.567
150	980.26	1.000	1.560	0.571
160	977.16	1.001	1.443	0.576
170	973.80	1.002	1.340	0.579
180	970.42	1.003	1.250	0.582
190	966.81	1.004	1.170	0.585
200	963.02	1.005	1.098	0.585
212 (100°C)	958.38	1.007	1.022	0.586

V. ESCURRIMIENTO - COMPRESORES

V.1 ESCURRIMIENTO

1. Fundamento Teórico

Se pretende escurrir un tanque cilíndrico vertical mediante un tubo, también vertical, conectado en el fondo. El líquido que contiene es de densidad y viscosidad constante (es decir newtoniano e incompresible, en condiciones isotérmicas). Un estudio realizado casi en estado de régimen, con las suposiciones de que se puede despreciar la pérdida en la entrada del tubo, y la energía cinética del líquido que abandona el tanque, permiten vincular con facilidad al tiempo de escurrimiento con las dimensiones del sistema y las propiedades del líquido.

Si con tales condiciones que, además, incluyen constancia de la temperatura se aplica un balance de energía al tubo de salida queda:

$$v^2 = \frac{g R_o (L + H)}{L \cdot f} \quad (1)$$

expresión en la cual :

V = La velocidad del líquido en el tubo, de tiempo constante.

Cuando el líquido circula con régimen laminar, $f = \frac{16}{R_e}$

g = La aceleración de la gravedad;

R_o = El radio del tubo

L = La longitud del tubo-

H = La profundidad del líquido dentro del tanque

f = Es el factor de fricción;

Siendo :

$R_e = (d \cdot v) / \mu$; Número de Reynolds

d = La densidad del líquido.

μ = Su viscosidad absoluta

V = La velocidad media del líquido que recorre el tubo.

y la ecuación (1) queda en la forma :

$$V = d g R_o^2 (L + H) / 8 \mu L$$

En el caso del régimen turbulento en el interior de tubos lisos, se puede aplicar la fórmula de Blasius,

$$f = \frac{0.0791}{(R_e)^{1/4}} \quad \text{para Reynolds de 4000 a 100000}$$

y la ecuación (1) queda en la forma

$$V = \frac{2^{1/7} (L + H)^{4/7} R_o^{5/7} g^{4/7} d^{1/7}}{(0.0791)^{4/7} L^{4/7} \mu^{1/7}} \quad (3)$$

Reordenando en función de la geometría del sistema que se considera, obtenemos

$$d H/dt = (R_o/R)^2 v. \quad (4)$$

Siendo :

R = El radio del tanque

t = El tiempo

Sustituyendo en la ecuación (4) los valores obtenidos de las ecuaciones (2) y (3) e integrando se obtiene :

$$t_{esc} = \frac{8 \mu L R^2}{d g R_o^4} \ln (L + H_1) / (L + H_2) \quad (5)$$

Siendo :

H₁ = Profundidad inicial del líquido en el tanque.

H₂ = La profundidad final.

Si el líquido recorre el tubo de salida con régimen laminar y

$$t_{\text{esc}} = \frac{7 R^2}{3 R_0^2} C \left((L + H_1)^{3/7} - (L + H_2)^{3/7} \right) \quad (6)$$

con

$$C = \left[\frac{(0.0791) L \mu^{1/4}}{2^{1/4} g d^{1/4} R_0^{5/4}} \right]^{4/7}$$

Si el líquido recorre con régimen turbulento, un tubo de salida con paredes lisas.

Teorema de Daniel Bernoulli : $z + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g} = \text{cte.}$

Expresa que un líquido perfecto sometido a su peso y animado de un movimiento permanente es constante en el camino de cada partícula la suma de la altura geométrica o cota " Z " de la altura de P/ρ y de la altura de la velocidad $V^2 / 2g$. Los dos primeros términos en conjunto forman la cota piezométrica, cuya constancia define el equilibrio de los fluidos pesados. La altura de velocidad o la "altura representativa de la de la velocidad" es la altura desde donde cayendo un punto material pesado sin velocidad inicial adquiere la velocidad V, pues evidentemente

$$h = V^2 / 2g \quad \text{da} \quad V = \sqrt{2gh}$$

La suma de los tres términos se llama "carga total" o suma de BERNOULLI o simplemente BERNOULLI. Este teorema es la expresión del principio de la "conservación de la energía" aplicando a partículas de un líquido perfecto que escurre por su peso con movimiento permanente. Como el líquido es incompresible las variaciones de presión no suponen cambio de energía interna en las partículas, por lo tanto los incrementos de energía cinética son iguales a los trabajos que las fuerzas efectúan sobre la partícula considerada.

La suma de BERNOULLI da estas energías por unidad de peso.

En efecto, la energía cinética de una partícula de masa m es $1/2 mV^2$ y cuyo peso es mg , luego por unidad de peso, la energía cinética es

$$\frac{1}{2} \frac{m V^2}{m g} = \frac{V^2}{2 g}$$

Las presiones son acciones interiores de la masa líquida, pero exteriores a la partícula incompresible considerada por lo tanto la invariabilidad de la energía interna, al efectuarse cambios de presión en la partícula, exige que las variaciones de presión se conviertan en variaciones inversas de cota o altura de velocidad. La altura de presión va midiendo estos transportes de energía de una partícula a otra.

2. Aparatos

2.1 Un tanque cilíndrico dotado de un nivel, y tubos intercambiables de salida, de diversas longitudes y diámetros; Fig. V.1.

2.2 Agua

2.3 Cronómetro

2.4 Baldes para pesar el agua

2.5 Balanza de plataforma

2.6 Probeta graduada

2.7 Termómetro



FIG. V.1 RECIPIENTE PARA ESCURRIMIENTO

3. Procedimiento

3.1 Calibre el nivel de la siguiente manera

- a. Por medio del tapón, obture el fondo del tanque.
- b. Llene el tanque con sucesivos volúmenes (o pesos) conocidos de agua, sin desagotar los precedentes. En esta forma se calibra el nivel, según las diferencias entre cantidades agregadas.

3.2 Mida los tiempos integrales de escurrimiento, en la siguiente forma

- a. Conecte con el tanque uno de los tubos de salida; llene el tanque y el tubo con el líquido cuyo tiempo de escurrimiento se desea terminar.
- b. Permita que el líquido comience a escurrir del tanque.
- c. Registre la forma en que varía el tiempo de escurrimiento con la profundidad del líquido (efectúe lecturas de tiempos, para pequeños intervalos de variación en el nivel del líquido), según lo observado en el nivel, desde su extremo superior al inferior.

4. Trabajo Experimental

4.1 Calibre la escala del nivel sujeto al tanque-

4.2 Determine los tiempos de escurrimiento para el tanque, con tubos de salida de diversos radios y longitudes correspondientes.

4.3 Determine los caudales instantáneos que egresan del tanque con tubos de salida de diversos radios y longitudes

5. Cálculos por efectuar

5.1 Calcule los valores del número de Reynolds para las condiciones existentes, respectivamente, al comenzar y al terminar el período de escurrimiento.

5.2 Calcule los valores de energía cinética del líquido correspondiente, respectivamente, al comienzo y al fin del período de escurrimiento.

5.3 En el caso de flujo turbulento estime las pérdidas debidas al ingreso del fluido al tubo de salida, para el comienzo y el fin del período de escurrimiento respectivamente.

5.4 Calcule los valores de energía potencial correspondientes a las condiciones existentes al comienzo y al fin del período de escurrimiento.

6. Puntos Sobre los Cuales Informar

6.1 Grafique los cocientes entre valores experimentales de tiempo de escurrimiento y los respectivos obtenidos por cálculo, en función del largo del tubo.

6.2 Grafique los cocientes entre valores experimentales de tiempo de escurrimiento y los respectivos valores obtenidos por cálculo, en función de la relación entre diámetro del tanque y diámetro del tubo.

6.3 Grafique los tiempos acumulativos de escurrimiento en función de la carga hidrostática acumulativa (para condiciones de régimen laminar), grafique (sobre papel logarítmico) el tiempo en función del logaritmo de la carga hidrostática.

7. Referencia Bibliográfica

- Streeter " Mecánica de los Fluidos "
- Ivanov " Práctica de Flujos "

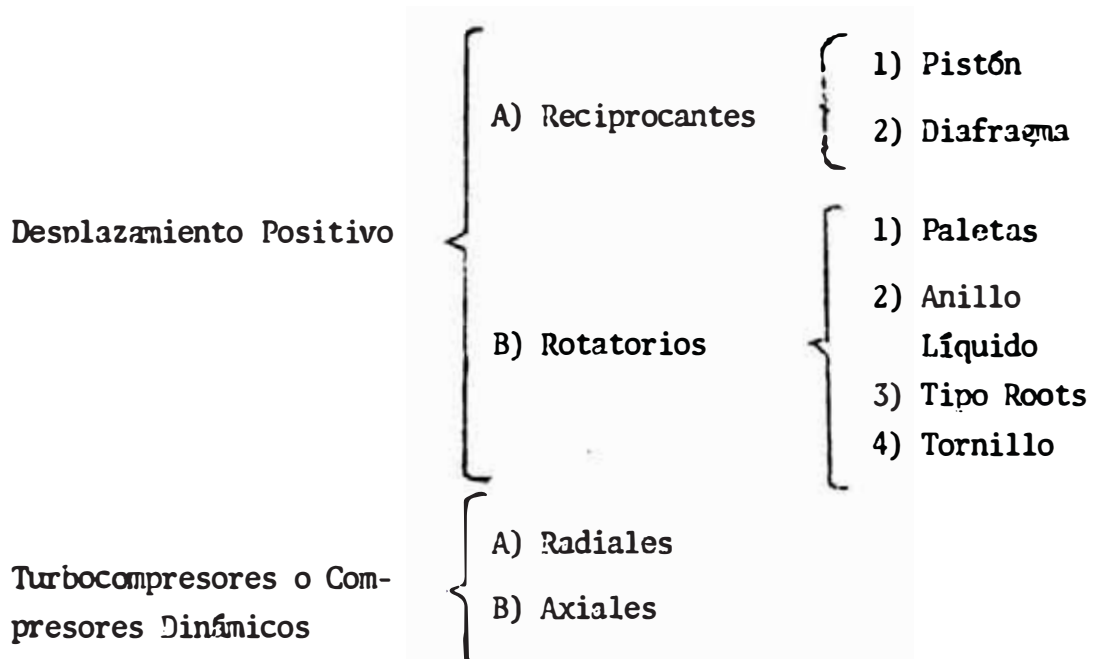
V.2 COMPRESORES

Objetivo.- Conocer el funcionamiento de un compresor, los diferentes tipos de compresores de aire que se utilizan en la Industria, sus principios, y cálculos de parámetros fundamentales.

Fundamento Teórico

Introducción.- Los gases a presiones mayores o menores que la atmosférica son de uso común en la Industria. El proceso de compresión es una parte integral de los ciclos para refrigeración y de los de turbinas de gas. Más ampliamente usado es el aire comprimido con que trabajan los motores de aire y las herramientas como martillos y taladradoras neumáticas, aparatos para pintar por pulverización, limpieza por chorro de aire, elevadores neumáticos, bombeo o elevación de agua mediante aire y un sinnúmero de otros trabajos. Las ecuaciones de energía estudiadas para los gases ideales, bajo condiciones especificadas se aplican por igual a cualquier fluido con presible.

Clasificación.- Los compresores de aire se clasifican en



Campo de Aplicación.- El campo de aplicación característico de los compresores alternativos es el de los pequeños caudales y grandes presiones

siones, mientras que el de los turbo compresores abarca principalmente los grandes caudales y las pequeñas elevaciones de presión.

COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

A) Compresores Reciprocantes

A.1 Compresores de Pistón

Un compresor de pistón consiste esencialmente de un cárter con un cigueñal, una biela, pistón y cilindro; este último provisto de válvulas de succión y descarga. Con el giro del cigueñal se permite el ingreso del aire por la válvula de entrada y luego se comprime este aire a la subida del pistón. Cuando el aire está completamente comprimido, se abre la válvula de salida y se expulsa el aire. (Fig. V.2).

Un compresor cuyo pistón hace una carrera de compresión por cada revolución del cigueñal es un compresor de simple efecto, si por revolución del cigueñal se efectuarán dos carreras de compresión se denomina un compresor de doble efecto.

Si la compresión es llevada a una presión mayor que 5 o 6 Bar, es preferible realizar dicha compresión en dos etapas.

Un compresor de dos etapas puede ser considerado como dos compresores de una sola etapa. En uno de ellos el aire es comprimido desde la presión ambiente hasta una presión equivalente a la raíz cuadrada de la presión absoluta final o de salida. Por ejemplo, si esta es 9 Bar, la primera etapa debería comprimir hasta 3 Bar, y la segunda, de 3 a 9 Bar. Se puede demostrar que las necesidades de potencia son mínimas si todas las etapas tienen la misma relación de : Presión de salida/Presión de Entrada.

Si en una compresión de dos etapas el aire pasa directamente del cilindro de baja presión al de alta presión, las condiciones físi

cas del aire y el trabajo realizado para comprimirlo vienen a ser similares a los que se obtendría al comprimir el aire con un compresor en una sola etapa hasta la presión final. Se obtienen ventajas al enfriar el aire después de cada etapa, ya que de esta manera se reduce el volumen de aire, por tanto se requiere menor potencia. Para esto se utiliza un enfriador intermedio (Intercooler) permitiendo a su vez el control del aumento de temperatura con respecto a un compresor de una sola etapa, que origina muchos problemas, particularmente en la lubricación.

En los compresores existe, además lo que se llama enfriador (after cooler) cuya función es enfriar el aire de tal forma que se condense la humedad del aire, el condensado es retirado mediante separadores. El condensado es indeseable en las tuberías de aire y sistemas de aire que aumentan maquinaria neumática ya que puede producir herrumbre o "lavar" superficies que requieren de lubricación.

En lo que se refiere a la lubricación de los compresores de pistón, deben lubricarse dos grupos de órganos activos:

- a) Los cilindros (Pistones, válvulas), y
- b) Los cojinetes (del cigüeñal, de la cabeza y pie de Biela)

El aceite que lubrica los cojinetes no entra en contacto con el aire, pero el aceite que lubrica los cilindros si. Por lo tanto, en un compresor de pistón que debe expeler aire libre de aceite, no es posible lubricar los cilindros.

Los métodos de lubricación son

- Por barboteo o salpicadura.
- Por lubricación forzada.

A.2 Compresores de Diafragma

El compresor de diafragma utiliza un diafragma flexible en una cá

mara de compresión en vez de un pistón. (Fig. V.3).

La principal ventaja de este tipo de compresor es que el diafragma cierra herméticamente el espacio de compresión. De este modo, se obtiene una operación totalmente libre de aceite.

Aparte de los cojinetes del motor eléctrico, las únicas partes que necesitan lubricación son los cojinetes de la cabeza de biela.

En los compresores de diafragma accionados hidráulicamente, el movimiento del diafragma es causado por presión alternativa hidráulica ejercida sobre la parte inferior del diafragma. Generalmente se usa aceite como fluido hidráulico y el mismo sirve también para lubricar los cojinetes.

B) Compresores Rotatorios

B.1 Compresores de Paletas

Este tipo de compresores tiene un rotor circular montado excéntricamente en la carcasa. En el rotor hay una serie de ranuras y cada ranura lleva una paleta. Con la revolución del rotor, las paletas entran y salen de la ranura. El borde exterior de cada paleta se mantiene en contacto con el cilindro por la fuerza del rotor en movimiento. (Figs. V.4 y V.10).

La compresión se realiza de la siguiente manera: El aire que se introduce en la cámara por el orificio de la entrada es atrapado entre las paletas que lo llevan por el cilindro o carcasa. Al girar el rotor se va reduciendo el espacio existente entre las paletas y el aire contenido en ese espacio se comprime. Esto continúa hasta que el aire llega al orificio de salida.

Para prevenir que las paletas produzcan desgastes en la parte cilíndrica de la carcasa, se insertan unos anillos en la trayectoria de deslizamiento. El diámetro interior de los anillos anti-fricción es algo menor que el diámetro de la carcasa y cuando las pa

letas son presionadas contra los anillos proveen un adecuado sellado contra el cilindro. Los anillos son bien lubricados y siguen la rotación. La película de aceite en el cilindro ayuda al sellado de las cámaras formadas por las paletas y carcasa. Los órganos móviles del compresor de paleta, los cojinetes del rotor, los collarines del eje y las paletas deben lubricarse para que actúen eficientemente.

B.2 Compresores de Anillo Líquido

Su construcción es similar a la de un compresor de paletas. El rotor se monta excéntricamente en el cilindro y lleva una serie de aletas fijas. (FIG. V.5).

En el compresor de anillo líquido, el cilindro está parcialmente lleno de un líquido, generalmente agua si la máquina comprime aire. El agua se agita en el cilindro por la acción de las aletas del rotor y forma un anillo.

La distancia entre el borde interior del anillo líquido y el rotor es variable y con ello varía el espacio entre las aletas.

El aire o gas que está siendo comprimido está en contacto directo con el líquido y a altas velocidades hay siempre una mezcla del líquido con el gas comprimido. El compresor debe estar equipado con un separador de líquido en el lado de la descarga y de un dispositivo que permita la reposición del líquido del anillo. El aire de estos compresores no tiene contacto con el aceite de lubricación.

Las únicas partes que requieren lubricación son los cojinetes del eje rotor que están fuera de la cámara de compresión. Estos cojinetes pueden lubricarse con grasa o aceite.

B.3 Ventilador Tipo Roots

Este compresor tiene dos o más rotores encerrados en una Caja.

Los rotores tienen lóbulos, según puede verse en el diagrama , y giran sobre ejes paralelos separados. Son accionados por mecanismos exteriores que sincronizan los rotores para que engranen correctamente. (Fig. I.6).

La compresión tiene lugar de la siguiente manera. El aire es succionado por el orificio de entrada y se introduce en la cámara de compresión. Los rotores que giran fuerzan su paso por la caja. La compresión no ocurre hasta que el espacio contenido entre lóbulos y la caja se pone en contacto con el lado de presión, en este sentido el ventilador tipo Roots no se puede llamar propiamente compresor.

como ^{no} hay contacto metal-metal entre los componentes dentro de la cámara de compresión, las únicas partes que requieren lubricación son los cojinetes del rotor y el mecanismo sincronizador.

B.4 Compresores de Tornillo

Este tipo de compresor está compuesto por dos rotores. Los rotores son designados uno macho y otro hembra. El primero tiene lóbulos con flancos convexos y el último con flancos cóncavos, dispuestos en forma de hélice arrolladas en direcciones opuestas.

En el diagrama podemos observar el principio de operación.

El espacio entre los rotores macho y hembra y entre los rotores y la caja se mantiene lo más pequeño posible, de modo que haya el menor escape posible desde el lado de alta presión al lado de la succión. (Figs. V.7 y V.10).

La compresión se produce de la siguiente manera: El aire entra en la cámara de compresión por la entrada de aire situada a la derecha. Al girar los rotores engranan y obligan al aire a pasar por la rosca del rotor.

El gas^{es} comprimido entre los rotores porque el espacio reduce su volumen: o sea, el gas es comprimido debido al desplazamiento po-
sitivo. El aire comprimido se fuerza luego por el orificio de salida ubicado al final de los rotores a la izquierda.

Hay dos tipos de compresores de tornillo

a) Sin aceite y b) Sellado por líquido.

En los compresores de tornillo sin aceite el aire^{no} toma contacto con éste. Para lubricar los cojinetes y engranajes se utiliza una bomba de engranajes, un filtro de aceite y un refrigerador del aire.

TURBOCOMPRESORES O COMPRESORES DINAMICOS

Los compresores dinámicos se designan también Compresores Aerodinámicos o Turbocompresores. Tienen Paletas o Impulsores que giran a gran velocidad para aumentar la velocidad y presión del aire.

A) Compresores de Flujo Radial

El rotor del compresor de flujo radial tiene paletas fijas y gira en una Caja de Diseño Especial. (Fig. V.2).

El aire entra en un extremo, aumenta de velocidad y es expelido. Del rotor el aire pasa al difusor. Cuando el aire entra en el difusor, disminuye su velocidad y aumenta su presión. Luego pasa a la Caja. Los compresores de flujo radial pueden entregar aire a alta o baja presión, según la forma del rotor y el difusor.

B) Compresores de Flujo Axial

En estos compresores el aire fluye paralelamente al eje del rotor. En el compresor de flujo axial la caja de la cámara de compresión es amplia en el extremo de la entrada de aire y estrecha en el lado de la descarga. La cja lleva montadas series de hileras de paletas curvas fijas que alternan con paletas curvas móviles montadas en el ro-

tor giratorio. (Fig. 2.9).

En la parte estrecha, las paletas son más cortas y el espacio entre ellas es más pequeño. La curvatura de las paletas fijas es opuesta a la de las paletas móviles.

El aire entra por el extremo amplio hacia el primer grupo de paletas móviles. La forma de éstas es tal que aumentan considerablemente la velocidad del aire antes de hacerlo pasar por el grupo de paletas fijas que sigue. Al pasar por las paletas fijas, el aire reduce su velocidad debida a la forma curva de las paletas y aumenta su presión. El proceso de aumentar y disminuir la velocidad del aire alternativamente y de aumentar cada vez más su presión, continúa en toda su longitud del rotor en etapas, debido a la forma de las paletas. El aire comprimido es expelido por la parte estrecha.

Sistemas de Lubricación : Compresores Dinámicos

El rotor y el difusor no se tocan en el compresor de flujo radial; las paletas fijas y las paletas móviles no se tocan en el compresor de flujo axial. Por lo tanto, no se necesita lubricación interna de ninguno de estos compresores.

Los cojinetes y engranajes se lubrican por diversos métodos según el tamaño de la máquina.

PRINCIPIOS BASICOS

Diagrama Real del Indicador - Compresor de Aire.- Para apreciar los pasos reales de un compresor de movimiento alternativo, considérese un diagrama indicador (Ver figura 2.10). Las válvulas de un compresor funcionan típicamente a base de una diferencia de presiones. Se necesita una diferencia de presiones relativamente grande para iniciar la acción que las mueva, debido al rozamiento y a la inercia, de manera que generalmente hay una apertura brusca, seguida de una oscila

ción o vibración. La válvula de admisión o aspiración no se abre hasta que alcanza una presión un poco menor que la del medio circundante. Entonces a menudo se inicia una oscilación como en 4., produciendo una parte ondulada en la línea de aspiración 4-1. Obsérvese que la presión de operación es ligeramente menor que la presión fuera del cilindro. La compresión 1-2 que a menudo se acerca a un proceso adiabático, continúa hasta que se alcanza una presión mayor que la que se entrega o produce, en cuyo punto se abre la válvula de descarga o impulsión. Aquí nuevamente tiene lugar la vibración de la válvula y la línea de descarga o impulsión es ondulada. La reexpansión 3-4 hasta la admisión o aspiración completa el diagrama. El aire generalmente se entrega a un receptor o depósito, en el que se almacena hasta que se necesita.

Trabajo de un compresor.- Los tipos de compresores tanto de movimiento alternativo, así como los rotativos pueden considerarse, en general, como máquinas de flujo y estado estable para el fin de obtener la Ecuación de Trabajo.

$$W = m (h_1 - h_2) + K_1 - K_2 + Q$$

En general hay poca diferencia entre las velocidades de entrada y de salida $K_1 \approx K_2$

Luego :

$$W = m (h_1 - h_2) + Q = - AH + Q$$

Trabajo para Compresión Isotérmica.- Cuando la temperatura se mantiene constante : $Ah = 0$ y $W = Q$. Luego

$$W = P_1 V_1 \cdot \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Trabajo para Compresores Adiabáticos o Isoentrópicos.- Si el proceso es adiabático $Q = 0$ $W = - \Delta h$

Luego : Si es Isoentrópico

$$W = \frac{K \cdot m \cdot R \cdot T_1}{(1 - K)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

Para una Compresión Politrópica, la Ecuación es la misma con la única diferencia que se usa "n" en lugar de "K".

Trabajo para Compresión Adiabática Irreversible.- Los tipos reales de compresores rotativos consumen trabajo acercándose al adiabático de flujo y estado estable. $W = m (h_1 - h_2)$

$$W = \frac{- m \cdot K \cdot R \cdot T_1}{(K - 1)} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

Los trabajos reales se calculan generalmente utilizando rendimientos.

Nota.- Si la sustancia es un gas ideal se puede utilizar también $P_1 V_1$ en lugar de $m \cdot R \cdot T_1$.

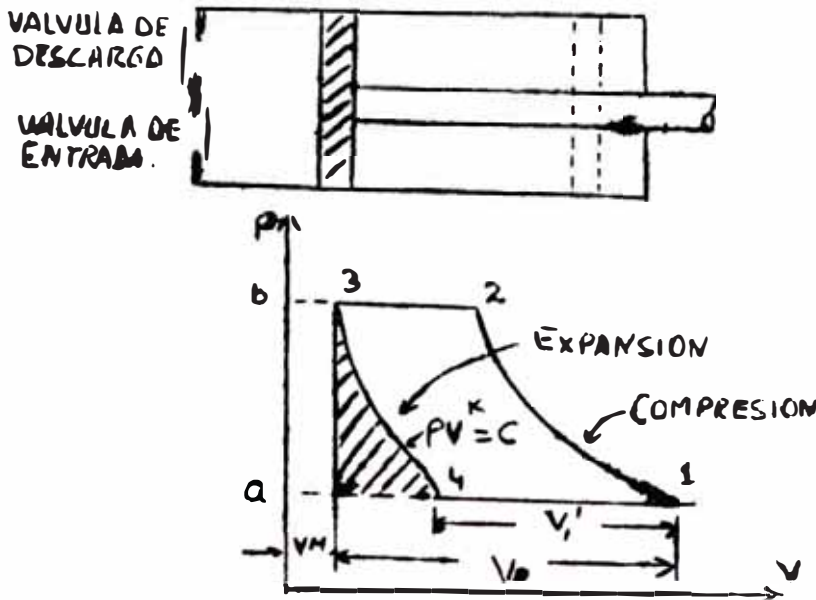
Cilindrada, Volumen de Espacio Muerto y Relación de Espacio Muerto.-

El volumen desplazado o cilindrada, se define por el volumen barrido por la cara del embolo en una carrera. Para estar seguros que el embolo no choque con la culata del cilindro al final de la carrera y para que quede espacio para las válvulas, es necesario dejar un volumen muerto en los compresores de movimiento alternativo. En los motores de combustión interna el volumen del espacio muerto tiene más importancia, pero en los compresores conviene que dicho espacio sea el mínimo posible. El consumo de energía es independiente de la cantidad de volumen muerto.

$$c = \frac{\text{Volumen del Espacio Muerto}}{\text{Volumen Desplazado } (V_D)}$$

Se denomina relación de Espacio Muerto. Sus valores varían generalmente entre 6% y 12%. Siendo en algunos grandes compresores de movimiento alternativo del orden del 3%.

Diagrama Convencional con Espacio Muerto.-



Del diagrama podemos apreciar que cuanto mayor sea el espacio muerto (V_3), menos gas se aspirará (V_1). (Tabla 1).

Donde para un proceso isoentrópico, la cantidad de trabajo necesaria para comprimir una masa particular de aire es independiente del espacio muerto. Sin embargo en el compresor real hay efectos adicionales de rozamiento. El desplazamiento o cilindrado debe ser mayor con espacio muerto que sin él, para una capacidad particular.

Influencia de la Presión Atmosférica.- El aire libre, es el que está en condiciones atmosféricas normales en una situación geográfica particular. Como la presión y la temperatura varía con la altitud, un compresor proyectado y ajustado para que entregue una cierta masa de aire a una cierta presión instalado al nivel del mar, no la entregará a una cierta altitud y además la presión a la que la entregue será menor. (Tabla 2).

Capacidad y Rendimiento Volumétrico.- La capacidad de un compresor es la cantidad real de gas entregada, medida, por medio de un orificio, a

la presión y temperatura de entrada o aspiración expresada en metros cúbicos por minuto. El rendimiento volumétrico real de un compresor de movimiento alternativo es la relación.

$$\eta_{V.\text{Real}} = \frac{\text{Capacidad del Compresor}}{\text{Cilindrada m}^3/\text{min.}}$$

El valor del rendimiento volumétrico real puede variar de 50% a 85%. Se obtiene únicamente mediante pruebas o ensayos de compresor real.

Rendimiento Volumétrico Convencional.- Se halla a partir del diagrama convencional.

$$\eta_V = \frac{V_1^1}{V_D} = \frac{V_1 - V_4}{V_D} \quad V_3 = C \cdot V_D$$

Luego para un proceso politrópico-

$$\eta_V = 1 + C - C \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1/n} = 1 + C - C \left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

El rendimiento volumétrico real puede ser mucho menor que el convencional, debido al rozamiento del flujo (la presión en el cilindro es menor que la presión del aire libre) y porque las paredes del cilindro, estando relativamente calientes, calienta el aire que entra (una masa menor de aire caliente puede ocupar un espacio dado).

Como en la Ecuación anterior $P_2 > P_1$, el rendimiento volumétrico disminuye a medida que aumenta el espacio muerto; y a medida que disminuye el rendimiento volumétrico disminuye la capacidad.

Curvas de Compresión Preferidas.- Puesto que la curva isentrópica es de pendiente más pronunciada que la Isoterma

(1-2), en la figura V.12 mostrada: se absorbe más trabajo para comprimir y entregar el gas cuando la compresión es isoentrópica que cuando es isotérmica, estando representada la diferencia por el área rayada. Las curvas de compresión con n entre 1 y K caerán dentro del área rayada. Observemos que el trabajo para mover el compresor disminuye con n , luego :

Trabajo del Proceso Isoentrópico < Trabajo del Proceso Isotérmico

Trabajo del Compresor Isoentrópico > Trabajo del Compresor Isotérmico

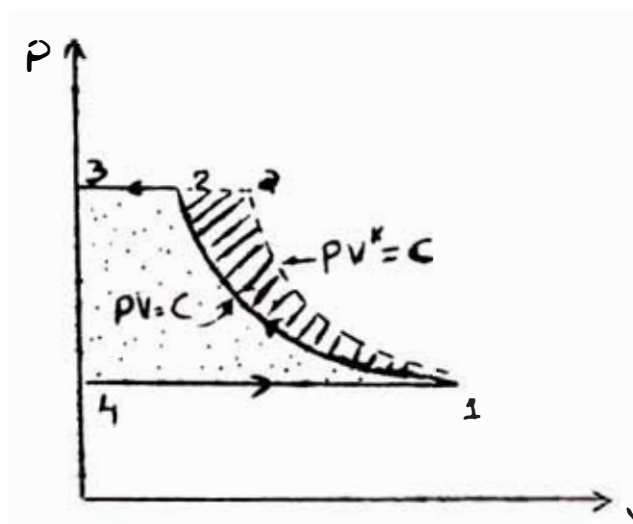


FIG. V.12 CURVAS CARACTERISTICAS DEL COMPRESOR.

Se consigue la compresión politrópica y valores de n menores que K , circulando agua fría o bien aire alrededor del cilindro. Con cilindros provistos de camisas de agua el valor de n será 1.34 o mayor.

No necesariamente es deseable un valor bajo de n en un compresor. El mejor proceso de compresión depende del uso que se le de al aire comprimido.

Por ejemplo, un proceso adiabático conduce a un aumento de la entalpía (en la cantidad de trabajo realizado), lo que podría ser conveniente para una turbina de gas, ya que la por-

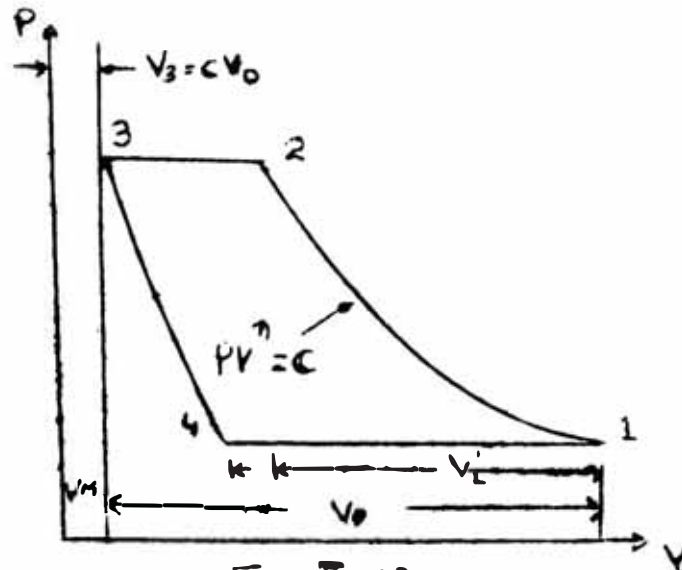
ción disponible de la energía que interviene, es posteriormente disponible para trabajo dentro de la Turbina y se añadirá menos calor en la cámara de combustión.

Por otra parte en la mayoría de los diversos usos, el aire atmosférico comprimido, a pesar de estar caliente al entregarlo, está frío cuando se usa. Este enfriamiento se produce al contacto con el medio ambiente o con un post-enfriador. Dicho enfriamiento conviene para quitar el exceso de humedad del aire antes que entre al sistema de distribución. El agua se condensa y se separa a medida que el aire se enfría. Si tomamos en cuenta el trabajo, la compresión isotérmica será preferible en este caso; pero para el aire atmosférico que siempre tiene vapor de agua, dicha compresión originará problemas de condensación en el cilindro del compresor que podrían hacerla intolerable aunque se pudiera lograr.

EJEMPLO DE APLICACION

Un compresor de aire de doble efecto y 35.6 y 38.1 cm, (DxL), cuyo espacio muerto es 4% marcha a 150 RPM y toma aire a 0.984 Kg/cm^2 ABS, después de una compresión que es considerada como politrópica con $n = 1.3$. La presión y la temperatura atmosférica son 1.033 Kg/cm^2 ABS y 21°C respectivamente

- a) Hágase una estimación del aire libre a partir del rendimiento volumétrico convencional. Para el aire a medida que pasa por el compresor, Determinése
- b) El calor transmitido
- c) El cambio de Entalpía.
- d) La potencia convencional en C.V.



Solución.-

a) Debido a que el compresor es de doble efecto, el número de diagramas realizados por minuto es : $N = 2 \times 150 = 300$.

El desplazamiento o cilindrada es :

$$V_D = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) (L) (N) = \frac{\pi (35.6)^2 (38.1) (300)}{(4) (1'000,000)} = 11.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Con un rendimiento volumétrico de : como $C = 0.04$

$$\eta_V = 1 + C - C \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/n} = 1.04 - 0.04 \left(\frac{3.94}{0.984} \right)^{1/1.3} =$$

$$\eta_V = 0.924 = 92.4 \%$$

Encontramos que el volumen aspirado por minuto es :

$$V_1^1 = \eta_V \cdot V_D = (0.924) (11.4) = 10.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

medido a $0.984 \text{ Kg/cm}^2 \text{ ABS}$ y $26.6 \text{ }^\circ\text{C}$ en el punto 1. Si el suíndice "0" se refiere al aire atmosférico tenemos :

$P_0 V_0 / T_0 = P_1 V_1^1 / T_1$; o sea, el volumen aproximado de aire libre es :

$$V_o = \frac{P_1 V_1^1 T_o}{T_1 P_o} = \frac{(0.984) (10.5) (294)}{(299.6) (1.033)} = 9.81 \text{ m}^3/\text{min.}$$

b) Para obtener el calor, podríamos hallar en primer lugar T_2 y la masa m del aire entregado.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 299.6 \left(\frac{3.94}{0.984}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} = 413 \text{ K} =$$
$$= 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = \frac{P_1 V_1^1}{R T_1} = \frac{(0.984) (10^4) (105)}{(29.3) (299.6)} = 11.8 \text{ Kg/min.}$$

Para $C_v = 0.1714$ para el aire y $K = 1.4$ obtenemos

$$C_n = C_v \frac{K - n}{1 - n} = \frac{(0.1714) (1.4 - 1.3)}{(1 - 1.3)} = -0.0572 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg K}}$$

$$Q = m \cdot C_n \cdot \Delta T = (11.8) (-0.0572) (413 - 299.6) =$$
$$= 76.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

Donde el signo negativo indica rechazo o cesión de calor.

c) El cambio de entalpía para $C_p = 0.24$ es :

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T = (11.8) (0.24) (413 - 299.6) = 321 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

d) El trabajo convencional es :

$$W = - \Delta H + Q = -321 + (-76.5) = -397.5 \text{ Kcal/min}$$

$$CV = \frac{397.5}{10.5} = 37.9 \text{ C.V.}$$

Rendimientos Mecánicos de un Compresor. - (η_m)

$$\eta_m = \frac{C V_i \text{ del compresor}}{C V_p \text{ del compresor}} =$$

$$\eta_m = \frac{\text{IHP del compresor}}{\text{BHP del compresor}}$$

Si el compresor se acciona por una máquina de vapor o un motor de combustión interna, el rendimiento mecánico del sistema del compresor es :

$$\eta_{m.s} = \frac{C V_i \text{ del compresor}}{C V_i \text{ de la Máquina Impulsora}}$$

$$\eta_{m.s} = \frac{\text{IHP del compresor}}{\text{IHP de la Máquina Impulsadora}}$$

Para una evaluación aproximada y para fines pedagógicos podemos estimar la potencia consumida en rozamientos en el compresor por:

$$C V_r = 1.54 V_D^{3/4}$$

$$\text{FHP} = 0.105 V_D^{3/4}$$

Luego :

$$\text{BHP} = \text{IHP} + \text{FHP}$$

El rendimiento de la compresión adiabática es : (η_c)

$$\eta_c = \frac{\text{Trabajo (6 CV) del diagrama convencional con compresión isoentrópica}}{\text{Trabajo Indicado (6 CV}_i\text{) del compresor}}$$

$$\eta_c = \frac{\text{Trabajo (6 HP) del Diagrama Convencional con compresión Isoentrópica}}{\text{Trabajo Indicado (6 IHP) del compresor}}$$

Que es el rendimiento de compresión más comúnmente empleado.

El rendimiento de la compresión isotérmica es : ($\eta_{c.i.}$)

$$\eta_{c.i.} = \frac{\text{Trabajo } \delta \text{ CV (} \delta \text{ bien HP) Ideales}}{\text{Trabajo } \delta \text{ CV (} \delta \text{ bien HP) al Freno}}$$

Referencia Bibliográfica

- Fayres "Termodinámica"
- Boletín Shell "Compresores"
- Technic International "Bombas y Compresores"

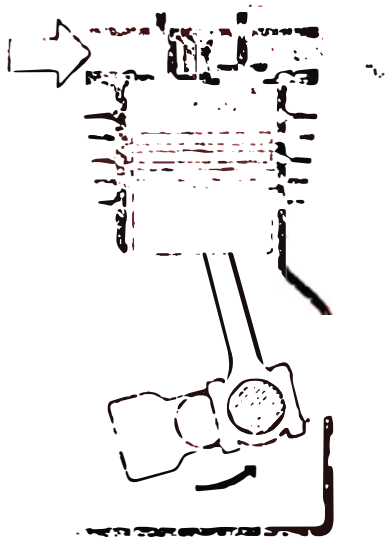


FIG V.2 COMPRESOR DE PISTON

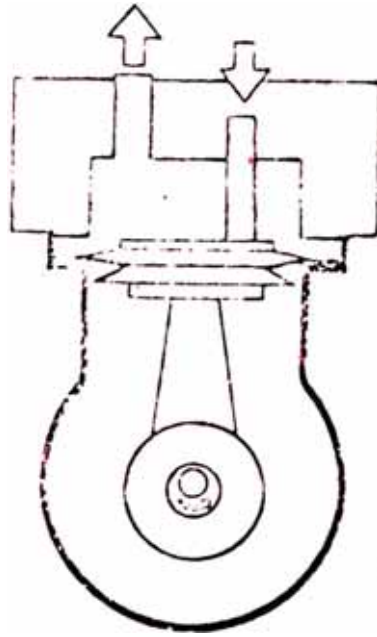


FIG V.3 COMPRESOR DE DIAGRAMA.

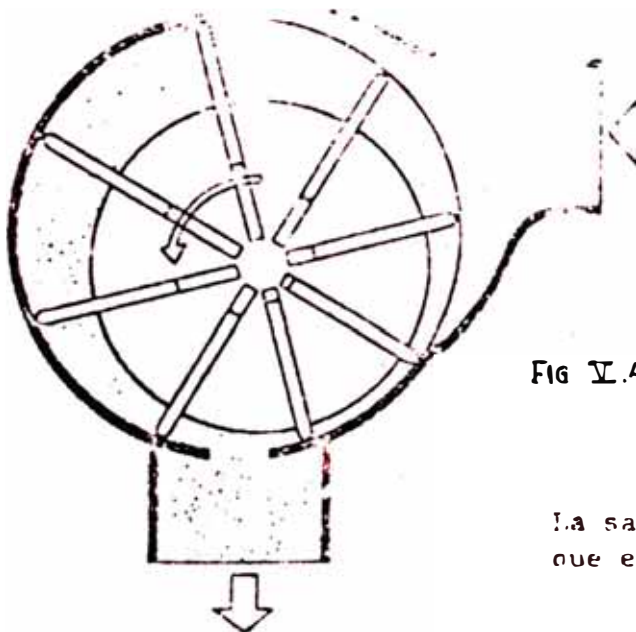


FIG V.4 COMPRESOR DE PALETAS.

La entrada está ubicada de modo que el aire entra en el resento en que el espacio entre las aletas está aumentando.

La salida está ubicada en el lugar en que es mayor la presión del aire.

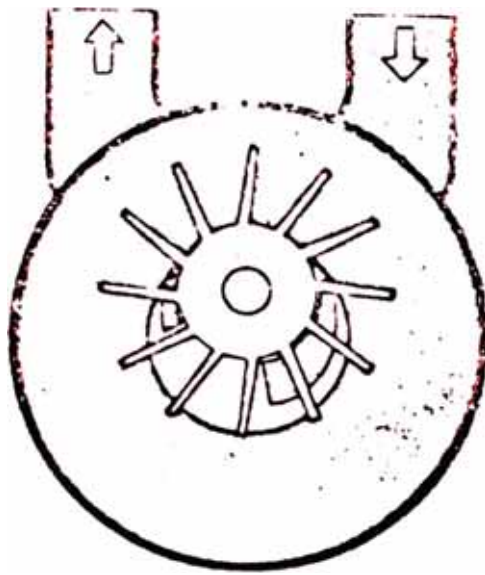


FIG V.5 COMPRESOR DE ANILLO LIQUIDO.

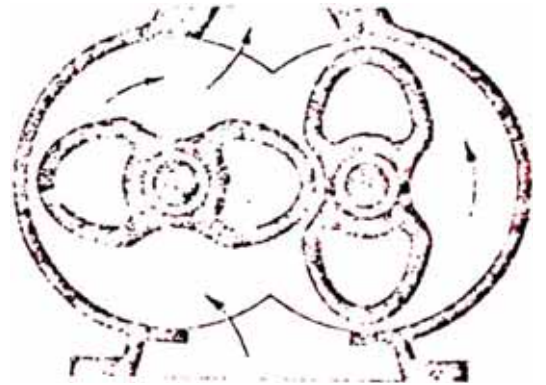


FIG V.6 VENTILADOR TIPO ROOTS.



FIG V.7 COMPRESOR DE TORNILLO.

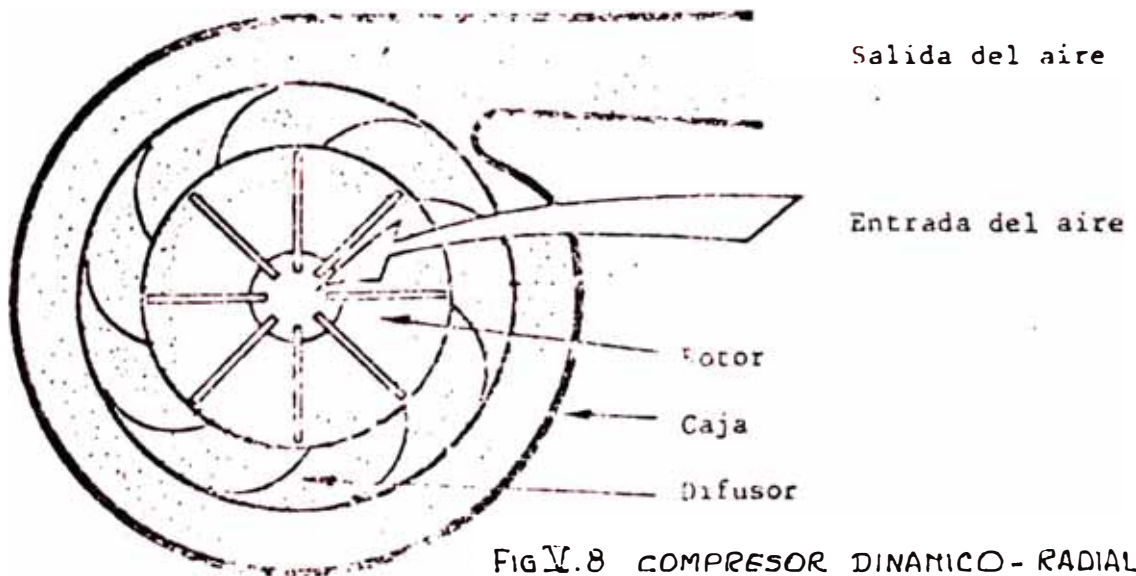


FIG V.8 COMPRESOR DINAMICO-RADIAL.

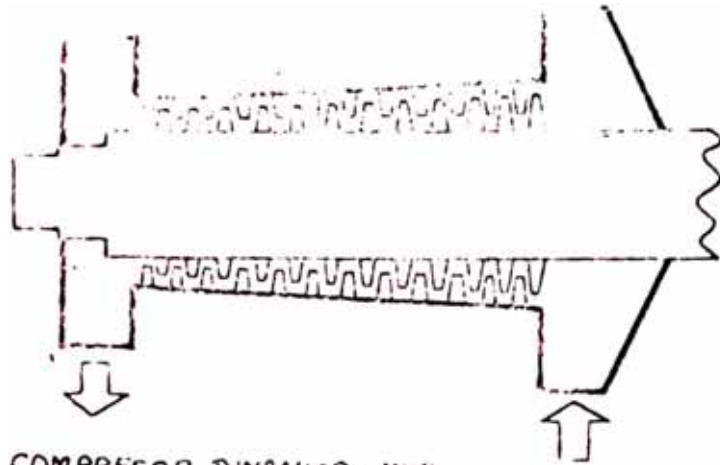


FIG V. 9 COMPRESOR DINAMICO-AXIAL

FIG V.10 COMPRESOR DE TORNILLO Y
DE PALETAS.

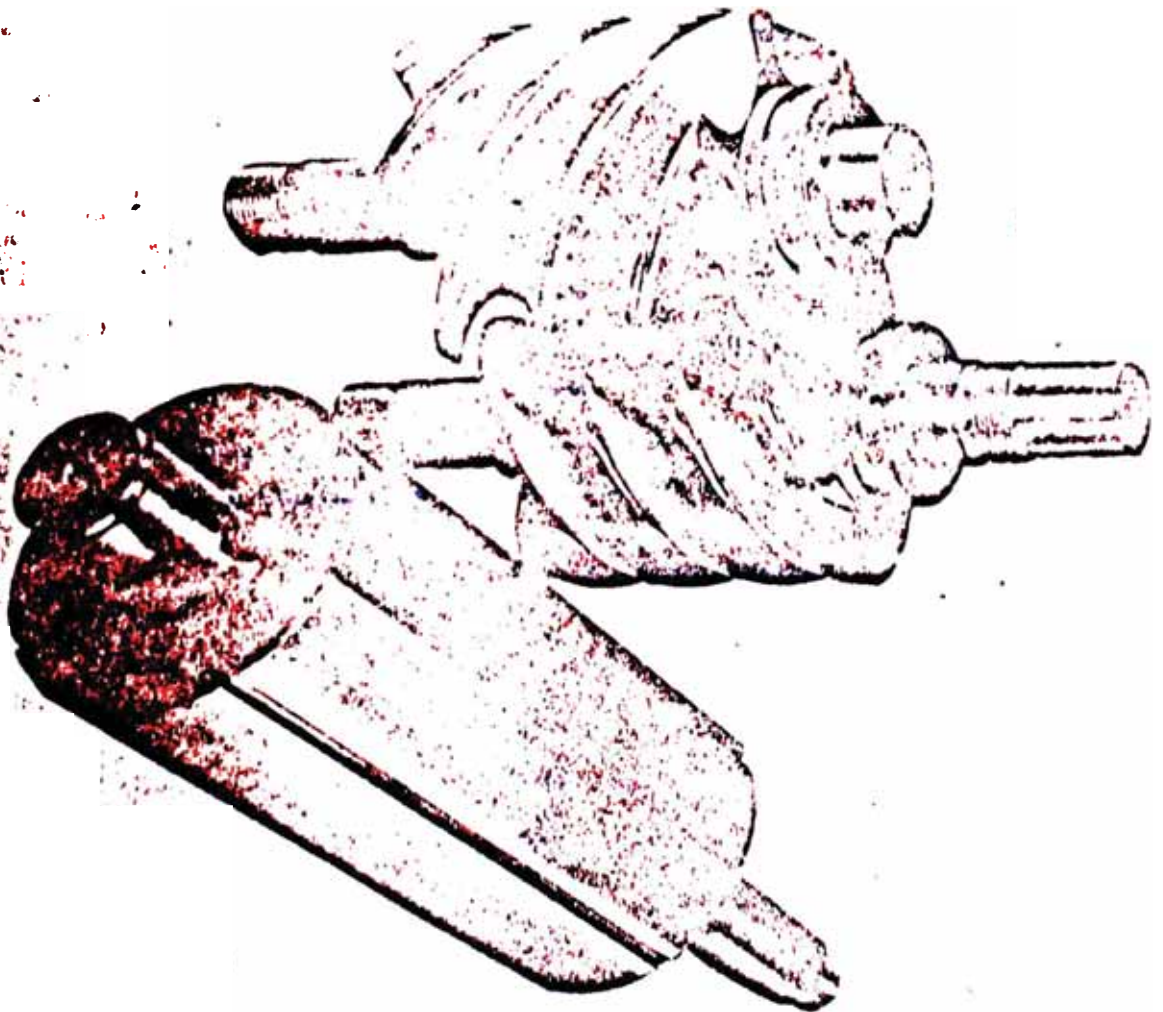


TABLA 1. — PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Temperatura °F	Densidad ° Kg/m ³	Viscosidad Kg. (m) (hora)	Calor específico, Kcal. (Kg) (°F)	Conductividad térmica, Kcal/(h) (m) (°C)
-30	1.35	0.0544	0.2393	0.0179
0	1.38	0.0594	0.2394	0.0198
50	1.25	0.0640	0.2395	0.0217
100	1.13	0.0684	0.2400	0.0237
150	1.04	0.0732	0.2404	0.0253
200	0.96	0.0775	0.2410	0.0270
250	0.89	0.0817	0.2418	0.0272
300	0.84	0.0856	0.2426	0.0304
350	0.78	0.0896	0.2436	0.0320
400	0.74	0.0930	0.2448	0.0338
450	0.70	0.0966	0.2461	0.0356
500	0.66	0.1000	0.2475	0.0372
550	0.63	0.103	0.2489	0.0390
600	0.60	0.107	0.2504	0.0405
650	0.573	0.111	0.2519	0.0420
700	0.548	0.114	0.2534	0.0435
750	0.525	0.117	0.2550	0.0449
800	0.504	0.121	0.2566	0.0466
850	0.485	0.124	0.2582	0.0482
900	0.467	0.127	0.2598	0.0500
950	0.450	0.130	0.2613	0.0518
1000	0.435	0.133	0.2628	0.0534
1050	0.421	0.136	0.2645	0.0552
1100	0.407	0.139	0.2658	0.0568
1150	0.394	0.142	0.2673	0.0583
1200	0.383	0.145	0.2688	0.0598

Notas: • Calculada con la relación $PV = mRT$ °F = 1.8°C + 32.

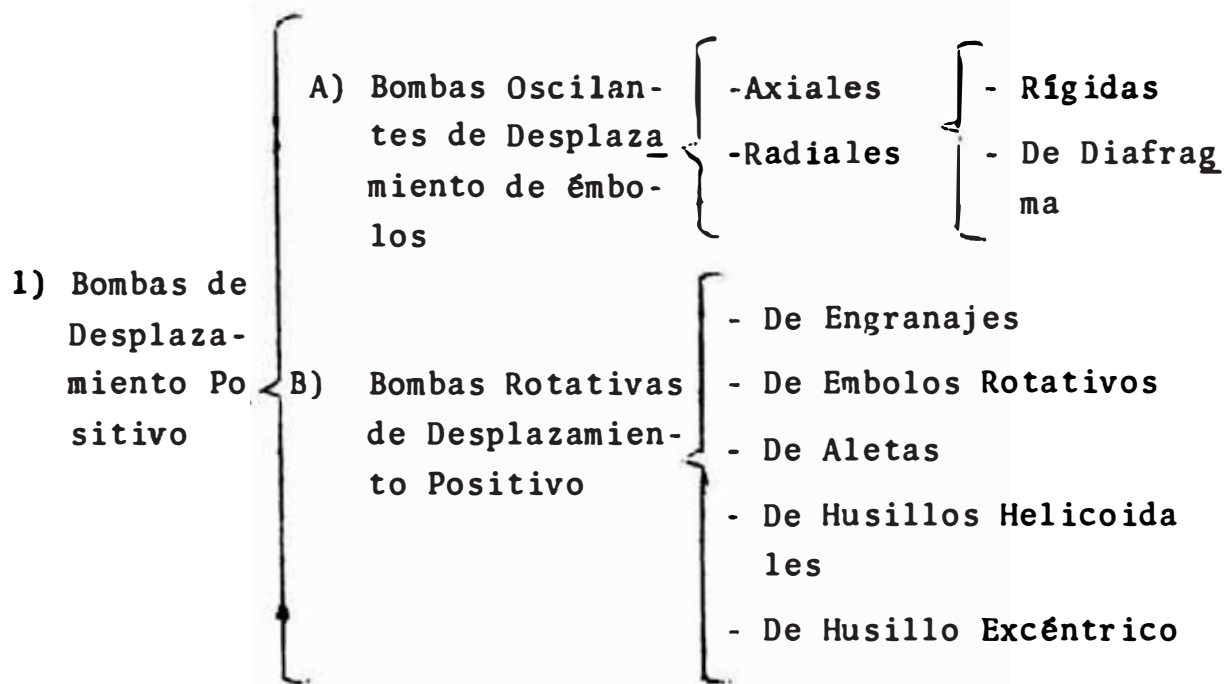
TABLA No. 2
DISMINUCION DE LA PRESION ATMOSFERICA

Altura sobre el Mar		Pa	
M	FT	M	PSI
0	0	10.33	14.69
250	820	10.03	14.26
500	1640	9.73	13.83
750	2460	9.43	13.41
1000	3280	9.13	12.98
1250	4101	8.83	12.55
1500	4921	8.53	12.13
1750	5741	8.25	11.73
2000	6561	8.00	11.38
2250	7381	7.75	11.02
2500	8202	7.57	10.68
2750	9022	7.28	10.35
3000	9842	7.05	10.02
3250	10662	6.83	9.71
3500	11483	6.62	9.42
3750	12303	6.41	9.12
4000	13123	6.20	8.82
4250	13943	5.98	8.52
4500	14764	5.78	8.22

VI. BOMBAS CENTRIFUGAS Y DE PROFUNDIDAD

Objetivo.- Iniciarse en el estudio de las Bombas Centrífugas y de profundidad a través del conocimiento de sus principios teóricos básicos y de sus características principales, de tal manera que nos permita ingresar al campo práctico de selección y aplicación de Bombas Centrífugas.

Tipos de Bombas



2) Bombas Centrífugas

3) Bombas de Profundidad - Tipo Turbina

Aplicaciones

1-A) Las Bombas de Embolo de Desplazamiento positivo, tienen dos características básicas que las hacen ser requeridas para determinados sectores industriales :

- Alcanzan altas presiones con caudales relativamente pequeños por sus bajas velocidades e impulsan un volumen exacto del fluido en cada carrera del embolo.

Las Bombas de Embolos se utilizan principalmente

- En la Industria de procesos químicos, donde se presen

ta la necesidad de impulsar a alta presión final, flúidos de propiedades corrosivas y de alta densidad y algunas veces altas temperaturas.

- Como bombas dosificadas en procesos químicos y físicos, en donde se requiere muchas veces variar el caudal de dosificación ajustando la carrera del émbolo o variando la velocidad del motor.
- En instalaciones oleo hidráulicas, donde junto con las máquinas rotativas de desplazamiento positivo, dominan las bombas de embolos radiales y de embolos axiales, como bombas oscilantes de desplazamiento positivo. Se encuentran principalmente en los accionamientos de trenes de laminación, prensas, cabrestantes, vehículos pesados, instalaciones de perforaciones petrolíferas y máquinas de construcción. La principal importancia de las bombas oscilantes de desplazamiento positivo en las instalaciones hidráulicas es que permiten una regulación precisa y fina de sistema de accionamiento.

1-B) Las Bombas Rotativas de desplazamiento positivo se clasifican en un gran número de tipos de bombas, de las cuales se mencionan algunas en el cuadro anterior.

Estas bombas se utilizan principalmente en :

- Las bombas de tipo engranaje en los motores de combustión interna como bomba de aceite.
- Las bombas de embolos rotativos se utilizan mucho en la industria alimenticia donde se encuentran flúidos con diferentes viscosidades o flúidos que contengan sustancias en grano o en fibra como pastas, emulsiones,

jugos de frutas, mostaza, etc.

- Las bombas de aletas se emplean como compresor o como bomba, su campo de aplicación es de impulsión de aceites minerales, gasolinas, lacas y productos similares. Un caso típico de aplicación es en los camiones y vagones de cisterna.
 - Las bombas de husillos helicoidales se caracterizan como las bombas de embolo rotativo por su impulsión ampliamente libre de tensiones cortantes y de pulsaciones y tienen una aplicación similar con fluídos delicados.
 - Las bombas de husillo excéntrico se emplean principalmente para la impulsión de "líquidos" poco fluídos y pastosos o con componentes sólidos, como por ejemplo lodos en fermentación, pasta de frutas, mosto, pasta dentrífica, pescado en trozo, para desagues, etc.
- 2) Las Bombas centrífugas son las que vamos a estudiar en esta experiencia y su campo de aplicación es amplio y diverso. Las bombas centrífugas se utilizan para succionar en profundidades pequeñas.
- 3) Las bombas de profundidad que también se van a estudiar en esta experiencia, efectúan succiones a grandes profundidades.

A continuación presentamos algunas definiciones fundamentales :

Turbomáquina : Máquina con rotor, que tranforma la energía de flujo en energía mecánica o viceversa. Puede ser una bomba centrífuga, una turbina, un ventilador, etc.

- Rotor : Disco provisto de alabes o paletas. ($W \neq 0$)
- Estator : Conjunto de alabes fijos que antecede o está situado posterior al rotor. ($W = 0$).

- Una Etapa: Es igual a un rotor + el o los estatores.
- Carcaza : Alberga o cubre una etapa.
- Turbina : Transforma la energía de fluido en energía mecánica.
- Bomba Transforma la energía mecánica en energía de fluido.
- Bombeo Es adición de energía a un líquido para desplazarlo de un punto a otro. Por lo tanto cada vez que tengamos que desplazar un líquido; o sólidos que sin perder sus características útiles, puedan utilizar agua u otro líquido como medio de transporte; Se utilizarán bombas.
- Cebado Es la operación de eliminar la presencia de aire en la tubería de succión.

Actualmente el 70% de las bombas utilizadas son de tipo centrífugo, el creciente empleo de los motores eléctricos permitió sustituir las bombas reciprocantes mucho más caras.

Generalmente cuando tengamos que desplazar líquidos o sólidos debemos pensar en bombas centrífugas, excepto en los siguientes casos

- Para líquidos cuya viscosidad sea mayor de 3000 s.s.u., se recomiendan bombas de engranajes.
- Para grandes alturas y mediana capacidad como lo que se presenta en algunos oleoductos, generalmente se utilizan bombas reciprocantes.
- En aquellos casos en que se requiere operar en diversas condiciones de presión y caudal, especialmente en sistemas hidráulicos y similares en que se utiliza bomba de diafragma y de desplazamiento positivo.
- Para aprovechar la energía eólica en una mariposa o turbina

de viento, se utilizan bombas ^{de embolos} por sus bajas velocidades.

Características de las Turbomáquinas :

- 1) Gran concentración de potencia por peso (o volumen) de máquina, por $\frac{HP}{Kg}$.
- 2) Bajo costo en relación de 1 a 3 de Turbomáquina/Máquina Reciprocante.
- 3) Limitaciones en su aplicación en el campo de las altas presiones ($P < 10 \text{ Atm.}$)

Potencia de una Turbomáquina :

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102} \times \eta^{\pm 1} \text{ (Kw)} \quad P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{76} \times \eta^{\pm 1} \text{ (HP)}$$

η^+ → Turbina

η^- → Bomba

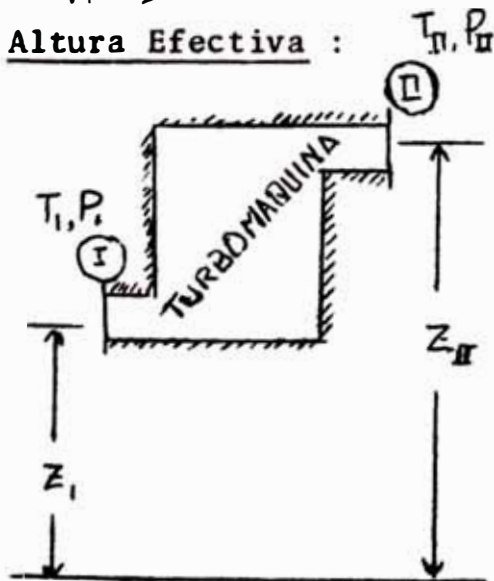
Q → m^3 / seg

γ → Kg/m^3

H' → m

Turbomáquina Hidráulicas → $P \cong \text{CTE.}$

Turbomáquinas Térmicas → $P \neq \text{CTE.}$



1ra. Ley de la Termodinámica

$$dQ - dW = dh - dz - d\left(\frac{C^2}{2g}\right)$$

Para un Proceso Adiabático :

$$dQ = 0$$

$$\text{Luego : } -dW = dh - dz - d\left(\frac{C^2}{2g}\right)$$

$$-W = \int_I^{II} dh + Z_{II} - Z_I + \frac{C_{II}^2 - C_I^2}{2g}$$

Para Bomba o Turbina.

En Fluidos Incompresibles

Bombas de Agua, Turbina Hidráulica, Ventiladores de Aire.

$$T \cdot ds = dh - \frac{dP}{\gamma} \quad (\text{Maxwell})$$

Para un Proceso Isoentrópico : $ds = 0 \rightarrow dh = \frac{dP}{\gamma}$

Luego :

$$H = z_{II} - z_I + \frac{P_{II} - P_I}{\gamma} + \frac{C_{II}^2 - C_I^2}{2g}$$

En Fluidos Compresibles :

Compresor de Aire y Turbosopladores.

$$PV^K = \text{CTE}$$

$$ds = 0$$

$$dQ = 0$$

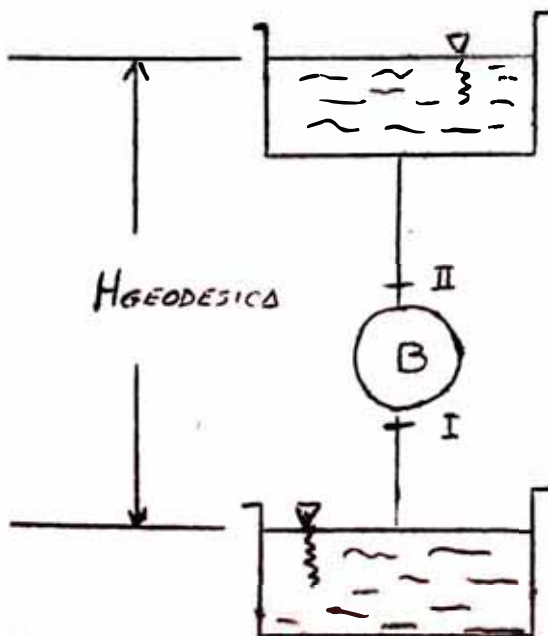
$$H = \frac{K}{K-1} P_I V_I \left[\left(\frac{P_{II}}{P_I} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

Turbocompresor

$$H = \frac{K}{K-1} P_{II} V_{II} \left[1 - \left(\frac{P_I}{P_{II}} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]$$

Turbina

Nota.- Cuando se bombea entre dos alturas determinadas, la energía de los puntos a bombear es igual a la energía entre las bridas de la bomba.



$$AZ + \frac{P_{II} - P_I}{\gamma} + \frac{C_{II}^2 - C_I^2}{2g} =$$

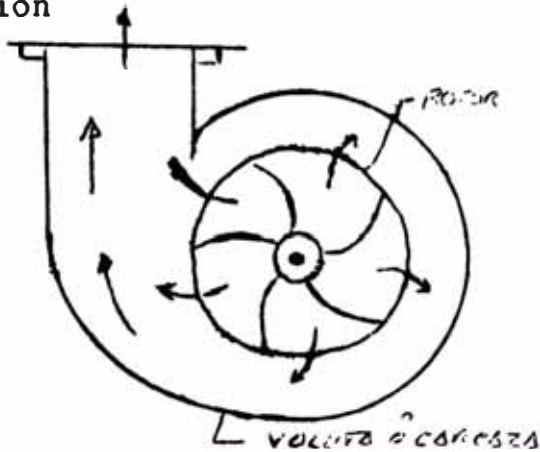
Bomba

$$H_{\text{Geod.}} + \sum H_{\text{Pérdidas}}$$

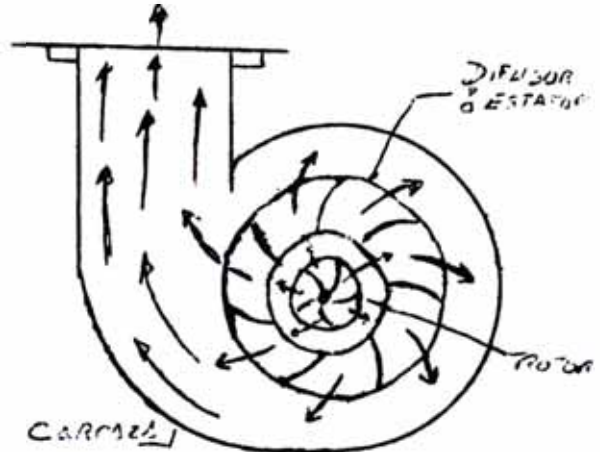
Instalación

Bombas Radiales :

La voluta convierte energía cinética en energía de presión



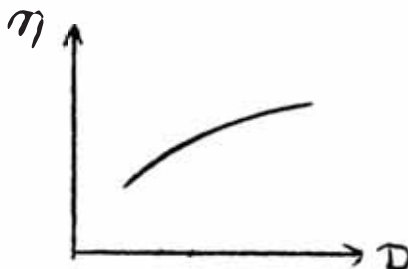
El difusor de alabes cambia la dirección del flujo y contribuye a convertir la velocidad en presión.



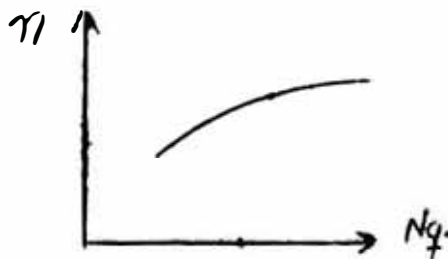
Pérdidas y Eficiencias :

Los factores que influyen en las pérdidas (eficiencias)

- TAMAÑO DE LA MAQUINA



- TIPO DEL ROTOR (RADIAL O AXIAL)



$$N_q = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

N → R.P.M.

Q → m³/seg

H → mt.

$N_q \rightarrow N_{q''}$ equivalente de revoluciones de caudal.

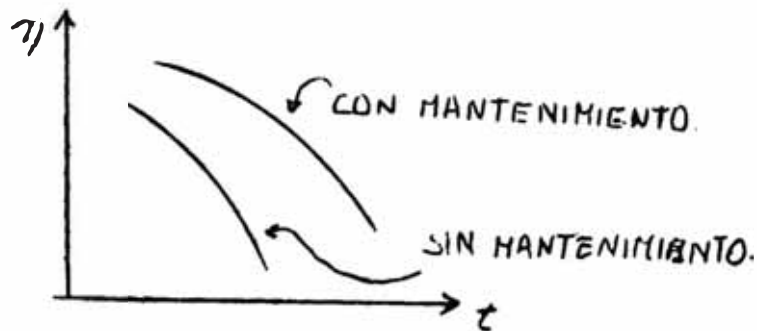
Rotores Radiales → Bajo Caudal

Rotores Axiales → Alto Caudal

} $N_{q \text{ Axial}} > N_{q \text{ Radial}}$

<u>Máquinas</u>	<u>N_q</u>
Pelton	1 - 3
Radial	10 - 40
Semi Axial	40 - 80
Axial Rapido	80 - 100

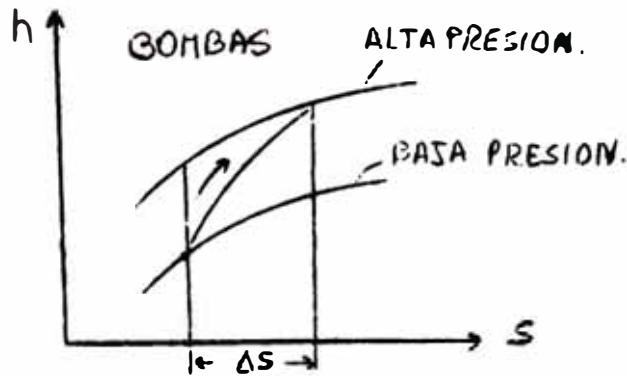
- TIEMPO DE LISO



Clasificación de las Pérdidas :

- PERDIDAS INTERNAS (η_i)

Producen AS > 0



- PERDIDAS VOLUMETRICAS (η_V) → Para que exista fuga tiene que haber una luz o intersticio y una diferencia de presión.

$$\Delta Q = f(\delta, \Delta P)$$

- PERDIDAS HIDRAULICAS (η_h)

- Fricción
- Separación del Flujo

- PERDIDAS EXTERNAS (η_{rn})

- Pérdidas en Cojinetes
- Rozamiento en Empaquetaduras (Bombas)
- Volantes, poleas, reguladores.

- FUGAS INTERNAS

$$Q_R = Q + \Delta Q$$

$$\Delta P_V = \Delta^1 \cdot Q \cdot \eta_R$$

Potencia
Perdida
por las
Fugas

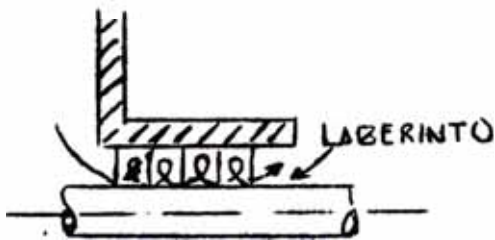
$$\eta_V = \frac{Q}{Q_R} \quad \eta_V = \frac{Q_R - \Delta Q}{Q_R} \quad \delta \quad \eta_V = \frac{Q}{Q + \Delta Q}$$



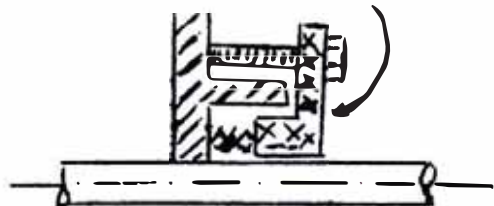
El ΔQ se predice mediante un Pitot midiendo la velocidad del flujo en intersticio. Automáticamente $\Delta Q =$

$$\Delta Q = K \cdot A \sqrt{2 g H} \quad , \quad A = \text{Area del Intersticio.}$$

- FUGAS AL EXTERIOR



Para líquidos se utiliza la Prensa Estopa.



Las Bombas axiales tienen pérdidas despreciables, sin embargo las bombas radiales si tienen pérdidas debido a que tie-

nen mayor altura de Euler.

$$H_{R \infty} = \frac{U_2 C_{2U} - U_1 C_{1U}}{2g}$$

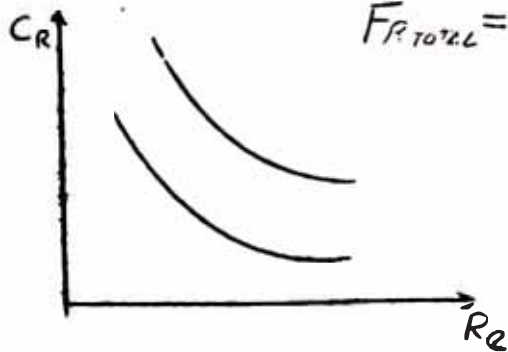
$$H_{R \infty} = \underbrace{\frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}}_{\Delta C^2 \text{ DINÁMICA}} + \underbrace{\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g}}_{\Delta U^2 \text{ ESTÁTICA}}$$

$W_1 > W_2$
 $C_{2U} = C_2 \cdot \cos \alpha_2$
 $C_{1U} = C_1 \cdot \cos \alpha_1$

CONSIDERA
 $\Delta s = 0$
 $z = \infty$
 $\rho = 0$

- PERDIDAS POR FRICCIÓN (ROTOR) → Es una de las pérdidas más importantes pero difícil de evaluarlas, existen varios métodos para calcularlas = Prandtl, Método del Arrastre, también por el diagrama de Moody, pero casi no es aplicable porque tiene ≈ 20 % de error.

METODO DE ARRASTRE :



$$F_{R \text{ TOTAL}} = z \cdot C_R (2H) \gamma \frac{W_{m1}^2}{2g} + F_{R \text{ TUBO}} + F_{R \text{ FONDO}}$$

C_R se obtiene de los datos de una placa

$$F_{R \text{ TOTAL}} \cdot W_{m1} = \gamma \cdot Q \cdot \Delta H_f$$

$$W_{m1} = \frac{W_1 + W_2}{2}$$

Si $z=1$ y $C_R = < 0.004 - 0.0045 >$ Re

- PERDIDAS POR CHOQUE

Cuando $W_2 \neq W_3$
 $W_2 = W_3$

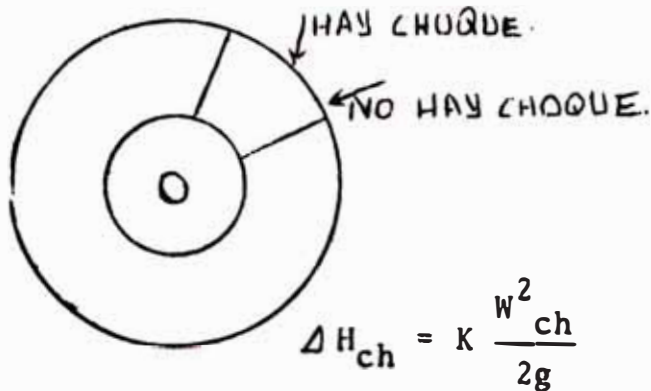
Se produce choque

No se produce choque

Estas pérdidas son más grandes que las pérdidas por fricción.

El choque solo se produce a la entrada de un sistema de a-labes.

Los choques se producen generalmente por variación de caudal, con RPM = Cte. o viceversa.

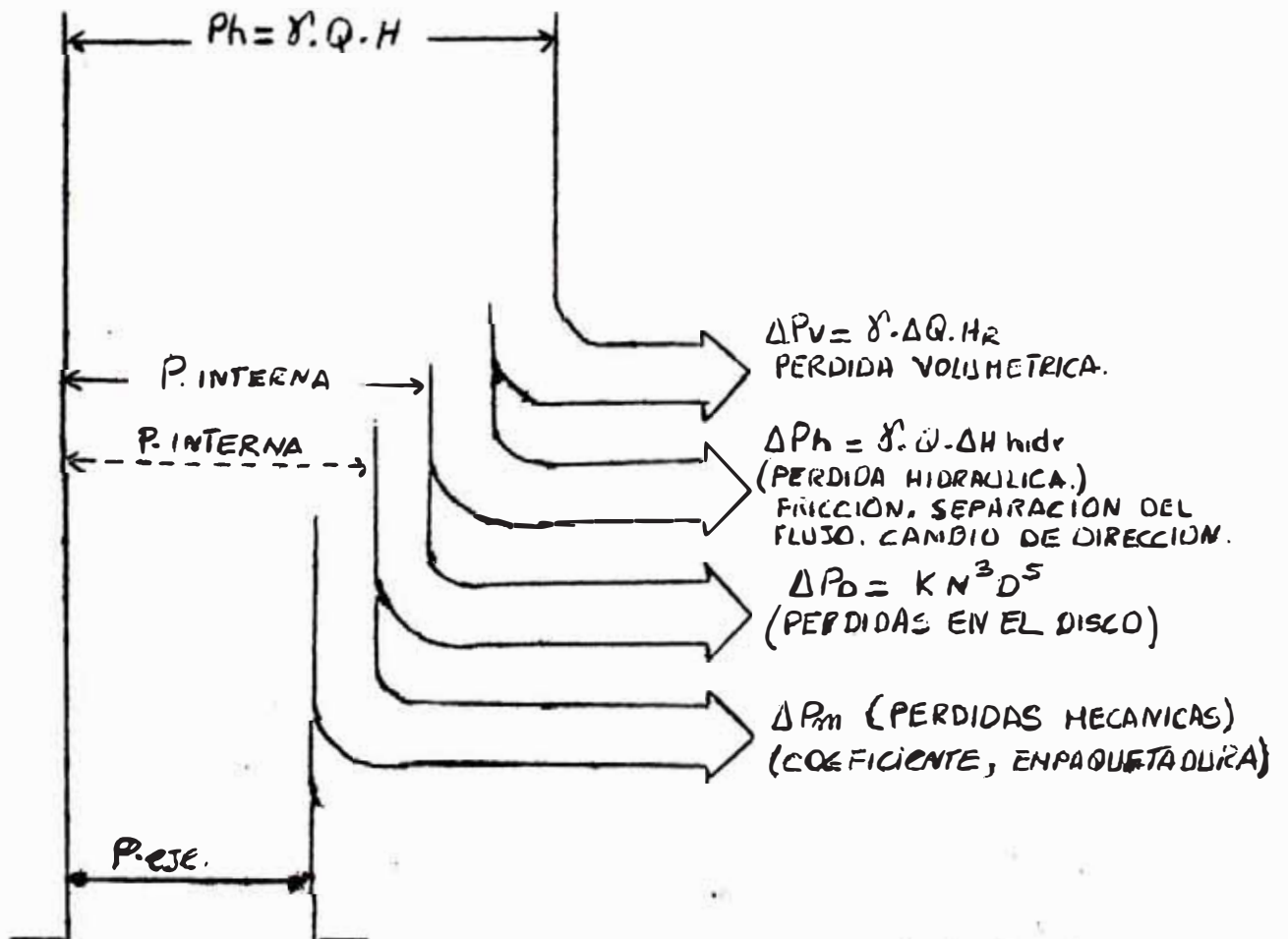


$K \approx 0.8$, a veces 0.7

Las pérdidas siempre existen y son controlables en la etapa de diseño.

Balance Energético de una Turbomáquina

$P_h = \gamma \cdot Q \cdot H$ (medido en el flujo)



Medido en el eje: (P_{eje})

$$\eta_T = \frac{P_{eje}}{P_{hidr.}} \quad \eta_T = \underbrace{\frac{P_{eje}}{P_{int.}}}_{\eta_m} \times \underbrace{\frac{P_{int.}}{P_{hidr.}}}_{\eta_i} = \eta_m \times \eta_{int.}$$

$$\eta_T = \eta_m \times \eta_i \quad \eta_i = \eta_v \cdot \eta_h$$

Para Turbinas o Bombas.

Potencia considerando Pérdidas Externas

$$\eta_i = \frac{P_i}{P_{hidr.}} \rightarrow \eta_i = \frac{\gamma \cdot Q_R \cdot H_R}{\gamma \cdot Q \cdot H} \rightarrow \eta_i = \eta_v \times \eta_h$$

$$\eta_T = \frac{\eta_h \times \eta_v}{\eta_i} \times \eta_m \rightarrow P_{eje} = \underbrace{\left[\underbrace{\gamma \cdot (Q \cdot \eta_v)}_{Q_R} \cdot \underbrace{(H \cdot \eta_h)}_{H_R} \right]}_{P_i} \eta_{mec.}$$

Considerando Pérdidas Internas

Si : $\Delta P_D \rightarrow$ Pérdidas Internas

Para Bombas $\eta = \eta_v \times \eta_h \left(\eta_m - \frac{P_D}{P} \right)$

Caso de bombear agua caliente

Si la temperatura $\approx 100^\circ C \Rightarrow H_r = H_{at}$.

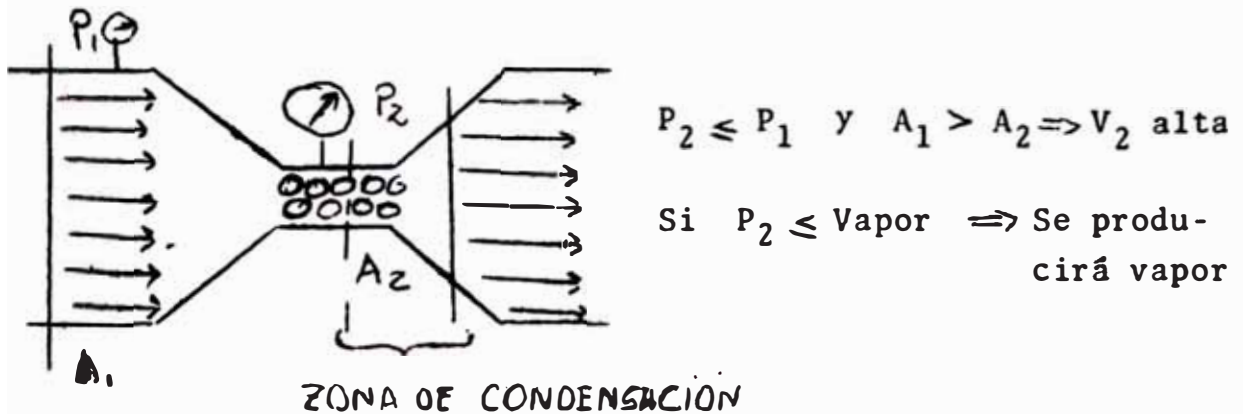
$$H_s \leq H_{at} - \Delta h - H_r - \sum H_p$$

$$H_s \leq - (\Delta h + \sum H_p)$$

Cavitación

Es la aparición de burbujas de vapor debido a altas velocidades y solamente se presentan en turbomáquinas hidráulicas.

No existe cavitación en compresores o en general en bombas de gases. Tampoco existe cavitación en máquinas térmicas. Existe cavitación cuando $P_{abs} \leq P_{vapor}$, es decir cuando se da una depresión en una misma zona. Se produce inicialmente un vacío, para luego llenarse de vapor, luego al desaparecer este vacío bruscamente (se rompen las burbujas) se producen efectos mecánicos como ondas de choque o vibraciones. La vaporización se produce sin añadidura de calor, simplemente al bajar tanto la presión, se produce ésta por un fenómeno de velocidad.



Las ondas de choque o vibraciones producidas, generan ruido, explosiones, destrucción de los alabes. Al existir descascaramiento la presencia del O_2 oxida al metal.

En forma Práctica

Distribución de Presiones

$$H_{atm.} = H_s + \Delta h + \sum H_p + h_{min}$$

- Donde :
- H_{atm} = Altura atmosférica
 - H_s = Altura de succión.
 - Δh = $\sum H_e$ = Altura efectiva corregida
 - $\sum H_p$ = Pérdidas

h_{\min} = Altura mínima para impedir cavitación

h_{vapor} = Altura de vapor a una determinada temperatura.

$$h_{\min} = H_{\text{atm.}} - H_s - \Delta h - \sum H_p$$

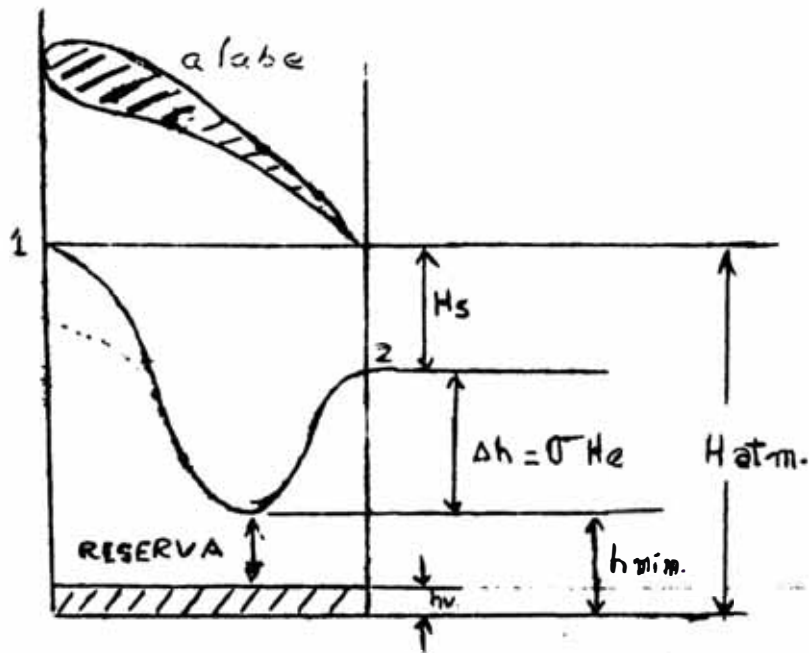
$h_{\min} > h_v$ Para impedir la cavitación.

Para tener altas eficiencias $h_{\min} \rightarrow h_v$

$h_v \approx 0$ para temperaturas bajas ($< 15^\circ\text{C}$)

$\sigma \rightarrow 0.005 - 0.8$

Por ejemplo a $20^\circ\text{C} \Rightarrow h_v = 0.238$ mts.



VI.I BOMBAS CENTRIFUGAS

Es una Turbomáquina que se utiliza con fluidos incompresibles consta de uno o más rodetes provistos de alabes (rotores), montados sobre un eje y ubicados en el interior de una cámara de presión denominada cubierta o carcasa. El fluido ingresa en el rodete axialmente por las proximidades del árbol y en donde su energía cinética como potencial se comunica a través de los alabes. Como el fluido abandona el rodete con una velocidad relativamente alta, deberá hacerse pasar por una voluta o una serie de canales difusores (estatores) de tal manera que permita transformar la energía cinética en presión. Luego de realizada esta transformación el fluido es impulsado a los conductos de descarga.

Las máquinas centrífugas, en general funcionan a altas velocidades y por lo tanto, usualmente, acopladas directamente al motor de accionamiento, minimizándose las pérdidas por transmisión. Las unidades son relativamente pequeñas para una determinada capacidad, altura o presión dadas, debido a sus altas velocidades. Esto optimiza el espacio, peso y costo inicial y reduce inclusive los costos de cimentación.

Las pérdidas por rozamiento son mínimas ya que no hay piezas interiores rozantes a excepción de los rodamientos o cojinetes. Estas máquinas permiten el trasiego de fluidos que contienen pequeñas partículas sólidas, como son arena, polvo, pulpa, etc. con un menor desgaste que las máquinas de movimiento alternativo debido a sus huelgos o luces relativamente grandes entre los elementos móviles y entre éstos y los elementos fijos. Las fuerzas de inercia son pequeñas debido

al movimiento de rotación y por lo tanto su balanceo es fácil. Como consecuencia de las altas velocidades de estas máquinas, permiten el trasiego de grandes caudales a alturas reducidas; carecen de válvulas interiores que puedan originar dificultades de funcionamiento; es posible la regulación automática a partir del caudal, la presión de aspiración o la presión de impulsión. Las unidades se calculan para funcionar con la válvula de impulsión cerrada (funcionamiento en vacío), con lo cual se reducen las posibilidades de una avería de consideración en caso de que inadvertidamente se trabaje en cortos períodos de tiempo con la mencionada válvula cerrada. Generalmente los cojinetes están colocados exteriormente a la cubierta, con lo cual se descarta la posibilidad de la contaminación del fluido con el aceite de lubricación.

SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Datos Requeridos.-

Se requiere la siguiente información

1. Bomba

1.1 Número de Unidades

1.2 Tipo de Bomba:(Si se tiene una preferencia determinada).

1.3 Servicio:horas por día y si es continuo o intermitente.

2. Características de^l líquido

2.1 Líquido

2.2 Temperatura

2.3 Gravedad Específica

2.4 Viscosidad

2.5 PH, preferible análisis químico.

2.6 Cantidad de cualquier materia extraña suspendida, en KG/m^3 , tamaño (largo, alto ancho de los sólidos), naturaleza, calidad abrasiva.

3- Condiciones de Operación

3.1 Caudal Lts/seg. A la temperatura de bombeo.

3.2 Altura manométrica total en metros.

3.3 Condiciones de succión - NPSH disponible

3.4 Altura sobre el nivel del mar en metros.

4. Accionamiento

4.1 Tipo de motor requerido o disponible

4.2 Velocidad en RPM.

4.3 Potencia continua en HP

4.4 Marca y modelo.

4.5 Corriente eléctrica disponible volt./ciclos/fases.

4.6 Si es eléctrico, tipo de protección.

5. Material requerido

5.1 Caja

5.2 Tapa de succión

5.3 Impulsor

5.4 Anillo de desgaste

5.5 Bobina del eje

5.6 Prensa - Estopa o sello mecánico.

6. Requerimientos Especiales

6.1 Tipo de acoplamiento flexible o cardán.

6.2 Tipo de Tablero.

6.3 De tener curvas certificadas (Aforo)

6.4 Si requiere pruebas de operación.

6.5 Si requiere prueba hidráulica.

6.6 Si requiere servicio de puesta en marcha.

VARIABLES POSIBLES EN LA DESCARGA. - Al final. (Fig. VI.1).

VARIABLES POSIBLES EN LA SUCCIÓN. - Al final. (Fig VI 2)

Ejemplo de Aplicación

1) Datos Proporcionados :

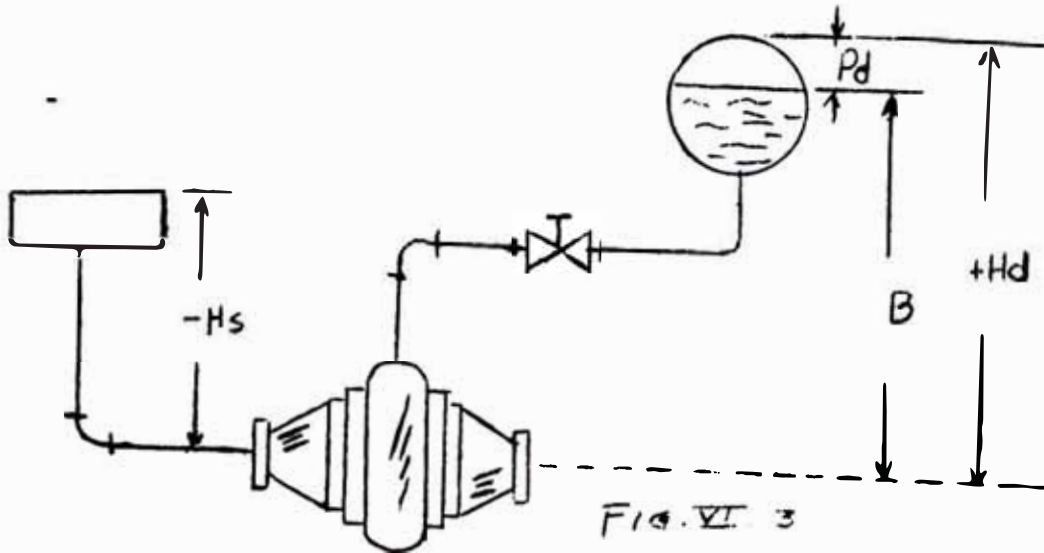
- Número de Unidades : 1
- Servicio : 5 horas continuas por día
- Líquido : Agua limpia
- Temperatura : 25 °C.
- Gravedad Específica : 1
- PH : 7
- Materia Extraña : No hace falta, al indicar agua limpia.
- Caudal : Se desea llenar un tanque de 12,000 litros 6 veces por hora.
- Cálculo del Caudal :

$$Q = \frac{12,000 \text{ litros} \times 6 \text{ veces}}{1 \text{ hora}} = 720,000 \frac{\text{Lts.}}{\text{Hr}} \times \frac{1 \text{ Hr.}}{3,600 \text{ seg.}} =$$

$$= 20 \frac{\text{Lts.}}{\text{seg.}}$$

- Altura Manométrica total :

La disposición que se tiene es la siguiente



- Alturas Estáticas :

$H_s = 5.66$ metros $B = 65$ metros $P_d = 29.4$ PSI se mide con manómetro.

- Pérdidas por Fricción :

<u>Succión</u>	Diámetro Tubo	= 5"
	Material	= Fierro negro
	Longitud Tubería	= 20 metros
	Número de codos	= 1
	Válvulas	= Ninguna
<u>Descarga</u>	Diámetro Tubo	= 5"
	Material	= Fierro Negro
	Longitud Tubería	= 100 metros
	Número de codos	= 2
	Válvulas	= 1

- Condiciones de Succión : Indicadas en el croquis-

- Altura sobre el nivel del mar : 3000 metros

- Motor : Eléctrico requerido

- Velocidad : 3,600 RPM preferido

- Corriente eléctrica : 220 voltios/3F/60 ciclos

- Protección : Cerrado

- Acoplamiento : Cardán

- Tablero : No requerido
- Requerimientos Especiales : Ninguno.

2) Determinación de la altura manométrica total (H)

$$H = H_s + H_d + F_s + F_d + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \dots\dots(\infty)$$

Donde :

H_s = Altura estática de Succión

H_d = Altura estática de descarga

F_s = Pérdidas por fricción en la succión.

F_d = Pérdidas por fricción en la descarga

$\frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$ = Carga de velocidad : Se puede despreciar para alturas estáticas mayores de 50 mts., en cálculos de poca precisión.

Calculamos los datos que nos faltan para aplicar la fórmula :

ALTURA ESTATICA DE DESCARGA : (H_d)

$$H_d = B + P_d = 65 \text{ metros} + 29.4 \text{ psi} = 65 + 20.66 = 85.66 \text{ mt}$$

(Como 14.7 psi = 10 mts. de $H_2O \rightarrow 29.4 \text{ psi} = 20.66 \text{ mts.}$
de agua) (Tabla 2, Exp. V).

$$H_d = 85.66 \text{ metros}$$

PERDIDA EN SUCCION : (F_s)

(Fig. VI. 41).

Del diagrama de pérdidas N°4 para $Q = 20 \text{ lts/seg}$ y $D = 5''$

Pérdida = 2.4 mts. por cada 100 mts; pérdida en 20

$$\text{mts.} = \frac{2.4}{5} = 0.5 \text{ mts.}$$

De la misma tabla $\frac{V^2}{2g} = 0.12$

Calculamos pérdida en el codo (h) de 90°. Conexión embri-
dada para $D = 5'' = 125 \text{ mm}$. Sale $K = 0.3$ (Fig. VI. 5).

$$\text{Luego : } h = K \times \frac{V^2}{2g} = 0.3 \times 0.12 = 0.036 \text{ metros.}$$

F_s = Pérdida en el tubo (lineal) + Pérdida en el codo (Se-
cundaria)

$$F_s = 0.5 + 0.036 = 0.536 \text{ metros.}$$

PERDIDA EN DESCARGA : (F_d)

- Pérdida en el tubo = 2.4 mts. (para 100 metros el dia-
grama indica 2.4 metros). (Fig. VI. 4).
- Pérdida en codos = $2 \times 0.036 = 0.072$ mts. (Fig. VI. 5).
- Pérdidas en Válvulas = Para válvulas de 5" embreado
 $K = 0.14$, Diagrama N°5. (Fig. VI. 6).

$$h = K \times \frac{V^2}{2g} = 0.4 \times 0.12 = 0.0168 \text{ mts.}$$

Luego :

$$F_d = 2.4 + 0.072 + 0.0168 = 2.489 \text{ metros}$$

CARGA DE VELOCIDAD :

$$\frac{V_d^2}{2g} = \frac{V_s^2}{2g} = 0.12 \text{ mts. (ya que los diámetros de succión y}$$

descarga son iguales)

ALTURA DE SUCCIÓN : (H_s)

$$H_s = 5.66 \text{ (Se toma con signo menos según dato proporciona-}$$

do)

Luego en (α) : La altura manométrica total (H) será :

$$H = 85.66 - 5.66 + 0.536 + 2.489 + 0.12 - 0.12$$

$$H = 83.025 \text{ mts} = 83 \text{ metros.}$$

3) Determinación de las condiciones de succión (N.P.S.H. Disponible)

$NPSH_d = \text{Presión atmosférica en metros} - H_s - F_s - \text{Presión del vapor del líquido.}$

- Presión atmosférica = 10.33 metros.

Para 3,000 m.s.n.m. de tablas hay que descontar 3.28 mt.

Presión Atmosférica a 3000 m.s.n.m. = 10.33 - 3.28 =

(TABLA 2; EXP V).

7.05 mts.

- Presión de vapor : Depende de la temperatura, se debe descontar 0.323 metros para agua a 25 °C. (del diagrama N°1). (TABLA 1).

- $H_s = (- 5.66)$ según croquis

Luego :

$NPSH_d = 7.05 - (-5.66) - 0.536 - 0.323 =$

$NPSH_d = 11.85$ metros.

Siempre se debe cumplir :

$$NPSH_d \geq NPSH_R$$

(Altura de succión disponible) \geq (Altura de succión requerida)

Hay casos en que hay que modificar la succión para cumplir con esta regla.

$NPSH_d \rightarrow$ Depende exclusivamente de las características hidráulicas de la red externa de succión conectada a la bomba.

$NPSH_R \rightarrow$ Depende exclusivamente del diseño interno particular a cada bomba.

4) Determinación de la Bomba.-

Como se desea bombear agua limpia la bomba indicada la tendremos que buscar entre las de la línea ISO; busquemos la

que más se asemeje a $H = 83$ metros, $Q = 20$ Lts/seg, $V = 3,600$ RPM, encontramos que está en un mejor punto de eficiencia la 50-200 (curva N°113) En el gráfico que se muestra (fig. VI.7) a continuación. Esta parte de la selección se hace exclusivamente basada en la eficiencia, H y Q .

5) Diámetro Impulsor.-

Aplicando la fórmula indicada en los principios de Hidráulica :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

Preseleccionamos a criterio el punto 1 : (DE LA FIG.VI.7).

$$D_1 = 224 \text{ mm} \quad Q_1 = 20.75 \frac{\text{Lts}}{\text{seg}} \quad H_1 = 90 \text{ mts.} \quad P_1 = 36 \text{ HP}$$

Luego debemos rebajar el diámetro del impulsor para dar con las características exactas solicitadas.

$$\text{En el punto 2 es dato : } Q_2 = 20 \frac{\text{Lts}}{\text{seg}}$$

$$\frac{224}{D_2} = \frac{20.75}{20} \quad \rightarrow \quad D_2 = 216 \text{ mm.}$$

Si hacemos :

$$K = \frac{D_2}{D_1} = \frac{216}{224} = 0.9643 \quad K^2 = 0.93 \quad K^3 = 0.827$$

Luego :

$$\begin{aligned} H_2 &= K^2 \times H_1 & P_2 &= K^3 \times P_1 \\ H_2 &= 0.93 \times 90 = 83.7 \text{ mts.} & P_2 &= 0.827 \times 36 = 32.3 \text{ HP} \end{aligned}$$

En consecuencia esta bomba con impulsor de 216 mm. cumple con las características exigidas.

$$Q = 20 \frac{\text{Lts}}{\text{seg}} \quad H = 83.7 \text{ metros} \quad P = 32.3 \text{ HP}$$

Eficiencia = 69 %

Velocidad = 3540 RPM

NPSH Requerida = 4 metros (DETA Fig. VI.7)

NPSH Disponible = 11.85 metros

6) Cálculo del Motor

La potencia consumida es 32.3 HP; podríamos colocar un motor de estas características, siempre y cuando estemos seguros :

- a. Que se va arrancar contra válvula de descarga cerrada.
- b. El cálculo H sea confiable, como esto no ocurre se recomienda usar factor de servicio 1.15 para el motor, siempre y cuando se cuente con válvula; si no hay válvula habría que calcular sobre la base de la potencia máxima absorbida por la bomba que para este caso es 43 HP.

Notamos que el motor requerido sería mayor que el segundo caso.

Además debemos utilizar un diagrama de pérdidas por elevación s. n. m. que en este caso es de 0.97 para 25 °C , que en este caso lo despreciamos, pero si fuera mayor habría que considerarlo.

Como Potencia Comercial, en este caso seleccionamos un motor de 36 HP a 3,570 RPM con f.s. = 1 que nos otorga un margen de seguridad de 11.4 % que es aceptable. Donde la potencia absorbida sigue siendo 32.3 HP.

7) Material.

Como el fluido es agua limpia y PH = 7, indica materia

8. TABLAS

TABLA No. 1
PRESION DE VAPOR DEL AGUA

Temperatura		Peso Especifico Kg/dm ³	Presion de Vapor	
C°	F°		P. V. P. M. Abs.	P. Si. Abs.
0	32	0,9998	0,002	0,086
5	41	1,0000	0,089	0,127
10	50	0,9996	0,125	0,1781
15	59	0,9990	0,174	0,247
20	68	0,9982	0,238	0,338
25	77	0,9970	0,323	0,459
30	86	0,9955	0,432	0,614
35	95	0,9939	0,573	0,815
40	104	0,9921	0,752	1,070
45	113	0,9900	0,977	1,389
50	122	0,9880	1,258	1,789
55	131	0,9857	1,605	2,283
60	140	0,9831	2,031	2,889
65	149	0,9804	2,550	3,627
70	158	0,9777	3,177	4,519
75	167	0,9748	3,921	5,591
80	176	0,9718	4,829	6,869
85	185	0,9687	5,894	8,383
90	194	0,9653	7,149	10,168
95	203	0,9619	8,619	12,250
100	212	0,9583	10,332	14,696

FIG. VI.1 VARIABLES POSIBLES EN LA DESCARGA

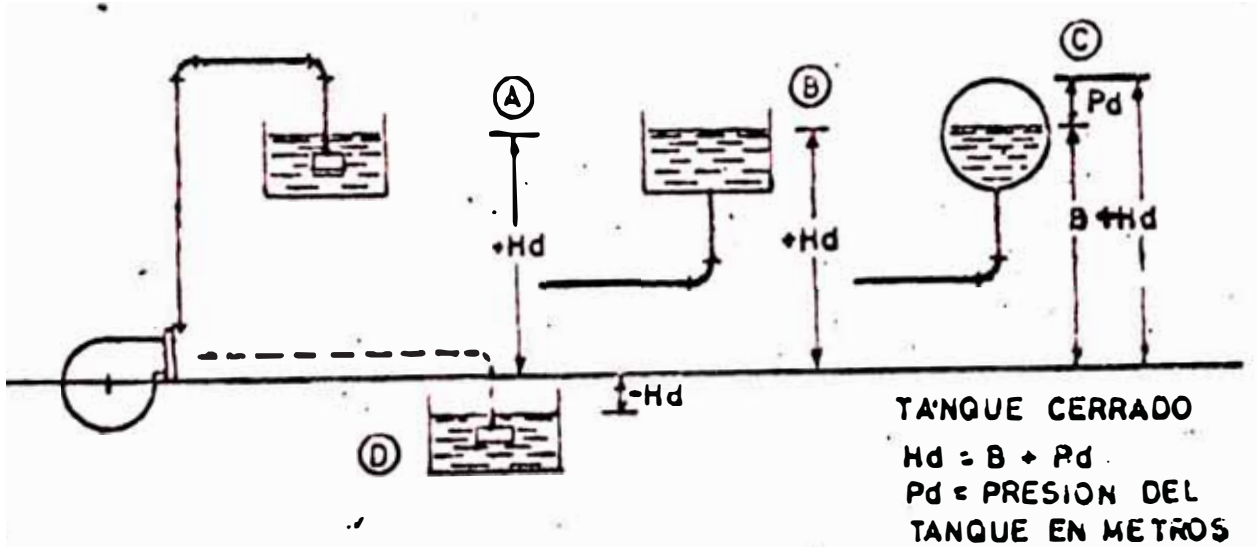


FIG. VI.2 VARIANTES POSIBLES EN LA SUCCION

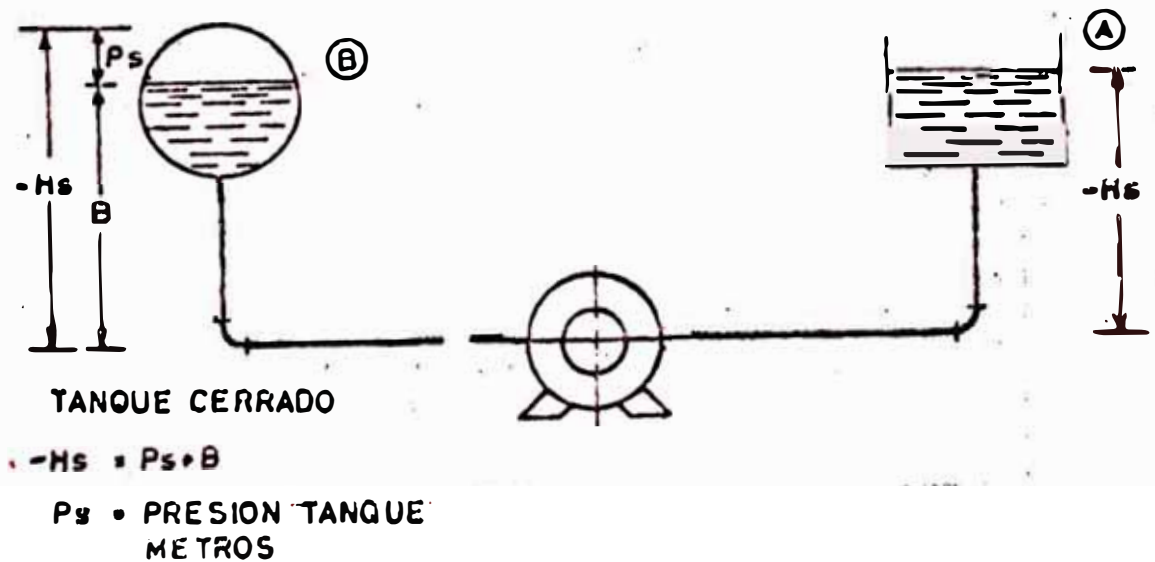
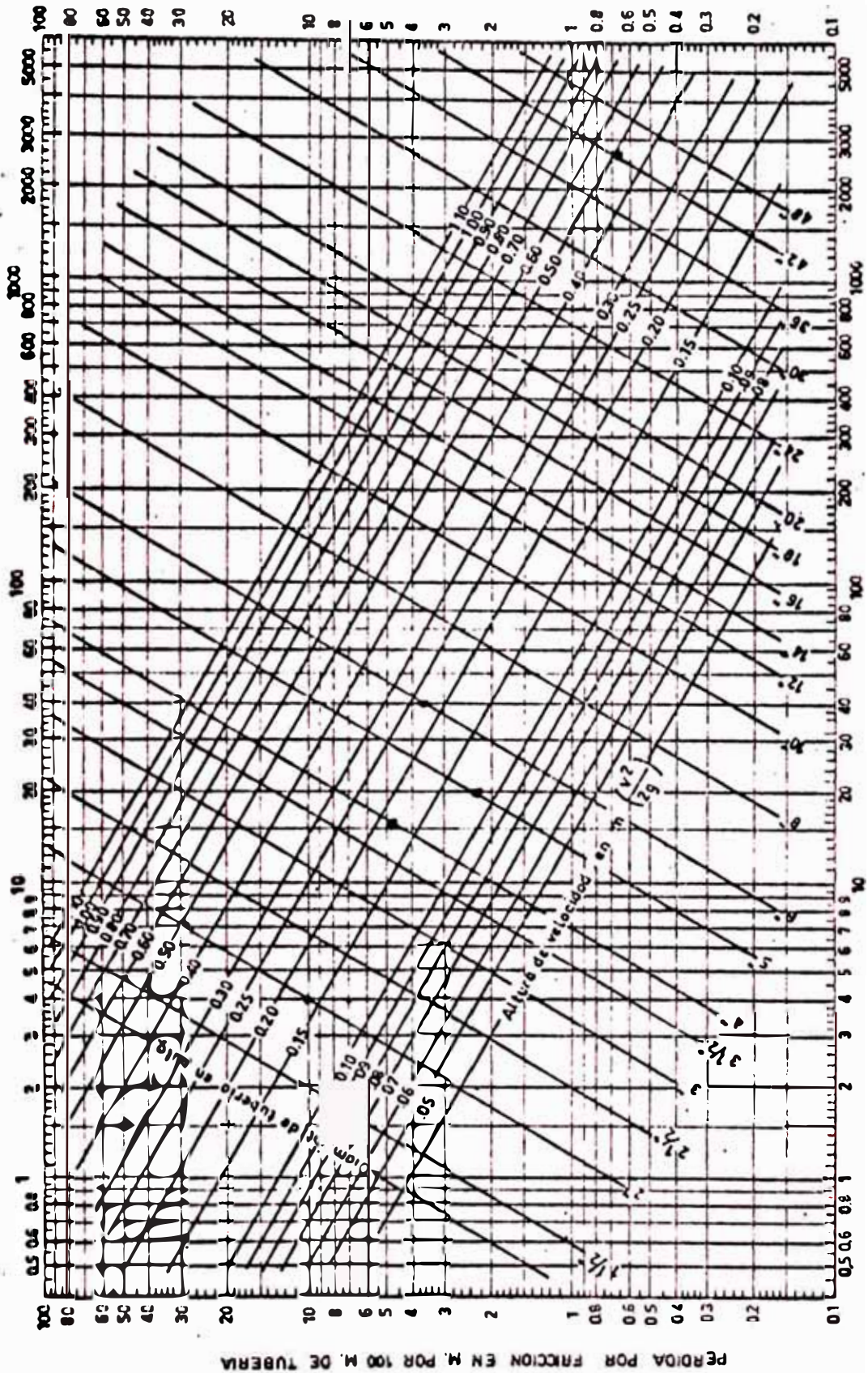


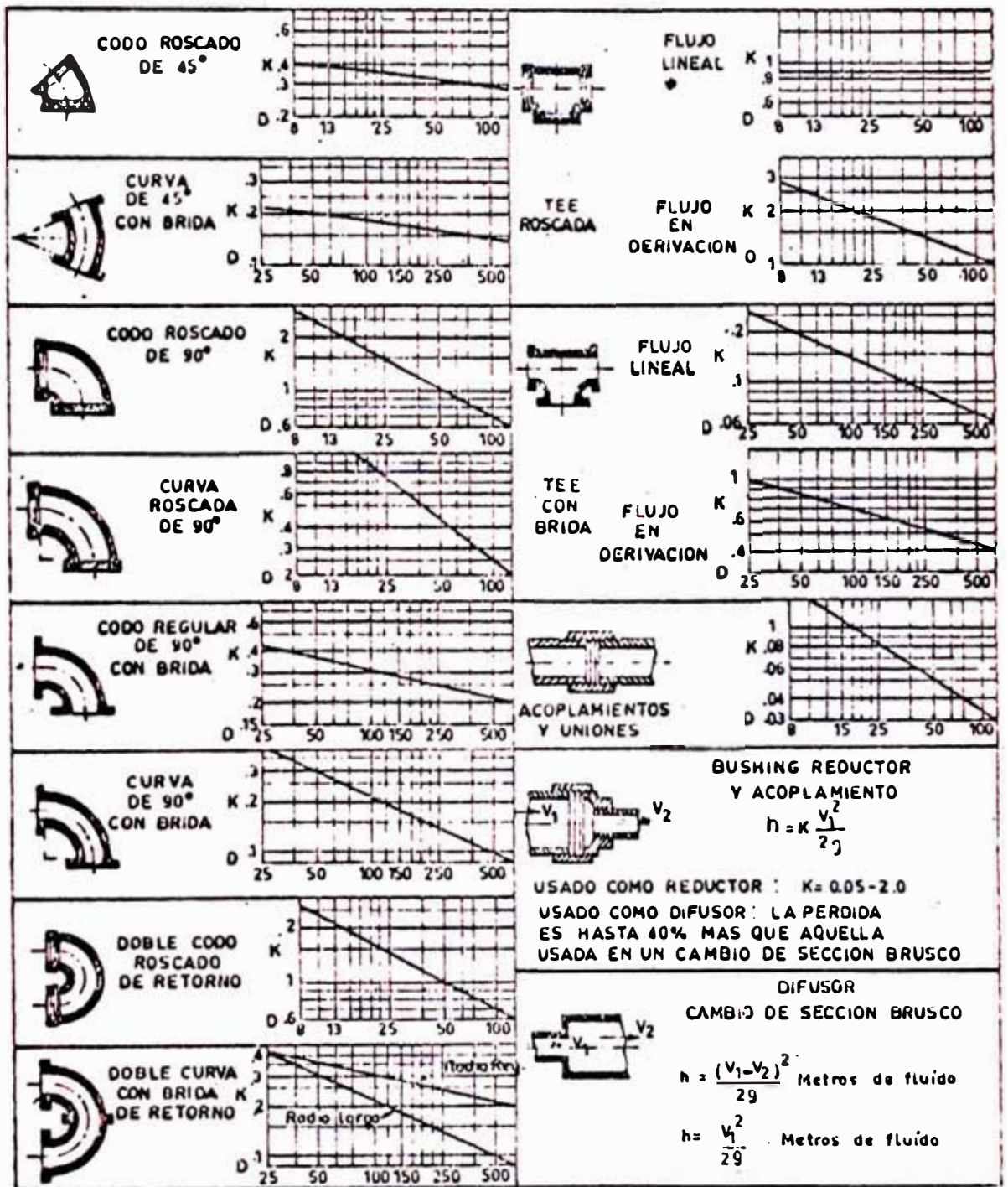
FIG VI.4 PERDIDA POR FRICCIÓN EN M. POR 100 M. DE TUBERÍA

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LAS TUBERÍAS
 CON FACTOR DE FRICCIÓN $K=0.25$ (mm)



CAUDAL DE AGUA EN LITROS POR SEGUNDO

FIG. VI.5 COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA VALVULAS Y UNIONES



D = mm.

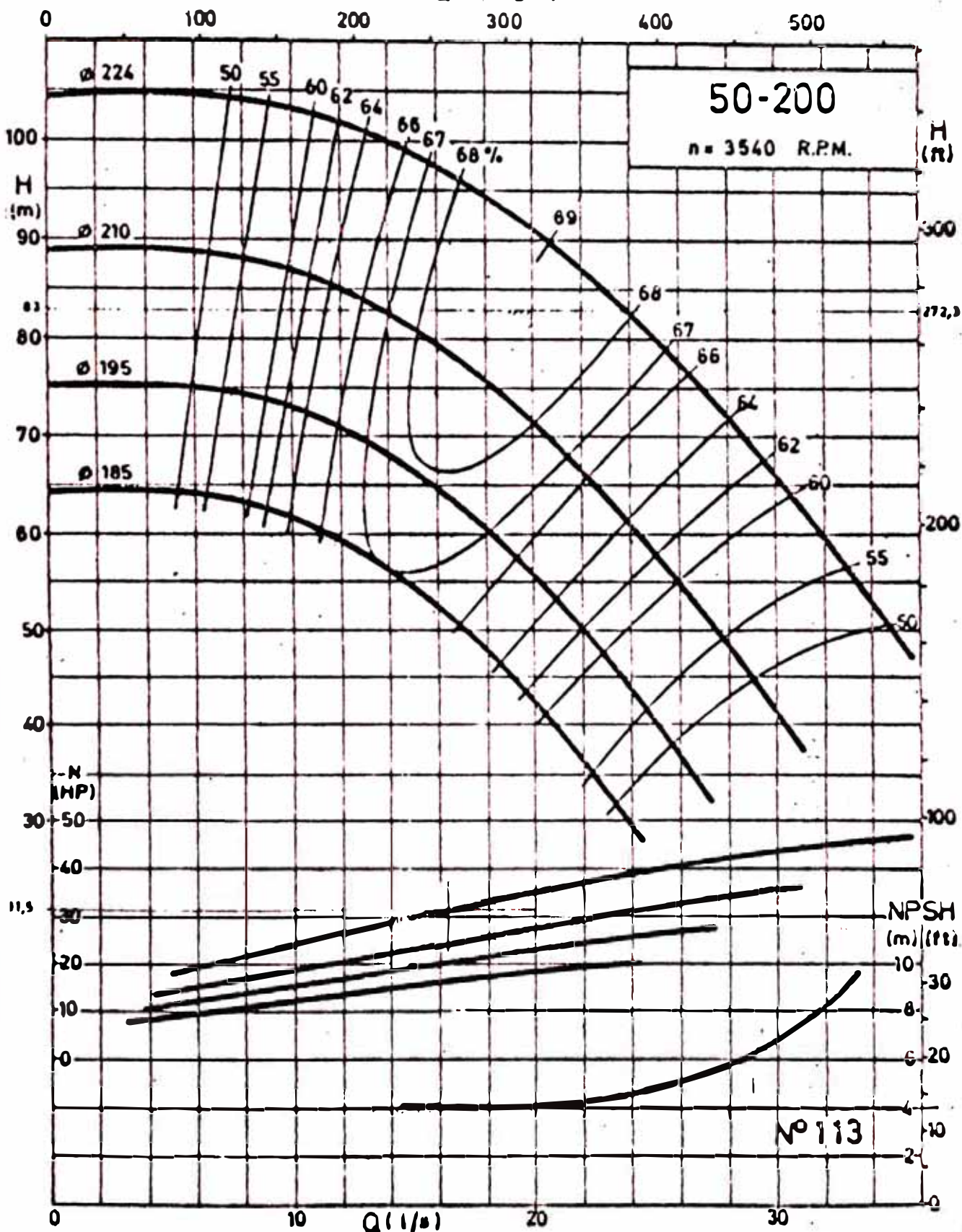
$$h = K \frac{v^2}{2g}$$
 METROS DE FLUIDO



DISEÑO N.º 2

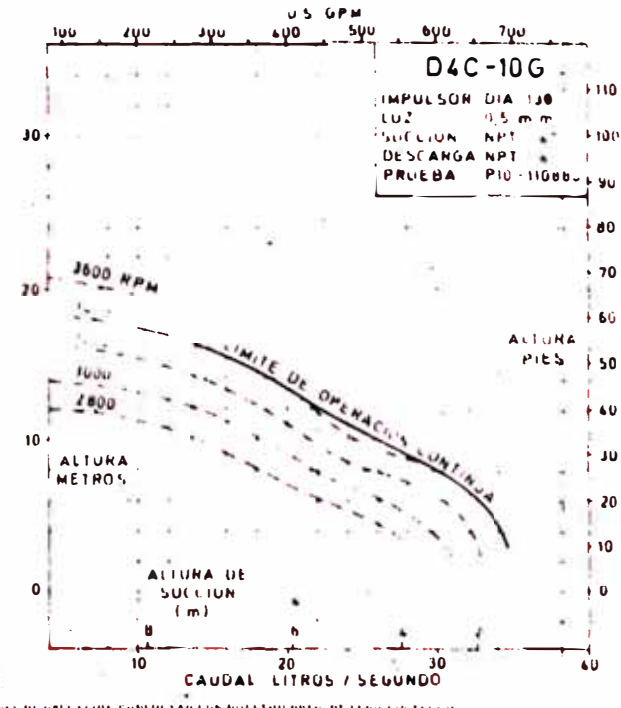
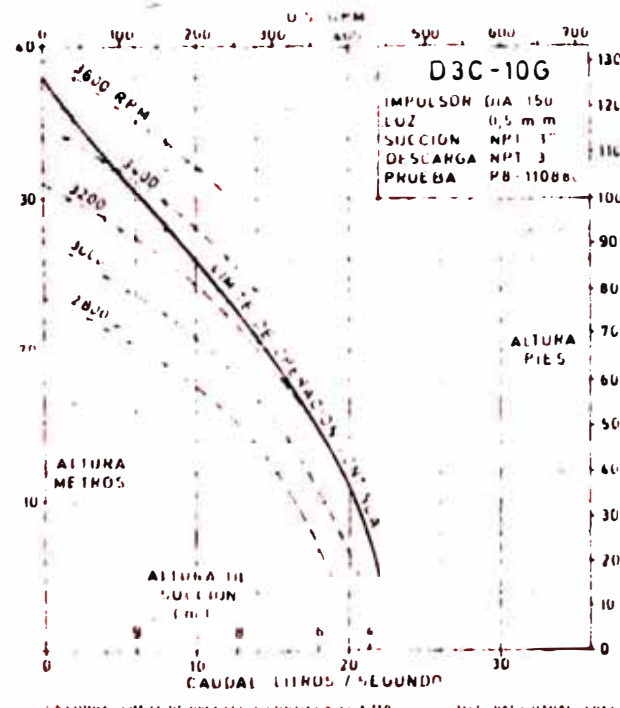
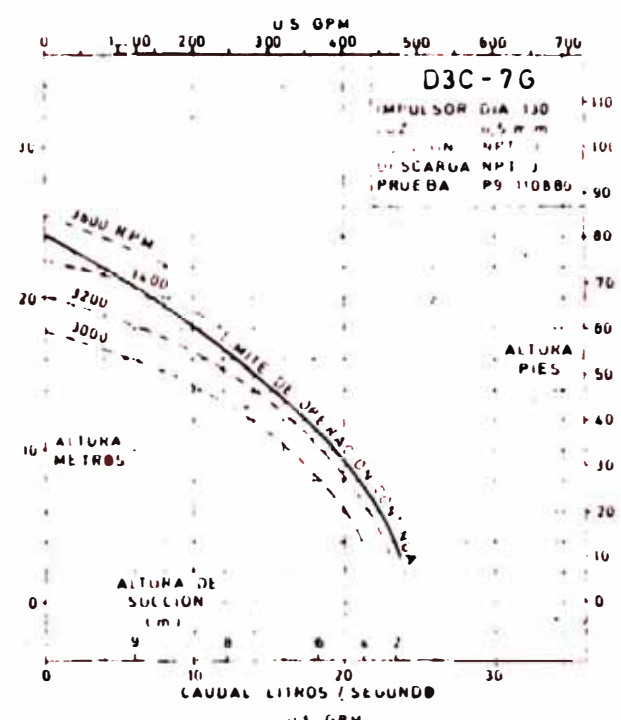
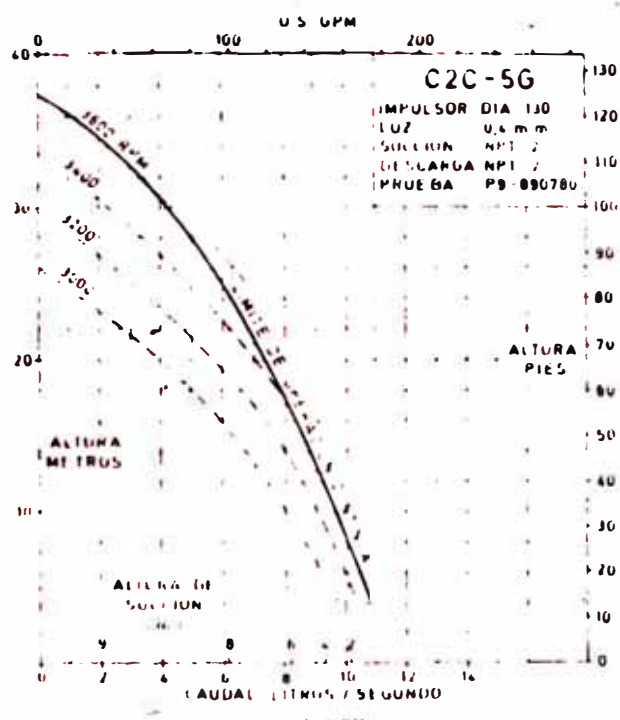
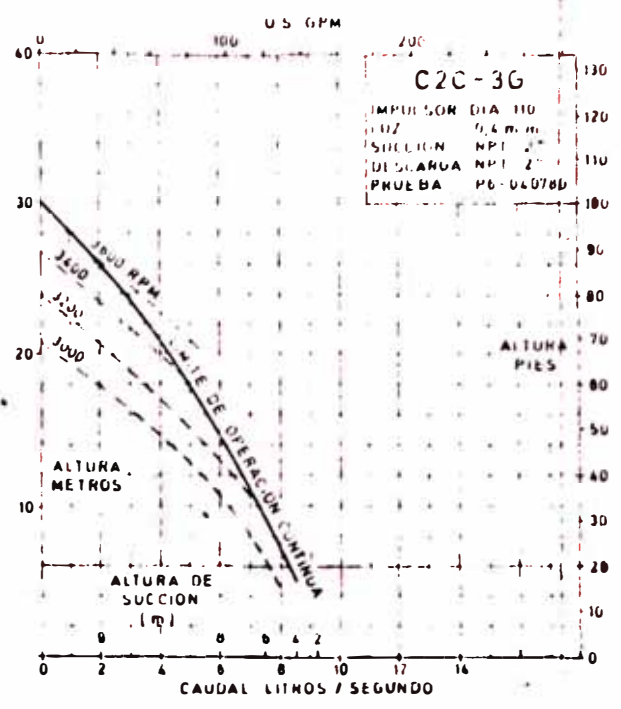
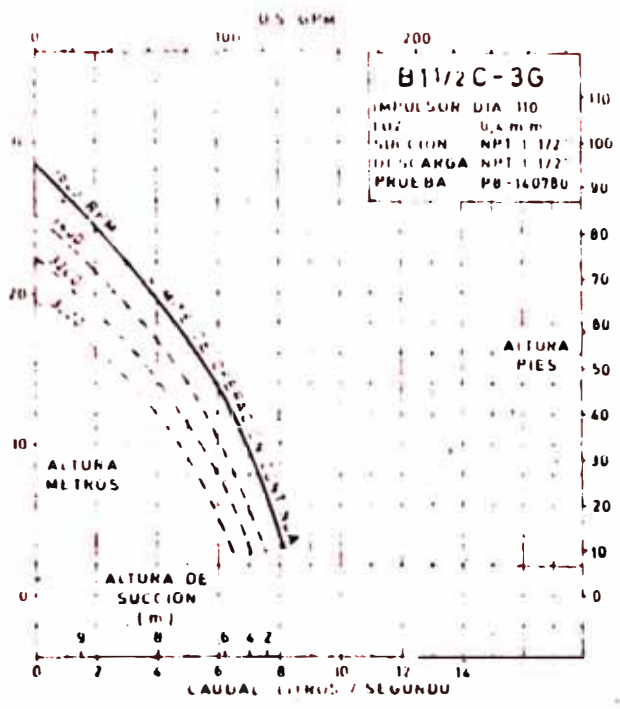
Fig VI.7

Q (U.S. gal/min.)



FECHA 7-11-73

CURVAS



ALTIMA LÍMITE DE OPERACION CONTINUA A 100 METROS DE ALTURA PARA OTROS CONDICIONES DE OPERACION CONSULTAR CON NUESTRO DEPTO DE SERVICIO TECNICO

les de accesorios normales, como son la bomba de fierro fundido y el impulsor de bronce.

Referencia Bibliográfica

- Ortiz "Turbomáquinas"
- Manual de Hidrostat "Bombas Centrífugas"
- Technic International "Bombas y Compresores"

VI.2 BOMBAS DE PROFUNDIDAD - TIPO TURBINA

La bomba vertical es una unidad completa de bombeo diseñada para operar pozos, tanques o sumideros o en cápsula en un barril para servicio de elevación a presión. La construcción vertical reduce el espacio requerido a un mínimo y permite el uso de cimientos sencillos.

La unidad consiste en un conjunto de tazones con impulsores del tipo cerrado o semi-abierto, los cuales constituyen el cuerpo de la bomba de una o varias etapas de acuerdo con el caudal, la altura dinámica total, y velocidad (RPM) a la cual se va a funcionar. Cada conjunto completo de tazón se llama una "etapa"; una etapa de bomba consiste esencialmente en un tazón y un impulsor, cojinetes dobles, retén del impulsor y un anillo de sello lateral. (Fig. VI. B).

El cuerpo de la bomba está conectado con el cabezal de descarga (linterna) por medio de la columna exterior de descarga, la cual a su vez contiene al eje de columna.

El eje de columna puede ser

- a) Lubricado por agua, en el cual el eje de columna gira dentro del líquido a bombear, lubricando de esta manera los cojinetes con el mismo líquido.

b) De lubricación por aceite : En el cual el eje de columna gira dentro de un tubo independiente (forro) y sus cojinetes son lubricados por medio de una fuente separada, del líquido a bombear.

En ambos sistemas las bombas son cambiables. La linterna de descarga puede ser de fierro fundido o de fierro soldado, y en su parte inferior existe una brida que puede servir como base para soportar el peso total de la unidad completa, o servir como brida de montaje para un tanque o instalación de barril. La parte superior de la linterna de descarga está refrendada para recibir el motor que puede ser de eje sólido o eje hueco o el cabezal de engranaje.

El sistema de mando debe girar en sentido contrario a las agujas del reloj, mirando a la bomba de arriba.

Para cada tipo de tazón se pueden utilizar impulsores de baja, mediana o alta capacidad. Estos impulsores son intercambiables sin modificación alguna. Los impulsores están fijados al eje por medio de cuñas cónicas o collets.

En el caso de las bombas de profundidad lubricadas por aceite, la columna completa consta de la columna interior y de la columna exterior.

La columna interior o forro (que no existe en bombas lubricadas por agua) encierra y protege al eje, está construída con tubos extra pesados, los cuales se conectan entre sí por medio de las bocinas provistas de roscas exteriores. La columna interior está centrada en la columna exterior por medio de los separadores de jebe (arañas). La columna exterior se compone de tubos con rosca paralela y uniones simples.

La linterna de descarga está refrendada para recibir los motores eléctricos verticales o los cabezales de engranaje. En caso de lubricación por agua el eje de mando está sellado con la linterna de descarga por medio de una prensa-estopa corriente o un sello mecánico, pero en el caso de lubricación por aceite, se utiliza una bocina tensora, específicamente diseñada, con su tuerca tensora. En la parte superior de la bocina tensora se conecta el conducto que lleva el aceite para lubricar el eje de la columna, este aceite proviene del reservorio y puede ser regulado por medio del gotero o válvula solenoide.

SELECCION DE BOMBAS PARA POZOS PROFUNDOS

Datos Requeridos.- Para el cálculo de la altura manométrica total necesitamos conocer la distribución de bombeo. En el croquis adjunto se muestra las diferentes variantes que se pueden presentar en la descarga. (Fig. VII. 9).

Altura Estática :

H_d = Altura de Descarga

H_s = Altura de Succión

La altura de succión se toma a partir del nivel dinámico que es el nivel que alcanza el agua en el pozo cuando se bombea hasta el centro de la descarga. Las alturas estáticas se deben tomar con el signo + ó - que corresponda según croquis.

Las pérdidas por fricción se calculan igual a partir de los mismos datos que para las bombas centrífugas; solo se requieren datos para la descarga, debido a que la columna se suministra con la bomba. Igualmente se calcula la altura manométrica total como en bombas centrífugas. Los demás datos re

queridos son similares a los requeridos para la selección de bombas centrífugas.

Datos Adicionales

Nivel Estático (Z)

Nivel Dinámico (Y)

Profundidad (X)

Diámetro del pozo (D)

Ejemplo de Aplicación

1) Datos proporcionados

Diámetro del pozo	= 16"
Profundidad	= 90 metros
Nivel Estático	= 20 metros
Nivel Dinámico	= 40 metros
Número de Unidades	= 1
Servicio	= 5 horas continuas por día.
Líquido	= Agua
Caudal	= 35 $\frac{\text{Litros}}{\text{seg.}}$
Altura Manométrica total	= 87.5 metros (El cálculo es similar al del ejemplo anterior)
Altura sobre el nivel del mar	= 100 metros
Motor	= Eléctrico, para 220/3/60
Tablero	= No se requiere
Equipo Adicional	= No se requiere

2) Determinación del Modelo de Bomba

$$Q = 35 \frac{\text{Lts.}}{\text{seg.}} = 550 \text{ G.P.M.}$$

$$H = 87.5 \text{ metros} = 287 \text{ pies}$$

(Tabla 2)
De la Tabla 2-310-3 la bomba 10" G cumple con el caudal, buscaremos la curva específica bomba 10" G, que es la N° 200172 (Fig. 10) y observamos que para 550 GPM la más eficiente es con impulsor M, en consecuencia la bomba más conveniente es la 10 GM.

Nos falta determinar el N° de impulsores requeridos para 550 GPM y tipo M. Del mismo gráfico N°200172 para la curva M se determina 41 pies por impulsor. Como necesitamos elevar 287' requeriríamos $287 : 41 = 7$ impulsores. En consecuencia queda seleccionado el cuerpo con impulsores 10 GM-7.

Se podrá presentar casos en que no coincide exactamente el número de etapas, en ese caso se requiere rebajar el diámetro, igual como en el ejemplo de la bomba hidráulica.

Del mismo gráfico

Eficiencia = 80 %

HP por etapa = 7.5 Para 7 etapas = $7.5 \times 7 = 52.5$ HP

HP bomba = 52.5

3) Determinación de longitud y diámetro de la columna exterior e interior

Longitud : Queda determinada por el nivel dinámico, salvo Especificación explícita contraria, como N.D. = 40 - metros = 130 pies que es la misma para columna interior y exterior.

(Tabla 3)
Diámetro del eje Del cuadro 2-510- Pag.3 se observa que para eje 1 3/16" a 1760 RPM, resiste 61 HP como mínimo; en consecuencia se selecciona eje 1 3/16" de diámetro; también se obtienen los datos siguientes :

Peso por pie = 3.76 libras

Pérdida en el eje = 0.72 HP por 100'.

Empuje Vertical para impulsor M.

K = 9.9 (De la curva 200172)

Empuje vertical = K x Altura Manométrica total (pies) + Peso del eje.

$9.9 \times 287 + 130' \times 3,76 = 3,330$ libras, la capacidad del eje para este empuje es de 69.6 HP según 2-510- Pag. 3. (TABLA 3).

4) Elongación del Eje : En la sección 2-510- Pag. 4 ^(TABLA 4) para 3,330 libras y $1 \frac{3}{16}$ "

$$0.126 \times 1.3 = 0.1638$$

Este valor se debe comparar contra $\frac{3}{8}$ " = 0.375 de la sección 2-310-4 que representa el juego libre o luz terminal axial. Siempre se debe tener una elongación del eje menor que la luz terminal axial para permitir el giro de la bomba una vez en funcionamiento.

5) Diámetro de la columna exterior : Del cuadro 2-510-Pag. 1, para 550 GPM.

6" x 2" Pérdida 5.7 pies por 100

8 x 2" Pérdida 1.1 pies por 100

Seleccionamos 6". Se debe buscar que la pérdida sea alrededor de 5% que es cuando resulta el diámetro más económico. También se debe consultar la página 2-310-4, F, que indica las columnas usuales por modelo de bomba, no pudiendo emplear otras medidas. (TABLA 5).

La pérdida por fricción es de $5.7 \times 1.3 = 7.41'$, esta pérdida normalmente se debe añadir pero en este caso hemos tenido en cuenta que se consideró en el cálculo de H.

- 6) Número de Separadores de Jebe : Se debe considerar uno por cada 30 pies de columna, en este caso se requieren 4, la medida está dada por el diámetro de la funda y el diámetro de la columna exterior, que sería 2" x 6". De la Fig. V.11 se determina la posición y número exacto de separadores.
- 7) Selección de Tubo de Succión y Canastilla : De la sección 2-310-4, G para 10 G, ^(12.5) la succión es de 8" de diámetro, por lo tanto seleccionamos la canastilla del mismo diámetro.
- 8) Lubricación Es preferible lubricación por aceite excepto en casos que se requiera para uso en industria de alimentos que es conveniente lubricación por agua, por razones sanitarias.
- 9) Linterna de Descarga : Se tienen linternas 6 x 16 1/2 GS, 8 x 16 1/2 GS, 10 x 20 GS, se escoge por diámetro columna exterior y diámetro A.
En este caso como es de 6" corresponde linterna GS-6x16 1/2.
- 10) Motor Eléctrico : Se suma fricción del eje más potencia de la bomba = $0.72 \times 1.3 + 52.5 = 53.436$ HP, sobre esta potencia se debe tomar un f.s. = 1.15 en consecuencia el motor comercial sería 60 HP con f.s. = 1.15, del tipo eje hueco.
Cuando existe cabezal de engranaje se debe añadir pérdidas en el cabezal.
- 11) Resumen de selección de la bomba
- | | | | |
|--------------------|---------|----------------------|---------------|
| Tipo | 10 GM-7 | Diámetro de Impulsor | Full Diámetro |
| Caudal | | 550 GPM | |
| Velocidad | | 1750 RPM | |
| Eficiencia | | 80% | |
| Pies por etapa | | 41 x 7 = 287 pies | |
| Potencia por etapa | | 7.5 x 7 = 52.5 HP | |

Fricción en el eje : 0.936 HP
Fricción en la columna : 7.41 pies
Largo de columna de descarga : 130 pies

Diámetro Exterior Máximo: 9 1/2 pulg. (2-310-4-A)
(72.5145)

Bomba para pozo profundo (Medidas Estandar)

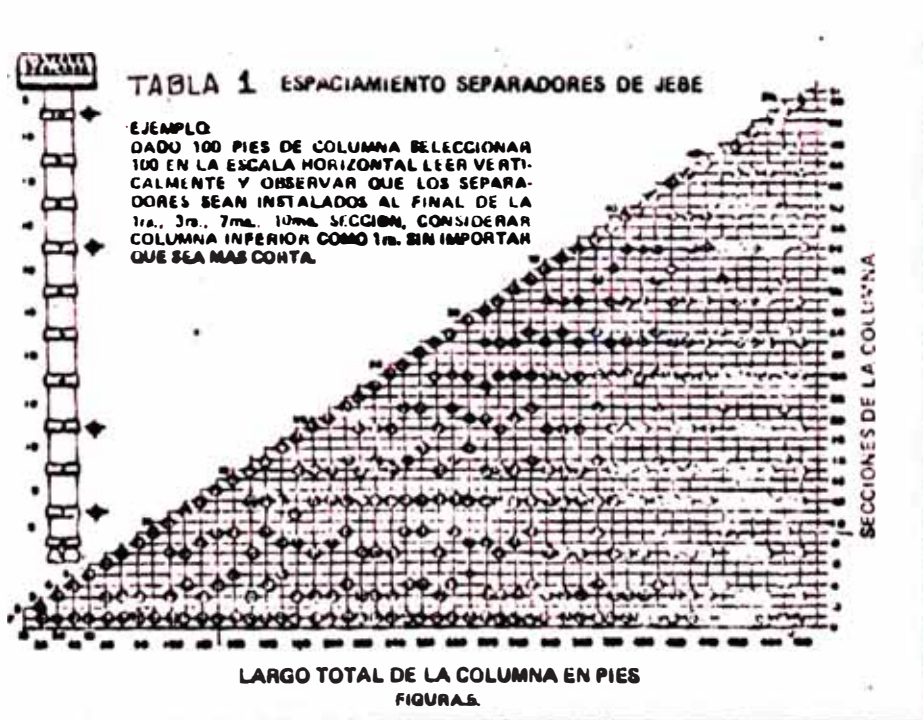
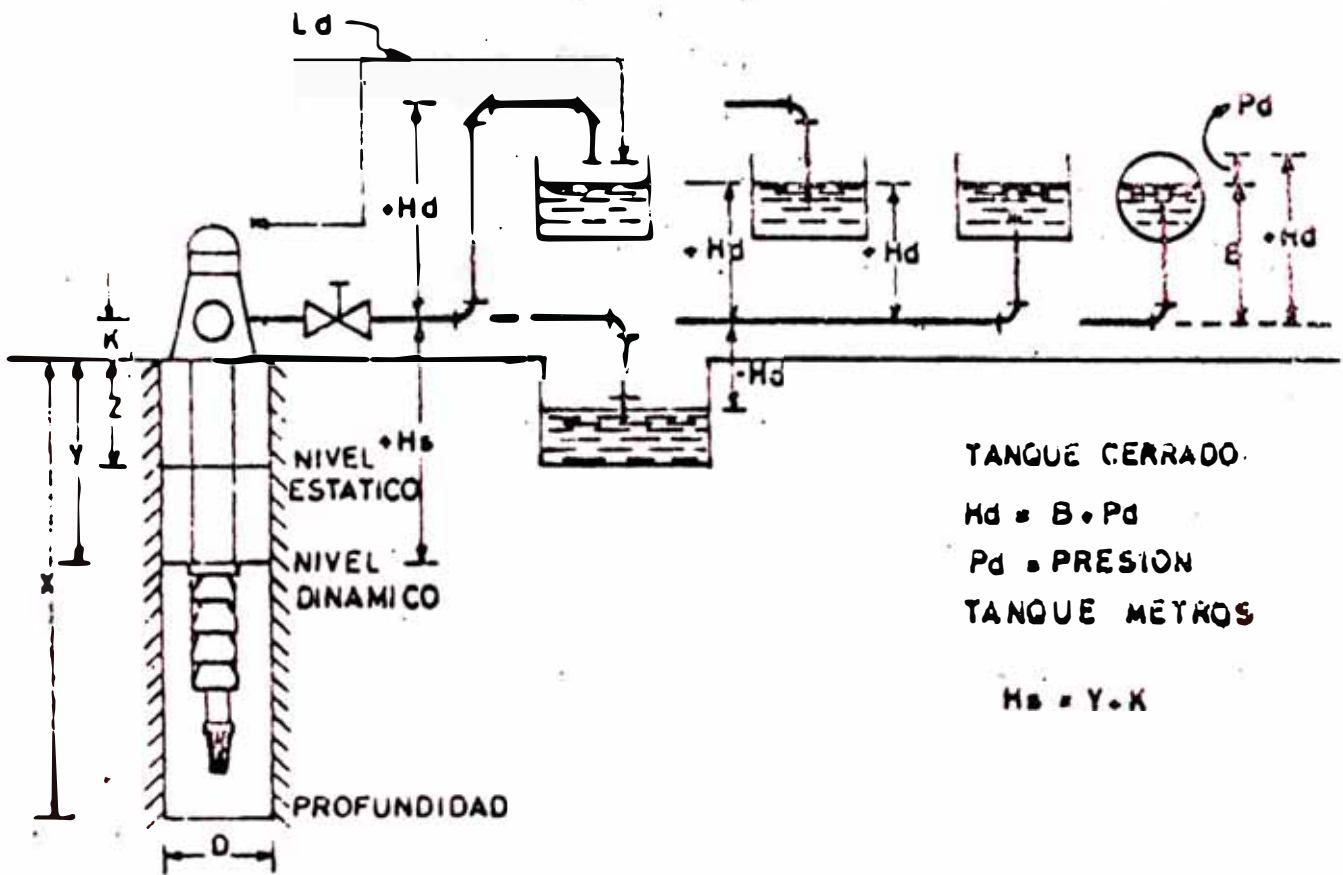
<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>
1	Bomba tipo 10 GM, de 7 etapas. Para ser conectada a eje de 1 3/16" y funda de 2". Con succión de 8" y descarga de 6".
7	Impulsores tipo M de Ø STD
12	Tramos de columna exterior de 10' de 6"
1	Tramo de columna exterior de 5' de 6"
1	Tramo de columna exterior de 5' de 6"
12.	Tramos de columna interior de 10' de 1 3/16" x 2"
1	Tramo de columna interior de 5' de 1 3/16" x 2".
1	Tramo de columna interior de 5' de 1 3/16" x 2"
4	Separadores de jebe de 2" x 6"
1	Linterna modelo GS- 6 x 16 1/2 con brida de succión de 6". Con contrabrida de descarga de 6" para eje de 1 3/16"
1	Canastilla de 8".
1	Tubo de succión de 8" de Ø, 10' de largo.
1	Válvula de solenoide para el gotero de 220/3/60. (Siempre se usa con motor eléctrico)

Referencia Bibliográfica

- Ortiz "Turbomáquina"
- Manual de Hidrostaal "Bombas de Profundidad"

FIG. VI. 9. CÁLCULO ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL
(BOMBAS DE POZO PROFUNDO)

CRUQUIS Nº 2



APLICACION DE LAS EXPERIENCIAS EN EL CURSO DE LAB. DE ENER

GIA II.

SALIDA POR ORIFICIOS

Se Pide.- Determinar la velocidad, el caudal y el alcance para diferentes diámetros de salida por orificios.

Aparatos y Accesorios.- Un Frasco de vidrio con orificio lateral - bajo, tubos de diferentes diámetros, un cronómetro y una wincha.

Datos Experimentales.- Para una altura $y = 18$ cms., del nivel de referencia al orificio, y para tubos de aproximadamente 12 cms. de largo insertado en un tapón de 3.3 cms. de largo y 2.5 cms. de diámetro.

Diámetro	Tubo 3.2 mm.	Tubo de 4 mm.	Tubo 8.5 mm.	Tapón solo:6mm.
V, H Alcance y caudal.	X(cms)/Q (cm3/seg)	X(cms)/Q(cm3/ seg)	X(cm)/Q (cm3/seg)	X(cms) / Q (cm3/seg.)
$V_1 = 4.43$ lts	$X_1 = 32.2$	$X_1 = 36.5$	$X_1 = 39$	$X_1 = 22.5$
$H_1 = 20.8$ cms	$Q_1 = 13.5$	$Q_1 = 25.5$	$Q_1 = 118$	$Q_1 = 53$
$V_2 = 3.43$ lts	$X_2 = 30.3$	$X_2 = 32.3$	$X_2 = 35$	$X_2 = 19.5$
$H_2 = 16$ cms	$Q_2 = 12$	$Q_6 = 22.5$	$Q_2 = 104$	$Q_2 = 45$
$V_3 = 2.43$ lts	$X_3 = 26.8$	$X_3 = 27.3$	$X_3 = 31$	$X_3 = 16$
$H_3 = 11.1$ cms	$Q_3 = 12$	$Q_3 = 19$	$Q_3 = 87$	$Q_3 = 38$
$V_4 = 1.43$ lts	$X_4 = 20.3$	$X_4 = 22.3$	$X_4 = 25.5$	$X_4 = 11$
$H_4 = 6.4$ cms	$Q_4 = 8.5$	$Q_4 = 15$	$Q_4 = 71$	$Q_4 = 28.5$

Diámetro del frasco = 16.5 cms.

Cálculos.- En nuestra experiencia estamos utilizando la disposición del segundo gráfico de la "Tabla de coeficientes experimentales para orificios" donde: $E = 1$, $c = 0.49$, $\emptyset = 0.82$, $\mu = 0.82$, excepto para el tapón sólo que corresponde a la disposición del primer gráfico, donde: $E = 0.64$, $c = 0.06$, $\emptyset = 0.97$, $\mu = 0.62$. Luego para calcular la velocidad de salida (Wi).

$$W_i = \emptyset \sqrt{2gH}$$

Para calcular el caudal (Q).

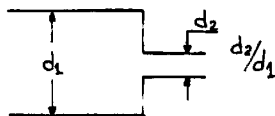
Siendo: $F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ $Q = E \emptyset F \sqrt{2gH} = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2gH}$

Para calcular los alcances (X).

$$X = 2 \emptyset \sqrt{-yH}$$

Pero: \emptyset es función de c . y como c es un coeficiente de contracción depende de la relación :

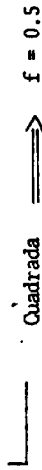
Que se encuentra en las tablas de la experiencia de pérdidas.



	d2/d1	c	f	c'	\emptyset	E
1er tubo	0.13	0.48	0.5	0.24	0.89	1
2do tubo	0.16	0.46	0.5	0.23	0.90	1
3er tubo	0.34	0.38	0.05	0.019	0.99	1
sin tubo	0.24	0.06	0.5	0.03	0.985	0.64

Donde : $c' = c \times f$

f — Coeficiente de pérdida por entrada.



$f = 0.5$

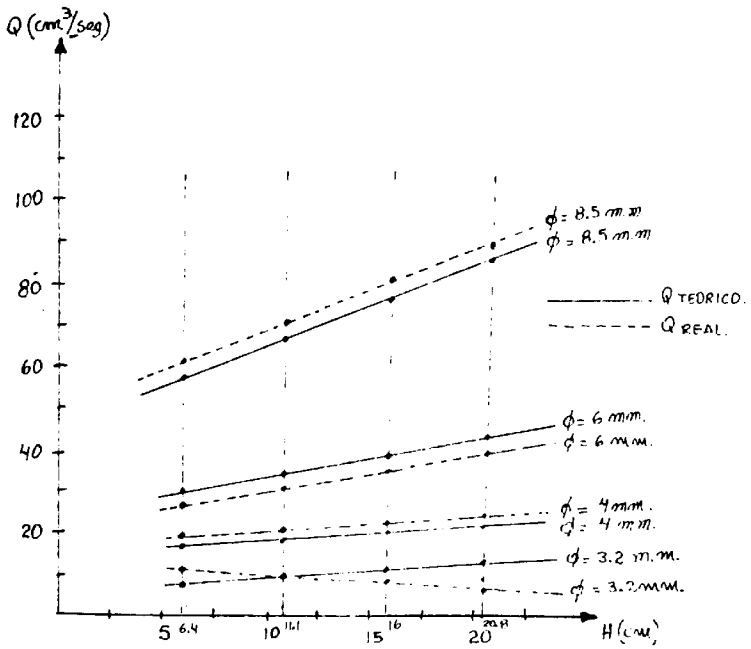


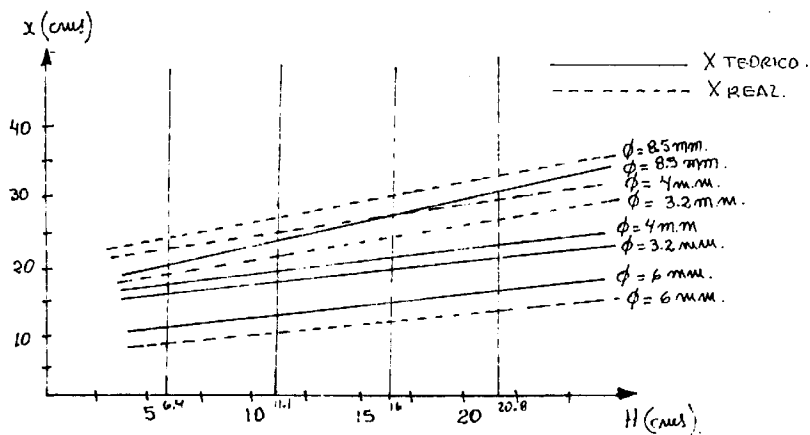
$f = 0.05$

Luego :

Diámetro H(cms)	Tubo de 3.2 m.m. F = 8.043 mm ²			Tubo de 4 m.m. F = 12.57 mm ²			Tubo de 8.5 m.m. F = 56.75 mm ²			Sin tubo 6 m.m. F = 28.27 mm ²		
	Wi (cm/seg)	Q cm ³ /seg	X cms	Wi (cm/seg)	Q cm ³ /seg	X cms	Wi (cm/seg)	Q cm ³ /seg	X cms	Wi (cm/seg)	Q cm ³ /seg	X cms
20.8 = H ₁	176.7	14.1	34.4	181.7	22.9	34.8	199.9	113.5	38.3	198.8	56.3	24.4
16.0 = H ₂	157.6	12.6	30.2	159.4	20.1	30.5	175.3	99.6	33.6	174.4	49.4	21.4
11.1 = H ₃	131.3	10.5	25.2	132.8	16.7	25.5	146.0	82.9	28.0	145.3	41.1	17.8
6.4 = H ₄	99.7	7.9	19.1	100.8	12.7	19.3	110.9	63.0	21.3	110.3	31.2	13.5

DADO: $g = 980 \text{ cm/sec}^2$





Conclusiones

- 1.-De los gráficos podemos apreciar que a mayor carga hidrostática y mayor diámetro de tubos, mayor caudal y mayor alcance, con la sola excepción del tapón sin tubo para el alcance.
2. Para una misma carga hidrostática; la velocidad, caudal y alcance para diferentes diámetros de tubo son las mismas, diferenciándose solamente por su factor de velocidad (β) y el coeficiente de contracción (E).
3. Los valores reales para las diferentes experiencias salen mayores que los valores teóricos, con la sola excepción del tapón sin tubo.
4. El caudal teórico, es un caudal en un instante determinado, por lo que se sugiere que para la toma del caudal real se haga sólo -

en un pequeño entorno del punto que se está tomando; y que podría ser ± 100 c.c.

5. Para una misma carga hidrostática podemos apreciar que en todos los casos el caudal es directamente proporcional al diámetro de los tubos y por lo tanto a sus áreas.
6. Mientras que en la gráfica de los alcances para todas las salidas con tubo, con una misma carga hidrostática, el alcance está en relación directa con los diámetros, ya que el coeficiente de contracción (E) es 1 para todos; Excepto para la salida sin tubo que tiene el menor alcance, precisamente por la contracción en el área de salida.

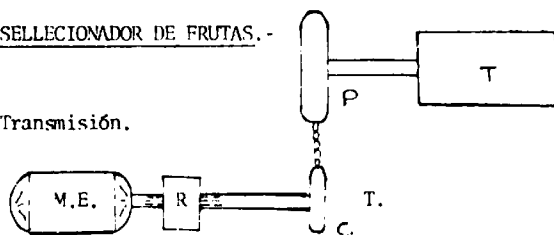
RELACIONES DE TRANSMISION

Se Pide.- Calcular las diferentes relaciones de transmisión de -- los sistemas de transmisión del elevador y seleccionador de frutas del triturador - Precalentador.

Aparatos y Accesorios.- Los diferentes sistemas de transmisión de las Plantas Piloto, un Contómetro y un Cronómetro.

ELEVADOR Y SELECCIONADOR DE FRUTAS.-

Esquema de Transmisión.



M.E. = Motor eléctrico \rightarrow HP_m = 2.1 , RPM = 1620 = η_m .

R = Reductor $\rightarrow \eta_g = ?$, $\eta_R = ?$.

P = Piñón $\rightarrow N_p = 14$

C = Catalina $\rightarrow N_c = 54$, $\eta_c = 8$

T = Tambor de la faja transportadora $\rightarrow \eta_t = 8$ RPM (Medido - con Contómetro).

En la transmisión por cadenas :

$$\eta_c = \frac{N_c}{N_p} = \frac{54}{14} = 3.86$$

También :

$$m_c = \frac{\eta_P}{\eta_C} = 3.86 \quad \rightarrow \quad \eta_P = 8 \times 3.86 = 30.8$$

Como, en la transmisión total :

$$m_{\text{total}} = m_R \times m_c \quad \rightarrow \quad \frac{\eta_m}{\eta_T} = \frac{\eta_{\text{T.S.F.}}}{\eta_G} \times \frac{\eta_P}{\eta_C}$$

$$m_{\text{total}} = \frac{1620}{8} = 202.5$$

Luego :

$$202.5 = m_R \times 3.86 \quad \rightarrow \quad m_R = \frac{202.5}{3.86} = 52.5$$

En la transmisión por Reductor :

$$m_R = \frac{\eta_{\text{T.S.F.}}}{\eta_G} \quad \rightarrow \quad 52.5 = \frac{1620}{\eta_G} \quad \rightarrow \quad \eta_G = 30.8$$

Donde :

m_{total} = Relación de transmisión total.

m_R = Relación de transmisión del reductor.

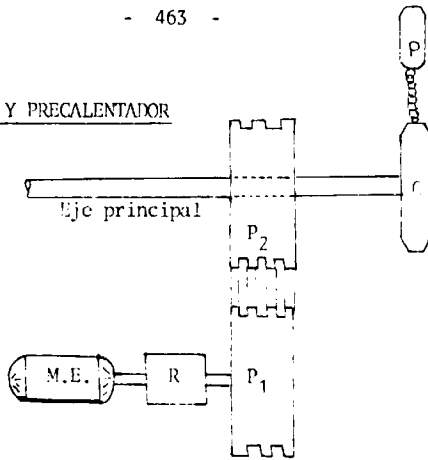
m_c = Relación de transmisión de las cadenas.

$\eta_{\text{T.S.F.}}$ = RPM del tornillo sinfin.

η_G = RPM del engranaje o rueda del reductor.

TRITURADOR Y PRECALENTADOR

Esquema



M.E. = Motor eléctrico \rightarrow HP = 2.2 , $n_m = 1150$.

R = Reductor $\rightarrow m_R = ?$

P₁ = Polea chica $\rightarrow D_1 = 9$ cms.

P₂ = Polea grande $\rightarrow D_2 = 46$ cms., $n_2 = 40$ RPM (Medido con contómetro).

C = Catalina $\rightarrow N_c = 30$ dientes.

P = Piñón $\rightarrow N_p = 12$ dientes.

$$m_{total} = m_R \times m_p \quad \rightarrow \quad \frac{n_m}{n_{P2}} = m_R \times \frac{D_{P2}}{D_{P1}}$$

$$\frac{1150}{40} = m_R \times \frac{46}{9} \quad \rightarrow \quad m_R = 5.63$$

En la transmisión de cadenas :

$$m_c = \frac{n_p}{n_c} = \frac{N_c}{N_p} \quad \rightarrow \quad \frac{N_c}{N_p} = \frac{30}{12} = 2.5 = m_c.$$

$$m_c = \frac{\eta_p}{\eta_c} \rightarrow 2.5 = \frac{\eta_p}{40} \rightarrow \eta_p = 100$$

Conclusiones :

- La aplicación directa para la determinación de las relaciones de transmisión se va a utilizar como parte del procedimiento de algunas de las experiencias posteriores.

EXP. II. MEDICION DE LA HUMEDAD.

Se Pide.- Calcular los diferentes parámetros de la humedad ambiental, tanto bajo techo como al aire libre.

Aparatos e Instrumentos.- Medidor de humedad de inmersión - marca: NEDVESSEGMERO, con aproximadamente un litro de agua destilada.

1. EN LAS PLANTAS PILOTO (Bajo Techo)

1.1 Datos

- T.B.S. = 23.5°C - Fecha = (01.06.85)

- T.B.H. = 17°C - Hora = 12 m.

1.2 Calculos y Resultados

De la Carta Psicrométrica :

- H.R. = Humedad relativa.

H.R. = 52%

- H.E. = Humedad específica

H.E. = 0.0094 kg de vapor de agua/kg de aire seco.

- h = Entalpia específica

h = 65.1 kJ/kg de aire seco

- \checkmark = Volumen específico de vapor por masa de aire seco.

\checkmark = 0.855 metros cúbicos/kg. de aire seco.

De las Tablas de Vapor de Agua.

T.B.S. = Temperatura de la mezcla = 23.5°C = Tm.

T.B.H. = Temperatura del punto de rocío = 17°C = T.P.R.

Del Diagrama T - S para el vapor de agua :

P_{SAT} = Presión de saturación = 0.03 - bar (Presión de saturación a la $T_m = 23.5^\circ\text{C}$).

P_v = Presión del vapor de agua = 0.017 bar (Es la presión parcial del vapor en la mezcla, que se mantiene constante, mientras desciende la T_m . a la T.P.R. y coincide con la presión de saturación a la T.P.R. ó T.B.H.).

2. AL AIRE LIBRE CON SOMBRA

2.1 Datos

- T.B.S. = 26°C

- T.B.H. = 21°C

2.2 Cálculos y Resultados

De la Carta Psicrometrica

- H.R. = 65%

- H.E. = $0.0135 \frac{\text{kg. de vapor de agua.}}{\text{Kg. de aire seco}}$

- h = $77.9 \frac{\text{Kj.}}{\text{Kg. de aire seco.}}$

- \mathcal{V} = $0.864 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg. de aire seco.}}$

De las Tablas de vapor de agua

- $T_m = T.B.S. = 26^\circ\text{C}$

- T.P.R. = T.B.H. = 21°C

Del Diagrama T-S :

- $P_{SAT} = 0.035 \text{ bar.}$

- $P_v = 0.024 \text{ bar.}$

3. AL AIRE LIBRE SIN SOMBRA

3.1 Datos

T.B.S. = 29°C

T.B.H. = 23.5°C

3.2 Cálculos y Resultados

De la Carta Psicrométrica

- H.R. = 63.5%

- H.E. = 0.0162 $\frac{\text{Kg. de vapor de agua}}{\text{Kg. de aire seco.}}$

- h = 87.6 $\frac{\text{Kj}}{\text{Kg. de aire seco}}$

- $\sqrt{V} = 0.879 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg. de aire seco.}}$

De las Tablas de Vapor de Agua.

- $T_m = T.B.S. = 29^\circ\text{C}$

- $T.P.R. = T.B.H. = 23.5^\circ\text{C}$

Del Diagrama T-S :

- $P_{SAT} = 0.038 \text{ bar}$

- $P_v = 0.03 \text{ bar.}$

Conclusiones y Sugerencias.

- Los valores de humedad, determinados, son los que corresponden a la ciudad de Ica, con una aproximación aceptable, en la fecha y hora señalada.

- Es recomendable usar agua destilada en el medidor de inmersión, ya que se evitan las impurezas del agua potable, que distorsionan las mediciones ha efectuar.

- Igualmente, es recomendable contar con una adecuada corriente de aire que permita la evaporación del paño húmedo hasta la saturación del medio ambiente inmediato, de tal manera que la temperatura medida sea la correcta. Esta recomendación cobra importancia cuando se efectúan mediciones en ambientes cerrados, por lo que se utiliza en estos casos pequeños ventiladores que permiten cierta corriente de aire.

EXP. II DETERMINACION DE LOS ESTADOS DE VAPOR

Se Pide.- Determinar la calidad de una muestra de vapor en las Plantas Piloto.

Aparatos y Accesorios.- Un Calorímetro de estrangulación implementado en las Plantas Piloto, según se puede apreciar en la guía teórica.

Datos Experimentales, Cálculos y Resultados

De acuerdo al gráfico de la Guía Teórica :

$$T_2 = 149^\circ\text{C} = 300.2^\circ\text{F}$$

DE TABLAS:

$$h_f = 269.59 \text{ BTU/lbm}$$

$$P_2 = 52.3 \text{ psi man.} = 67 \text{ psi}_{\text{abs.}}$$

$$h_{fg} = 910.1 \text{ BTU/lbm.}$$

$$T_3 = 124^\circ\text{C} = 255.2^\circ\text{F}$$

$$P_3 = 15.3 \text{ psi}_{\text{man}} = 30 \text{ psi}_{\text{abs}}$$

$$T_s = 250.33^\circ\text{F} = 121.3^\circ\text{C}$$

De Tablas :

$$h_3 = 1166.44 \text{ BTU/lbm} = h_2$$

$$\text{Luego : } x_2 = \frac{h_2 - h_f \text{ 67 psi}}{h_{fg} \text{ 67 psi}} = \frac{1166.44 - 269.59}{910.1}$$

$$x_2 = 0.985.$$

Conclusiones y Recomendaciones

- Este tipo de dispositivo origina una considerable caída de presión.

- El sobrecalentamiento corresponde a :

$$T_3 - T_s = 124^{\circ}\text{C} - 121,3^{\circ}\text{C} = 2,7^{\circ}\text{C} \text{ (a la misma presión)}.$$

Que cumple con la recomendación que debe ser más de 2°C .

- Se considera que el resultado de la calidad tiene ciertas limitaciones, ya que no se ha logrado un aislamiento térmico adecuado de las tuberías y accesorios del calorímetro.

.....

EXP. III. FLUJOS - MEDICION DE CAUDALES

Se Pide.- Determinación de Caudales para flujo incompresible con un tanque simple, un medidor de desplazamiento positivo, un Rotámetro y un Weirs. Igualmente la determinación de caudales para flujo compresible con un medidor de plato con orificios.

En el caso del Rotámetro se pide implementar su curva de calibración.

Aparatos y Accesorios.- Los medidores de caudal mencionados anteriormente, se encuentran ubicados en la Planta de Conservas y Alcoholes y en la Sala de Máquinas.

ROTAMETRO

Datos Experimentales.

<u>Nº</u>	<u>Volumen(lts.)</u>	<u>Tiempo(seg.)</u>	<u>h (m.m.)</u>
01	2	118	43
02	2	74	55
03	2	47	69
04	2	37	79
05	2	32	89
06	2	26	100
07	2	23	109,5
08	2	20	120
09	2	13	179,5
10	2	09	258

PROCEDIMIENTO

Abriendo las llaves 2 y 3 mostradas en la figura medimos 10 diferentes flujos y anotamos el "h" y el tiempo requerido para un volumen de 2 litros en cada una de las pruebas. (Fig. Guía Teórica)

Considerando:

"h" = Lectura del Rotámetro en mm.

"D" = Diámetro de la parte superior del Rotámetro.

"d" = Diámetro de la parte inferior del Rotámetro.

CALCULOS

1. Cálculo del Caudal "Q"

Sabemos que: $Q = v \times A$; donde: v (velocidad) m/seg.

A (Área) m²

También se sabe que:

$Q = V/t$; donde : V (volumen) m³

t (tiempo) seg.

Según los datos experimentales hemos obtenido el volumen y el tiempo, con los cuales obtendremos sus respectivos caudales.

Ejemplo: (En el punto N°1)

$$V = 2 \text{ lts.} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1,000 \text{ lts.}} = 0.002 \text{ m}^3$$

$$t = 118 \text{ seg.}$$

Entonces:

$$Q = \frac{0.002 \text{ m}^3}{118 \text{ seg.}} = 1.6949 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

1.a Tabla de caudales.

Nº	Volúmen (m ³)	Tiempo(seg.)	Caudal "Q" (m ³ /seg)
01	0.002	118	1.6949×10^{-5}
02	0.002	74	2.7027×10^{-5}
03	0.002	47	4.2553×10^{-5}
04	0.002	37	5.4054×10^{-5}
05	0.002	32	6.25×10^{-5}
06	0.002	26	7.6923×10^{-5}
07	0.002	23	8.6956×10^{-5}
08	0.002	20	1.00×10^{-4}
09	0.002	13	1.5384×10^{-4}
10	0.002	09	2.2222×10^{-4}

2. Cálculo de los°Reynolds.

Para hallar°Reynolds sabemos :

$${}^{\circ}R = \frac{\rho v d}{\mu}$$

Donde: v (Velocidad del fluido: agua) m³/seg.

d (Diámetro para c/u. de los valores de "h") m³

$\rho = \rho_{H_2O}$ = (Densidad del fluido) kg/m³.

$\mu = \mu_{H_2O}$ = (Viscosidad del agua) kg/m x seg.

2.a. Ejemplo del Cálculo de °Reynolds.

Primera mente calcularemos el área y la velocidad :

$$\Lambda = \frac{\pi d^2}{4} \dots\dots (I) \quad v = \frac{Q}{\Lambda} \dots\dots (II)$$

Hallando los valores de "d" : (utilizando el gráfico)

Sabemos;

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{x}{H} = \frac{a}{h}$$

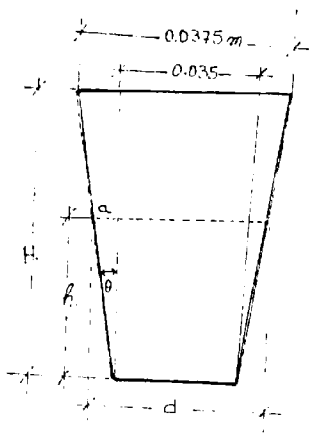
Luego :

$$a = \frac{xh}{H} ;$$

Conociendo :

$$x = 0.00125 \text{ m.}$$

$$H = 0.22 \text{ m.}$$



Entonces:

$$d = 2a + 0.035 \text{ m.}$$

Reemplazando los valores de "d" en la ec. (I), hallamos el

valor de "A"; conociendo los valores de "A"; reemplazamos en la ec. (II) y hallamos el valor de "v".

2.b. Tabla de los °Re

N°	h(m)	a (m)	d (m)	A (m ²)	v(m/seg)	°Re
01	0.043	2.443×10^{-4}	0.0354	9.891×10^{-4}	0.017	600.59
02	0.055	3.125×10^{-4}	0.0356	9.953×10^{-4}	0.027	959.28
03	0.069	3.920×10^{-4}	0.0357	1.005×10^{-3}	0.042	1496.40
04	0.079	4.488×10^{-4}	0.0358	1.012×10^{-3}	0.053	1908.19
05	0.089	5.056×10^{-4}	0.0360	1.018×10^{-3}	0.061	2204.68
06	0.100	5.681×10^{-4}	0.0361	1.025×10^{-3}	0.075	2702.19
07	0.109	6.193×10^{-4}	0.0362	1.031×10^{-3}	0.084	3045.83
08	0.120	6.818×10^{-4}	0.0363	1.38×10^{-3}	0.096	3488.30
09	0.1795	1.019×10^{-3}	0.0370	1.077×10^{-3}	0.142	5272.01
10	0.238	1.352×10^{-3}	0.0377	1.116×10^{-3}	0.199	7487.32

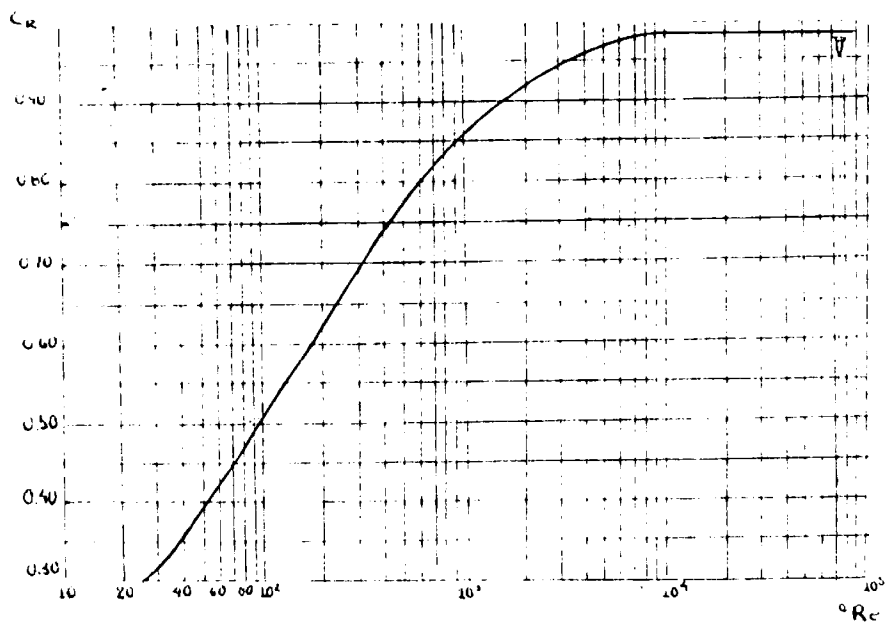
Utilizando el gráfico indicado, para los diferentes valores de Reynolds, obtenemos los Coeficientes de descarga C_R .

Así tenemos :

N°	°Re	C_R
01	600.59	0.80
02	959.28	0.855
03	1496.40	0.890
04	1980.19	0.920
05	2204.68	0.924

06	2702.19	0.938
07	3045.83	0.945
08	3488.3	0.950
09	5272.01	0.970
10	7487.32	0.980

DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE DESCARGA (C_R)



4. DETERMINACION DEL FLUJO MASICO: W

Se sabe que :

$$W = C_R A_o \sqrt{\frac{2g (\rho_f - \rho) V_f}{A_f}}$$

Donde:

C_R (Coeficiente de descarga).

A_o (Area del espacio anular entre la sección transversal mayor del flotador y la pared del tubo en cualquier punto).

g (Aceleración de la gravedad: 9.81 m/seg.)

ρ (Densidad del agua).

ρ_f (Densidad del flotador).

V_f (Volumen del flotador).

A_f (Area del flotador).

5. CALCULO DEL VOLUMEN DEL FLOTADOR

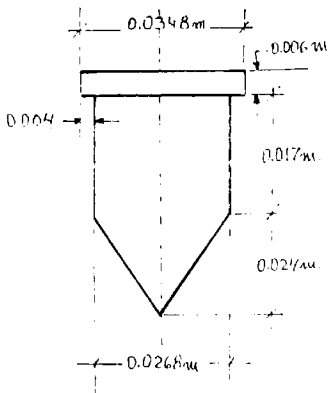
$$V_f = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde:

$$V_1 = \frac{\pi (0.0348)^2 \times 0.006}{4}$$

$$V_1 = 5.706 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi (0.0268)^2 \times 0.017}{4}$$



$$V_2 = 9.589 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{1}{3} \frac{(0.0268)^2}{4} \times 0.024$$

$$V_3 = 4.512 \times 10^{-6} \text{ m}^3.$$

$$V_f = 1.980 \times 10^{-5} \text{ m}^3.$$

6. CALCULO DE LA DENSIDAD DEL FLOTAJOR.

$$\rho_f = \frac{M_f}{V_f} = \frac{0.155 \text{ kg}}{1.980 \times 10^{-5} \text{ m}^3} = 7861.2 \text{ kg/m}^3$$

Ejemplo de Cálculo: Para el primer valor donde :

$$d = 0.0354 \text{ m.}$$

$$\text{Tenemos: } A_o = \frac{\pi}{4} (0.0354)^2 - \frac{\pi}{4} (0.0348)^2 = 3.3080 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

$$C_R = 0.80$$

$$\rho_f = 7861.2 \text{ kg/m}^3$$

$$H_2O = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V_f = 1.980 \times 10^{-5} \text{ m}^3.$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} (0.0348)^2 = 9.51148 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Reemplazando valores en la fórmula :

$$W = 0.80 \times 3.3080 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 (7861.2 - 1000) \text{ kg/m}^3 \times 1.98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{9.511 \times 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

$$W = 0.04430 \text{ kg/seg.}$$

Tabla de Flujo Masico "W"

Nº	Ao (m ²)	C _R	W (Kg/seg.)
01	3.3080 x 10 ⁻⁵	0.80	0.04430
02	4.4233 x 10 ⁻⁵	0.855	0.06331
03	4.9833 x 10 ⁻⁵	0.890	0.07424
04	5.5449 x 10 ⁻⁵	0.92	0.08539
05	6.6727 x 10 ⁻⁵	0.924	0.10321
06	7.2390 x 10 ⁻⁵	0.938	0.11367
07	7.8068 x 10 ⁻⁵	0.945	0.12350
08	8.3762 x 10 ⁻⁵	0.950	0.13321
09	1.2406 x 10 ⁻⁴	0.970	0.20145
10	1.6512 x 10 ⁻⁴	0.980	0.27090

7. CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION.

$$P = \frac{V_f (\rho_f - \rho_{H_2O})}{A_f g}$$

$$P = \frac{1.980 \times 10^{-5} \text{ m}^3 (7861.2 - 1000) \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/seg.}}{9.51148 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 9.81 \frac{\text{kgm} \times \text{m/seg}^2}{\text{kgf.}}}$$

$$P = 142.829 \text{ kgf/m}^2.$$

8. CALCULO DE d_t / d_f vs. LECTURA DEL ROTAMETRO $h(\text{mm})$ Y VELOCIDAD DE FLUJO q' (gal/min.)

Los datos de d_t (diámetro del tubo) y d_f (diámetro del flotador) se obtienen experimentalmente, al igual que la lectura del Rotámetro (h), que se halla dividiendo el flujo de masa (kg/seg) - entre la densidad del agua (kg/m³) y convirtiendo a galones por minuto.

Asi por ejemplo:

Para el primer valor $w = 0.04430 \text{ kg/seg.}; \rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$q' = \frac{0.04430 \text{ kg/seg.}}{1000 \text{ kg/m}^3} \times \frac{1000 \text{ (lts.)}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{60 \text{ seg.}}{1 \text{ min.}} \times \frac{1 \text{ gal.}}{3.785 \text{ lts.}}$$

$$q' = 0.7022 \text{ gal/min.}$$

TABLA DE VALORES

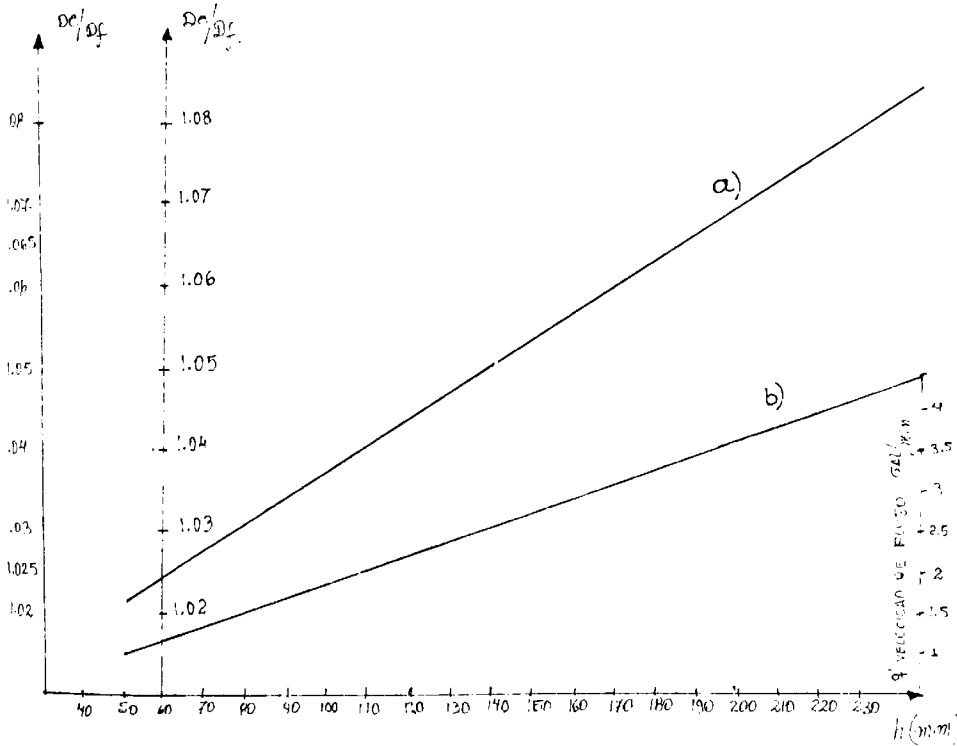
<u>N°</u>	<u>d_t / d_f</u>	<u>h (m.m.)</u>	<u>q' (gal/min.)</u>
01	1.01724	43	0.7022
02	1.02298	55	1.0035
03	1.02586	69	1.1768
04	1.02873	79	1.3536
05	1.03448	89	1.6360
06	1.03735	100	1.8019
07	1.04022	109.5	1.9577
08	1.04310	120	2.1116
09	1.06321	179.5	3.1933
10	1.08333	238	4.2943

GRAFICO

Gráfico de las relaciones :

a) Lectura del rotámetro (h) vs. Relación de Diámetros(d_t/d_f)

b) Lectura del rotámetro (h) vs. velocidades de flujo q'.



Conclusiones y Observaciones.

1. Velocidad del fluido aumenta al aumentar el diámetro y por consiguiente el caudal de agua también aumenta.
2. En caso que se llegue a un caudal constante, y se le dá un diámetro mayor, la velocidad tendría que disminuir.











3. Lo anterior también indica que el área a través de la cual circula el fluido varía con la velocidad del flujo.
4. Se debe observar que para N° de Reynolds menores que 2000, se trata de flujos laminar y para N° de Reynolds mayores de 2000 se habla de flujos turbulentos.
5. En los rotámetros la caída de presión es constante ó prácticamente constante, lo que le da cierta ventaja sobre los medidores como; de plato con orificio, venturi, tobera; lo mismo que permite utilizarlo para rangos amplios de caudal.
6. Para un rotámetro, se observa que la relación entre el flujo y la lectura del mismo es aproximadamente lineal, diferenciándose de la curva de calibrado de un medidor de orificio que por datos bibliográficos se sabe que la velocidad de flujo es proporcional a la raíz cuadrada de la lectura.
7. En el diagrama C_R vs. Reynolds, se ha indicado únicamente para el tipo de rotámetro utilizado, al igual que la curva de calibración hallada. Es decir cada rotámetro tiene sus propias curvas de calibración y diagrama C_R vs. R_e .
8. Esta experiencia se ha desarrollado principalmente con el rotámetro, siendo los otros instrumentos medidores de caudal su lectura en forma directa, a excepción del Weirs que está por implementarse.

EXP. IV. FLUJO EN TUBERIAS - PERDIDAS EN INSTALACIONES
CON AGUA.

Se Pide.- Calcular las pérdidas de presión en el sistema de tuberías que transporta agua en las Planta de Conservas.

Aparatos y Accesorios.- Se utiliza el Sistema de Tuberías de agua de la Planta de Conservas con sus diferentes accesorios e instrumentos.

Datos Experimentales.- A partir del Plano del Sistema de Tuberías de la Planta de Conservas, que se adjunta, tenemos :

<u>Tuberías(DN)</u>	<u>Longitud</u>	<u>Accesorios</u>
3/4"	75'4" = 75.33'	1  + 16  + 10 T + 8  + 4  de 1 1/2" - 3/4" + 20 L
1"	20'9.5" = 20.79'	4  + 2  + 2 T + 1  + 4  de 1 1/2" - 1" + 6 L
1 1/2"	100'2" = 100.17'	1  + 9 T + 8 L
2"	82'6" = 82.5'	1  + 1 L

Cálculos y Resultados.

El caudal medido en un tanque simple graduado con un cronómetro nos dió 0.667 lts/seg.

Luego:

$$Q = 0.667 \frac{\text{dm}^3}{\text{seg.}} \cdot x \frac{1 \text{ pie}^3}{28.32 \text{ dm}^3} = 0.02355 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

Luego: Considerando tuberías Sch = 40.

D_N	D_i	Λ_i (pulg.2)	Λ_i (pie2)	V(pie/seg)	Re	s/D	f
3/4"	0.826"	0.536	3.72×10^{-3}	6.33	45,115	0.00715	0.0355
1"	1.049"	0.864	6.00×10^{-3}	3.93	35,572	0.00563	0.0335
1 1/2"	1.610"	2.036	14.14×10^{-3}	1.67	23,199	0.00367	0.0320
2"	2.067"	3.356	23.31×10^{-3}	1.01	18,013	0.00286	0.0280

$D_N, \Lambda_i \rightarrow$ Diámetro y Área Interior.

$D_i \rightarrow$ DIÁMETRO INTERIOR.

$V \rightarrow$ Velocidad del flujo de agua.

$$\text{Como : } Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu} = \frac{62.24 \times V \times D_i}{2.164} \times \frac{3,600}{12} = 8,628.5 \times v \cdot D_i$$

Donde:

$$\rho_{H_2O}^{25^\circ C} = 0.99707 \text{ gr/cm}^3 = 62.24 \text{ lb/pie}^3.$$

$$\mu = 3.221 \frac{\text{Kgm}}{\text{m-hr}} = 2.164 \frac{\text{lbm}}{\text{pie hr.}}$$

Como se puede apreciar el flujo en las diferentes tuberías es de tipo turbulento.

Del diámetro de Moody :

$E = 0.15 \text{ mm.}$ para Hierro galvanizado.

Luego para $D_i = 0.826'' = 20.98 \text{ m.m.}$

Luego: Para $D_N = 3/4'' \longrightarrow E/D = 0.15/20.98 = 0.00715$

De la misma manera para los demás diámetros de tubería.

Luego :

Para tubería de $D_N = 3/4''$

$$\Delta h_1 = f \times \frac{L}{D^2} \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Pérdidas primarias})$$

$$\Delta h_1 = 0.0355 \times \frac{75.33}{0.826/12} \times \frac{(6.33)^2 \text{ pie}^2/\text{seg}^2}{2 \times 32.2 \text{ pie}/\text{seg}^2} = 24.17 \text{ pies de agua.}$$

$$g = 32.2 \text{ pie}/\text{seg}^2.$$

$$\Delta h_2 = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Pérdidas secundarias}).$$

De acuerdo al cuadro de accesorios y en ese orden.

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 .$$

$$K = 1 \times 0.19 + 16 \times 0.2 + 10 \times 1.8 + 8 \times 0.1 + 4 \times 0.34 + 20 \times 0.9$$

$$(K_5 = 0.34 \quad \text{Si } d_2/d_1 = 0.75/1.50 = 0.5)$$

$$K = 118.35$$

Luego :

$$\Delta h_2 = 41.55 \frac{(6.33)^2}{2 \times 32.2} = 25.84$$

$$\circ \circ \quad \Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

$$= 24.17 + 25.84$$

$$\underline{\underline{\Delta h = 50.01 \text{ pies de agua}}}$$

Para tubería $d_1 = 1''$

$$\Delta h_1 = 0.0335 \times \frac{20.79}{1.049/12} \times \frac{(3.93)^2}{(2 \times 32.2)} = 1.91 \text{ pies de agua.}$$

$$\Delta h_2 = K \frac{(3.93)^2}{2 \times 32.2}$$

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6$$

$$K = 4 \times 10 + 2 \times 0.2 + 2 \times 1.8 + 1 \times 0.1 + 4 \times 0.245 + 6 \times 0.9$$

$$(K_5 = 0.245 \text{ Si } d_2 / d_1 = 1/1.5 = 0.67)$$

$$K = 50.48$$

Luego :

$$\Delta h_2 = 50.48 \times \frac{(3.93)^2}{2 \times 32.2} = 12.12 \text{ pies de agua}$$

$$\begin{aligned} & \circ \\ \circ \circ \quad \Delta h &= 1.91 + 12.12 \end{aligned}$$

$$\Delta h = 14.03 \text{ pies de agua.}$$

Para tubería de $D_N = 1 \frac{1}{2}''$

$$\Delta h_1 = 0.0320 \times \frac{100.17}{1.610/12} \times \frac{(1.67)^2}{2 \times 32.2} = 1.04 \text{ pies de agua}$$

$$\Delta h_2 = K \times \frac{(1.67)^2}{2 \times 32.2}$$

$$K = K_1 + K_2 + K_3$$

$$K = 1 \times 10 + 9 \times 1.8 + 8 \times 0.9 = 33.4$$

Luego :

$$\Delta h_2 = 33.4 \times \frac{(1.67)^2}{2 \times 32.2} = 1.44 \text{ pies de agua}$$

$$\begin{aligned} & \circ \\ \circ \circ \quad \Delta h &= 1.04 + 1.44 = 2.48 \end{aligned}$$

$$\Delta h = 2.48 \text{ pies de agua}$$

Para tubería de $D_N = 2''$

$$\Delta h_1 = 0.0280 \times \frac{82.5}{2.067/12} \times \frac{(1.01)^2}{2 \times 32.2} = 0.212 \text{ pies de agua}$$

$$\Delta h_2 = K \times \frac{(1.01)^2}{2 \times 32.2}$$

$$K = K_1 + K_2$$

$$K = 1 \times 0.19 + 1 \times 0.9 = 1.09$$

Luego :

$$\Delta h_2 = 1.09 \times \frac{(1.01)^2}{2 \times 32.2} = 0.017 \text{ pies de agua}$$

$$\Delta h = 0.212 + 0.017 = 0.229 \approx 0.23$$

$$\underline{\underline{\Delta h = 0.23 \text{ pies de agua}}}$$

Pérdidas totales de presión en el Sistema de Tuberías.

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{total}} &= \Delta h (3/4'') + \Delta h (1'') + \Delta h (1 \ 1/2'') + \Delta h (2'') \\ &= 50.01' + 14.03' + 2.48' + 0.23' \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\Delta h_{\text{total}} = 66.74 \text{ pies de agua.}}}$$

Conclusiones y Recomendaciones

- Se ha comprobado que a menor diámetro de tubería existe mayor pérdida de presión. Esto se explica, a partir de que las pérdidas primarias y secundarias están en función del cuadrado de la velocidad, y a menor diámetro las velocidades son mayores y por consiguiente también las pérdidas.
- El caudal a través del sistema de tuberías es constante, variando las velocidades del fluido y las áreas de acuerdo al diámetro de las tuberías.
- Como se puede apreciar en los cálculos las pérdidas secundarias (por accesorios) son significativas por la extensión del sistema de tuberías.
- Igualmente se puede apreciar que el 90% de las pérdidas, se encuentran en las tuberías de $D_{10} = 3/4"$ y $D_{10} = 1"$, siendo las pérdidas en las tuberías de $1 1/2"$ y $2"$ mínimas.
- De la presente experiencia se puede verificar que para el cálculo de las pérdidas para flujo laminar y turbulento se utiliza la misma ecuación de Darcy, estando su diferencia en el cálculo del factor de fricción, que para el flujo laminar es simple, siendo el cálculo analítico para el flujo turbulento más complicado. Por otro lado estos factores de fricción tanto para el flujo laminar como turbulento se pueden determinar en el Diagrama de Moody.

EXP. V. ESCURRIMIENTO - COMPRESORES

ESCURRIMIENTO

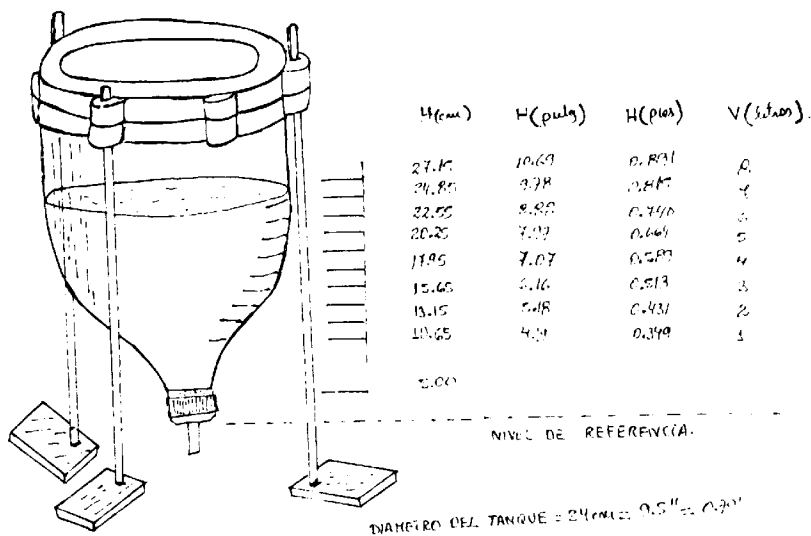
Se Pide.- Determinar el tiempo de escurrimiento experimental y teórico para diferentes alturas hidrostáticas y diferentes diámetros de los tubos de salida. Igualmente los cálculos de los números de Reynolds, la Energía Cinética, la Energía Potencial y las pérdidas de presión para los diferentes diámetros y longitudes de los tubos de salida. Todo esto tendiente a conseguir las curvas de calibración para el dispositivo utilizado.

Aparatos y Dispositivos.- El Tanque con orificio de salida - en la parte inferior descrito en la guía teórica, junto con los accesorios mencionados en la misma.

Datos y Resultados

A. TRABAJO EXPERIMENTAL.

A.1. Calibración de la escala en el tanque.



A.2. Determinación de los tiempos de escurrimiento en forma experimental para el tanque con tubos de salida de diversos radios y longitudes correspondientes de agua.

A2.1 Primer Experimento

Longitud del tubo $L = 6.3/4$ pulgada

Radio del tubo $R_0 = 3/32$ pulgadas

Temperatura del líquido $T = 26.8^\circ\text{C}$.

Volumen (litros)	Longitud del agua Altura H. (pies)	Tiempo de escurrimiento (segundos)
10	1.042	0
09	0.966	20
08	0.891	42
07	0.740	66
06	0.664	90
05	0.589	114
04	0.589	140
03	0.513	167
02	0.431	210
01	0.349	221
00	0.000	256

A.2.2 Segundo Experimento.

Longitud del tubo	$L = 9.1/8''$
Radio del tubo	$R_o = 1/16''$
Temperatura del líquido	$T = 26.2^\circ\text{C}.$

Volumen (litros)	Longitud de agua Altura H. (pies)	Tiempo de escurrimiento (segundos)
10	1.042	0.00
09	0.966	79.00
08	0.891	164.00
07	0.815	245.00

06	0.740	336.00
05	0.664	429.00
04	0.589	524.00
03	0.513	625.00
02	0.431	716.00
01	0.349	822.00
00	0.000	945.00

A.2.3 Tercer Experimento.

Longitud del tubo	$L = 4.1/2''$
Radio del tubo	$R_o = 5/64''$
Temperatura del líquido	$T = 26.0^\circ\text{C}$

Volumen (litros)	Longitud de agua Altura H. (pies)	Tiempo de escurrimiento (segundos)
10	1.042	0
09	0.966	34
08	0.891	61
07	0.815	93
06	0.740	129
05	0.664	164
04	0.589	205
03	0.513	242
02	0.431	277
01	0.349	321
00	0.000	366

A.3 Determinación de los caudales instantáneos que egresan del tanque con tubos de salida de diversos radios y longitudes.

A.3.1 Primer Experimento.

Longitud del tubo $L = 6.3/4''$

Radio del tubo $R_o = 3/32''$

Volum.que egresa(lt)	Volum.que egresa(pies3)	Tiempo (segundos)	Caudal instantáneo "Q" que egresa	
			(pies3/seg)	lt/seg.
01	0.03532	20	1.766×10^{-3}	0.050
02	0.07064	42	1.682×10^{-3}	0.048
03	0.10596	66	1.6055×10^{-3}	0.045
04	0.14128	90	1.5698×10^{-3}	0.044
05	0.17660	114	1.5491×10^{-3}	0.044
06	0.21192	140	1.5137×10^{-3}	0.043
07	0.24724	167	1.4805×10^{-3}	0.042
08	0.28256	210	1.3455×10^{-3}	0.038
09	0.31788	221	1.4384×10^{-3}	0.041
10	0.35320	256	1.3797×10^{-3}	0.039

A.3.2 Segundo Experimento.

Longitud del tubo $L = 9.1/8''$

Radio del tubo $R_o = 1/16''$

Volum.que egresa(lit)	Volum.que egresa(ft3)	Tiempo (segundo)	Caudal instantáneo que egresa	
			(pies3/seg)	(Litros/seg.)
01	0.03532	79	4.47×10^{-4}	0.013
02	0.07064	164	4.31×10^{-4}	0.012
03	0.10596	245	4.32×10^{-4}	0.012
04	0.14128	336	4.20×10^{-4}	0.012
05	0.17660	429	4.11×10^{-4}	0.012
06	0.21192	524	4.04×10^{-4}	0.011
07	0.24724	625	3.96×10^{-4}	0.011
08	0.28256	716	3.95×10^{-4}	0.011
09	0.31788	822	3.87×10^{-4}	0.011
10	0.3532	945	3.74×10^{-4}	0.011

A.3.3 Tercer Experimento.

Longitud del tubo $L = 4.1/2''$

Radio del tubo $R_o = 5/64''$

Volum.que egresa(lit)	Volum.que egres(pies3)	Tiempo (seg.)	Caudal instantáneo que egresa	
			(ft3/seg)	(lit/seg).
01	0.03532	344	1.038×10^{-3}	0.029
02	0.07064	61	1.160×10^{-3}	0.033
03	0.10596	93	1.140×10^{-3}	0.032
04	0.14128	129	1.090×10^{-3}	0.031
05	0.12660	164	1.080×10^{-3}	0.030
06	0.21192	205	1.030×10^{-3}	0.029

07	0.24724	242	1.020×10^{-3}	0.029
08	0.28256	277	1.020×10^{-3}	0.029
09	0.31788	321	9.900×10^{-4}	0.028
10	0.3532	366	9.650×10^{-4}	0.027

B. CALCULOS TEORICOS.

B.1 Cálculo de valores del Reynolds para las condiciones existentes, respectivamente al comienzo y al terminar el periodo de escurrimiento.

Primer Experimento.

$$\varnothing_T = 3/16'' \dots\dots\dots R_o = \frac{3}{16 \times 2 \times 12} = 7.81 \times 10^{-3} \text{ ft}$$

$$L = 6.3/4'' \dots\dots\dots L = \frac{27 \times 1}{4 \times 12} = 0.563 \text{ ft}$$

$$T = 26.8^\circ\text{C}.$$

$$\mu_{\text{agua}} (26.8^\circ\text{C}) = 0.92 \text{ cp} \times \frac{6.72 \times 10^{-4}}{1 \text{ cp}} \frac{\text{lbm}}{\text{ft seg.}}$$

$$\mu_{\text{agua}} (26.8^\circ\text{C}) = 6.18 \times 10^{-4} \text{ lbm/ft seg.}$$

Hallando R_o al comenzar el periodo de escurrimiento.

$$V = \frac{g R_o^2 \rho (L + H)}{8 \mu L}$$

$$V = \frac{32.2 \times (7.81 \times 10^{-3})^2 (62.4)}{8 \times 6.18 \times 10^{-4} \times 0.563} (0.563 + 1.042)$$

$$V = 70.71 \text{ ft/seg.}$$

Luego :

$$Re = \frac{2 R_o V \rho}{\mu} = \frac{2 \times 7.81 \times 10^{-3} \times 70.71 \times 62.4}{6.18 \times 10^{-4}}$$

$$R_e = 111,526.57 \dots \text{ Es flujo Turbulento.}$$

Hallando V, para flujo turbulento con :

$$V = \left[\frac{2 R_o^5}{\mu} \left(\frac{g (H + L)}{0.0791 L} \right)^4 \right]^{1/7}$$

reemplazando valores númericos :

$$V = \left[\frac{2 (7.81 \times 10^{-3})^5 \times (62.4) \left(\frac{32.2(1.042 + 0.563)}{0.0791(0.563)} \right)^4}{6.18 \times 10^{-4}} \right]^{1/7}$$

$$V = 10.09 \text{ ft/seg.}$$

$$R_e = \frac{2 \times 7.81 \times 10^{-3} \times 10.09 \times 62.4}{6.18 \times 10^{-4}}$$

$$R_e = 15,913.59 \dots \text{ Régimen turbulento.}$$

Hallando R_e al final del período de escurrimiento.

$$V = \frac{g R_o^2 \rho (L + H)}{8 \mu L}$$

$$V = \frac{32.2 (7.81 \times 10^{-3})^2 (62.4) (0.563 + 0.349)}{8 \times 6.18 \times 10^{-4} \times 0.563}$$

$$V = 40.16 \text{ ft/seg.}$$

$$R_e = \frac{2 \times 7.81 \times 10^{-3} \times 62.4}{6.18 \times 10^{-4}} \times 40.16$$

$$R_e = 63,338.95$$

$$V = \left[\frac{2 (7.81 \times 10^{-3})^5 \cdot 62.4}{6.18 \times 10^{-4}} \left(\frac{32.2 (0.349 + 0.563)}{0.0791 (0.563)} \right)^4 \right]^{1/7}$$

$$V = 7.30 \text{ ft/seg.}$$

$$R_e = \frac{2 \times 7.81 \times 10^{-3} \times 62.4}{6.18 \times 10^{-4}} \times 7.30$$

$$\underline{R_e = 11,520.4} \quad \dots\dots \text{Régimen turbulento.}$$

NOTA.- De esta misma manera se realizan los cálculos para conseguir los números Reynolds de los otros dos Experimentos .
(Cuadro B.1).

B.2 Calcule los valores de energía cinética del líquido correspondiente, respectivamente al comienzo y al final del período de escurrimiento.

Para el Primer Experimento

Al comenzar el período de escurrimiento.

$$E_k = \frac{1}{2} m \frac{V^2}{gc}$$

$$m = \rho \times V = 62.4 \times 10 \text{ lt} \times 0.03532/\text{lt.}$$

$$m = 22.04 \text{ lbm.}$$

$$E_k = \frac{1}{2} (22.04) \text{ lbm} \frac{10.09^2 \text{ ft}^2/\text{seg}^2}{32.2 \frac{\text{lbm ft}/\text{seg}^2}{\text{lb}_f}} = 34.84 \text{ lb}_f - \text{ft}$$

$$E_k = 34.84 \text{ lb}_f - \text{ft} \frac{0.3234 \text{ cal}}{1 \text{ lb}_f - \text{ft}} = \underline{12.28 \text{ cal}}$$

Al final del período de escurrimiento.

$$m = \rho \times 1 \text{ lt.}$$

$$m = 62.4 \times 1 \text{ lt} \times \frac{0.03532}{1 \text{ lt.}}$$

$$m = 2.204 \text{ lbm.}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \times 2.204 \text{ lbm} \times \frac{(7.3)^2}{32.2} = 1.824 \text{ lb}_f - \text{ft}$$

$$E_k = 1.824 \text{ lb}_f \cdot \text{ft} \times \frac{0.3239 \text{ cal}}{1 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}}$$

$$E_k = 0.59 \text{ cal.}$$

NOTA.- Igualmente se realizan los cálculos para los otros dos experimentos (Cuadro B.2).

B.3 En el caso de flujo turbulento se estimó las pérdidas debidas al ingreso del fluido al tubo de salida, para el comienzo y el final del período de escurrimiento respectivamente.

Primer Experimento.

Al comienzo. $H_f = K_{\text{cont.}} \times V^2 / 2gc$; $K_{\text{cont.}} = \frac{d_1^2}{d_2} - 1$

$$d_1 = d. \text{ tubo} = 3/16'' = 0.016 \text{ ft.}$$

$$V = 10.09 \text{ ft/seg.}$$

$$d_2 = d. \text{ salida} = 1 \ 1/32'' = 0.086 \text{ ft}$$

Luego :

$$K_{\text{cont.}} = \left[\left(\frac{0.016}{0.086} \right)^2 - 1 \right]^2$$

$$K_{\text{cont.}} = 0.93$$

Entonces :

$$H_f = 0.93 \frac{(10.09)^2}{2 \times 32.2}$$

$$H_f = 1.47 \text{ Lb}_f - \text{ft/lbm}$$

Al final

$$V = 7.3 \text{ ft/seg.}$$

$$H_f = 0.93 \frac{(7.3)^2}{2 \times 32.2}$$

$$H_f = 0.77 \text{ Lb}_f - \text{ft/Lbm.}$$

NOTA.- De la misma manera se realizan los cálculos para los otros dos experimentos (Quadro B.3).

B.4 Cálculo de los valores de energía potencial correspondiente a las condiciones existentes al comienzo y al final del período de escurrimiento.

$$E_p = Z m \frac{g}{gc.}$$

Para los tres experimentos la E_p , es igual ya que es función de la altura y la masa siendo éstas las mismas.

Así tenemos:

Al comienzo del período de escurrimiento.

$$Z_1 = 1.042 \text{ ft.}$$

$$m = \rho \times V = 62.4 \frac{\text{Lbm}}{\text{ft}^3} \times 10 \text{ lt} \times \frac{0.03532}{1 \text{ lt.}}$$

$$m = 22.04 \text{ Lbm.}$$

Luego :

$$E_p = 1.042 \text{ ft} \times 22.04 \text{ Lbm} \times \frac{32.2 \text{ ft/seg}^2}{32.2 \text{ Lbm ft/seg}^2/\text{Lb}_f}$$

$$E_p = 22.96 \text{ Lb}_f \text{ - ft}$$

$$E_p = 22.96 \text{ Lb}_f \text{ - ft} \times \frac{0.3239 \text{ cal}}{1 \text{ Lb}_f \text{ - ft}}$$

$$E_p = 7.44 \text{ cal.}$$

Al final del período de escurrimiento.

$$Z_2 = 0.349 \text{ ft} \quad ; \quad m = \rho \times V = 62.4 \frac{\text{lm}}{\text{ft}^3} \times 1 \text{ lt} \times \frac{0.03532 \text{ ft}^3}{1 \text{ lt.}}$$

$$m = 2.204 \text{ Lbm.}$$

$$E_p = 0.349 \text{ ft} \times 2.204 \text{ Lbm} \times \frac{32.2 \text{ ft/seg}^2}{32.2 \frac{\text{Lbm ft/seg}^2}{\text{Lbf.}}}$$

$$E_p = 0.77 \text{ Lb}_f \cdot \text{ft.}$$

$$E_p = 0.77 \text{ Lb}_f \cdot \text{ft} \times \frac{0.3239 \text{ cal}}{1 \text{ Lb}_f \cdot \text{ft}}$$

$$E_p = 0.25 \text{ cal.}$$

NOTA.- Cuadro B.4.

RESULTADOS SOBRE LOS CALCULOS EFECTUADOS

B.1 Valores de los números de Reynolds para las condiciones existentes.

	EXPER. 1	EXPER. 2	EXPER. 3
Comienzo	15913.59	7063.65	13335.33
Final	11520.40	5352.52	9086.30

B.2 Valores de energía cinética del líquido (agua) para el período de escurrimiento. (En calorías).

	EXPER. 1	EXPER. 2	EXPER. 3
Comienzo	11.28	5.11	11.92
Final	0.59	0.29	0.55

B.3 Pérdidas debidas al ingreso del fluido al tubo de salida para el período de escurrimiento.

(En lb - f ft/Lbm).

	EXPER. 1	EXPER. 2	EXPER. 3
Al comienzo	1.47	0.694	1.59
Al final	0.77	0.399	0.74

B.4 Valores de energía potencial correspondientes a las condiciones existentes.

Para todos los experimentos es la misma.

Al comienzo : $E_p = 22.96 \text{ lbf} \cdot \text{ft} = 7.44 \text{ cal.}$

Al final : $E_p = 0.77 \text{ lbf} \cdot \text{ft} = 0.25 \text{ cal.}$

B.5 Cálculo de los tiempos de escurrimiento teóricos.

Primer Experimento.

$\emptyset \text{ tubo} = 3/16'' \dots\dots\dots R_o = \frac{3}{16 \times 2 \times 12} = 7.81 \times 10^{-3} \text{ ft}$

$L = 6.3/4'' \dots\dots\dots L = \frac{27}{4} \times \frac{1}{12} = 0.563 \text{ ft}$

$T = 26.8^\circ\text{C} \qquad R = 0.394 \text{ ft.}$

$\mu_{\text{agua}} (26.8^\circ\text{C}) = 0.92 \text{ cp} \times \frac{6.72 \times 10^{-4} \text{ lbm}}{1 \text{ cp} \text{ ft seg.}}$

$\mu_{\text{(agua)}} = 6.18 \times 10^{-3} \text{ lbm/ft seg.}$

Para flujo turbulento.

$$t_{\text{esc}} = \frac{7}{3} \frac{R^2}{R_o^2} C \left[(L + H_1)^{3/7} - (L + H_2)^{3/7} \right]$$

Donde C :

$$C = \left[\frac{0.0791 L \mu^{1/4}}{2^{1/4} g R_o^{5/4} \rho^{1/4}} \right]^{4/7}$$

Hallando C :

$$C = \left[\frac{0.0791 \times 0.563 \times (6.18 \times 10^{-4})^{1/4}}{2^{1/4} (32.2) (7.81 \times 10^{-3})^{5/4} (62.4)^{1/4}} \right]^{4/7}$$

$$C = 0.1299.$$

Luego : Despreciando el volúmen que hay en los 5 cm. (0.164 ft) a la salida del tanque.

$$H_1 = 1.042 - 0.164 = 0.878 \quad (\text{igualmente para todos los valores de } H_1 \text{ se obtiene } H_2).$$

$$t_{\text{esc.}} = \frac{7(0.394)^2}{3 (7.81 \times 10^{-3})^2} \times 0.1299 \left[(0.563 + 0.878)^{3/7} - (0.563 + H_2)^{3/7} \right]$$

$$t_{\text{esc.}} = 771.39 \left[1.169 - (0.563 + H_2)^{3/7} \right]$$

Así tenemos en forma similar para los tres experimentos:

Cuadro B.5.

		TIEMPOS TEORICOS		
		1er.Experim.	2do.Experim.	3er.Experim.
H	H ₂	t _{esc.} (seg.)	t _{esc.} (seg)	t _{esc.} (seg.)
1.042	0.878	0	0	0
0.966	0.802	20.32	69.85,	28.90
0.891	0.727	41.42	139.36	58.99
0.815	0.651	63.52	211.87	90.71
0.740	0.576	86.12	285.66	123.35
0.664	0.500	109.90	363.91	158.42
0.589	0.425	134.35	441.74	193.84
0.513	0.349	160.22	524.62	232.23
0.431	0.267	189.57	617.78	276.32
0.349	0.185	220.62	715.28	323.76
0.000	0.000	298.71	954.69	447.98

C. PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR

C.1. Gráfica de los coeficientes entre valores experimentales de tiempo de escurrimiento y los respectivos valores obtenidos por -- cálculo teórico en función del largo del tubo.

C.J. T A B L A D E V A L O R E S

EXPERIMENTO		P R I M E R O			S E G U N D O			T E R C E R O		
Largo de Tubo		17.15 cm			23.18 cm			11.43 cm.		
Volúmen (lit)	Altura (H) (cm)	Tiempo (seg.)		$\frac{t.exp.}{t.teór.}$ Cociente	Tiempo (Seg.)		$\frac{t.exp.}{t.teór.}$ Cociente	Tiempo (Seg.)		$\frac{t.exp.}{t.teór.}$ Cociente
		Exper.	Teórico		Exper.	Teórico		Exper.	Teórico	
10	31.75	0	00.00	0.00	0	0	0.0	0	0	0.00
09	29.45	20	20.32	0.98	79	69.85	1.13	34	28.9	1.18
08	27.15	42	41.42	1.01	164	139.36	1.18	61	58.99	1.03
07	24.85	66	63.52	1.04	245	211.87	1.16	93	90.71	1.03
06	22.55	90	86.12	1.05	336	285.66	1.18	129	123.35	1.05
05	20.25	114	109.9	1.04	429	363.91	1.18	164	158.42	1.04
04	17.95	140	134.35	1.04	524	441.74	1.19	205	193.84	0.88
03	15.65	167	160.22	1.04	625	524.62	1.19	242	232.23	1.04
02	13.15	210	189.57	1.11	716	617.78	1.16	277	276.32	1.00
01	10.65	221	220.62	1.00	822	715.28	1.15	321	232.76	0.99
00	00.00	256	298.71	0.86	945	954.69	0.99	366	447.98	0.82

C.2 Gráfica de los cocientes entre los valores experimentales de tiempo de escurrimiento y los respectivos valores obtenidos por cálculos teóricos, en función de la relación entre diámetro del tanque y diámetro del tubo.

Diámetro del tanque = 24 cm.

Diámetros de los tubos

1) 17.15 cms

2) 23.18 cms

3) 11.43 cms.

Entonces los cocientes son :

$$1^{\circ} = 24 \text{ cm} / 17.145 \text{ cm} = 1.399$$

$$2^{\circ} = 24 \text{ cm} / 23.18 \text{ cm} = 1.035$$

$$3^{\circ} = 24 \text{ cm} / 11.43 \text{ cm} = 2.099$$

C.2	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
Cociente: Día. tanque Día. tubo	1.4	1.04	2.1
ALTURA (H)	T.exp/ T.teórico	t.exp./ T.teórico	T.exp/ T.teórico
31.75	0.00	0.00	0.00
29.45	0.98	1.13	1.18
27.15	1.01	1.18	1.03
24.85	1.04	1.16	1.03
22.55	1.05	1.18	1.05
20.25	1.04	1.18	1.04
17.95	1.04	1.19	0.88

15.65	1.04	1.19	1.04
13.15	1.11	1.16	1.00
10.65	1.00	1.15	0.99
00.00	0.86	0.99	0.82

C.3 Gráfica del tiempo experimental de escurrimiento en función de la longitud de la carga hidrostática.

Tiempo(min)	Tiempo(min.)	Tiempo(min.)
Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	0	0
0.33	1.32	0.57
0.70	2.73	1.02
1.1	4.10	1.55
1.5	5.60	2.15
1.9	7.15	2.73
2.3	8.73	3.42
2.8	10.42	4.03
3.5	11.93	4.62
3.68	13.70	5.35
0.42	15.75	6.1

Conclusiones y Observaciones.

- En la deducción de la ecuación de tiempo de escurrimiento, se considera que la presión es la atmosférica ya que el tanque es abierto en el punto (1) y en el punto (2), hay salida libre de agua.
- Para los cálculos de tiempo de escurrimiento teórico se ha despreciado el volumen contenido en la salida del tanque de 1 1/32" de diámetro y 0.164 ft de largo, ya que una parte de este, está ocupada por el corcho que tapa la salida y por medio del cual se conecta el tubo de salida para cada experimento.
- Se ha determinado para los tres experimentos, flujos de régimen turbulento al comienzo y al final del período de escurrimiento por ser el número de Reynolds mayor de 4000.
- La velocidad disminuye al final del período de escurrimiento por ser menor el caudal.
- Conforme aumenta el radio del tubo de longitud L, aumento el N° de Reynolds, tanto al comienzo como al final del período de escurrimiento, siendo mayor al comienzo.
- Los cocientes entre valores experimentales de tiempo de escurrimiento y los valores obtenidos por cálculo, varían entre 0.82 y 1.19.

- En el punto C.3, no se ha graficado los tiempos acumulativos de escurrimiento en función de la carga hidrostática acumulativa - (para condiciones de régimen laminar) por ser turbulento el régimen.

- La energía cinética es menor al terminar el período de escurrimiento por ser menor la velocidad y la masa de agua.

- Las gráficas conseguidas sirven como curvas de calibración para el tanque ó dispositivo en que se ha efectuado la experiencia , de tal manera que de acuerdo a la altura ó carga hidrostática -- del dispositivo, al largo del tubo de salida y al cociente entre el diámetro del dispositivo y los diámetros de los tubos de salida; se pueda recurrir a las curvas de calibración y hallar - el tiempo de escurrimiento ó la relación del tiempo de escurrimiento experimental al teórico.

-.-.-.-.-.-

COMPRESORES

Se Pide.- Determinar los parámetros del Compresor a partir de un balance energético con los Datos Experimentales y para diferentes tipos de compresión. Igualmente la determinación más apropiada de la ó las compresoras, la determinación del diámetro del sistema de tuberías y de la caída de presión en el mismo.

Aparatos y Accesorios.- El Compresor Atlas Copco de la Planta de Conservas.

Datos Experimentales

D = 6.25 cms.

P₁ = 1 bar_{abs.}

L = 6.875 cms

T₁ = 24°C = 297 K.

C = 6%

P₂ = 4.6 bar_{abs.}

N = 700 RPM.

Cálculos y Resultados.

- VOLUMEN DESPLAZADO CILINDRICA :

$$V_D = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) (L) (N) = \frac{(6.25)^2 (6.875) (700)}{(4) (10^6)}$$

$$V_D = 0.1476 \text{ m}^3/\text{min.}$$

- RENDIMIENTO VOLUMETRICO CONVENCIONAL :

Considerando $n = 1.4 = K$. Es decir un proceso Isoentrópico

ya que como este compresor se utiliza para dar una sobrepresión a la "Autoclave de Esterilización" es aconsejable para conseguir un aumento de Entalpía y por lo tanto de la energía disponible.

$$\begin{aligned}\eta_{v.c.} &= e.v.c. = 1 + c - c \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/n} \\ &= 1 + 0.06 - 0.06 \left(\frac{4.6}{1}\right)^{1/1.4} = 0.882\end{aligned}$$

$$\eta_{v.c.} = 88.2\%$$

- VOLUMEN ASPIRADO POR REVOLUCIÓN :

$$V_1^* = V_1 - V_2 = \eta_{v.c.} \cdot V_D = 0.882 \times 0.1476$$

$$V_1^* = 0.13 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Que viene a ser igual al flujo de aire en la salida en forma ideal. En forma real está depende de la eficiencia volumétrica real.

- DIAGRAMAS DEL CICLO DE FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR:

Indicando los valores correspondientes.

Datos

$$c = 6\% \quad R = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$P_1 = 1 \text{ bar}, \quad P_2 = 4.6 \text{ bar}, \quad T_1 = 297 \text{ K}$$

$$= 100 \text{ KPa} \quad = 460 \text{ KPa.}$$

$$n = K = 1.4, \quad D = 6.25 \text{ cms}, \quad L = 6.875 \text{ cms},$$

$$N = 700 \text{ RPM.}$$

a) Plano P-V

$$P_1 V_1^{\gamma} = RT_1$$

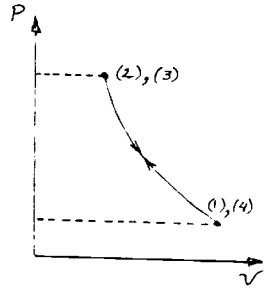
$$V_1^{\gamma} = V_4^{\gamma} = 0.287 \times 297/100 = 0.852 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$T_2 = T_1 (P_2/P_1)^{K-1/K}.$$

$$T_2 = 297 (460/100)^{0.4/1.4} = 459.3 \text{ k}.$$

$$P_2 V_2^{\gamma} = RT_2$$

$$V_2^{\gamma} = V_3^{\gamma} = 0.287 \times 459.3/460 = 0.286 \text{ m}^3/\text{kg}.$$



b) Plano P - V.

$$c = V.M./V.D. = (V_3/V_1 - V_3) = 0.06$$

$$V_3 = 0.057 V_1 \text{ ----- (1)}$$

$$V_1 - V_3 = V_D = \pi/4 \cdot n^2 \cdot L \text{ ---- (2)}$$

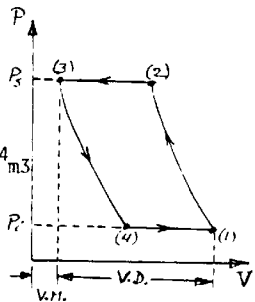
$$V_D = \pi/4 (0.0625)^2 \times (0.06875) = 2.11 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

De (1) y (2) :

$$V_1 = 2.24 \times 10^{-4} \text{ m}^3, V_3 = 0.127 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Para : $n = 1.4$

$$V_2 = 0.753 \times 10^{-4} \text{ m}^3, V_4 = 0.376 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$



c) Plano T-S

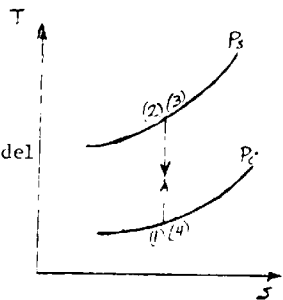
$$T_1 = T_4 = 297 \text{ K}, \quad T_2 = T_3 = 459.3 \text{ K}.$$

Cálculo de las Entropías.

De las Tablas de Propiedades Termodinámicas del aire.

$$\text{Para } T_1 = T_4 = 297 \text{ K} \quad \text{---} \quad 2.5046 \text{ kJ/kg K}.$$

$$\text{Para } T_2 = T_3 = 459.3 \text{ K} \quad \text{---} \quad 2.9412 \text{ kJ/kg K}.$$



d) Plano m-v.

$$P_1 V_1 = m_1 R T_1 \quad \text{---} \quad m_1 = m_2 = P_1 V_1 / R T_1$$

$$m_1 = m_2 = 2.63 \times 10^{-4} \text{ kg}.$$

$$P_3 V_3 = m_3 R T_3 \quad \text{---} \quad m_3 = m_4 = P_3 V_3 / R T_3$$

$$m_3 = m_4 = 0.443 \times 10^{-4} \text{ kg}.$$

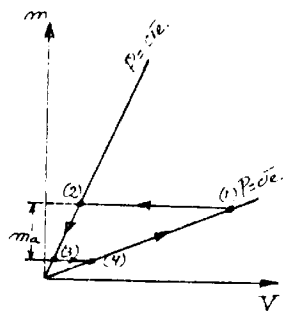
$$m_a = m_1 - m_3 = 2.187 \times 10^{-4} \text{ kg}.$$

- CALCULO DEL CALOR :

$$\overset{\circ}{Q} = \overset{\circ}{m} \cdot \text{cn} \cdot \Delta T.$$

$$\text{Pero : } \text{cn} = \text{cv} \frac{K - n}{1 - n} = 0$$

$$\text{Luego : } Q = 0$$



- CALCULO DE LA ENTALPIA :

$$\Delta H = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{P_1 \dot{V}_1}{RT_1} = \frac{100 \times 0.13}{0.287 \times 297} = 0.153 \text{ kg/min.}$$

$$\dot{m} = \dot{m}_a = 0.153 \text{ kg/min.} = 2.55 \times 10^{-3} \text{ kg/seg.}$$

Luego :

$$\Delta H = 0.153 \times 0.24 \times (459.3 - 297)$$

$$\Delta H = 5.96 \text{ Kcal/min.}$$

- CALCULO DE LA POTENCIA DE COMPRESION :

$$\dot{W}_C = (K/1-K) \dot{m} \cdot R \cdot T_1 \left[(P_2/P_1)^{K-1/K} - 1 \right]$$

$$\dot{W}_C = (1.4/(-0.4)) \times 2.55 \times 10^{-3} \text{ kg/seg} \times 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \times 297 \text{ K} \left[(460/100)^{0.4/1.4} - 1 \right]$$

$$\dot{W}_C = 0.4158 \text{ Kw} = \dot{W}_I \text{ (Potencia indicada).}$$

- CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELECTRICO QUE ALIMENTA EL COMPRESOR :

Considerando una eficiencia mecánica del 95% = η_m .

$$m = \frac{\overset{\circ}{W}_I}{\overset{\circ}{W}_F} \quad \rightarrow \quad \overset{\circ}{W}_F = \frac{\overset{\circ}{W}_I}{\eta_m} = \frac{0.4158 \text{ Kw.}}{0.95}$$

$$\overset{\circ}{W}_F = 0.4377 \text{ Kw.}$$

- BALANCE ENERGETICO :

$$\overset{\circ}{W} = - \overset{\circ}{A}H + \overset{\circ}{Q} \quad \text{Como: } \overset{\circ}{Q} = 0$$

$$\overset{\circ}{W} = - \overset{\circ}{A}H$$

$$\overset{\circ}{W} = - 5.96 \text{ Kcal/min} \times \frac{1}{60} \times 4.186 = - 0.4158 \text{ Kw.}$$

- ELECCION DEL TAMAÑO DE LAS CAÑERIAS PRINCIPALES DE AIRE.

Podemos realizar esta elección de dos maneras :

- 1) La manera analítica y
- 2) Empleando directamente las tablas 1,2 y 3.

En cualquiera de los dos casos, los datos son la cantidad de aire libre tomada y la presión de trabajo.

1) Siendo: La relación de compresión "r"

$$r = \frac{P_2}{P_1}$$

P_1 = Presión absoluta a la entrada del compresor.

P_2 = Presión absoluta a la salida del compresor.

$$\overset{\circ}{V}_2 = \frac{\overset{\circ}{V}_1}{r}$$

$\overset{\circ}{V}_1$ = Caudal de aspiración en m³/min.

$\overset{\circ}{V}_2$ = Caudal de aire comprimido que sale del compresor.

Todo esto para un proceso isotérmico.

Luego: El diámetro interior de la tubería se calcula con la siguiente fórmula.

$$d = \sqrt[4]{\frac{\overset{\circ}{V}_2}{60 \times 3.14 \times C}} \times \frac{100}{2.54}$$

$$d = 5.74 \sqrt[4]{\frac{\overset{\circ}{V}_2}{C}}$$

Siendo: $\overset{\circ}{V}_2$ → En m³/min.

C → En m/seg. (Velocidad del aire)

d → En pulgs.

$$\text{Para nuestro caso: } d = 5.74 \sqrt[4]{\frac{0.13 \text{ m}^3/\text{min.}}{6 \text{ m/seg.}}} = 0.845 \text{ pulg.}$$

2) La segunda manera de calcular el diámetro es mucho más rápida y práctica utilizando las tablas que se dan a continuación :

- Entramos a la Tabla 1 con el valor de la presión de trabajo ($P_2 = 4.6$ bar), que como podemos apreciar no se halla en la Tabla de que disponemos.

- Con el valor de la presión de trabajo y el dato del caudal que se aspira, determinamos el caudal de salida del compresor en la Tabla 2.
- Por último entramos a la Tabla 3, Escogiendo adecuadamente la velocidad del aire (de ser posible, en especificaciones de fabricantes) determinamos finalmente el diámetro interno de la tubería.

Como recomendación puede tomarse para todo fin práctico una velocidad de 6 m/seg. La experiencia indica que esta velocidad es lo suficientemente baja para evitar una excesiva caída de presión en la mayoría de los sistemas.

Para nuestro caso, utilizando solamente la Tabla 3, entramos con una velocidad de 6.096 m/seg. y con un volumen de aire comprimido de 0.13 m³/min., determinamos un diámetro interior de cañería entre 3/4" y 1" que es coherente con la determinación analítica.

- CAIDA DE PRESION EN UN SISTEMA DE TUBERIAS DE AIRE :

1) Se puede emplear la siguiente fórmula :

$$\Delta P = f \cdot V^{1.85} \cdot L/d^5 \cdot P_m.$$

Donde :

ΔP = Caída de presión en bar.

f = Factor de rozamiento, para el aire 500.

L = Longitud de la tubería en M.

d = Diámetro interno de la tubería en mm.

Pm = Presión media absoluta en bar.

La longitud de la tubería se aumentará para compensar la caída de presión por conexiones y acoplamientos (se adjunta tabla).

- 2) Además de la fórmula, anterior se puede utilizar el nomograma de caída de presión (Diagrama adjunto).

Lo mismo hay que considerar las fugas existentes en la red de tuberías. Para un ejemplo del gasto de aire por tamaño de las fugas a 6 bar se da la siguiente tabla.

Diámetro de Agujero (En mm)	Fuga de aire a 6 bar(lt/s.)	Potencia necesaria para su compresión (Kw)
1	1	0.3
3	10	3.1
5	27	8.3
10	105	3.3

Lo mismo las máquinas perforadoras, motores, etc. de aire se debe sumar al consumo especificado por el fabricante y multiplicando en el caso de las perforadoras según la tabla siguiente:

CANTIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	25	50	70
FACTOR	1	0.9	0.9	0.85	0.82	0.8	0.77	0.75	0.72	0.69	0.63	0.55	0.51	0.47

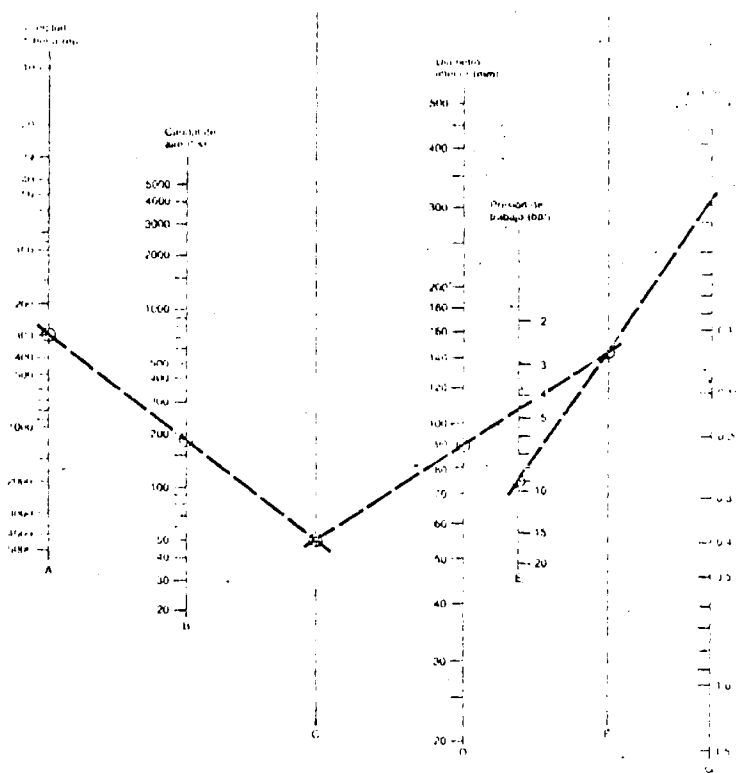
Y además considerar el aumento de aire que se necesita para máquinas de percusión según diagrama adjunto.

Conclusiones y Recomendaciones

- Conforme se hace menor el índice politrópico "n" la temperatura de salida también es menor. De la misma manera el calor y el trabajo están en función directa de "n".
- Luego en función de la determinación de la temperatura de salida se puede calcular el índice politrópico "n" ó de lo contrario con el diagrama indicado.
- Para calcular la eficiencia volumétrica real, necesitamos conocer la capacidad del compresor (ó cantidad real de gas entregada) la cual se mide con un Pitot ó una caja con orificio.
- Un compresor a mayor altitud sobre el nivel del mar tiene menor rendimiento tanto por la deficiencia que se da en el volumen de aire aspirado como por la menor presión a la que ocurre la descarga.
- La capacidad necesaria de un compresor está en función generalmente -- del tamaño del trabajo y el tiempo para terminarlo. Igualmente las condiciones del lugar, si el trabajo se limitara a una zona en particular ó a varias determinará si se requiere una Planta central estacionaria de aire comprimido ó si es preferible unidades portátiles.

Diagrama 6-16. Nomograma de caída de presión

Usar la longitud de tubería (A) con el caudal de línea (B) y prolongar hasta la línea C. La intersección con la línea G, se une luego con el diámetro de tubería (D) y se prolonga hasta la línea F. Girando sobre esta última intersección una línea de trabajo (L) con la escala G y leer la caída de presión.



19.2.2 Herramientas de percusión

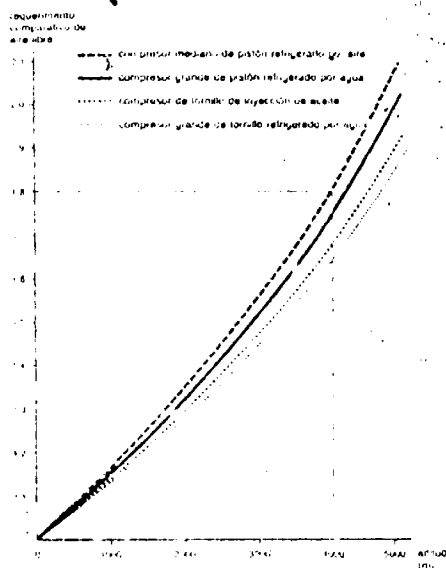
En la práctica, el funcionamiento de una perforadora depende solamente de la presión efectiva. Para mantener una presión efectiva suficiente, se necesita una masa de aire que sea constante.

La masa de aire es medida por el compresor, esta en función del aire libre suministrado y de la densidad de la atmósfera, como la densidad de aire varía con la altitud, la capacidad expresada en kg/s disminuye también.

Para poder mantener constante la masa de aire requerida por la perforadora, al aumentar la altitud hay que aumentar el caudal de aire que se suministra.

El diagrama 19.3 nos muestra comparativamente el aire libre requerido para mantener el rendimiento de una perforadora igual que al nivel del mar.

Diagrama 19.3. Requerimientos comparativos de aire libre para un rendimiento constante de la perforadora.



Ejemplo. Un compresor mediano de pistón refrigerado por aire se va a utilizar a 3 000 metros de altitud. La capacidad del compresor debe de ser 1.8 veces la requerida al nivel del mar. Si la capacidad del compresor es inferior a la requerida, la perforadora seguirá trabajando, con un rendimiento inferior.

Muchas veces es recomendable combinar unidades estacionarias con portátiles para optimizar la eficiencia.

- En el caso de los compresores de trabajo continuo, como son los rotatorios, generalmente no se requiere un receptor de aire para emparejar la distribución ó reducir las pulsaciones como en el caso de la unidad de pistón.
- El enfriamiento por agua es preferible a la de aire en los casos en que la temperatura del ambiente sea bastante alta. También hay que tener en cuenta que el aire frío y los climas fríos crean problemas para los compresores, es más la congelación puede empezar a los 10°C sobre cero en lugares bastante altos.
- Las compresoras de pistón son las más difundidas. Las hay que trabajan más de treinta años, refrigeradas por agua ó por aire. En ciertas condiciones de operación no son competitivas; por la presencia de aceite en el aire, la necesidad de un tanque para reducir las pulsaciones, la carbonización de sus válvulas, requiere un anclaje mucho más laborioso y costoso, por otro lado soporta sobretemperaturas.
- Las compresoras rotativas de paletas, son muy sencillas y eficientes, no tienen válvulas y el movimiento rotativo no produce vibraciones. Las paletas se desgastan en el punto de contacto con el estator en tiempo muy corto.

- Las compresoras de tornillo son las más recientes, no tienen válvulas de salida, las hay húmedas ó con baño de aceite y secos, no producen vibraciones, bajo nivel de ruido, flujo contínuo de aire.
- El diámetro calculado para la tubería coincide con el diámetro del pequeño tramo de tubería de nuestra compresora.

-.-.-.-.-.-

EXP. VI SELECCION DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

A) DATOS :

1) Bomba

- 1.1. Una unidad requerida.
- 1.2. Tipo: Motobomba gasolinera
- 1.3. Tipo de servicio: Intermitente - 2 hrs/día.

2) Características del líquido

- 2.1. Líquido : Agua limpia.
- 2.2. Temperatura : 26°C.
- 2.3. Gravedad específica : 1
- 2.4. PH = 7

3) Condiciones de Operación.

- 3.1. Caudal : 4 lts/seg.
- 3.2. Altura manométrica total :
 - Altura de succión : $H_s = 1.66$ metros.
 - Altura de descarga : $H_d = 6$ metros.
 - Pérdidas por fricción.

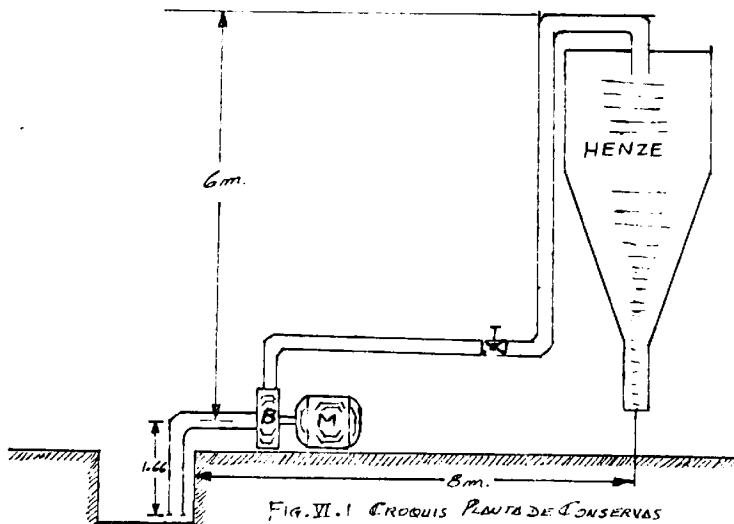
Succión

Diámetro tubo = 2"
Material = Fierro negro
Longitud de tubería = 4 mts.
Número de codos = 1
Válvulas = ninguna.

Descarga

Diámetro tubo = 2"
 Material = Fierro negro
 Longitud de tubería = 14 metros
 Número de codos = 4
 Válvulas = 1

- Altura sobre el nivel del mar : 300 metros.
- Motor : Gasolinero
- Velocidad : 3000 RPM preferible.
- Requerimientos especiales: ninguno.



B) DETERMINACION DE LA ALTURA MANOMETRICA TOTAL (H)

$$H = H_s + H_d + F_s + F_d + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \quad \text{-----} \quad (I)$$

H_s y H_d — Alturas estáticas de succión y de descarga.

F_s y F_d — Pérdidas por fricción en la succión y en la des
carga.

$\frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$ — Carga de velocidad.

Entre los valores que nos faltan determinar :

Pérdidas en la succión (F_s)

Del diagrama de pérdidas N° 4, para $Q = 4$ lts/seg. y $D = 2''$
se determina 10 metros de pérdidas por fricción, por cada 100
metros de tubería, luego para 4 metros de tubería de succión,
la pérdida es = 0.4 metros.

Del mismo diagrama $V_s^2/2g = 0.16$

Calculamos pérdida en el codo de 90° de radio largo y conexión
roscada (Diagrama N°6). Para $D = 2''$ sale $K = 0.4$.

Luego:

$$h = K \times \frac{V_s^2}{2g} = 0.4 \times 0.16 = 0.064 \text{ metros}$$

F_s = Pérdida lineal, en la tubería + pérdida secundaria, en el
codo.

$$F_s = 0.4 + 0.064 = 0.464 \text{ metros.}$$

PERDIDA EN LA DESCARGA (F_d)

- Pérdida en la tubería = 1.4 (Para 14 metros de tubería de -

descarga, ya que en 100 metros de tubería la pérdida es de 10 metros, según diagrama).

- Pérdida en los codos = $4 \times 0.064 = 0.256$ (ya que el diámetro de descarga es el mismo que en la succión).
- Pérdida en la válvula = (Para 2", válvula de globo, roscada . $K = 7$). Del diagrama N° 5.

$$h = K \frac{Vd^2}{2g} = 7 \times 0.16 = 1.12$$

Luego :

$$Fd = 1.4 + 0.256 + 1.12 = 2.776.$$

CARGA DE VELOCIDAD.

$$\frac{Vd^2}{2g} = \frac{Vs^2}{2g} = 0.16 \text{ metros}$$

ALTURA DE SUCCION . $Hs = 1.66$ metros.

ALTURA DE DESCARGA. $Hd = 6$ metros.

Luego : De (1) la altura manométrica total será.

$$H = 1.66 + 6 + 0.464 + 2.776 + 0.16 - 0.16$$

$$H = 10.9 \text{ metros.}$$

C) DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE SUCCION (N.P.S.H. DISPONIBLE)

NPSHd = Presión atmosférica en metros - Hs - Fs - Presión de vapor del líquido.

- Presión atmosférica = 10 metros, para 300 metros sobre el nivel del mar. (De tablas).
- Presión de vapor: a 26°C de temperatura se debe descontar - 0.323 metros. (De tablas).
- Hs = 1.66 metros, de croquis.

Luego:

$$\text{NPSHd} = 10 - 1.6 - 0.464 - 0.323 = 7.553 \text{ metros.}$$

Siempre se debe cumplir:

$$\text{HPSHd} \geq \text{NPSH}_R$$

D) DETERMINACION DE LA BOMBA.

Para una altura manométrica $H=10.9$ metros, caudal $Q = 4$ lts/seg, velocidad $v = 3000$ RPM y habiendo asumido un diámetro de 2" Seleccionamos la motobomba C2C - 3G, que implica una bomba de 2" en la succión y la descarga con un motor de 3HP. En el mismo diagrama N°3, podemos apreciar que a esta motobomba le corresponde un impulsor de 110 m.m. de diámetro y una luz de 0.4 mm.

E) MATERIAL.

Como el fluido es agua limpia ($\text{PII} = 7$), indica materiales de accesorios normales, como la bomba de fierro fundido y el impulsor de bronce.

Conclusiones y Observaciones.

- Como podemos apreciar en las curvas correspondiente: A 3000 RPM para $H = 10.9$ metros, resulta un caudal aproximado de 5.5 lts/seg. O para un caudal de 4 lts/seg, a 3000 RPM se dispone de una altura manométrica $H = 14$ metros. O en su defecto para lo requerido - que es $Q = 4$ lts/seg y $H = 10.9$ metros., es suficiente que el motor trabaje aproximadamente a 2700 RPM.
- Lo mencionado en el punto anterior significa que no estamos efectuando una selección con una óptima eficiencia. Sin embargo se ha querido limitar la selección de la bomba centrífuga a los Modelos C2C - 3G y C2C - 5G, por ser los modelos de bomba que disponemos en las Plantas Piloto.
- Esto permitiría, seleccionar y comprobar que la motobomba cumpla con los parámetros seleccionados, por parte del estudiante.
- Y en el caso específico de la bomba seleccionada, el poder llevar los diferentes parámetros, como : Q , H , RPM, H_s , a su valor óptimo; para que la motobomba trabaje con su eficiencia adecuada.

.-.-.-.-.-.

EXP. VI. SELECCION DE UNA BOMBA DE PROFUNDIDAD.

A) DATOS

- Diámetro del pozo = 12"
- Profundidad = 60 metros.
- Nivel estático = 18 metros.
- Nivel dinámico = 34 metros.
- Número de unidades = 1
- Servicio = 12 horas continuas por día.
- Líquido = Agua.
- Caudal = 40 lts/seg.
- Altura manométrica total = Se efectúa el cálculo respectivo.
- Altura sobre el nivel del mar. = 300 metros.
- Motor = Eléctrico, para 220/3/60.

B) DETERMINACION DE LA ALTURA MANOMETRICA TOTAL:

Se desea llevar el agua a una piscina para riego ubicada a una distancia horizontal de 15 metros y a una altura con referencia a la bomba de 6 metros. Para ello requerimos en la descarga una válvula y 3 codos de 90°.

Luego:

$$H = H_s + H_d + F_s + F_d \text{ ----- (I)}$$

Las cargas de velocidades se desprecian.

Hs = Altura del nivel dinámico = 34 metros.

Hd = 6 metros.

Fs = No se toma en cuenta, pues es suministrada con la misma bomba

Fd = Para un tramo de tubería en la descarga de 23 metros

- Pérdida en la tubería = 0.805 mts. (Para 23 metros de tubería de descarga ya que en 100 metros de tubería la pérdida es de 3.5 metros, según diagrama N°4, para Q = 40 lts/seg y D = 6". Del mismo diagrama $\frac{Vd^2}{2g} = 0.23$.)

- Pérdida en los codos = $3 \times 0.0391 = 0.1173$ (Del diagrama N° 6, para codo de 90° de Radio largo y conexión embreada. Para D = 6" sale K = 9.17).

$$\text{Luego: } h = K_1 \frac{Vd^2}{2g} = 0.17 \times 0.23 = 0.0391.$$

- Pérdida en la válvula = 0.023 mts. (Para 6", válvula de compuerta, embreada. $K_2 = 0.1$, del diagrama N°5).

$$h = K_2 \frac{Vd^2}{2g} = 0.1 \times 0.23 = 0.023$$

$$\text{Luego: } Fd = 0.805 + 0.1173 + 0.023 = 0.9453$$

De (I) : La altura manométrica total será :

$$H = 34 + 6 + 0 + 0.09453 = 40.9453 \text{ metros.}$$

$$H = 40.95 \text{ metros.}$$

C) DETERMINACION DEL MODELO DE BOMBA.

Como : $Q = 40 \text{ lts/seg.} = 634 \text{ G.P.M.}$

$H = 40.07 \text{ metros} = 131.4 \text{ pies.}$

De la Tabla 2 - 310 - 3, la bomba 10 G cumple con el caudal, además el diámetro interior mínimo preferido del pozo es de 12", tal como el que contamos.

Luego buscamos la curva específica, para bombas 10"G, que es la N° 200172 y observamos que para 634 GPM la más eficiente es con impulsor M (78.5%), luego la bomba más conveniente es la 10 GM.

Del mismo gráfico se determina, para la curva M 34.5 pies por impulsor.. Como necesitamos elevar 131.4 pies, requeriríamos $131.4 : 34.5 = 3.8$ impulsores ó sea 4 impulsores. En consecuencia el cuerpo seleccionado con impulsores es 10 GM - 4.

Luego :

Eficiencia = 78.5%

HP por etapa = 7.5 , para 4 etapas : $7.5 \times 4 = 30 \text{ HP.}$

HP bomba = 30

D) DETERMINACION DE LA LONGITUD Y DIAMETRO DE LA COLUMNA EXTERIOR E INTERIOR.

Longitud: Se determina, según el nivel dinámico.

N.D. = 34 metros = 111.5 pies que es la misma para la exterior e interior.

Diámetro de eje. - Del cuadro 2 - 310 - 4, se observa que para el modelo 10G, corresponde un diámetro de 17/16 que para los 1770 RPM que indica el gráfico 20017Z en su leyenda se puede ubicar en la tabla 2 - 510 - Pág.3, para 17/16 de diámetro y 1760 RPM, el eje resiste 117 HP como mínimo, luego se selecciona eje de 17/16 de diámetro. También de la misma tabla tenemos :

Peso por pie = 5.52 libras.

Pérdida en el eje = 1.05 por 100

Empuje vertical para impulsar M.

K = 9.9 (De la curva 20017Z)

Empuje vertical = K x H + Peso del eje.

= 9.9 x 131.4 + 111.5 x 5.52 = 1916 LBS, la capacidad del eje para este empuje es de 135 HP, considerando 3000 LBS que es lo mínimo. (Tabla 2 - 510 - Pág. 3).

E) ELONGACION DEL EJE.

De la sección 2 - 510 - Pág. 4, para 1916 LBS y 17/16".

$$0.052 \times 1.115 = 0.05798$$

Este valor se debe comparar contra 3/8" = 0.375, de la sección

2 - 310 - 4, que representa la luz del eje. Siempre se debe tener una elongación del eje menor que la luz terminal axial para que la bomba gire sin dificultad.

F) DIAMETRO DE LA COLUMNA EXTERIOR.

Del gráfico 2 - 510 - PAG 1, para 634 GPM y determinando previamente la columna exterior (de la tabla 2 - 310 - 4, F) donde este diámetro es de 6", siendo los valores más usuales.

Determinamos :

6" x 2" Pérdida 8.5 por pie.

8" x 2" Pérdida 1.42 por pie.

Considerando que la pérdida para que resulte el diámetro más económico debe ser alrededor del 5% y tomando en cuenta que el diámetro más utilizado es de 6", seleccionamos 6" x 2".

Luego la pérdida por fricción es $8.5 \times 1.115 = 9.48$ pies.

= 2.89 metros, ó sea $F_s = 2.89$ metros que se le debe añadir a la altura manométrica ya que esta pérdida no había sido tomada en cuenta.

Luego : $H = 40.95 + 2.89 = 43.84$ metros = 143.8 pies.

Verificando : $143.8 : 34.5 \approx 4.1$ impulsor, que no varía la selección anterior.

G) NUMERO DE SEPARADORES DE JEBE.

Se debe considerar uno por cada 30 pies de columna, en este caso se requieren 3, la medida esta dada por el diámetro de la funda y el diámetro de la columna exterior, sería 2" x 6".

H) SELECCION DEL TUBO DE SUCCION Y CANASTILLA.

De la sección 2 - 310 - 4, G, para 10G la succión es de 8" de diámetro por lo tanto la canastilla es de 8" de diámetro también.

I) LUBRICACION.

Se selecciona lubricación por aceite, ya que es lo más recomendable.

J) LINTERNA DE DESCARGA.

Se tienen linternas 6 x 16 1/2 Gs, 10 x 20 Gs. Se escoge según diámetro de la columna exterior y diámetro A.

Para nuestro caso corresponde linterna 6 x 16 1/2 Gs.

K) MOTOR ELECTRICO.

Se suma fricción del eje más potencia de la bomba = 1.05×1.115
 $+ 30 = 31.17$ HP. Sobre esta potencia se debe tomar un f.s. = 1.15.

Luego el motor comercial deberá ser de 36 HP.

L) RESUMEN DE SELECCION DE LA BOMBA.

Tipo : 10 GM - 4

Diámetro del impulsor : Full diámetro.

Caudal : 634 GPM.

Velocidad : 1760 RPM.

Eficiencia : 78.5 %

Pies por etapa : $34.5 \times 4 = 138.0$ pies.

Potencia por etapa : $7.5 \times 4 = 30$ HP.

Fricción en el eje : 1.05.

Fricción en la columna : 9.48 pies.

Largo de columna de descarga : 111.5 pies.

Diámetro exterior máximo : 9 1/2 pulg. (2 - 310 - 4 - A).

BOMBA PARA POZO PROFUNDO (Medidas estandar).

CANTIDAD

DESCRIPCION

01	Bomba tipo 10 GM, de 4 etapas. Para ser conectada a eje de 17/16 y funda de 2". Con succión de 8" y descarga de 6".
04	Impulsores tipo M de \emptyset standar.
10	Tramos de columna exterior de 10' de 6".
02	Tramos de columna exterior de 5' de 6"
10	Tramos de columna interior de 10' de 17/16" x 2"
02	Tramos de columna interior de 5' de 17/16" x 2"

CAPITULO 6

DESARROLLO Y ADECUACION DEL "LABORATORIO DE ENERGIA III"

6.1 Manual de Experiencias del Curso de Laboratorio de Energía III.

A esta altura del Proyecto se presenta la tercera Guía Teórica-Práctica que comprende las experiencias a realizarse a partir de la Capacidad Instalada en las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes, en lo que respecta a "Evaluación de Maquinarias y Dispositivos Térmicos" principalmente.

LABORATORIO DE ENERGIA III

CONTENIDO

- I. Generadores de Vapor - Tratamiento de Agua.
- II. Balance Térmico de un Generador de Vapor - Análisis de Gases.
- III. Aislamiento Térmico - Tuberías y Pérdidas en Instalaciones con vapor.
- IV. Balance Térmico : Triturador Precaentador - Autoclave de Esterilización.
- V. Balance Térmico : Esfera de vacío - Recipientes de cocción.
- VI. Cámara de Refrigeración - El Mantenimiento en las Plantas Piloto.

I. GENERADORES DE VAPOR - TRATAMIENTO DE AGUA.

Objetivo.- Que el estudiante se familiarice con los aparatos térmicos denominados Generadores de Vapor o Calderas y con el funcionamiento de sus diversos componentes. Por otro lado, que se esté en condiciones, a partir de la experiencia de "Análisis de Agua" efectuada en el Curso I, de realizar el tratamiento externo e interno del agua de la Caldera así como cálculos en Unidades de ablandamiento de agua.

I.1 GENERADORES DE VAPOR

También llamados "Calderas". Inicialmente se desarrollaron las Calderas, Piro-tubulares, probablemente por la sencillez de su fabricación. Hasta 1,880 sólo se usaron calderas con hogares alimentados a mano y la presión del vapor no rebasaba de los 9 Kgs/cm²; la máxima cantidad de carbón que se quemaba era de 122 Kgs/m² de parrilla y hora, si se trataba de antracita; la superficie de calefacción no excedía de 84 m². Considerando que el costo de la energía era el menor de la producción, se dio poca importancia al rendimiento de la caldera, esta variaba entre 50 y 65%.

Posteriormente se introdujo el uso del hogar mecánico y de la caldera acuotubular, aumentando la presión hasta 14 Kg/cm². Entonces se advirtió la necesidad de obtener potencia más barata y empezó a aumentarse la presión y la temperatura. Las presiones han llegado hasta 100 Kg/cm² y las temperaturas hasta 500 °C (algunas instalaciones de vapor de mercurio trabajan con esta temperatura). Los rendimien-

tos han aumentado principalmente por la recuperación del calor (economizadores y calentadores de aire), hasta un 85%. En el caso de las grandes calderas para Centrales Termoeléctricas se encuentran presiones hasta de 350 Kg/cm² y capacidades de hasta 400,000 Kg/hr.

El gran impulso y auge que tiene hasta la actualidad la utilización tanto en Plantas Térmicas como en diferentes procesos industriales hacen de la sustancia y por lógica consecuencia de su unidad generadora (Caldera) un elemento importantísimo.

Definición.- Un generador de vapor o caldera es un aparato térmico cuya finalidad es convertir el agua en vapor, mediante transferencia de calor, a una presión y temperatura previamente determinada. Este cambio de estado es producido por el aprovechamiento del calor producto de una combustión; generalmente es un proceso a presión constante.

Componentes Principales.-

- 1) Hogar o Cámara de fuego o Cámara de Combustión. Donde se realiza la combustión del combustible.
- 2) Cámara de Agua. Volumen físico ocupado por el agua en sus fases líquida y vapor.
- 3) Conducto de Humos. O de Gases de Combustión.
- 4) Equipo Accesorio. Conjunto de Equipos e Instrumentos que complementan el funcionamiento de la caldera. Tales como sopladores de hollín; desviadores de gases; Bombas de agua, indicadores de nivel; termómetros; manómetros; válvulas de seguridad; etc.

Superficie de Calentamiento. - Son las superficies de las Calderas que en un lado están en contacto con el agua y por el otro lado reciben calor de los gases de combustión.

Clasificación. - Las calderas se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios :

- Uso : Pueden ser estacionarias, móviles, marinas, para calefacción (agua caliente que no llega a la temperatura de vaporización).
- Presión de Trabajo : De baja presión, utilizadas en hospitales, industrias pequeñas, calefacción, baños turcos, etc., principalmente se usan pirotubulares; de alta presión, utilizadas en grandes industrias, generalmente acuotubulares y se les denomina calderas de potencia; de presiones supercríticas, utilizadas principalmente para turbinas a vapor, principalmente en el extranjero.
- Material de Fabricación : De acero, de hierro colado, etc. También hay pequeñas calderas de tubos de cobre, para destilación.
- Forma y posición de los tubos : Horizontales, totalmente sumergidos en agua; verticales, tienen parte sumergida en vapor; de tubos rectos; de tubos doblados, etc.
- Tipo de combustible : Sólidos (carbón, bagazo, basura); líquidos (petróleo liviano; petróleo pesado con precalentador, calefactores, etc.); gases (natural o elaborado).
- Sistema de circulación : Natural, se basa en el principio de diferencia de densidades; forzado, utiliza bombas para líquido y vapor.
- Contenido de los tubos: a) De tubos de fuego o pirotubulares. b) De tubos de agua o acuotubulares.

Generador de Vapor Piro-tubular

Los gases de combustión fluyen por el interior de los tubos del caldero y por el exterior a éstos se encuentra el agua; todo esto contenido en la carcasa. Este tipo de generadores de vapor presenta la ventaja de ocupar un espacio mínimo, - la circulación es simple, facilidad en cambio de tubos ya - que generalmente son de la misma dimensión. Como detalles desfavorables podemos notar que están limitados por su presión y capacidad; limitada eficiencia en cuanto a absorción de calor ya que el área expuesta a radiación es pequeña; su cámara de combustión es de dimensiones fijas lo que no permite cambio de combustible; presión máxima de 250 psi.; poca capacidad de producción de vapor, hasta 12,000 lbs/hr. En estas calderas se define como "pase", al recorrido de los gases de combustión a lo largo de la caldera.

Los calderos de tubos de fuego se fabrican de acuerdo a la disposición de tubos horizontales y verticales. Estos calderos por su diseño ofrecen riesgo de explosión, por lo que se deben fabricar de plancha de gran espesor, lo que hace que la relación peso/capacidad, sea grande. (Ver figura I.1).

Generador de Vapor Acuotubular

El agua y el vapor están contenidos en los tubos, mientras que los gases se encuentran en el exterior de éstos; todo esto contenido en el interior de una carcasa.

Entre las ventajas que ofrecen este tipo de generadores de vapor, podemos notar que trabajan con presiones arriba de 150 psi.; capacidades por encima de 15,000 lbs/hr; se puede

aumentar su capacidad aumentando el número de tubos; el tambor no está expuesto al calor radiante del fuego; las proporciones de la cámara de combustión se pueden alterar según los requerimientos de combustible; todas sus partes son accesibles a limpieza, inspección, y reparación; su diseño general permite eficiencias de operación altas y se pueden llevar sobrecargas sin dañar el generador de vapor. Se les llama inexplosivas, porque la rotura de tubos en estas calderas es menos probable y si ocurriera sus consecuencias no son graves. Dentro de sus desventajas podemos señalar que su costo inicial es alto; dificultad de instalar un tubo entre dos tambores.

En este tipo de generadores los hay de :

Tubos rectos : Todos los tubos son de igual longitud.

Tubos doblados : Son más baratos, acceso a tubos un poco difícil; más amplitud de tabiques deflectores de gases calientes . (Ver figura I.2).

Transferencia de calor en los Tubos de la Caldera.- En las calderas el calor proveniente de la combustión se transmite al agua en sus fases líquida y vapor, a través de las superficies de calentamiento, por efecto combinado de conducción, convección y radiación; así tenemos que de los gases de combustión y la llama, las superficies reciben calor por radiación y convección, lo transmiten a través de sus paredes por conducción y luego al fluido del otro lado de la pared nuevamente por convección.

La conductividad de los fluidos es baja comparada con la de los metales, la caída de temperatura en la pared es prácticamente nula.

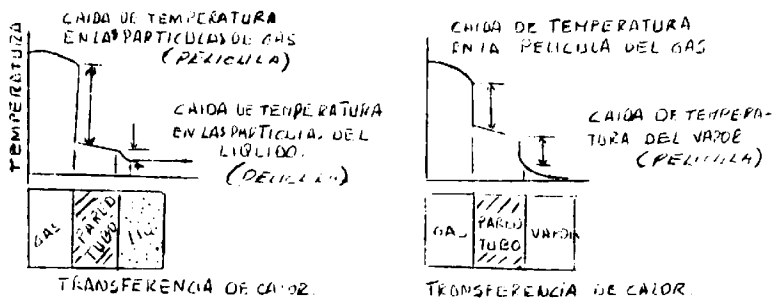


Fig. I.3 Variación de la temperatura a través de los tubos

Aprovechamiento de la Superficie de Calentamiento.- Desde que la transmisión de calor es la función primordial en las calderas, el área de la superficie de calentamiento y su disposición son importantes en el mejor aprovechamiento del calor generado por la combustión del combustible.

Con el objeto de apreciar el grado de aprovechamiento de las superficies de calentamiento se muestra la fig. I.4 y la fig. I.5 en las cuales puede observarse como va decreciendo la ganancia de calor con la disminución del salto de temperatura.

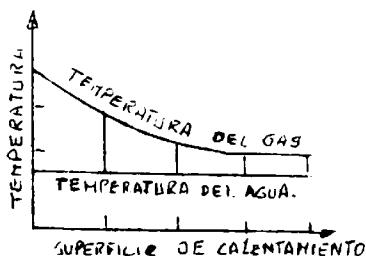


Fig. I.4 Variación de la temperatura a lo largo de la superficie de calentamiento.

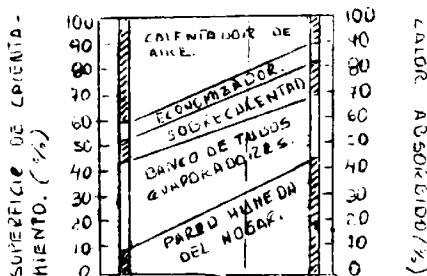


Fig. I.5 Aprovechamiento de las superficies de calentamiento en una caldera acotubular.

- Número de pases : Con el objeto de aprovechar al máximo el calor contenido en los gases de combustión para el calentamiento de agua y producción de vapor, se han ideado varios modelos en lo que respecta a la trayectoria que siguen los gases desde el quemador hasta la chimenea. Es así como hay calderos de 2,3 y 4 pases, es decir con 2,3 y 4 recorridos longitudinales de los gases calientes de los agrupamientos de los tubos del caldero. Los calderos de 2 pases son los de construcción interior - más sencilla. Una variedad de disposiciones o arreglos se usan para extraer el mayor calor de los gases de combustión durante el tiempo de paso relativamente corto; como son el impartir un vigoroso giro o turbulencia a la llama y gases de combustión. Los calderos de 3 pases, construidos por los diferentes fabricantes ofrecen características muy similares. Añaden un tercer pase de gases a costa de una mayor complejidad de su estructura interna. Requieren potencia extra en el ventilador de tiro mecánico, para mantener la velocidad de los gases calientes en este mayor recorrido. Pero el costo extra debido a la mayor cantidad de tubería, el dispositivo de cambio de dirección y el mayor caballaje del tiro mecánico se justifican por la mayor eficiencia obtenida.
- Desprendimiento de calor en la Cámara de Combustión : Como en las calderas, la eficiente transferencia de calor exige velocidad de los gases de combustión, y conforme es mayor el número de pases se requiere mayor caballaje de tiro mecánico para esto; sin embargo un simple incremento del tiro mecánico no es suficiente. Sin un sustancial in-

cremento del calor unitario liberado en la cámara de combustión, la temperatura de los gases desciende a valores inconvenientes en los últimos pases, pudiendo originarse condensaciones no deseables cuando el gas alcanza su temperatura de rocío. Para evitar los recalentamientos originados por el incremento del calor en la cámara de combustión, se aumentan las dimensiones y presión del horno con un correspondiente incremento del tiro mecánico.

- Pre-Calentadores : Con el fin de aprovechar mejor el calor de los gases a relativamente baja temperatura, se usan estos precalentadores para precalentar el agua de alimentación y el aire para la combustión.

Si bien un máximo aprovechamiento del calor de los gases de combustión es recomendable. Debemos tener en cuenta los efectos de una temperatura más baja de los gases de escape; que puede originar que al condensarse la humedad de los gases y mezclarse con el anhídrido sulfuroso y sulfúrico, producto de la combustión del azufre contenido en los combustibles, formen ácido sulfúrico y sulfuroso que son altamente corrosivos. Estos ácidos atacan los tubos de los precalentadores y la chimenea.

Un valor recomendable de temperatura de los gases para evitar la condensación de la humedad es 500 °F (262 °C) - aproximadamente, o sinó 50 °F (28 °C) por encima del punto de rocío del ácido sulfúrico.

Tipos de Quemadores de Petróleo.- Generalmente ningún combustible inflama ni quema, a menos que sea o se le convierta al estado gaseoso.

Los quemadores de petróleo, cuya función básica es atomizar el combustible y mezclarlo adecuadamente con aire para su encendido, son generalmente de dos tipos :

- a) Los que usan "aire o vapor", 75-150 psi a presión promedio para atomizar el petróleo, dispersándolo, dentro de la cámara de combustión en forma de una fina neblina de minúsculas gotitas.
- b) Los quemadores de petróleo de "inyección sólida" que fuerzan a pasar al petróleo a presión de 50-300 psi, a través de finísimos orificios que existen en la tobera atomizadora, dando lugar a una pulverización neblinosa del petróleo.

La viscosidad del petróleo desempeña un rol importante en la realización de una eficiente combustión. Los petróleos de grado 1 y 2, se usan primordialmente en quemadores de equipos de calefacción y de calderos de baja presión a temperatura natural. En cambio los petróleos de grados 5 y 6 requieren un adecuado "precalentamiento" antes de ser introducido al quemador para la atomización, lo cual se consigue calentándose a una temperatura alrededor de 130 °F (160 ssu) al N° 5 y 220 °F al N° 6.

Tiro mecánico - Ventiladores. - Para la combustión del petróleo y transmisión del calor a la superficie del caldero, se necesitan mantener adecuadas velocidades de circulación que ofrecen los gases calientes (70 pies/seg) venciendo la resistencia a su circulación que ofrecen los tubos, los cambios de dirección en los calderos de varios pasos, la caja de humo y el registro de la chimenea. Esto se consigue en los calderos de tubos de fuego automáticos, empleando "ventilado

res de tiro forzado" accionados eléctricamente, que absorben el aire del exterior y lo introducen al caldero suministrando así el aire necesario para la combustión e imprimiendo a los gases calientes la velocidad adecuada de circulación, es decir creando "el tiro" necesario por medio del ventilador, por lo que se llama "tiro mecánico", en lugar de emplear altas y costosas chimeneas que son necesarias para crear el "tiro natural".

Bombas de Alimentación de Aguas - Presiones y Temperatura de Operación.- La función básica de la bomba de alimentación consiste, en tomar el agua ya ablandada e introducirla a presión al caldero, venciendo las resistencias que se le oponen, como son :

- a) La diferencia de altura entre la succión y el punto de descarga al caldero.
- b) La fricción que le opone las tuberías, válvulas y accesorios instalados en la succión y descarga.
- c) La presión existente en el interior del caldero.

De todas estas resistencias, la mayor es la contrapresión dentro del caldero, siendo necesario pues que la bomba descargue el agua al caldero a una presión algo superior a dicha diferencia de presiones. Esta depende de la presión de trabajo del caldero y oscila entre 40 a 70 psi. Además su capacidad de alimentación debe ser alrededor de los 14 gpm/100 HP y deben operar en lo posible con agua blanda caliente, a una temperatura no mayor de 180 °F y con una carga hidráulica positiva total, no menor de 3".

Inyectores de Agua.- Por precaución, el Código de Seguridad

Industrial especifica que todos los calderos mayores de 100 HP deben ser alimentados por dos fuentes de energía distintas y cada uno debe ser capaz de alimentar por lo menos a razón de dos veces la capacidad media de evaporación del caldero; por tal motivo se usa en tales casos el "inyector de agua" con respecto al sistema de alimentación de bombas hidráulicas.

Funciona debido a que el vapor que lo alimenta, procedente del caldero al pasar a través de él, transforma parte de su energía creando un vacío en su interior que da lugar a una fuerte succión en su conexión de alimentación, venciendo las resistencias de las tuberías, accesorios y contrapresión del caldero.

Válvulas de Seguridad - Calibración. - Es un accesorio especial instalado en las calderas, que tiene por objeto eliminar los estados de sobrepresión de los calderos.

Éstas válvulas vienen a ser una "válvula de salida de emergencia" para disminuir la presión de vapor dentro del caldero, siendo el modelo más conocido el de tipo resorte.

Estas válvulas vienen ya de fábrica calibradas y selladas para que abran a una presión predeterminada que es 15 % mayor que la presión máxima de trabajo, siendo innecesario y además peligroso alterar esta regulación. En caso de operación "anormal" que se observara en este tipo de válvulas es conveniente hacerlas "recalibrar" por firmas especializadas, que puedan otorgar un Certificado de regulación oficial. Para verificar si están operativas deben accionarse a mano por lo menos una vez al día, levantando el disco de su asiento.

Válvulas Solenoides para Petróleo, Presostatos y Compensador de Viscosidad. -

- Válvulas Solenoides : Es una válvula de base ubicada en la línea de alimentación de petróleo del quemador, cuya característica es la de abrir o cerrar eléctricamente, comandada desde el programador electrónico, cuando han sido satisfechas las diversas secuencias de dicho control.
- Presostatos : Son elementos de control de operación de alto y bajo límite, que al ser accionados por el movimiento de un diafragma altamente sensitivo a las variaciones de presión, abre o cierra el circuito eléctrico del quemador de petróleo.
- Compensador de Viscosidad : Para subsanar la inconveniente viscosidad que puede tener el petróleo al llegar al quemador, debido a un inadecuado precalentamiento del mismo, se emplean los elementos denominados "compensadores de viscosidad" que son calentadores eléctricos para una eficiente atomización en la Cámara de Combustión.

PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL CALDERO

Para poner en funcionamiento el caldero, es necesario contar con ciertas reglas establecidas que dan los fabricantes, para lo cual se expone las siguientes :

- a. Revise el alineamiento del acoplamiento de la bomba de agua. El eje debe girar libremente, de lo contrario debe engrasarse por las dos graseras, y si no es suficiente - se aflojarán las tuercas de la prensaestopa.
- b. Abra las llaves de las tuberías de agua y combustible.
- c. Conecte la llave de alimentación eléctrica, verifique el sentido correcto de los motores de quemador y la bomba de agua. Si el nivel de agua del caldero está por debajo del nivel normal, la bomba arrancará automáticamente hasta llevar el agua a su nivel normal y se detendrá.
- d. Regule la presión de arranque y parada del caldero con el presuretol.
- e. Conecte el "Interruptor Panel". La luz de "Flame" del programador se encenderá durante cuatro (4) segundos y se apagará. Es la señal de prueba.
- f. Conecte la llave "Límite Manual". El motor de tiempo del programador parte simultáneamente con el motor del quemador.

Cierre a continuación la llave de paso al "Modufire" para llama baja.

- g. Cuando el reloj llega a "Pil Trial" debe producirse la chispa y encenderse la llama baja. Si la llama baja es correcta ábrase la válvula de paso al Modufire y el quemador pasará a llama alta.

Nota.- Una llama buena debe ser de color anaranjado claro y uniforme. Si se observa humo negro, es por exceso de petróleo y deberá abrirse más, la compuerta de aire. Si se observa humo blanco o llama muy compacta, clara y

brillante, es debido al exceso de aire, por lo tanto deberá cerrarse un poco la compuerta de aire.

- h. Debe hacer varias pruebas de arranque y parada antes de poner, el caldero en servicio. Si el caldero está completamente frío es preferible calentar con llama chica. El calentamiento en llama baja, tarda aproximadamente una hora.
- i. Debe probarse el funcionamiento de la célula fotoeléctrica, el programador, el control de nivel de agua, el control de límite de presión (Presuretol) y las válvulas de seguridad.
- j. Cumpla con las instrucciones de Mantenimiento y Precauciones.

Arranque Diario de Un Caldero.

- a. Controle el nivel de agua, abra las llaves de prueba de control de nivel para que entre aire al caldero.
- b. Abra las válvulas de alimentación de combustible y agua.
- c. Conecte la llave de interrupción principal del caldero.
- d. Conecte el interruptor panel.
- e. Conecte el interruptor límite manual del caldero.
- f. Espere que empiece a subir la presión. Cierre la llave de purga de aire.
- g. Espere que la presión suba al punto que ha sido regulado y que apague el quemador.
- h. Abra la válvula de vapor lentamente.

Parada Diaria del Caldero.

- a. Cierre la válvula de vapor.
- b. Desconecte el interruptor límite manual. Después de un corto período de post-purga, el motor del quemador se detendrá.
- c. Desconecte el interruptor panel.
- d. Cierre la válvula de combustible.

FORMATO TÍPICO PARA OPERACION DE CALDERAS

PARTE DIARIO

GUARDIA N°.....De..... Hrs. a hrs.....Fecha.....

Item N°	DESCRIPCION					
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
1	Se arrancó a horas.....					
2	Se paró a horas					
3	Paradas por fallas-Horas.....					
4	1ra Purga del Caldero,hrs.....					
5	2da Purga del Caldero,hrs.....					
6	3ra Purga del Caldero,hrs.....					
7	Se relleno el tanque de Bomba piloto					
8	Se probaron las Válv.de Seq...					
9	Limpieza de electrodos					
10	Limpieza de filtros de petróleo del Quemador					
11	Se varillaron los tubos del Caldero					
12	Se limpió el Calentador de Petrol.					
13	Se purgó la línea de petrol. antes de la parada					
14	Se chequearon las fajas del motor del Quemador					
15	En las conexiones del Caldero: Hubieron escapes de agua/vapor/ petróleo. Se eliminaron.					
16	Se limpió la boquilla del Quemador					
17	Se regeneró Ablandador de Agua					
18	Se controló el PH del Agua					
19	Se agregaron aditivos químicos					
20	Se controló la dureza del agua					

OBSERVACIONES

REVISADO

FIRMA DEL OPERADOR DE TURNO ING. DE MANTENIMIENTO

I.2 TRATAMIENTO DE AGUA

TRATAMIENTOS INTERNOS

Se entiende por tratamiento interno a la adición de sustancias químicas al agua una vez que ésta se encuentra dentro de la Caldera. Esto se realiza usualmente mediante un dosificador instalado en las proximidades de la caldera, de tal forma que una vez lleno y cerrado este dosificador, puede admitir el agua de alimentación a presión, forzándose de esta manera el ingreso del aditivo químico.

No resulta recomendable emplear el tratamiento interno en calderas con presiones mayores de 300 psi o con agua de alimentación con contenidos de sólidos superiores a 15 ppm.

El tratamiento interno debe hacerse en forma periódica, de acuerdo a los componentes o impurezas que resultan del análisis de agua y a la cantidad en que se encuentran éstos en el agua.

Algunas de las sustancias empleadas en tratamiento interno son :

- Carbonato de Sodio : Para precipitar el calcio.
- Aluminato de Sodio : Para coagular precipitaciones finamente divididas. También para precipitar el calcio y el magnesio.
- Fosfato de Sodio : Para precipitar el calcio.
- Hidróxido de Sodio : Para producir un PH alcalino y precipitar el magnesio.
- Sulfito de Sodio : Para completar la desoxidación.
- Coloides : Coloides protectores como el tanino y formas orgánicas reactivos para favorecer la decantación de sólidos

dos en suspensión.

- Acidos : Para controlar la alcalinidad. Se emplea comúnmente ácido sulfúrico.
- Fosfato Residual : Es uno de los más comunes actualmente, aplicados hasta 1,200 psi.
- Transport Plus : Es el más reciente avance tecnológico en tratamiento de agua de caldera. Se basa en el principio de transportar por la caldera todas las impurezas que ingresen, teniendo la caldera limpia, siendo su dosificación en función del ingreso de dureza y hierro.
- Acondicionamiento de Lodos - Dispersantes : Todo programa tipo precipitación forma lodos que pueden afectar tanto la limpieza de la unidad como la pureza del vapor. Los acondicionadores de lodos previenen o modifican la estructura cristalina evitando su adhesión y propiciando su extracción por las purgas. Los acondicionadores de lodos pueden ser teninos, ligmitos o almidones, se utilizan entre otros con los programas de fosfatos.
- Control de Depósitos de hierro : La prevención o remoción de hierro que ingresa a un caldero se hace por :
 - a) Tratamiento de condensados con aminos.
 - b) Filtración de condensados.
 - c) Tratamiento del agua de alimentación con polímeros dispersantes que alteran la carga eléctrica de la partícula de hierro, evitando su deposición.

TRATAMIENTOS EXTERNOS

Consiste en el ajuste de las características del agua de alimentación a las condiciones de operación de la caldera, constituyendo la parte más crítica del tratamiento total del agua, este ablandamiento.

Corrección con Cal y Sosa. - Consiste en una suavización en frío o en caliente y consiste en agregar sosa (Carbonato sódico) y cal (Hidrato de calcio). Produce un agua con una dureza bien baja.

Corrección con Fosfatos. - (PO_4) Se usa en tratamiento directo o como auxiliar en las depuraciones con cal y sosa en frío y en caliente. Se usa para obtener durezas inferiores que en el método anterior.

Evaporadores - Destiladores. - Se usa cuando se repone el agua a un ciclo de vapor (Rankine), entre el 1 al 4 % del total de agua por ciclo. Un vapor mantenido en trabajo moderado produce un vapor extremadamente puro. También es empleado en lugares donde no se tiene agua dulce y más bien se desaliniza agua de mar.

Corrección con permutita Sódica (Zeolita). - Tiene la propiedad de cambiar las bases cuando hay un agua dura entrando en contacto con la permuta, ésta cambia su base sódica por las bases cálcicas o magnésicas contenidas en el agua. La zeolita es una especie de arena natural.

Desmineralización. - Mediante una resina sintética de Na^+ , absorbe los cationes y aniones regenerados por ácido. Cambia el hidrógeno por Ca, Mg, presentes en el agua que lo atraviesa. Se regenera la resina, cuando está saturada, con sal

(Na Cl) en polvo. También se retiene mediante esta resina los sulfatos y bicarbonatos.

Ablandamiento con Resinas Cationicas.- Es un método muy utilizado actualmente y se basa en el principio de Intercambio Ionico.

Existen sustancias químicas que poseen la propiedad de intercambiar iones de sodio con iones de calcio, contenidos en el agua, de tal manera que se logra el efecto de una reducción de la dureza del agua.

SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DE AGUA CON RESINA Y VALVULA MULTIPORT

Características Del Ablandador

- Capacidad de Intercambio.- Es la cantidad total de dureza que puede absorber el ablandador sin necesidad de regenerar la resina. Se expresa en granos (grains) o su equivalente en otra unidad.
- Capacidad de Flujo.- Está determinada por el máximo flujo que puede pasar por la resina y depende del diámetro del reactor o aparato. Al hacer pasar un flujo mayor que el de diseño, el agua pasará con más dureza que la debida (dureza residual muy alta). La capacidad de flujo debe ser mayor que el consumo para poder almacenar el sobrante y usarlo en la etapa de regeneración del ablandador.

Descripción del Funcionamiento.

- Ablandamiento.- El ablandador contiene resina sintética cuyo objeto es transformar las sales que contienen calcio en sales de sodio que son fácilmente eliminables.

Como la resina debe soltar uno de sus componentes, sodio, se comprende que llegará el momento que se agote su capacidad. Se dice entonces que la resina está saturada y será necesario someterla a un proceso de regeneración.

Es importante saber el momento que se satura la resina a fin de proceder a su oportuna regeneración. Para esto es necesario, probar la dureza del agua tratada cierto tiempo especialmente al final de cada ciclo que varía entre 6 y 12 horas.

- Regeneración.- Consiste en hacer pasar una solución concentrada de salmuera por el tanque ablandador. El cloruro de sodio en contacto con la resina le deja el sodio y la resina suelta el calcio que absorbió durante el ablandamiento.
- Lavado.- Tiene por objeto eliminar los residuos de salmuera que queda dentro del ablandador, después del proceso de regeneración. Consiste en hacer pasar el flujo rápido durante unos minutos por la resina del ablandador.

Instalación.

El equipo debe instalarse cerca del tanque de agua blanda y de las máquinas a las cuales abastecerá. (Ver planos de instalación).

Conectar la línea de agua dura a la entrada de la válvula Multiport marcada en "IN".

Conectar la línea de agua blanda a la salida de la válvula Multiport marcada "OUT", pasando por el medidor de flujo.

La línea de salmuera va conectada a la entrada marca BRINE.

La presión máxima de la línea de agua dura debe ser de 40 psi (2.74 Kg/cm.2).

Contenido del Ablandador y Tanque de Salmuera

Hacer el medio filtrante del ablandador con 4 capas que grava de las siguientes características :

- 1a. Capa : grava de 1 1/8" Espesor de la capa : 3"
- 2a. Capa : grava de 1/2" Espesor de la capa : 3"
- 3a. Capa : grava de 1/4" Espesor de la capa : 3"
- 4a. Capa : grava de 1/8" Espesor de la capa : 1 1/2"
- 5a. Capa : resina.

Quando el ablandador va equipado con toberas no es necesario colocar grava. En ese caso se llena directamente la resina. Antes de colocar la capa de resina se debe llenar el reactor con agua para lavar la grava.

El tanque de salmuera también lleva un lecho filtrante igual a la 1a., 2a. y 3a. capa del ablandador.

Luego se llena sal común hasta un espesor de 12". En operación se debe mantener por lo menos 10" de sal.

Puesta en Funcionamiento y Regulación

La resina va generalmente para regenerar. En consecuencia - el primer proceso que se hace en la unidad es la regeneración de la resina.

Para iniciar el proceso CERRAR la válvula de descarga de agua blanda y seguir las siguientes etapas :

Fase 1. Lavado :

Colocar la válvula Multiport en posición 1, manteniendo la - válvula de salmuera cerrada.

Para llenar de agua el tanque de sal, abrir la válvula de salmuera.

Al arrancar el equipo por primera vez es necesario regular -

el flujo.

Para esto se afloja la contratuerca del pin posterior de la válvula Multiport y con el pin se regula el flujo de agua al desagüe de manera que su cantidad no haga salir la resina, lo cual se aprecia colocando un recipiente de losa o vidrio en la línea de purga que permite detectar la fuga de resina. Una vez encontrado el punto conveniente se ajusta la contratuerca.

Fase 2. Regeneración :

Colocar la válvula Multiport a posición 2 y abrir la válvula de salmuera. Para regular el flujo de salmuera se procede - como sigue :

Quitar el tapón del inyector de salmuera de la válvula Multiport, con un desarmador ajustar el flujo de salmuera de manera que el contenido del tanque se consuma en 15 minutos aproximadamente.

Una vez regulado el flujo, colocar el tapón.

Fase 3. Enjuague :

Cerrar la válvula de salmuera. La válvula Multiport sigue en la posición 2.

El proceso de enjuague debe durar tanto como sea necesario para que el agua que salga por la purga no contenga sal. Esto - se verifica con una prueba de sabor con la boca o el probador de dureza.

En cuanto el agua comienza a salir blanda termina esta etapa y el equipo está listo para entrar en servicio.

Fase 4. Servicio :

Abrir la válvula de salida de agua blanda, cerrar la válvula

de salmuera y colocar la válvula Multiport en posición 3. Al iniciar el servicio debe tomarse una muestra para comprobar que la dureza es cero.

Cuando se pone en servicio por primera vez una unidad, se registrará cada cierto tiempo la cantidad de agua procesada y su dureza. Esto permite determinar cada cuantos galones de agua y cada cuantas horas se hará la regeneración de la resina.

Dilución

Consiste en descargar una parte de agua con concentración de sólidos disueltos, concentrada en la caldera y reponer dicha cantidad de agua descargada con un agua de menor cantidad de sólidos, disueltos, para que se mezclen y obtener un agua en la caldera con la mínima concentración de sólidos disueltos.

Desaereación Térmica

El oxígeno aún en cantidades ínfimas, causa corrosión en líneas de alimentación, economizadores, interior de calderas, turbinas y líneas de condensado. La eliminación del O_2 y el CO_2 del agua de alimentación mediante el calentamiento de la mezcla (Agua + CO_2 + O_2), a temperaturas mayores de $110^\circ C$ y agitando dicha mezcla con la cual se separará el agua en estado de vapor del O_2 y el CO_2 , pudiendo eliminarse dichos gases mediante un condensado del vapor de agua.

CALCULOS EN UNIDADES DE ABLANDAMIENTO DE AGUA

A continuación se dan algunas pautas que permitirán el dimensionamiento de los Módulos de Ablandamiento de agua. Se

hace notar que los vapores dados son solamente referenciales ya que el diseño preciso sólo podrá realizarse conociendo - las características particulares de la resina a emplearse :

- Capacidad específica de procesamiento : 2 Galones de Agua Blanda por minuto por pie cúbico del recipiente ablandador.
- Capacidad de intercambio iónico de la resina : 25,000 granos/pie cúbico de resina.
- Agente de regeneración : Solución de Na Cl al 10 %.
- Peso de Na Cl requerido para la regeneración de la resina: 10 Lbs de Na Cl/pie cúbico de resina, es decir 160 Kg. de Na Cl/metro cúbico de resina-
- Flujo de regeneración : 1 Galón/minuto/pie cúbico de resina.
- Flujo de agua de lavado : 60 galones/pie cúbico de resina.

Ejemplo de Aplicación

Si consideramos que se requieren 100 galones/min. de agua blanda, teniendo el agua cruda una dureza de 250 ppm como Ca Co_3 .

De acuerdo al índice de 2 galones por minuto de agua blanda por pie cúbico del ablandador, vemos que para este caso requeriremos de un recipiente ablandador con un volumen de :

$$V = \frac{100 \text{ gls/min}}{2 \text{ gls/min/pie}^3} = 50 \text{ pie}^3 = 1.42 \text{ m}^3$$

Si se asume que este tanque tendrá una relación altura/diámetro de 2 a 1 , resulta :

- Diámetro : 96.7 cm
- Altura : 1.94 m.

El volumen ocupado por la resina deberá ser aproximadamente el 60 % del volumen del recipiente ablandador, por lo tanto, la carga de resina será de :

$$0.6 \times 50 = 30 \text{ pies}^3 = 0.852 \text{ m}^3$$

Por otro lado de acuerdo a las equivalencias, 250 ppm como Ca Co_3 equivalen a $250/17.1 = 14.6$ granos por galón. Luego siendo la capacidad de intercambio iónica de la resina de 25,000 granos por pie^3 de resina, para que se sature dicha resina deberá circular un volumen de agua de :

$$v = \frac{25,000 \text{ granos/pie}^3 \times 30 \text{ pie}^3}{14.6 \text{ granos/galón}} = 51,000 \text{ galones}$$

Es decir el tiempo que operará el ablandador entre dos regeneraciones consecutivas será de :

$$t = \frac{51,000 \text{ galones}}{100 \text{ gal./min}} = 510 \text{ min.} = 8.5 \text{ horas.}$$

Cada 8.5 horas deberá procederse a la regeneración.

Realmente, se observa que las dimensiones del tanque ablandador lo que hace es definirnos el tiempo entre regeneraciones. Si quisieramos prolongar ese tiempo lo que tendríamos que hacer es seleccionar un ablandador de mayores dimensiones. En general podemos decir que una regeneración por cada turno de trabajo resulta razonable.

El peso del Na Cl requerido por cada regeneración será de :

$$10 \text{ lbs de NaCl/Pie cúbico de resina} \times 30 \text{ pies cúbicos} = 300 \text{ lbs.} = 136 \text{ kgs.}$$

Estimado que 136 Kgs. ocupa un volumen de 0.136 m^3 , en solución al 10 % representará un volumen de 1.36 m^3 de solución.
= 359 galones.

Luego el tanque de salmuera deberá tener un mínimo de esta capacidad de almacenamiento. Podría seleccionarse un tanque de 1.5 m^3 de capacidad que podría ser de 1.1 m. de diámetro y 1.58 m. de altura.

Siendo el flujo recomendado de regenerante de 1 gln/min/pie³ de reserva, es decir de 30 gls/min para el caso que nos ocupa. La regeneración demorará un tiempo igual a $359/30 = 12$ minutos. Por otro lado si se considera una velocidad de 3 m/seg. para la salmuera en la tubería de alimentación, esta tubería resultará un diámetro de :

$$A = \frac{30 \text{ gls/min} \times 3.785 \text{ lts/gls.}}{3 \text{ m/seg} \times 60 \text{ seg/min} \times 10 \text{ dm/m}} = 0.063 \text{ dm}^2$$

De aquí : Diámetro = 2.83 cms. (1 1/4" aproximadamente)

Para el proceso de lavado, se requerirá un volumen de agua de 60 galones/pie³ x 30 pie³ = 1800 galones. Este volumen alimentado a razón de 1 galón/min/pie³ = 30 gls/min., nos de terminará un tiempo de lavado de 60 minutos.

Las tuberías de agua dura y blanda considerando una velocidad de 3 m/seg. Resultarán de :

$$A = \frac{100 \text{ gls/min} \times 3.785 \text{ lts/gln}}{3 \text{ m/seg} \times 60 \text{ seg/min} \times 10 \text{ dm/m}} = 0.2103 \text{ dm}^2$$

Diámetro = 5.17 cms = 2 pulgs.

En los esquemas adjuntos se muestran módulos de ablandamiento de agua. La primera de ellas de accionamiento manual y la segunda de accionamiento mediante válvula multiport.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Profesores UNI "Laboratorio de Ing. Mecánica II"
- Richardo: O'Guster S.A. "Calderas Industriales - Seminario".
- PROTERM - ING. MORI "Calderas Industriales - Seminario"
- G.R. GAFFERT "Centrales de Vapor".

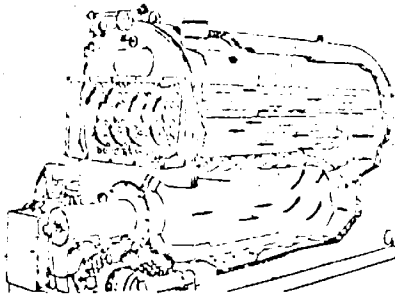
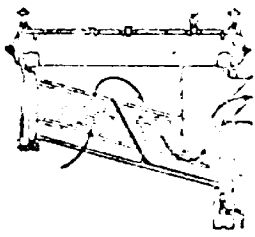


FIG I-1

Caldera de Tubos de Terceros de Terceros con fondo hundido

Caldera de Tubos de Terceros de Terceros con fondo hundido



Caldera de Tubos de agua de tubos verticales inclinados con fondo hundido

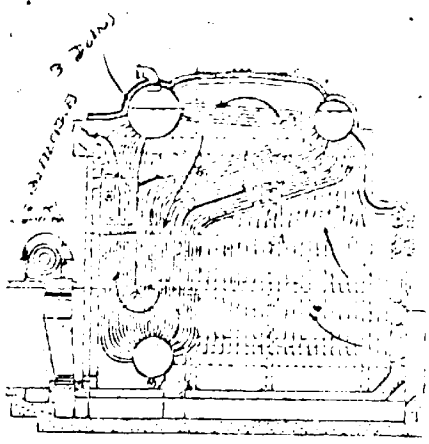


FIG I-2

Caldera de tubos de acero doblados, pueden tener dos, tres y algunas veces cuatro dobles, lo que le da flexibilidad y se adapta a aplicaciones con espacio limitado.

II. BALANCE TERMICO DE UN GENERADOR DE VAPOR - ANALISIS DE GASES

Objetivo.- Conocer las especificaciones de diseño y capacidad en la producción del vapor. Así mismo efectuar los cálculos para determinar el rendimiento y balance térmico de un generador de vapor.

Por otro lado, efectuar el análisis de los gases de escape del generador, con el dispositivo "ORSAT", de tal manera de poder complementar el balance térmico.

II.1 BALANCE TERMICO DE UN GENERADOR DE VAPOR

Introducción

Especificaciones de diseño y cálculo , de calderas a vapor. - Al procederse a la selección de una caldera, la información requerida en base a las cuales los fabricantes sugerirán el tipo más adecuado de caldera de acuerdo a las características de diseño y cálculos efectuados, es la siguiente :

- Presión de Trabajo : Es la presión establecida por el usuario, a la cual trabajará la caldera a condiciones normales de régimen.

- Presión máxima de trabajo : Es el valor máximo que puede alcanzar la presión dentro de la caldera en condiciones admisibles de seguridad.
- Temperatura de trabajo : Es la temperatura pre establecida por el usuario a la cual trabajará en condiciones normales de régimen.
- Temperatura máxima de trabajo : Es la máxima temperatura que puede alcanzar el vapor sobrecalentado, el vapor saturado o el agua (en calderas de agua caliente) en condiciones admisibles de seguridad.

Capacidad de producción de vapor. - Respecto de la capacidad de una caldera encontramos diversas formas de especificación, las cuales se detallan a continuación, definiendo además factores que concilian las diferentes especificaciones.

- a) Evaporación real de la caldera : Es la cantidad de vapor producido por la caldera en las condiciones de operación (presión y temperatura de vapor y temperatura de agua de alimentación).
- b) Evaporación equivalente : Es la cantidad de vapor producido por la caldera, si alimentáramos a esta con agua saturada a 100 °C (212 °F) y extraemos vapor saturado a 100 °C (212 °F) y 1 atmósfera (14.7 psia) de presión absoluta.

$$E_e = F \times m_{\text{vapor}} \text{ (Kg/hr)} \quad E_e = \frac{\Delta h_{\text{agua}}}{\Delta h_{\text{caldero}}} \times m_{\text{vapor}} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}}\right)$$

$$E_e = \frac{Q_1}{h_{\text{caldero}}}$$

- c) Factor de Evaporación : Es la relación entre la evaporación equivalente y la evaporación real. También se puede expresar como la relación entre la energía absorbida por el agua y vapor en la caldera y el calor latente de vaporización a 212 °F (100 °C). (Cambio de entalpía necesario para producir un HP de Caldera).

$$F = \frac{h_1 - h_2}{970.3 \left(\frac{\text{BTU}}{\text{LB}} \right)} = \frac{h_1 - h_2}{543.4 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right)}$$

h_1 y h_2 son las entalpías del vapor en la descarga y el agua de alimentación respectivamente.

- d) Caballo de Caldera : Cantidad de vapor capaz de dar a un motor de vapor un caballo de fuerza, este patrón hipotético es de 15.53 Kg/hr de vapor regenerado y a 100 °C.

$$\text{BHP} = 15.53 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}} \times 543.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 8437 \frac{\text{Kcal}}{\text{Hr}}$$

Es necesario aclarar que $h_{fg} 100 \text{ °C} = 543.4 \text{ Kcal/hr}$, donde se ha considerado necesario para generar este caballo de caldero una superficie de calefacción de 0.929 m^2 .

La potencia de caldera o caballo de caldera (BHP) se define como $33,475 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$ ($8,437 \text{ Kcal/HR}$) de transferencia de calor.

- e) Radiación Directa Equivalente (EDR) : Se define como la extensión de superficie capaz de emitir 240 BTU/Hr -- (60.48 Kcal/HR) con vapor a 215 °F (101 °C), en un cuarto con temperatura ambiente de 70 °F (20 °C).

$$1 \text{ BHP} = 1 \text{ EDR} \times 140$$

) Producción de Caldero : Es la relación existente entre la evaporación equivalente y la cantidad de combustible invertido.

$$P_v = \frac{E_e}{M_c}$$

Actualmente en nuestro medio se utiliza el BHP de caldera para su especificación cuando se trata de calderas de tubos de agua de baja capacidad. En las calderas de tubos de agua de gran capacidad y que se aplican a centrales termoeléctricas se prefiere la evaporación real garantizada.

Rendimiento y Balance Térmico de Calderas a Vapor.

- Rendimiento o Eficiencia de una Caldera (η) : Es la relación entre la energía absorbida por el agua (líquido y vapor) y la energía liberada por la combustión del combustible.

También se puede decir que es el porcentaje del poder calorífico del combustible que es cedido al agua.

$$\eta = \frac{\dot{M}_v (h_1 - h_2)}{\dot{M}_c \text{ p.c.}}$$

Donde :

- \dot{M}_v = Flujo de vapor
- \dot{M}_c = Flujo de combustible
- p.c = Poder calorífico del combustible (18,300 BTU/Hr , Petróleo Diesel)
- h_1 = Entalpia de vapor en la descarga
- h_2 = Entalpia del agua de alimentación

El rendimiento de una caldera no puede ser un valor fijo si no que varía entre límites muy amplios, dado que no hay - dos unidades que operen en idénticas condiciones o que den los mismos resultados.

- Balace Térmico : Ya sea para el cumplimiento de las condiciones de garantía o para efecto de un análisis que permita detectar por donde se dan las pérdidas de energía en el caso que no se esté alcanzando una adecuada eficiencia de la caldera.

A continuación se da el balance de energía de un generador de vapor. Si el rendimiento de la caldera fuera 100 % significaría el aprovechamiento de todo el poder calorífico - de combustible, sin embargo esto no es posible, por las pérdidas inevitables que se dan en la práctica y que están con sideradas en los cálculos de diseño. Por lo tanto en un - balance energético lo que se debe tener en cuenta es no su perar estos valores de pérdidas de diseño.

a) Energía perdida en los Gases de Escape. Es la energía que se llevan los gases que son descargados a altas tem peraturas, si es muy alta puede deberse a :

- Superficies de calentamiento sucias o incrustadas.
- Alta velocidad de los gases.
- Circulación pobre.
- Exceso de aire, alto.

b) Energía perdida (No producida) por Combustión Incompleta. El calor de formación del anhídrido carbónico (CO_2) es de 14,150 BTU/Lb mol, mientras que el monóxido de - carbono (CO) es 3,960 BTU/Lb mol, luego por cada Lb mol de carbono que no se quema se deja de generar 14,150 BTU

y si su combustión es incompleta (o sea formación de CO) se dejan de generar 10,190 BTU/mol.

Causas de combustión incompleta :

- Insuficiente suministro de aire
- Falta de turbulencia en el hogar
- Parrillas inadecuadas
- Enfriamiento del hogar a cargas bajas.

c) Energía perdida por Radiación y Convección al Medio Ambiente. Puede ser por :

- Aislamiento Insuficiente o deteriorado.
- Corriente de aire muy fuerte en la sala de calderas.

d) Energía perdida por presencia de humedad. Puede ser por humedad del combustible (especialmente en los sólidos); humedad del aire, y en el caso de combustibles hidrocarburos, humedad formada por la combustión del hidrógeno.

Criterios de Selección de Calderas.- Al seleccionar una caldera, se debe tener conocimiento de los requerimientos de vapor, de las condiciones exigidas de operación y de la ubicación. Los principales factores que influyen en la selección de una caldera son :

1. Requerimientos de vapor :

- Capacidad
- Presión
- Temperatura o calidad

2. Características de la carga

3. Localización y objeto de la instalación.

4. Tamaño de la o las unidades y tipo de calderas.

5. Tipo de combustible y disponibilidad - En este punto puede influir la ubicación geográfica.

6. Adicionalmente pueden ser tomadas en cuenta condiciones como :

- Operación segura y correcta con un mínimo de mantenimiento.
- Fabricación satisfactoria y entrega rápida.
- Facilidad de repuestos y servicios.

Con el objeto de dar una guía en la determinación del tipo de caldero de acuerdo a su capacidad y presión, se presenta el cuadro siguiente en el cual los rangos indicados son referenciales y de ningún modo establecen límites fijos en aplicación o tamaño.

BALANCE TERMICO

Objetivo.-Realizar el balance de energía de un generador a vapor, así como hacer un estudio de su performance considerando la importancia y difusión de este aparato térmico en hospitales, baños turcos, en diferentes tipos de industria y en plantas generadoras de energía eléctrica. Este balance térmico va a permitir efectuar las correcciones necesarias para un buen y eficiente funcionamiento de esta unidad.

Procedimiento a seguir

- Verificar nivel de agua en tanque de depósito.
- Verificar nivel de combustible en su tanque de depósito.
- Verificar nivel de agua en el interior del caldero.
- Purga mecánica del generador con válvula ubicada en la parte inferior-posterior.
- Accionar el interruptor de arranque en tablero de controles.

- Esperar que el caldero alcance régimen de funcionamiento.

Datos a obtener

- Temperatura de bulbo seco ambiental : T.B.S.
- Temperatura de bulbo húmedo ambiental : T.B.H.
- Temperatura del agua de alimentación : T_a
- Temperatura del combustible : T_c
- Temperatura de gases de escape : T_g
- Presión de salida del vapor : P_v
- Desnivel en tanque de combustible : Δ h_c
- Diferencia de presión, temperatura de vapor que sale.
- Tiempo en que suceden los desniveles de combustible : T_c
- Con analizador de gases : % CO₂ % CO, %O₂ .

Metodología del Cálculo

A.1 Determinación del Flujo de Vapor : (m_v)

Teniendo en cuenta que la instalación cuenta con un medidor de caudal del tipo orificio; es que podemos determinar el flujo de vapor que nos entrega el caldero, el cual ha sido calculado en :

$$m_v = 950 \frac{\text{Lbs}}{\text{Hr}}$$

A.2 Determinación del flujo de combustible : (m_c)

Teniendo en cuenta el desnivel del tanque de depósito del combustible : Δ h_c .

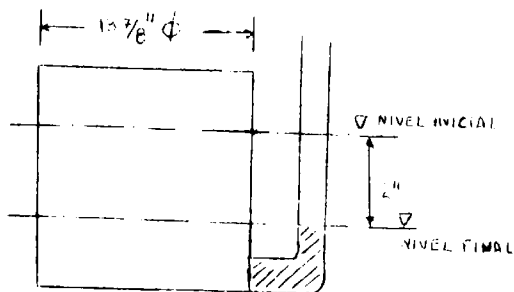


FIG. 1

Teniendo en cuenta la figura anterior.

Masa de combustible gastado : m_c

$$\rho_c = 54.6 \text{ Lbs/pie}^3 \quad (\text{densidad del petróleo DIESEL N}^\circ 2)$$

$$m_c = (\text{Area de tanque de combustible}) \times \Delta h_c \times \rho_c$$

$$m_c = \frac{\pi (D_c)^2}{4} \times \Delta h_c \times \rho_c$$

$$m_c = \frac{\pi \times (13.875)^2}{4} \times 1 \text{ pie} \times 2 \text{ / } \frac{1}{4} \times 54.6 \frac{\text{Lbs}}{\text{pie}^3} \times \frac{\text{pie}^3}{(12 \text{ pie})^3}$$

$$m_c = 9.55 \text{ Lbs}$$

Asi mismo esta masa de combustible (m_c) fue consumida en el tiempo (t_c) por tanto el flujo de combustible (\dot{m}_c) será

$$\dot{m}_c = \frac{m_c}{t_c} = \frac{9.55 \text{ Lbs}}{6.28 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{Hora}}$$

$$\dot{m}_c = 91.2 \text{ Lbs/hora}$$

donde :

$$t_c = 6.28 \text{ min.}$$

A.3 Análisis de los Gases de Escape

Datos obtenidos de analizador ORSAT

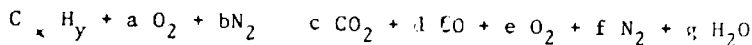
$$\text{CO}_2 = 12 \%$$

$$\text{O}_2 = 3.8 \%$$

$$\text{CO} = 0.4 \%$$

$$\text{N}_2 = 83.8 \%$$

Considerando la siguiente ecuación para una combustión incompleta :



Asimismo del analizador Orsat obtenemos que :

$$c = 12 \qquad d = 0.4$$

$$e = 3.8 \qquad f = 83.3$$

Considerando composición volumétrica del aire :

$$\text{Nitrógeno} : 79 \%$$

$$\text{Oxígeno} : 20.99 \%$$

$$\text{Por tanto} : \frac{b}{a} = \frac{79}{20.99} = 3.76$$

Efectuando el Balance de la ecuación de combustión :

$$* \quad x = c + d$$

$$x = 12 + 0.4 \quad \longrightarrow \quad x = 12.4$$

$$* \quad 2a = 2c + d + 2e + g \qquad (I)$$

Sabiendo que :

$$\frac{b}{a} = 3.76 \qquad a = \frac{b}{3.76}$$

$$a = \frac{83.8}{3.76} \qquad a = 22.2$$

De (I) :

$$* \quad g = 2a - (2c + d + 2e)$$

$$g = (2 \times 22.2) - (2 \times 12 + 0.4 + 2 \times 3.8)$$

$$g = 12.4$$

$$* y = 2g$$

$$y = 2 \times 12.4 \quad \longrightarrow \quad y = 24.8$$

* Relación de aire combustible ($r_{a/c}$) :

$$r_{a/c} = \frac{32 \frac{\text{Lbs}}{\text{Mol. O}_2} \times \text{Moles O}_2 + 28 \frac{\text{Lbs}}{\text{Mol. N}_2} \times \text{Moles N}_2}{12 \frac{\text{Lbs}}{\text{Mol. C}} \text{ Moles C} + 1 \frac{\text{Lb}}{\text{Mol. H}} \times \text{Moles H}}$$

.....II

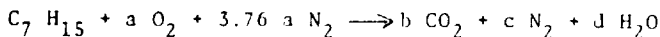
Teniendo en cuenta que un análisis en base volumétrica (como el que se efectúa con el ORSAT), es igual al análisis en base molar :

En (II) :

$$r_{a/c} = \frac{(32 \times 22.2) + (28 \times 83.8) \text{ lbs de aire}}{(12 \times 12.4) + (1 \times 24.8) \text{ Lbs de combustible}}$$

$$r_{a/c} = 17.60 \frac{\text{Lbs de aire}}{\text{Lbs. de combustible}}$$

DETERMINACION DE LA RELACION AIRE COMBUSTIBLE TEORICA



BALANCEANDO :

$$b = 7$$

$$15 = 2d \quad \longrightarrow \quad d = 7.5$$

$$2a = 2b + d \quad \longrightarrow \quad a = \frac{2b + d}{2}$$

$$a = \frac{2 \times 7 + 7.5}{2}$$

$$a = 10.75$$

$$= \frac{32 \times 10.75 + 3.76 \times 10.75 \times 28}{12 \times 7 + 15}$$

$$= 14.9 \frac{\text{Lbs aire}}{\text{Lbs.comb.}}$$

CALCULO DEL EXCESO DE AIRE

$$\% \text{ exceso aire} = \frac{(r_{a/c})_{\text{real}}}{(r_{a/c})_{\text{teórica}}} \times 100 - 100$$

$$\% \text{ exceso aire} = \frac{17.60}{14.90} \times 100 - 100$$

$$\% \text{ exceso aire} = 18.12 \%$$

1. - Cálculo del calor útil (Q_1) :

$$Q_1 = \frac{mv}{mc} (\Delta h)$$

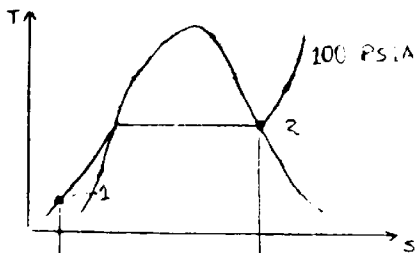


Fig II 2.

PROCESO EN EL GENERADOR DE VAPOR.

$$Q_1 = mv \times (h_2 - h_1)$$

Donde :

$$h_2 = h_g = 1187 \text{ Btu/Lb} \quad \text{De tablas de vapor (Tabla 1)}$$

$$h_1 = 38 \text{ BTU/Lb}$$

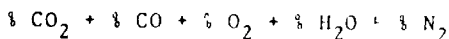
$$Q_1 = \frac{950 \frac{\text{Lbs}}{\text{Hora}} \times (1187 - 38) \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs}}}{91.2 \frac{\text{Lbs comb.}}{\text{Hora}}}$$

$$Q_1 = 1.196 \times 10^4 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. comb.}} = 11,960 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs de Comb.}}$$

2. - Calor perdido en gases de escape (Q_2) :

$$Q_2 = mg \times cpg \times (T_g - T_{BS}) \quad \dots \dots \dots (III)$$

Considerando los productos de la combustión :



Teniendo en cuenta solamente los humos o gases presentes de dichos productos : mg

$$mg = 44 (\% \text{CO}_2) + 28 (\% \text{CO}) + 28 (\% \text{N}_2) + 32 (\% \text{O}_2)$$

$$mg = 44 (\% \text{CO}_2) + 28 (\% \text{CO}) + 28 (100\% - \% \text{CO}_2 - \% \text{CO} - \% \text{O}_2) + 32 (\% \text{O}_2)$$

De donde se obtiene :

$$mg = [16 (\% \text{CO}_2) + 4 (\% \text{O}_2) + 2,800] \text{ Lbs de gases}$$

Asi mismo la cantidad de "C" presente en estos gases es :

$$C = 12 (\% \text{CO}_2 + \% \text{CO}) \text{ Lbs. de C.}$$

También se sabe que la composición del combustible en peso es :

$$85 \% \text{ C}$$

$$15 \% \text{ H}$$

Finalmente la masa de gases por libra de combustible será :

$$mg = \frac{16 (\% \text{CO}_2) + 4 (\% \text{O}_2) + 2,800 \text{ Lbs.de gases.}}{12 (\% \text{CO}_2 + \% \text{CO}) \text{ Lbs.de C.}} \times$$

$$\times 0.85 \frac{\text{Lbs. de C.}}{\text{Lbs. comb.}}$$

$$mg = \frac{4 (\% \text{ CO}_2) + (\% \text{ O}_2) + 700}{3(\% \text{ CO}_2 + \% \text{ CO})} \times 0.85 \frac{\text{Lbs. de gases}}{\text{Lbs. comb.}}$$

Reemplazando datos :

$$mg = \frac{4 (12) + 3.8 + 700}{3 (12 + 0.4)} \times 0.85$$

$$mg = 20.20 \frac{\text{Lbs. de gases}}{\text{Lbs. de Comb.}}$$

En (III) :

$$Q_2 = 20.20 \frac{\text{Lbs. gases}}{\text{Lbs. Comb.}} \times 0.24 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs} \times ^\circ\text{F}} \times (680 - 74) ^\circ\text{F}$$

$$Q_2 = 2939 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. Comb.}}$$

3. - Calor perdido por evaporación del agua de formación (Q₃)

$$Q_3 = 9H \left[1 \times (212 - T_c) + 970.3 + 0.46 (T_g - 212) \right] \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. C}}$$

Donde :

$1 \times (212 - T_c) \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs.}}$ = Elevación de temperatura del agua en formación hasta 212 °F

$970.3 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs.}}$ = Calor latente de vaporización del agua en formación

$0.46 (T_g - 212) \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs.}}$ = Elevación de temperatura del agua en formación desde 212 °F hasta la temperatura de los gases.

H = % en peso de hidrógeno/Lb de combustible (0.15)

9H = Cantidad de agua formada en fracción ponderal considerando que 1 Lb. de hidrógeno es capaz de formar 9 Lbs. de agua.

Entonces reemplazando datos tenemos :

$$Q_3 = 9 \times 0.15 \left[1(212-75) + 970.3 + 0.46(680-212) \right] \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. Comb.}}$$

$$Q_3 = 1785 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. Comb.}}$$

4. - Calor perdido por evaporación de humedad superficial del combustible : (Q_4)

$$Q_4 = (212 - t_c) + 970.3 + 0.46 (T_g - 212)$$

: w = cantidad de humedad/Lb de combustible

Q_4 solo es significativo en combustibles sólidos.

Por tanto : $Q_4 = 0$

5. - Calor perdido por combustión incompleta : (Q_5)

Teniendo en cuenta las siguientes reacciones químicas de combustión :

Reacción	Calor de Combustión (BTU/Lb. combustible)
$2 C + O_2 = 2 CO$	3,960
$C + O_2 = CO_2$	14.150

$$Q_5 = \frac{\% CO}{\% CO_2 + \% CO} \times (14,150 - 3960) \times 0.85 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. comb.}}$$

Donde :

$\frac{\% CO}{\% CO_2 + \% CO}$ = Cantidad porcentual de CO en los gases de escape con reacciones químicas de combustión de "C" y "O",

(14,150 - 3960) = Cantidad de calor en BTU al dejar de tener reacciones químicas a CO_2 y haber obtenido en su lugar reacciones químicas a CO.

0.85 = Porcentaje en peso de "C" presente en el combustible.

$$\frac{\frac{1}{8} \text{ CO}}{\frac{1}{8} \text{ CO}_2 + \frac{1}{8} \text{ CO}} \times 0.85 = \text{Cantidad de carbono convertido a CO por Lb. de combustible.}$$

$$Q_5 = \frac{0.4}{12.0 + 0.4} \times 0.85 (14,150 - 3960)$$

$$Q_5 = 280 \text{ BTU/Lba. combustible.}$$

6.- Calor perdido por carbón no consumido y se halla presente en las cenizas : (Q_6)

$$Q_6 = 14,150 \times \frac{W_a}{m_c} \times C_a$$

Donde :

W_a = Peso de ceniza recolectada por unidad de tiempo

m_c = Peso de combustible quemado por unidad de tiempo.

C_a = Peso de combustible en cenizas, es asumido como carbono.

$$Q_6 = 0$$

7.- Calor perdido al calentamiento de la humedad del aire ambiental : (Q_7)

$$Q_7 = M \times C_{pv} \times (T_g - T_{bs}) \text{ BTU/Lb. comb.}$$

M = Vapor de agua ambiental presente/Lb. de comb.

$$M = W \frac{\text{Lbs. de humedad}}{\text{Lbs. de aire}} \times r_{a/c} \frac{\text{Lbs. de aire}}{\text{Lbs. de combust.}}$$

Donde :

W = Relación de humedad con TBS y TBH en la carta
psicrométrica

$$Si = TBS = 74 \text{ } ^\circ F, TBH = 65 \text{ } ^\circ F$$

Entonces :

$$W = 0.019 \frac{\text{Lbs. de vapor de agua}}{\text{Lbs. de aire}}$$

$$M = 0.019 \frac{\text{Lbs. vapor de agua}}{\text{Lbs. de aire}} \times 17.60 \frac{\text{Lbs. de aire}}{\text{Lbs. comb.}}$$

$$M = 0.334 \frac{\text{Lbs. vapor de agua}}{\text{Lbs. comb.}}$$

$$Cp_v = \text{Calor específico de vapor de agua } (0.46 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb} \times \text{ } ^\circ F})$$

$$Q_7 = 0.334 \times 0.46 (680 - 74)$$

$$Q_7 = 93 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. comb.}}$$

8.- Calor perdido por radiación, convección y otros

$$Q_8 = QT - \sum_{i=1}^7 Q_i$$

Donde :

$$QT = \text{Poder calorífico del combustible por Lb. (19,300 BTU/LB comb).}$$

$$Q_8 = 19,300 - 17,057$$

$$Q_8 = 2243 \text{ BTU/LB. comb.}$$

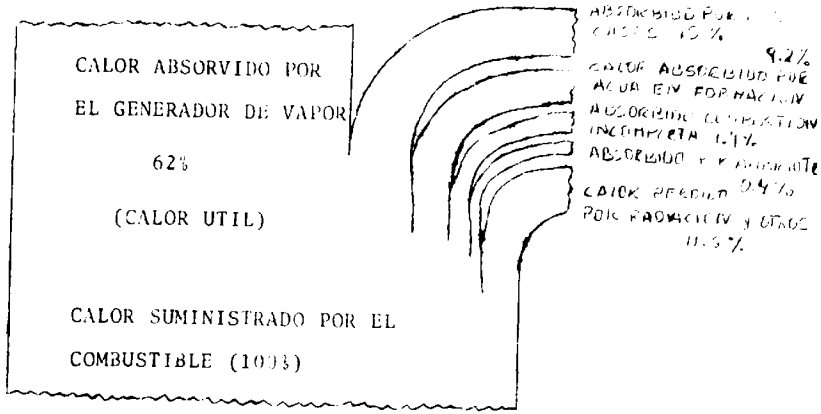


DIAGRAMA DE SANKEY

Fig. II.3

NOTA :

VALORES RECOMENDADOS:

- Q₂) Gases de escape 15 %
- Q₃) Agua en formación 4 %
- Q₅) Combustión incompleta 0.21 %
- Q₈) Radiación y otros 2.5 %

9. Cálculo del HP de caldera (HP) :

Teniendo en cuenta que esta definición es de carácter hipotético definida como una masa de vapor de 15.6 Kg/h - (34.5 Lbs/h).

Desde y hasta 100 °C (212 °C) cuyo calor latente de vaporización 536.9 K cal/Kg (970.3 BTU/LB) 14.7 Psi permite obtener una cantidad de calor de 8437 K cal/h (33,500 BTU/h) con una superficie de calentamiento de 0.929 m² - (10 pies²) el cual en una máquina de vapor produce 1 HP. Cabe hacer mención que estas definiciones nacieron cuando los generadores de vapor eran solamente simples recipientes hervidores de agua y solamente sirven para fines

de comparación entre los diferentes generadores de vapor existentes.

$$HP_c = \frac{1.196 \times 10^4 \frac{BTU}{Lb.comb.} \times 91.2 \frac{Lbs.combustible}{Hora}}{33,500 \frac{BTU}{Hora-HP}}$$

$$HP_c = 32.5$$

10.- Cálculo del factor de evaporación (f_e)

Factor definido anteriormente como relación entre Δh en el caldero y Δh de un HP de caldera, permite evaluar el calor ganado por el agua en el interior del caldero en términos de evaporación equivalente.

$$f_e = \frac{(h_2 - h_1)}{\Delta h \quad 1HP \text{ caldero}}$$

$$f_e = \frac{(1137 - 38) \text{ BTU/LB}}{(970.3) \text{ BTU/LB}}$$

$$f_e = 1.13$$

11. Evaporación Equivalente (E_e)

Para los fines de comparación de generadores de vapor que trabajan a diferentes presiones, temperaturas y combustibles lo más conveniente es reducirlos a un mismo nivel de comparación esto es expresa su relación con las definiciones hipotéticas de caballo de caldera.

Es decir evaporación equivalente expresa las libras de agua que se pueden evaporar desde y hasta 212 °F.

$$E_e = f_e \times m_v$$

$$E_e = 1.13 \times 950 \frac{LBS \text{ DE VAPOR}}{HORA}$$

$$E_c = 1121 \frac{\text{Lbs de vapor equivalente}}{\text{HORA}}$$

12.- Producción de Caldero (P_c)

Concepto importante también para fines de comparación que nos permite las libras de vapor equivalente por unidad de combustible usado.

$$P_c = \frac{1121 \frac{\text{Lbs. vapor equivalente}}{\text{Hora}}}{91.2 \frac{\text{Lbs. combustible}}{\text{Hora}}}$$

$$P_c = \frac{12.3 \text{ Lbs. de vapor equivalente}}{\text{Lbs. combustible}}$$

13.- Rating ($\%R$)

Principalmente debido a que los generadores de vapor cada vez alcanzaban mayores capacidades surgió este concepto que compara su régimen de funcionamiento con los definidos por el caballo de caldera.

$$\% R = \frac{Q_1 / 33,500 \text{ BTU/h-HP}}{Sc / 10 \text{ pie}^2 / \text{HP}}$$

Donde :

Q_1 = Calor ganado por el agua.

Sc = Superficie de calentamiento del generador de vapor.

$$\% R = \frac{950 (11873) \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \times 10 \frac{\text{pie}^2}{\text{HP}}}{200 \text{ pie}^2 \times 33,500 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \times \text{HP}}}$$

$$\% R = 1.62$$

14.- Eficiencia del generador ($\% \eta$)

$$\eta = \frac{Q_1}{P_c}$$

$$\eta = \frac{11960}{19300}$$

$$\eta = 62 \%$$

Nota : Es necesario mencionar que los términos de caballo de caldera y Rating pierden significado en general-ores de vapor grandes, porque con los economizadores, superficies de recalentamiento, camisas de agua (casos de tubo de agua), se aumenta la superficie de calefacción; pero en calderas pequeñas se usa todavía esta nomenclatura.

ABLA 1

PROPERTIES OF SATURATED STEAM

Gage Pressure PSIG	Temperature °F	Heat in Btu/lb.			Specific Volume Cu. ft. per lb.	Gage Pressure PSIG	Temperature °F	Heat in Btu/lb.			Specific Volume Cu. ft. per lb.
		Sensible	Latent	Total				Sensible	Latent	Total	
25	134	102	1017	1119	142	150	366	339	857	1196	2.74
20	162	129	1001	1130	73.9	155	368	341	855	1196	2.68
15	179	147	990	1137	51.3	160	371	344	853	1197	2.60
10	192	160	980	1142	39.4	165	373	346	851	1197	2.54
5	203	171	976	1147	31.8	170	375	348	849	1197	2.47
0	212	180	970	1150	26.8	175	377	351	847	1198	2.41
1	215	183	968	1151	25.2	180	380	353	845	1198	2.34
2	219	187	966	1153	23.5	185	382	355	843	1198	2.29
3	222	190	964	1154	22.3	190	384	358	841	1199	2.24
4	224	192	962	1154	21.4	195	386	360	839	1199	2.19
5	227	195	960	1155	20.1	200	388	362	837	1199	2.14
6	230	198	959	1157	19.4	205	390	364	836	1200	2.09
7	232	200	957	1157	18.7	210	392	366	834	1200	2.05
8	233	201	956	1157	18.4	215	394	368	832	1200	2.00
9	237	205	954	1159	17.1	220	396	370	830	1200	1.96
10	239	207	953	1160	16.5	225	397	372	828	1200	1.92
12	244	212	949	1161	15.3	230	399	374	827	1201	1.89
14	248	216	947	1162	14.3	235	401	376	825	1201	1.85
16	252	220	944	1164	13.4	240	403	378	823	1201	1.81
18	256	224	941	1165	12.6	245	404	380	822	1202	1.78
20	259	227	939	1166	11.9	250	406	382	820	1202	1.75
22	262	230	937	1167	11.3	255	408	383	819	1202	1.72
24	265	233	934	1167	10.8	260	409	385	817	1202	1.69
26	268	236	933	1169	10.2	265	411	387	815	1202	1.66
28	271	239	930	1169	9.85	270	413	389	814	1203	1.63
30	274	243	929	1172	9.46	275	414	391	812	1203	1.60
32	277	246	927	1173	9.10	280	416	392	811	1203	1.57
34	279	248	925	1173	8.75	285	417	394	809	1203	1.55
36	282	251	923	1174	8.42	290	418	395	808	1203	1.53
38	284	253	922	1175	8.08	295	420	397	806	1203	1.49
40	286	256	920	1176	7.82	300	421	398	805	1203	1.47
42	289	258	918	1176	7.57	305	423	400	803	1203	1.45
44	291	260	917	1177	7.31	310	425	402	802	1204	1.43
46	293	262	915	1177	7.04	315	426	404	800	1204	1.41
48	295	264	914	1178	6.94	320	427	405	799	1204	1.38
50	298	267	912	1179	6.68	325	429	407	797	1204	1.36
55	300	271	909	1180	6.27	330	430	408	796	1204	1.34
60	307	277	906	1183	5.84	335	432	410	794	1204	1.33
65	312	282	901	1183	5.49	340	433	411	793	1204	1.31
70	316	286	898	1184	5.18	345	434	413	791	1204	1.29
75	320	290	895	1185	4.91	350	435	414	790	1204	1.28
80	324	294	891	1185	4.67	355	437	416	789	1205	1.26
85	328	298	889	1187	4.44	360	438	417	788	1205	1.24
90	331	302	886	1188	4.24	365	440	419	786	1205	1.22
95	335	305	883	1188	4.05	370	441	420	785	1205	1.20
100	338	309	880	1189	3.89	375	442	421	784	1205	1.19
105	341	312	878	1190	3.74	380	443	422	783	1205	1.18
110	344	316	875	1191	3.59	385	445	424	781	1205	1.16
115	347	319	873	1192	3.46	390	446	425	780	1205	1.14
120	350	322	871	1193	3.34	395	447	427	778	1205	1.13
125	353	325	868	1193	3.23	400	448	428	777	1205	1.12
130	356	328	866	1194	3.12	405	460	439	766	1205	1.00
140	361	333	861	1194	2.92	500	470	453	751	1204	.89
145	363	336	859	1195	2.84	550	479	466	740	1204	.82
						600	489	475	728	1203	.74

II.2 ANALISIS DE GASES

Introducción

Mediante el análisis de los productos de la combustión, es posible el estudio de los procesos de combustión. Se puede determinar si es completa o no la combustión, el tipo de sustancias que quedan después de la combustión y la cantidad de aire utilizada en relación con el monto de combustible quemado. De la misma manera, también, se puede determinar a partir de los productos de la combustión la composición del combustible.

El aire está compuesto principalmente de oxígeno y nitrógeno, pero se encuentran en él, en muy pequeñas cantidades, otros elementos, como son : H_2 , vapor de agua, azufre, etc. Dado que el oxígeno es el que interviene en la combustión, se suele decir que el aire está formado de oxígeno y nitrógeno atmosférico (que viene a ser todo lo que queda del aire al extraer el oxígeno). En volumen el aire está formado por 21 % de oxígeno y 21.79 % de nitrógeno atmosférico. En peso el aire contiene 23.2 % de oxígeno y el 76.8 % de nitrógeno atmosférico. El peso molecular equivalente del aire es 28.97. Los sólidos y los líquidos se analizan en general en peso y su composición se expresa del mismo modo. Los gases en cambio se analizan en volumen.

Combustión Completa : En los productos no hay CO

Combustión Incompleta : En los productos hay CO

Aire Estequiométrico : La cantidad de oxígeno que proporciona el aire, estrictamente necesario para una combustión completa (Aire Teórico).

Relación Aire-Combustible Teórico : Es aquella que contiene las proporciones Aire-Combustible mínimas necesarias para la combustión completa. En esta relación se considera el aire teórico o estequiométrico.

Aire Real : Es la cantidad real de aire que ingresa en un proceso de combustión. Puede ser mayor, menor o igual que el aire teórico.

Exceso de Aire : Todo el aire suministrado además del aire teórico es aire de exceso.

Porcentaje de Aire de Exceso : La relación de aire de exceso al aire teórico, expresada en tanto por ciento.

Porcentaje de Aire Teórico : La relación de aire teórico al aire total suministrado, en tanto por ciento.

A continuación se dan algunas referencias de requerimientos de exceso de aire, en general todo proceso de combustión para tender hacia la combustión completa requiere aire en exceso.

En máquinas de combustión interna	30 % exceso
Turbinas a Gas (Para refrigerar)	500 % exceso
Calderas	80-120% exceso

Cuando los combustibles son quemados, con un determinado exceso de aire (cantidad superior a la requerida para una combustión completa con aire teórico), los productos resultantes son monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre, nitrógeno, oxígeno y otros hidrocarburos. La presencia de monóxido de carbono y otros hidrocarburos se explica por una combustión incompleta, causada por una inadecuada mezcla del aire y combustible, a pesar que el oxígeno presente era mayor que el requerido teóricamente.

Si la cantidad de aire es menor que la requerida, se obtiene, con seguridad una combustión incompleta. La cantidad óptima de aire a suministrar, para una instalación particular se calcula mediante ensayos.

El nitrógeno y el oxígeno de los productos de la combustión no utilizados, forman parte de estos productos, aún cuando no intervienen en la reacción. En muchos casos el vapor de agua no se considera en los productos de la combustión, ya que es te se condensa al enfriarse los gases. Estos productos se llaman productos secos. Entre los analizadores de gases de los productos de la combustión tenemos : de conductividad térmica, de resistencia magnética, medidor de CO_2 y analizador ORSAT.

Uso del Analizador ORSAT

El analizador ORSAT es uno de los aparatos medidores que permiten el análisis volumétrico de los productos de combustión. Tiene las siguientes partes : (según fig. que se muestra a continuación) *Fig. II.4*

- a) Una bureta de medición "D", rodeada de una camisa de agua para mantener la temperatura constante durante el análisis.
- b) La pipeta de reacción "A" contiene un compuesto químico que absorbe el Anhidrido Carbónico (CO_2). Para este fin es muy satisfactorio el empleo de una solución fuerte de hidróxido de potasio, en una proporción de 1 a 2 con agua destilada. Esta solución absorbe alrededor de 20 veces su volumen de CO_2 .
- c) La pipeta "B" es para absorber el oxígeno (O_2). Uno de los reactivos más comunes usados para ello es el pirogalol

(5 grs. de ácido pirogálico en 100 c.c. de la solución de hidróxido de potasio usada para absorber el CO_2). La solución para absorber el O_2 , absorbe solo el doble de su volumen de O_2 y es capaz de absorber CO_2 , por lo que se debe estar seguro que el CO_2 ha sido previamente absorbido de la muestra. Es obvio que esta solución debe protegerse de la atmósfera una vez que ha sido preparada, ya que puede absorber el O_2 de la atmósfera.

- d) La pipeta "C" está destinada a la absorción del monóxido de carbono (CO), el absorbente es una solución de 25 grs. de óxido de cobre en 500 c.c. de ácido hidroclicórico, al cual debe adicionarse alrededor de 200 gr. de alambrcn de cobre. Esta solución absorbe su mismo volumen de CO . Debe protegérsela de la atmósfera ya que puede absorber O_2 .
- e) Una botella de nivelación "E", conectada en el extremo inferior a la bureta de medición "D".
- f) Las pipetas adicionales a cada una de las pipetas que contienen los reactivos y que actúan como añas de expansión o respiración.

Procedimiento a seguir

Antes de usar el ORSAT, es necesario llevar el nivel de los reactivos, en las distintas pipetas, hasta las marcas grabadas en los cuellos. Esto se hace abriendo el grifo de cada pipeta con la botella de reactivo en una posición elevada, y bajando luego lentamente la botella hasta que el reactivo al cance el nivel correcto.

El primer paso en el análisis de una muestra, consiste en purgar el ORSAT de los gases viejos. Para ello, el grifo de tres vfas debe ponerse en la posición que comunica la bureta

de medición con la atmósfera. Luego se levanta la botella de nivelación para hacer que el agua entre en la bureta y - desplace los gases viejos. El agua de la bureta no debe pasar al múltiple.

Luego se pone el grifo de tres vías en posición tal que comunique a la bureta de medición con la toma de muestra. Se baja la botella de nivelación aspirando los gases hacia la bureta. Estos gases deben ser expelidos a la atmósfera, - para tomar enseguida otra muestra y volver a experlarla hasta que se esté seguro de que se tiene una muestra de aire limpia y no disuelta por el aire (por lo general hay cierto grado de vacío en la línea de transferencia y puede - penetrar aire en ella). Es importante que se tomen exactamente 100 c.c. de gas a la presión atmosférica. Esto se - efectúa mediante un proceso de nivelación, que consiste en - llevar el nivel de agua de la bureta de medición a su marca cero y el nivel de agua de la botella de nivelación a la - misma altura. Los gases deben ser ahora atrapados en la bureta cerrando el grifo de tres vías. En estas condiciones la muestra está a la presión atmosférica y a una temperatura controlada por la camisa de agua alrededor de la bureta. Se está en condiciones, ahora de transferir el gas a la primera pipeta (A) donde debe ser absorbido el CO_2 . Para hacer la transferencia se eleva la botella de nivelación y se abre el grifo de la primera pipeta. Debe permitirse que el agua en la bureta de medición se eleve hasta su tope para - arrastrar a todo el gas. En este proceso, casi todo el - reactivo de la primera pipeta pasa a su pipeta adicional, - siendo absorbido el CO_2 por la película de reactivo que que

da en las paredes y el que queda en las virutas. Para estar seguros de que todo el CO_2 ha sido absorbido se debe retornar la muestra a la bureta de medición y le ahí de nuevo a la pipeta A. Esto debe hacerse varias veces y cuantas más se hagan se garantizará mejor la total absorción del CO_2 . Luego se debe retornar la muestra a la bureta de medición, teniendo la precaución que el nivel del reactivo en la pipeta a re torne a su marca en el cuello, para cerrar enseguida el grifo y nivelar el agua en la bureta de medición. Se debe tener cuidado que el reactivo no ingrese al tubo capilar.

Para efectuar la medición debe nivelarse el agua de la bureta de medición D con D con el de la botella E. Esto se hace para que la muestra esté nuevamente a la presión atmosférica. La diferencia entre el nivel inicial y el actual da el volumen de CO_2 absorbido en cm^3 .

El proceso descrito debe ser repetido, primero para la pipeta de oxígeno y luego para la pipeta de monóxido de carbono (C). El cambio en las cantidades (B) medidas representa la cantidad del respectivo gas absorbido. Es sumamente importante que las mediciones se hagan en el orden correspondiente y que todo el gas sea absorbido antes de iniciar la absorción del gas siguiente.

Si bien es cierto que durante las mediciones la muestra está saturada de vapor de agua, está en proporciones mínimas debido a que gran parte se condensa. En lo que respecta a la condensación, en cada absorción de los gases componentes de los productos de la combustión habrá una condensación de vapor de agua proporcional a las cantidades de cada uno de los

gases absorbidos. Luego aunque presente vapor de agua, la - lugar a un factor de proporcionalidad que se cancela. El - análisis de ORSAT es por lo tanto un análisis volumétrico de los productos secos.

Lo que queda después de la absorción del CO_2 , el O_2 y el CO se asume que es N_2 . Las cantidades presentes de otros gases como son el SO_2 son insignificantes y su determinación requiere otros procedimientos de análisis. De la misma manera el vapor de agua que queda después del análisis es proporcional a la cantidad de nitrógeno presente que también se cancela por el factor de proporcionalidad mencionado.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Profesores UNI "Laboratorio de Ingeniería Mecánica II"
- PROTERM - Ing. Víctor Mori "Calderas Industriales - Seminario"
- Seymour "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"
- GAFFERT " Centrales de Vapor"

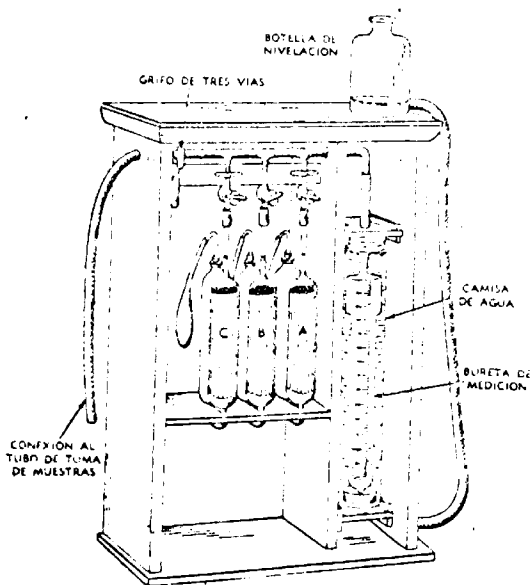


FIG. II.1 - Orsat simple

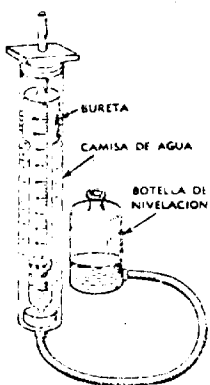


FIG. II.2 - Nivelacion en el Orsat

III. AISLAMIENTO TÉRMICO - TUBERIAS Y PERDIDAS
 EN INSTALACIONES CON VAPOR

Objetivo.- Determinar el tipo de aislante térmico que se debe usar en las tuberías de vapor de las Plantas Piloto, para minimizar las pérdidas de energía calorífica. Deberá, así mismo, calcularse el espesor óptimo del aislante. Por otro lado deberán calcularse las pérdidas que se originan en las tuberías con vapor al no tener aislamiento térmico
(*Véase Plano N.º 5 de la Final*).

III.1 AISLAMIENTO TERMICO

Fundamento Teórico

Transferencia de calor.- La transferencia de calor nos interesa tanto en la industria como en el hogar. La búsqueda de soluciones a problemas relacionados con la alimentación, la salud, la generación de calor, la generación de potencia han llevado al desarrollo de la transferencia de calor como una ciencia. A veces tratamos de acelerar la transferencia de calor; en otros casos tratamos de reducirla. Las leyes fundamentales de la transferencia de calor son igualmente aplicables en ambos casos.

El calor puede ser transferido por conducción, convección y radiación. Aunque es posible separar uno de estos métodos y estudiarlo independientemente de los otros, por lo general en cada problema se hallan involucradas dos o las tres clases de transferencia. No obstante, con el fin de comprender mejor el problema general, es preferible analizar independientemente cada modo de transferencia de calor.

1. Conducción : Es un proceso de transmisión de calor que -

ocurre principalmente en la fase sólida y en algunas zonas de la capa límite de los fluidos. Esta propagación de calor se debe a la vibración molecular que se va transmitiendo entre moléculas, vibración que se origina por un aumento de temperatura.

Tratándose de gases y líquidos, es muy difícil separar la conducción de la convección y radiación. En muchos casos la transferencia de calor por conducción en los líquidos y los gases es pequeña en comparación con el calor total transferido y puede, por lo tanto, ser despreciada. Por esta razón nos ocuparemos solamente de la condición en el caso de los sólidos.

La conductividad térmica de los sólidos varía dentro de amplios márgenes, según la naturaleza del sólido y la temperatura del sólido dado. Las conductividades térmicas de los metales son muy elevadas en comparación con la de los cuerpos no metálicos. Por ejemplo la conductividad térmica del cobre excede de 330 Kcal/m.hr.°C., mientras que la conductividad térmica de algunos materiales aislantes es menor que 0.03 Kcal/m.hr.°C.

Ley de Fourier

En el caso de Paredes Planas

$$q_k = - K.A. \frac{\partial T}{\partial n} \quad q_k = \frac{K.A.(T_1 - T_2)}{e} \quad q_k = \frac{T_1 - T_2}{e/KA} = \frac{\Delta T}{R_K}$$

Donde :

q_k = Flujo de calor por conducción ($\frac{BTU}{hr}$, $\frac{Kcal}{hr}$, Watts)

K = Conductividad térmica del material ($\frac{BTU}{hr \cdot pie \cdot ^\circ F}$, $\frac{Kcal}{hr \cdot m \cdot ^\circ C}$, $\frac{Watts}{mk}$).

A = Area normal al flujo de calor (pic^2 m^2).

$\frac{\partial T}{\partial n}$ = Gradiente de temperatura en la dirección de 'n'
(°F/pie, °C/m, K/m)

e = Espesor (m)

R_k = Resistencia térmica por conducción.

Nota. -

$$1 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{°F}} = 1.73 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \text{K}} = 1.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{°C}}$$

Rangos de Valores de "K"

<u>Material</u>	K (BTU/hr pie ² °F)	K (Watt/mk)
-Gases a presión atmosférica	0.004 - 0.1	0.0069 - 0.17
-Aislantes	0.02 - 0.12	0.034 - 0.21
-Líquidos No Metálicos	0.05 - 0.4	0.086 - 0.69
-Sólidos No Metálicos	0.02 - 1.5	0.034 - 2.6
-Metales Líquidos	5 - 45	8.6 - 7.6
-Aleaciones	8 - 70	14 - 120
-Metales Puros	30 - 240	52 - 415

2. Convección. - Es el fenómeno de transferencia de calor por convección, es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas) y está íntimamente relacionado con el movimiento de este.

Hay dos tipos de transferencia de calor por convección.

Convección Libre o Natural, cuando el transporte de calor se debe a que existe movimiento de masa pero originada únicamente por diferencia de densidades. Convección forzada, cuando también se la transporte de masa para lograr

la transferencia de calor, pero el movimiento es incrementado por un artefacto mecánico, que puede ser una bomba, un ventilador, un agitador o la misma caída de un fluido por gravedad.

La experiencia demuestra que el sistema de una placa que se pretende enfriar, por ejemplo, disipa más calor cuando se le hace pasar aire proveniente de un ventilador, que cuando se encuentra expuesto al aire ambiente simplemente; deduciéndose que la velocidad del fluido tiene un efecto importante en este tipo de transferencia de calor. De manera análoga, la experiencia indica que el flujo de calor es diferente si la placa se enfría en agua o aceite en vez de aire. De aquí que las propiedades del fluido deben tener también un efecto importante en la transferencia de calor. Igualmente la evidencia experimental demuestra que, siempre que un fluido esté limitado por paredes rígidas se forma sobre estas una película del fluido. Esta película origina un coeficiente convectivo superficial (h) o Coeficiente Pelicular. Esta película ofrece mucha resistencia a la transferencia de calor y por lo tanto es relativamente alta la caída de temperatura a su través. El espesor y la naturaleza de la película depende de muchas variables. No obstante el espesor de la película es tan pequeño que resulta muy difícil medirlo. Por lo tanto no es práctico considerar la transferencia de calor a través de esta película como si se tratara de un sólido. El calor transferido a través de la película por unidad de tiempo puede obtenerse con la :

LEY DE NEWTON

$$q_c = h.A (T_s - T_\infty)$$

$$q_c = \frac{T_s - T_{\infty}}{1/hA} = q_c = \frac{AT}{R_c}$$

Donde :

q_c = Flujo de calor por convección ($\frac{BTU}{hr}$, $\frac{Kcal}{hr}$, Watt)

h = Coeficiente convectivo superficial

$$\left(\frac{BTU}{hr, pie^2 \text{ } ^\circ F}, \frac{Kcal}{hr, m^2 \text{ } ^\circ C}, \frac{Watt}{m^2 \text{ } k} \right)$$

A = Area de la superficie de transferencia de calor
(Pie², m²)

T_s = Temperatura de la superficie de salida que da calor al fluido (°F, °C)

T = Temperatura de la masa principal del fluido (°F, °C)

R_c = Resistencia térmica por convección.

Nota.-

$$1 \frac{BTU}{hr \text{ } pie^2 \text{ } ^\circ F} = 5.67 \frac{Watt}{m^2 \text{ } k} = 4.88 \frac{Kcal}{hr \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Rangos de Valores de "h"

<u>Caso</u>	$h \left(\frac{BTU}{hr \text{ } pie^2 \text{ } ^\circ F} \right)$	$h \left(\frac{Watt}{m^2 \text{ } k} \right)$
-Aire, convección libre	1 - 5	5 - 25
-Aire, convección forzada	2 - 100	10 - 500
-Vapor sobrecalentado, convección forzada	2 - 100	10 - 500
-Agua, convección forzada	20 - 3000	100 - 15000
-Aceite, convección forzada	10 - 300	50 - 1700
-Agua en ebullición	500 - 10000	2500 - 50000
-Agua en condensación	1000 - 20000	5000 - 100000

3. Radiación.- Es una tercera forma de transportar calor, que

ocurre entre dos cuerpos que se encuentran a distancia, pudiendo inclusive existir el vacío entre ellos, porque la naturaleza de la radiación es del tipo de ondas electromagnéticas que emiten todos los cuerpos en diferentes magnitudes (longitudes de onda) de acuerdo a la temperatura que poseen gracias a una variación de su energía interna.

Transportan calor → Rayos Laser, energía solar

No Transportan calor → Ondas de Radio y Televisión

Intermedias → Rayos Ultravioletas, infrarrojos

LEY DE STEFAN - BOLTZMAN

$$q_r = \bar{\sigma} \cdot A \cdot T^4$$

Donde :

q_r = Flujo de calor radiante ($\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$, $\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$, Watt)

A = Area que emite la radiación (pie^2 , m^2)

$\bar{\sigma}$ = Coeficiente Stefan - Boltzman

T = Temperatura del cuerpo negro (absoluta) ($^{\circ}\text{R}$, K)

$$\bar{\sigma} = 0.1714 \times 10^{-8} \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{R}^4} = 4.93 \times 10^{-8} \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{k}^4}$$

$$\bar{\sigma} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{k}^4}$$

Esta ley es válida para cuerpos ideales (cuerpos negros) que al igual que los gases ideales sirven de comparación con el comportamiento de los cuerpos reales.

El intercambio de calor entre "cuerpo grises" (Se asemejan a los cuerpos reales) y tienen la ventaja sobre estos que se pueden graficar, son válidos para muchos cálculos, dentro de ellos los de ingeniería.

$$q_r = \epsilon \cdot A_1 \cdot F_e \cdot F_f (T_1^4 - T_2^4)$$

F_e = Factor de emisividad

- Cuerpos negros $F_e = 1$
- Cuerpos grises $F_e < 1$

F_f = Factor de forma (toma en cuenta la forma y posición del cuerpo).

Por comodidad esta última ecuación también se escribe :

$$q_r = h_r \cdot A_1 (T_1 - T_2)$$

Donde :

$$h_r = \frac{F_e \cdot F_f (T_1^4 - T_2^4)}{T_1 - T_2}$$

Como resistencia :

$$q_r = \frac{T_1 - T_2}{1/h_r \cdot A} = \frac{T}{R_r}$$

Donde :

h_r = Coeficiente equivalente de la radiación

R_r = Resistencia térmica por radiación

Coeficiente Global de transferencia de calor : Es un coeficiente que agrupa en un sólo valor numérico los efectos de las conductancias o de las resistencias térmicas que pueden existir en cada una de las formas de transporte de calor, en la mayoría de problemas reales de transferencia de calor.

EJEMPLO DE UN CALENTADOR SOLAR

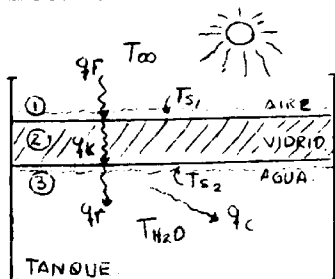


FIG. III.1

Es una Transferencia de calor solar, por Radiación y por conducción, se desprecia inicialmente la convección del aire (por magnitud con respecto a la radiación).

Zona

$$(1) : q_{r1} = hr_1 A (\bar{T}_{s1} - T_{s1}) = \frac{T_{\infty} - T_{s1}}{R_{r1}}$$

$$(2) : q_k = \frac{K \cdot A}{e} (T_{s1} - T_{s2}) = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{R_k}$$

$$(3) : q_{r2} + q_c = hr_2 A (T_{s2} - T_{ag.}) + hc A (T_{s2} - T_{ag.})$$

$$= \frac{(T_{s2} - T_{ag.})}{R_{r2}} + \frac{(T_{s2} - T_{ag.})}{R_c}$$

$$= (T_{s2} - T_{ag.}) \left(\frac{1}{R_{r2}} + \frac{1}{R_c} \right)$$

Sumando :

$$q_{r1} R_{r1} = T_{\infty} - T_{s1}$$

$$q_k R_k = T_{s1} - T_{s2}$$

$$\left(\frac{q_{r2} + q_c}{\frac{1}{R_{r2}} + \frac{1}{R_c}} \right) = T_{s2} - T_{ag.}$$

Sumando :

$$q \left(R_{r1} + R_k + \frac{1}{1/R_{r2} + 1/R_c} \right) = T_{\infty} - T_{ag.}$$

$$\text{Porque : } q = q_{r1} = q_k = q_{r2} + q_c$$

$$q = \frac{T_{\infty} - T_{ag} - \frac{1}{\frac{1}{R_{r_1}} + R_k + \frac{1}{\frac{1}{R_{r_2}} + \frac{1}{R_c}}}}{R_{r_1} + R_k + R_{eq.}} = \frac{T_{\infty} - T_{ag}}{R_{r_1} + R_k + R_{eq.}}$$

Req. = Resistencia equivalente por analogía eléctrica de resistencias en paralelo.

En general :
$$q = \frac{\Delta T_{total}}{\sum R_{t\acute{e}rnicas}}$$

También el calor se expresa así : $q = U \cdot A \cdot \Delta T_{total}$

Donde :
$$U \cdot A = \frac{1}{\sum R_T} \quad \rightarrow \quad U = \frac{1}{A \sum R_T}$$

Siendo : U = Coeficiente global de transferencia de calor.

Analogía Eléctrica :

Circuito Térmico del Ejemplo :

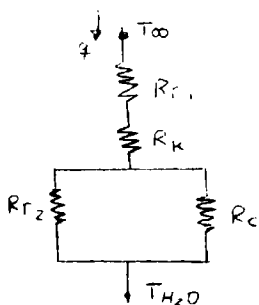


FIG. III.2

LEY DE OHM

$$i = \frac{\Delta V}{R_e}$$

Para transferencia de calor :

$$q = \frac{\Delta T}{R_T}$$

Nota. - En el caso de tuberías que aparezcan dos valores diferentes de " U ", uno referido al área interior y otro referido al área exterior, deberá indicarse con anticipación (se usa con mayor frecuencia el último valor indicado).

Rangos de los Valores de "U"

<u>Fluidos</u>	(BTU/hr pie ² °F)
Vapor de agua - Agua (Calentamiento)	400 - 600
Vapor de Agua - Aceite (Calentamiento)	10 - 30
Vapor de Agua - Solución Acuosa (Calent.)	100 - 600
Vapor de Agua - Gases (Calentamiento)	5 - 50
Agua - Agua (Enfriamiento)	150 - 275
Agua - Freón 12 (Condensación)	80 - 150
Agua - Freón 12 (Ebullición)	50 - 150
Agua - Salmuera (Enfriamiento)	100 - 200

Transferencia de calor a través de cilindros : El análisis de cilindros compuestos por varios materiales diferentes en contacto íntimo y/o cilindros con condiciones de fronteras consecutivas, puede hacerse fácilmente recorriendo a un circuito térmico. Considérese como ilustración el caso de un cilindro aislado con dos resistencias de película como se muestra en la Figura III.3 (Para detalles ver Tab. 9)

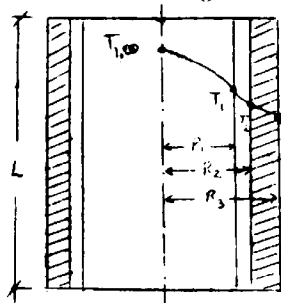
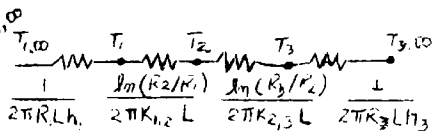


FIG. III.3

TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN CILINDRO AISLADO.



El flujo de calor en estas circunstancias queda determinado mediante la relación :

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{2\pi \cdot R_1 L h_1} + \frac{\ln(R_2/R_1)}{2\pi K_{1,2} L} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{2\pi K_{2,3} L} + \frac{1}{2\pi R_3 L h_3}}$$

Si :

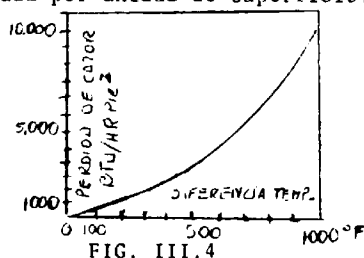
$$q = U \cdot A \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) \quad \text{y} \quad A = 2\pi \cdot R \cdot L$$

El coeficiente global de transferencia de calor es :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{K_{1,2}} R_2 \ln(R_2/R_1) + \frac{1}{K_{2,3}} R_3 \ln(R_3/R_2) + \frac{1}{h_3}}$$

Cálculos de Aislantes Térmicos

Aislamiento Térmico : Las tuberías desnudas que conducen vapor de agua a temperaturas altas con respecto a la atmósfera pierden calor que se transfiere del fluido que está transportando al tubo y luego al aire ambiente. En la fig. III.4 se muestra la variación del calor perdido en una tubería desnuda por unidad de superficie.



PERDIDA DE CALOR VS-
TEMPERATURA EN TUBE-
RIA. DESNUDA.

FIG. III.4

El control de la pérdida de calor es muy importante, particularmente desde el punto de vista económico. Por ejemplo evaluemos la pérdida de calor, para una tubería de 6" de diámetro y 60 pies de longitud que transporta vapor a 770 °F, con un ambiente a 70 °F

Del gráfico anterior : $\dot{t} = 770 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow H = 4400 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr Pie}^2}$

La tubería de 6" de diámetro nominal, tiene un diámetro exterior = 6.625 "

$$A = \pi \cdot D_e \cdot L = \pi \cdot \frac{6.625}{12} \times 60 = 104 \text{ pies}^2$$

$$Q^\circ = H \cdot A = 4400 \times 104 = 457,600 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}}$$

Si consideramos una operación de 8000 horas al año abtendremos :

$$Q^\circ = 457,600 \times 8000 = 3660.8 \times 10^6 \frac{\text{BTU}}{\text{Año}}$$

Considerando una eficiencia de generación de vapor de 80% y con Petróleo Diesel N°2 con poder calorífico $19600 \frac{\text{BTU}}{\text{LB}}$ o mejor $134000 \frac{\text{BTU}}{\text{Galón}}$, esta pérdida de calor significará un desperdicio de :

$$\dot{m}_c = \frac{3,660.8 \times 10^6}{134000} = 27319 \frac{\text{Galones}}{\text{Año}}$$

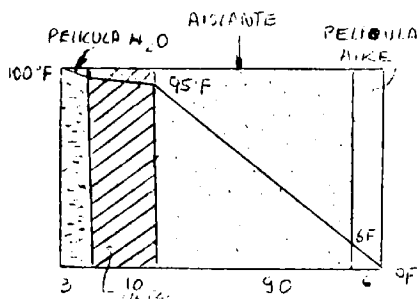
Lo que al precio actual del petróleo Diesel de S/ 10,000 / galón representa una pérdida anual de S/ 273'190,000.

Este ejemplo nos aclara pues la importancia de reducir las pérdidas de calor en las tuberías, lo cual se logra con un adecuado aislamiento térmico.

Entre otras cosas un buen aislamiento térmico nos asegura :

- La reducción de la pérdida de calor a valores aceptables.
- Control de la temperatura superficial para la protección y confort del personal de trabajo.
- Se evita o se reduce la condensación del vapor en las tuberías.

La transmisión del calor a través del aislante es básicamente por conducción, por lo que, es importante conocer su conductividad térmica. En la figura III.5 podemos apreciar el efecto del aislante en el gradiente de temperatura y la resistencia que significa su presencia al paso del calor.



DISTRIBUCION DE
TEMPERATURA EN
EL FLUJO DE
CALOR.

FIG. III.5

Materiales Aislantes Térmicos : Los materiales usados como aislamiento en Plantas Térmicas deben tener baja conductividad térmica y buena resistencia a altas temperatura. Los materiales de uso más común son : Asbesto, Magnesia al 85%, Corcho, Fieltro de Pelo, Fieltro de Lana, Fibra de Vidrio o Espuma de Vidrio, Tierras Diatomáceas, Cerámica de Alumina-Silica, Fibras Minerales, etc. Su conductividad se encuentra en las fibras respectivas.

La transferencia de calor a través de los aislantes es un caso típico de conducción a través de una pared curva, normalmente se desprecia la caída de temperatura en la pared del tubo y solo se considera la convección en la película de aire exterior.

La ecuación para calcular la transferencia de calor en tuberías aisladas por unidad de área, es :

$$Q = \frac{t_i - t_a}{\frac{1}{K} \left(R_2 \ln \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{1}{h}}$$

Donde :

t_i = Temperatura Interior del Aislamiento o de la pared.

t_a = Temperatura del ambiente

K = Conductividad térmica del aislamiento.

R_1 y R_2 = Radio Interior y Radio Exterior del aislamiento

h = Coeficiente de convección para el aire que rodea el tubo aislado.

Para el caso de aire quieto se puede usar la siguiente fórmula para calcular h :

$$h = 0.5 \left(\Delta T_s / D_2 \right)^{0.25}$$

Donde :

h = BTU/Hr pie² °F

T_s = Diferencia de temperatura entre la pared del aislamiento y el ambiente (°F)

D_2 = Diámetro exterior del aislamiento en pulg.

Eficiencia Térmica del Aislamiento : La eficiencia térmica del aislamiento se define como :

$$\eta = \frac{Q_t - Q_a}{Q_t}$$

Donde :

Q_t = Calor perdido con el tubo desnudo

Q_a = Calor perdido con el tubo aislado.

Espesor Crítico y Espesor Económico : En muchos casos donde se aíslan tuberías y esferas ocurren circunstancias aparentemente contradictorias. Porque al agregar material de aislamiento en lugar de disminuir la transferencia de calor, se incrementa. Luego el espesor de aislante que hace máxima la transmisión de calor se conoce como espesor crítico y medido desde el centro también se denomina Radio Crítico.

Para aquellos casos donde se desea reducir la transferencia de calor, de todas maneras debe usarse valores de espesores bastante alejados del radio crítico o espesor crítico. Pero como no pueden usarse espesores exageradamente grandes, se recurre a un análisis económico que conduce a la obtención de un espesor óptimo que se denomina espesor económico de aislante.

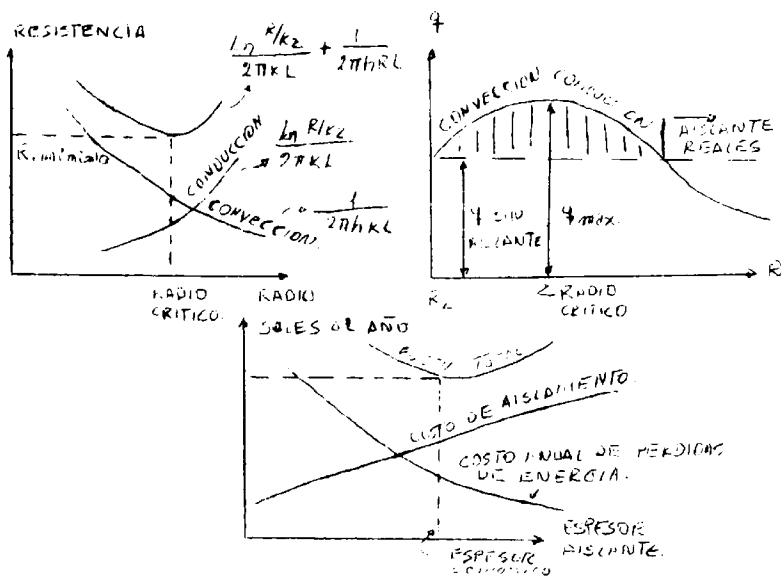


FIG. III.6 GRAFICAS PARA ESPESORES CRITICOS Y ECONOMICOS

NOTA.- El radio crítico solo aparece en tuberías de pequeño diámetro, cuando se le cubre con aislante (generalmente <1").

Para el cálculo de espesores económicos son necesarios los siguientes datos :

- Cantidad de calor que se está perdiendo para cada espesor de aislante.
- Número de horas al año que trabaja la planta.
- El costo de aislantes a usar y su forma de amortización, también considerar su depreciación.
- Para plantas a vapor el costo del combustible que se usa, el poder calorífico y la gravedad específica del combustible usado.
- Para plantas frigoríficas el costo del Kw-Hr del lugar, el coeficiente de funcionamiento o de performance del grupo frigorífico.
- Las condiciones ambientales más desfavorables en el lugar donde estará ubicada la planta.

TABLA. O — ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS (NO ELEMENTOS)

	Peso específico, Kg'm ³	Calor específico, Kcal, Kg°C	Punto de fusión, °C
Bronce para cojinetes (80 % Cu, 10 % Pb, 10 % Sn)	8.500	0,086	1066
Bronce, gun metal (90 % Cu, 10 % Sn) ..	8.810	0,087	920
Hierro, acero	7.800	0,117	1000
Hierro, fundición gra	7.600-7.800	0,119	1010
Hierro, fundición blanca	7.400-7.500	0,119	1010
Latón, rojo (85 % Cu, 15 % Zn)	8.750	0,092	1277
Latón, amarillo (67 % Cu, 33 % Zn)	8.430	0,093	1093
Plata alemana	8.330	0,095	1400
Amianto	1.200	0,20	
Arcilla	2.700-2.800	0,22	
Carbón de leña	290-410	0,163-0,25	
Carbón, antracita	1.400-1.800	0,3	
Carbón, bituminoso	1.200-1.500	0,3	
Concreto	1.800-2.500	0,156-0,27	
Corcho granulado	85-120	0,43	
Corcho aglomerado en planchas	110-320	0,20	
Hielo	890-920	0,44-0,50	
Ladrillo rojo	1.400-1.600	0,22	
Ladrillo refractario	1.800-2.000	0,22	
Madera, pino blanco (medio)	450	0,47	
Madera, pino amarillo (medio)	408		
Madera, roble blanco (medio)	700	0,57	
Mármol	2.600-2.800	0,21	
Tierra	1.200-1.800	0,44	
Vidrio	2.300-3.000	0,12-0,23	

III.2 TUBERIAS Y PERDIDAS EN INSTALACIONES CON VAPOR

Tuberías

En las instalaciones de vapor uno de los componentes esenciales son las tuberías o sistemas de tuberías con sus accesorios y válvulas, que conectan los diferentes equipos que forman la unidad homogénea que es la planta térmica.

Con el aumento de las temperaturas y presiones, así como el aumento de la complejidad de la planta térmica, el costo del sistema de tuberías adquiere principal importancia y su selección e instalación se convierten en uno de los problemas más difíciles del Proyecto.

Clasificación. - Los sistemas de tuberías asociados a una planta térmica normalmente se clasifican por el fluido que transportan y por el tipo de servicio que prestan, así podemos encontrar :

- Tuberías para vapor sobrecalentado o saturado a alta presión.
- Tuberías para el agua condensada a alta presión.
- Tuberías para vapor a baja presión.
- Tuberías de agua de alimentación a calderas.
- Tuberías de aceite de lubricación o de control.
- Tuberías de combustible.
- Tuberías de agua de refrigeración.
- Tuberías para aire comprimido de control.
- Tuberías de aire comprimido de servicio.
- Tuberías para sistemas de vacío, etc.

Material y Fabricación de las Tuberías.- Las tuberías dependiendo de su uso pueden ser de hierro, acero al carbono o acero de aleación, hierro forjado, latón o cobre. Pueden fabricarse forjadas, soldadas o sin soldar, coladas, estiradas, etc.

En las tablas 1 y 2 al final de este Exp. se dan algunas pautas referenciales de aplicación de las diferentes calidades de tuberías.

Dimensiones de las Tuberías.- Para la correcta selección de las tuberías se debe especificar el diámetro y espesor de las mismas. Con el objeto de adaptarse con economía a las diferentes condiciones de servicio, los tubos de acero se fabrican en dimensiones estandarizadas. La Asociación Americana de Patrones (American Standard Association) ha establecido las normas ASAB36.10, ASAB36.16 y ASAB36.19 que establecen un sistema racional de espesores y diámetros.

Para los espesores se establece el "Número de Catálogo" o Número de Cédula o simplemente Schedule para designar el espesor de los tubos. La ecuación :

$$Sch = 1,000 p/s$$

Donde :

p = presión manométrica

s = esfuerzo de trabajo

nos da en forma aproximada el Schedule.

El tamaño de los tubos, se especifica por su diámetro nominal hasta 12 pulgadas (305 mm) para diámetros mayores se especifican por el diámetro exterior. La variación del espe-

sor modifica únicamente el diámetro interior, permaneciendo constante el diámetro exterior, de manera que se pueden usar los mismos tamaños de rosca y conexiones para todos los tubos. En tablas se presentan las especificaciones de tuberías y otras características de importancia para su selección y aplicación.

Para orientar la selección del espesor de las tuberías en plantas de fuerza, el reglamento de la ASA da la siguiente fórmula :

$$t = \frac{P D_e}{2 s + 0.8 p} + c$$

donde :

t = espesor mínimo de la pared del tubo (mm, pulg)

p = presión de trabajo (PSI, Kg/cm²)

D_e = diámetro exterior (mm, pulg)

s = esfuerzo de diseño (PSI, Kg/cm²)

c = espesor adicional para corrosión

c = 0.05 pulg (1.27mm) para tuberías de diámetro 1 pulg (25.4 mm) o menores, y c = 0.065 pulg (1.65 mm) para diámetro 1 1/4" (31.8 mm) o mayores.

Ejemplo 1 :

Especificar el espesor de una tubería de 6" (152.4) de diámetro que conducirá vapor a 700 PSI (49.22 Kg/cm²) y una temperatura de 800 °F (426.67 °C).

Utilizando la Tabla respectiva escogemos tubo de acero al carbono sin costura A-106 GA (El grado A es más ductil que el B). (VER *TECHNICAL DRAWING*).

Interpolando para 426.67 °C obtenemos $s = 587.76 \text{ Kg/cm}^2$ (8358 PSI) por lo tanto,

$$t = \frac{700 \times 6.625}{2 \times 3358 \times 0.8 \times 700}$$

$$t = 0.333 \text{ pulg.}$$

De acuerdo a la Tabla debemos utilizar tubería Sch 80 que tiene un espesor de 0.432 pulg.

La determinación del diámetro de las tuberías está normalmente asociado a el flujo del fluido a transportarse y la pérdida de presión en el sistema de tuberías.

Un método práctico para la selección del tamaño de tuberías es el uso de velocidades de transporte recomendadas, las cuales son fruto de la experiencia y para aplicaciones normales reúnen condiciones de costo inicial económico y pérdida de presión aceptable. Para aplicaciones en plantas térmicas, Babcock & Wilcox recomienda las velocidades que se muestran en el Cuadro siguiente : (Tabla 3).

Tabla 3. Velocidades Recomendadas en Plantas Térmicas

<u>Naturaleza del Servicio</u>	<u>Velocidad pies/min</u>
- Calentadores de aire	1000 - 5000
- Aire Comprimido	1500 - 2000
- Ductos de tipo forrado	1500 - 3600
- Ductos de Ventilación	1000 - 3000
- Petróleo crudo (6" a 30")	60 - 360
- Chimeneas	2000 - 5000
- Vapor saturado - baja presión	4000 - 6000
- Vapor saturado - alta presión	6000 - 10000
- Vapor sobrecalentado	10000 - 15000
- Vapor de escape - vacío	20000 - 40000
- Agua en economizadores	150 - 300
- Agua en general	500 - 750

Ejemplo 2 :

Seleccionar el diámetro de una tubería de Sch 40 para conducir 12,000 lb/h de vapor saturado a 125 PSI.

De las tablas de vapor se obtiene el volúmen específico del vapor saturado a 125 PSI $v_g = 3.62 \text{ pie}^3/\text{lb}$, con una velocidad seleccionada de 7,500 pies/min. Tendremos aplicando la ecuación de continuidad :

$$\dot{m} = \frac{V \cdot A}{v}$$

donde :

\dot{m} = flujo de masa del vapor

V = Velocidad

A = Area de la sección recta del tubo

v = volúmen específico

$$A = \frac{\dot{m} v}{V} = \frac{12,000 \times 3.62 \frac{1}{60}}{7500} = 0.0965 \text{ pies}^2$$

lo que corresponde a un diámetro interior de :

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0965 \times 144}{\pi}} = 4.2 \text{ ''}$$

144 pulgadas cuadradas = 1 pie cuadrado

Luego seleccionamos la tubería de 4" \emptyset nominal que tiene como diámetro interior 4.026 pulg. lo que da una velocidad de 8, 190 pies/min que se encuentra en el rango recomendado.

Pérdida de Presión.- La pérdida de presión en las tuberías ocasionadas por la fricción interna del flujo es proporcional al cuadrado de la velocidad y a la longitud efectiva de tubería. La longitud efectiva es la suma de la longitud total de las tuberías más la longitud equivalente de todos los accesorios que se encuentren en la línea (válvulas, codos, etc).

La ecuación de Darcy nos permite calcular la pérdida de presión :

$$\text{ECUACION DE DARCY : } \Delta p = f \frac{L_e}{D_{eq}} \frac{\rho v^2}{2}$$

donde :

Δp = pérdida de presión

- f = factor de fricción
 L_e = longitud efectiva
 D_{eq} = Diámetro equivalente (interior)
 ρ = densidad
 V = velocidad

En esta ecuación el factor de fricción se obtiene del diagrama de Moody que está en función del número de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_{eq}}{u} = \frac{V D_{eq}}{\nu}$$

donde :

u = viscosidad absoluta (Figs III.8, III.9).

ν = viscosidad cinemática

y la rugosidad relativa : ϵ/D_{eq}

ε = rugosidad superficial interior de los tubos.
 (EUA FIG III.9).

Con el objeto de obtener la caída de presión en unidades conocidas, se dan las siguientes variantes de la ecuación de Darcy :

$$h = f \frac{L_e}{D_{eq}} \frac{V^2}{2g}$$

L_e y D_{eq} = en pies ó pulgadas ó metros

V = en pies/s ó m/s

g = 32.2 pies/s² ó 9.8 m/s²

Δh = en pies o metros de columna del fluido circulante.

$$\Delta p = \frac{\gamma}{144} f \frac{L_e}{D_{eq}} \frac{v^2}{2g}$$

Δp = en PSI

γ = peso específico del fluido en lbf/pie³

$$\Delta p = f \frac{L_e}{D_{eq}} v^2 \left(\frac{G}{10^5} \right)^2$$

Δp = en PSI

v = Volumen específico en pies³/lb

$G = \rho v = \frac{V}{V} = \text{Flujo de masa por unidad de área}$
lb/pie² - h

LONGITUD EQUIVALENTE :

La longitud equivalente es un valor práctico obtenido por en sayos, que representa la longitud de tubería recta que produce igual pérdida de presión que un accesorio. La tabla adjun ta nos da el factor de longitud equivalente para diferentes accesorios.

Tabla 4. Factor Fe de Longitud Equivalente

<u>A C C E S O R I O</u>	<u>Fe</u>
- Codo de 90° radio corto	2
- Codo de 90° roscado radio largo	1
- Codo de 45° roscado radio corto	1

- Codo de 90° radio largo soldado	1
- Codo de 90°radio largo embridado	1
- Tee	8
- Reductor	1
- Válvula de compuerta (abierta)	1
- Válvula de globo	25
- Válvula angular	12
- Válvula de retención	7

$$L_{eq} \text{ (pies)} = F_e \times D_{nominal} \text{ (pulg.)}$$

Ejemplo 3 :

Calcular la pérdida de presión en pies de fluido en una tubería de acero Sch 40 de 1 1/2" de diámetro de 150 pies de longitud, que tiene dos válvulas de compuerta abierta y 4 codos de 90°radio corto roscado, por la que fluyen 30 GPM de kerosene a 100°F.

Datos :

$$D_{eq} = 1.610''$$

$$A = 0.01414 \text{ pie}^2$$

$$L_e = 150 + 2 \times 1 \times 1.5 + 4 \times 2 \times 1.5 = 165 \text{ pies.}$$

$$V = \frac{30 \text{ gal/min}}{0.01414 \text{ pie}^2} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{7.48 \text{ gal.}} \times \frac{\text{t min}}{60 \text{ s}}$$

$$= 4.727 \text{ pies/s}$$

$$u_k = 2 \frac{\text{lbm}}{\text{pie-h}} , \quad \rho_k = 50 \text{ lbm/pie}^3$$

$$R_e = \frac{\rho \cdot k \cdot V \cdot D_{eq}}{u} = \frac{50 \times 4.727 \times 1.61}{2} \times 3.600 \frac{s}{h} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}}$$

$$R_e = 57.078$$

$$\tau/D = 0.0011$$

$$f = 0.024$$

$$\Delta h = f \frac{L_e}{D_{eq}} \frac{V^2}{2g} = 0.024 \times \frac{165 \times 12}{1.61} \times \frac{(4.727)^2}{2 \times 32.2}$$

$$\Delta h = 10.24 \text{ pies de kerosene}$$

$$\Delta p = \frac{50 \times 10.24}{144} = 3.555 \text{ PSI}$$

Con el objeto de facilitar los cálculos de caída de presión - se construyen ábacos o gráficos en los cuales se obtiene cruzando curvas de diámetros y flujos. Al hacer uso de éstos - gráficos hay que tener presente las condiciones para las cuales su aplicación es válida o suficientemente aproximada. (Figs. III-10, III-11, III-12, III-13).

Referencia Bibliográfica

- José Manrique "Transferencia de calor"
- PROTERI - Ing. Mori "Calderas Industriales - Seminario"
- SEYMOUR "El Laboratorio del Ingeniero Mecánico"
- Ing. Sanguinetti "Copias de Transferencia de Calor".

IV. BALANCE TERMICO : TRITURADOR PRECALENTADOR -
AUTOCLAVE DE ESTERILIZACION

IV.1 TRITURADOR - PRECALENTADOR

Objetivo. - Medición de la cantidad y temperatura del vapor en la Trituradora - Precalentadora.

Procedimiento. - Hay que medir la temperatura de la sustancia entrante con un termómetro a mercurio, destinado para fines de Laboratorio, así como la temperatura de la materia que sale del precalentador, mediante el termómetro dispuesto en la máquina de lavar. La cantidad del vapor se mide a través de la medición de la cantidad del agua condensada, de la manera siguiente : El agua condensada pasa por el automático de agua condensada, llegando al colector (E5 - 5.21). De allí, abriendo el grifo 304, el agua condensada es impulsada al recipiente colector E5 - 5.16, por medio de la bomba (E5-5.21.6). La cantidad del agua condensada podrá ser leída en el indicador de nivel calibrado del recipiente colector. Conociendo el tiempo medido y la cantidad de agua condensada, se podrá calcular también el consumo de vapor referido a unidad de tiempo.

$$\dot{m}_a = C_a \cdot \Delta t = G_k \cdot r$$

donde :

\dot{m}_a = es la cantidad de la materia dosificada (Kg/h)

C_a = es el calor específico de la materia (Kcal/Kg,grd)

$$\Delta t = t_k - t_b$$

donde :

t_k = es la temperatura de la materia caliente de la máquina (°C)

t_b = es la temperatura de la materia entrante en la máquina (°C)

G_k = es la cantidad del agua condensada (Kg/h)

r = es el calor latente del vapor a presión normal
(Kcal/Kg) (Ver Tabla 1)

La fórmula mencionada no sólo sirve para controlar los datos, sino también para calcular el valor de cualquiera de los componentes desconocidos.

IV.2 AUTOCLAVE DE ESTERILIZACION

Objetivo. - Medir la cantidad de agua de enfriamiento y calcular la temperatura y duración de esterilización en el autoclave esterilizador.

Introducción. - El autoclave esterilizador desempeña el papel tecnológico de destruir los microorganismos en las conservas envasadas. Las latas se colocan en el agua precalentada a 85 °C en el autoclave se comienza el calentamiento. La temperatura del producto sigue la temperatura del agua de acuerdo a la penetración térmica.

Descripción Teórica. - Los productos alimenticios pueden descomponerse a causa de alteraciones físicas, químicas o microbiológicas.

Las alteraciones microbiológicas son causadas por diversos microorganismos (bacterias, mohos, fermentos). Dichos microorga

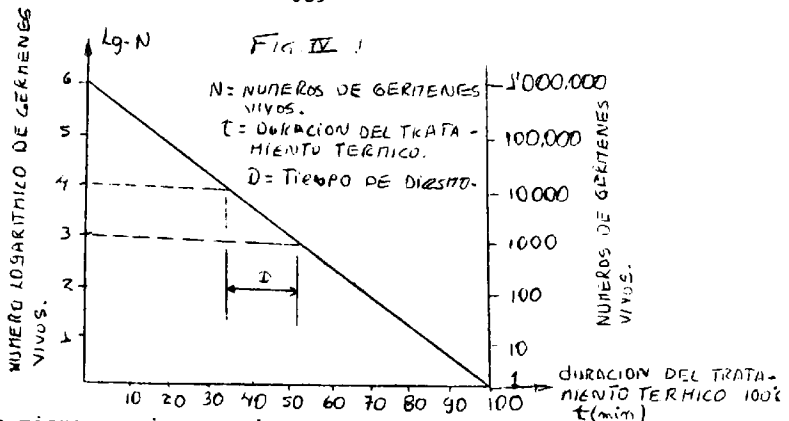
nismos requieren adecuadas circunstancias para desempeñar su actividad (para su multiplicación). La defensa contra tal tipo de perjudicación reside en alterar tales circunstancias, volviéndolas desfavorables para los microorganismos. De tal manera, la conservación de productos alimenticios se puede efectuar, por ejemplo, por deshidratación, refrigeración, tratamiento térmico, irradiación, aplicación de agentes químicos, acidificación, etc.

La pasteurización y esterilización es, por lo tanto, uno de los modos de conservar productos alimenticios. Este método se basa en el hecho de que en un medio acuoso y sobre límite de temperatura dado, las proteínas celulares se denaturan y se precipitan. Para tal alteración hace falta que transcurra un adecuado tiempo.

Se denomina pasteurización cuando se inactiva más del 99% de las formas vegetativas de las enzimas y bacterias.

Se trata de esterilización cuando parecen todos los microorganismos, hasta las esporas de bacterias que resistan el calor.

La dependencia de tiempo de la destrucción por calor de microorganismos, en un ambiente húmedo, es descrita por una función exponencial negativa. Tal ley se ilustra en la Fig. IV.1



Cada microorganismo puede ser caracterizado por el valor D , - que es el tiempo de diezmo, valor distinto a cada temperatura. El coeficiente de temperatura (Q_{10}) señala la dependencia del valor D de la temperatura :

$$Q_{10} = \frac{D_a}{D_a + 10}$$

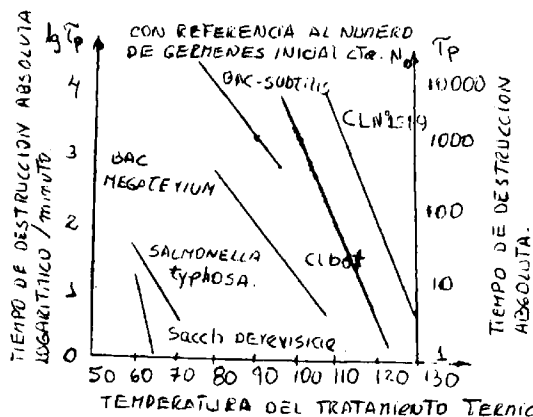
Si, por ejemplo, el tiempo de diezmo a 90°C es $D_{90} = 15$ minutos y a 100°C $D_{100} = 1.2$ minuto, entonces :

$$Q_{10} = \frac{15}{1,2} = 12,5$$

o sea que la velocidad de destrucción es mayor a 100°C , que a la 90°C .

El tiempo de perecimiento absoluto es un valor característico que da el tiempo necesario para la desolación de un cultivo - formado por determinado número de células.

La fig. IV.2 contiene la curva de perecimiento por calor de - distintos microorganismos.



Cuando se esteriliza una conserva envasada, el proceso consiste en que el calor del autoclave o cuba pasteurizadora penetra en la lata y en las partículas de la materia envasada, hasta llegar a las partículas que se ubiquen en el centro geométrico de la lata. Este es el punto a donde el calor llega por último. Justamente por esto es que para determinar la temperatura y duración de esterilización hace falta saber cuántos minutos transcurren desde el comienzo de la esterilización hasta que también las partículas más internas de la lata alcancen la temperatura requerida. También es importante conocer la forma de la caída de temperatura durante el enfriamiento. El calor penetra con distintas velocidades en las latas de conserva destinadas a esterilización y colocadas en el autoclave (o en la cuba esterilizadora). La velocidad de la penetración térmica depende de numerosos factores, como son el diámetro del envase o su tamaño, su forma, el material del envase (chapa, vidrio, etc.), la conductividad térmica de dicho material, la conductividad térmica específica del producto envasado, su calor específico, o sea la calidad del producto, la diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento de autoclave (agua) y la materia envasada (temperatura al co-

mienzo de la esterilización).

El calor se propaga en cuerpos sólidos por conducción térmica de una partícula a otra y, en líquidos, por con vección térmicas.

El fenómeno producido en el líquido es el siguiente : la partícula de líquido calentada se dilata, disminuye su peso específico por lo que comienza a ascender en el líquido, dando lugar a partículas más frías. De tal modo, se producen co rrientes, denominadas convecciones, en el líquido. Cuando las partículas de líquido pueden moverse con facilidad, con mínima fricción interna, en líquidos de baja viscosidad, la trans misión de calor tiene lugar rápidamente, como ocurre en el agua, en soluciones acuosas diluidas, en soluciones de azúcar, sal, vinagre, etc. Si, en cambio, el producto del envase es una sustancia líquida pero densa, pulposa, viscosa, o bien, es una sustancia sólida de estructura floja, entonces la trans misión de calor se vuelve muy lenta. En las sustancia densas, pulposas las partículas del material pueden moverse, fluir - muy lentamente. Por consiguiente, el calor debe propagarse - pasando de una partícula a otra. Estas circunstancias son ilustradas de modo expresivo en los diagramas que señalan la penetración del calor en distintas sustancias envasadas en la tas de distinto tamaño. Estos diagramas se preparan con la ayuda de un termómetro de termoelemento sensible que se instala de modo hermético en el interior de la lata ensayada (en el centro geométrico o en otros puntos de lata), luego se introduce la materia a ensayarse, la lata se cierra herméticamente y se coloca en el autoclave (o cuba esterilizadora). La

magnitud de la corriente térmica producida en el termómetro y medida con un instrumento sensible es proporcional a la diferencia de temperaturas, de modo que se podrá medir en cualquier momento la temperatura dominante en el respectivo punto de la lata. Al mismo tiempo, hay que medir también la temperatura del agua del autoclave. Los datos de temperatura leídos en periodos iguales (por ejemplo, cada minuto) se reunirán en cuadros y diagramas.

La calidad de las conservas envasadas depende en parte de si se ha logrado eliminar durante el tratamiento térmico todas las células de microbios capaces de producir deterioro o descomposición en el producto alimenticio cerrado. Es importante que también el punto del contenido del recipiente menos afectado por calor (el centro geométrico) reciba tanto calor como para destruir el germen más resistente que pudiere existir en el producto.

Ejecución de la Medición

El primer paso de la medición es trazar el diagrama de penetración de calor. Colocar el receptor del termómetro eléctrico de precisión en la lata y poner la lata en el autoclave, midiendo la radiación de la temperatura del producto en función del tiempo.

En la fase del enfriamiento hay que medir la cantidad de agua necesaria para el enfriamiento, para lo cual se usará el rotámetro instalado.

Luego hay que trazar :

- El diagrama que considera el tiempo necesario para lograr

la destrucción completa de un número inicial de gérmenes a una determinada temperatura (tiempo de destrucción absoluto).

- Calcular la rapidez de la destrucción de gérmenes, para algunas temperaturas especificadas.
- Trazar un sistema de coordenadas; cuyo eje horizontal, indique la duración del tratamiento térmico (o tiempo de penetración del calor) y el eje vertical, las temperaturas medidas en el centro del material envasado.
- Por último, trazar un diagrama cuyo eje horizontal considere la duración del tratamiento térmico y el eje vertical la rapidez de destrucción y la temperatura medida en el centro del producto envasado. Luego considerar que para la destrucción total de los gérmenes, se debe proseguir el tratamiento térmico, hasta que el área encerrada por la curva de penetración de calor y el eje horizontal sea una unidad. (Esto se deduce por comparación al cuadrado de 0.1 unidad de área, que corresponde a $0.01 \frac{1}{\tau_p} \times 10$ minutos de duración del tratamiento térmico).

Referencia Bibliográfica

- Metodología de la Planta Piloto de Conservas, tipo E5.

V. BALANCE TERMICO : ESFERA DE VACIO - RECIPIENTES

DE COCCION

V. 1 ESFERA DE VACIO

Objetivo.- Medición de la cantidad de vapor, temperatura y va
cío, cálculos de tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento
y superficie de calentamiento en la bola de vacío.

1.1 Determinar los factores de transmisión de calor y la su-
perficie de calentamiento en el equipo de bola de vacío -
(E5-5-5) provisto de mezcladora de hélice y duplicador.

1.1.1 Calentar con vapor el duplicador de la bola de va-
cío, el factor de transmisión de calor entre el -
vapor que se condensa y la pared interna se podrá
calcular con la siguiente ecuación criterial :

$$\alpha_k = 7.3 \left(\frac{1}{H^\circ \cdot \Delta t} \right)^{1/4} \left(\frac{\overset{3}{r} \times \overset{2}{r} \times r}{\mu} \right)^{1/4}$$

Donde

H° = longitud de la camisa cilíndrica calentada -
del equipo + dos terceras partes de altura
del fondo curvo del cesto $\bar{\sigma}$, en caso de fon-
do semiesférico, dos terceras partes del ra-
dio de la esfera (m).

$$\Delta t = t_t - t_w$$

Donde :

t_t = es la temperatura del vapor saturado (°C)

t_w = es la temperatura de la pared (°C)

- λ = es el factor de conductividad térmica del agua condensada (Kcal/m, h, grd)
- γ = es el peso específico del agua condensada (Kg/m³)
- r = es el calor latente del vapor (Kcal/Kg)
- μ = es la viscosidad dinámica del agua condensada (Kg.seg/m²).

La temperatura de referencia a la cual se deben referir las propiedades materiales es :

$$t = \frac{t_t + t_w}{2}$$

1.1.2 Las circunstancias de transmisión de calor entre la pared del equipo y la carga de líquido podrán ser calculadas con la siguiente ecuación sin dimensiones :

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^c$$

Donde :

$Nu = \frac{\alpha_f \cdot D}{\lambda}$ es el número de Nueeselt y

α_f = es el factor de transmisión de calor entre la pared y la carga de líquido (Kcal/m², h, grd).

D = es el diámetro del equipo (m)

λ = es el factor de conductividad térmica del líquido (Kcal/m, h, grd).

$$Re = \frac{n_s \cdot d^2 \cdot \gamma}{\mu \cdot g} \quad \text{es el número de Reynolds}$$

n_s = es el número de revoluciones de la mezcladora
(1/seg).

d = es el diámetro del elemento mezclador (m)

γ = es el peso específico del líquido (Kg/m³)

μ = es la viscosidad dinámica del líquido (Kg.seg/
m²)

g = 9.81 (m/seg²)

$$Pr = \frac{3600 \cdot \mu \cdot g \cdot c}{\mu_f} \quad \text{es el número de Prandtl}$$

c = es el calor específico del líquido
(Kcal/Kg, grd)

μ_f = es la viscosidad dinámica del líquido a la temperatura media del líquido.

μ_w = es la viscosidad dinámica del líquido a la temperatura de la pared.

Los números Nu, Re y Pr se refieren también a la temperatura media del líquido, mientras que a, b, c son exponentes.

Ecuación criterial en caso de un equipo de mezcladora encerrada con $Re = 30 - 300$:

$$Nu = 1 \cdot Re^{0.5} \cdot Pr^{0.33} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0.18}$$

y con $Re = 340 - 4000$:

c_t = es el calor específico de la carga de líquido
(Kcal/Kg, grd),

t_{carga} = es la temperatura final de la carga de líquido (°C),

t_o = es la temperatura inicial de la carga de líquido (°C)

Por otra parte :

$$Q'_1 = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (\text{Kcal/h})$$

donde :

Q' = es el calor transmitido por la superficie de caldeo (Kcal/h),

k = es el factor de transmisión total de calor (Kcal/m², h, grd),

F = es la superficie de caldeo (m²)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\frac{1}{n} \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}$$

$$\Delta t_n = t_t - t_o$$

t_t = es la temperatura del vapor saturado (°C),

t_o = es la temperatura inicial de la carga de líquido (°C)

$$\Delta t_k = t_t - t_{\text{carga}}$$

t_{carga} = es la temperatura final de la carga de líquido (°C)

En base a la ecuación arriba mencionada, se puede calcular la superficie de calentamiento F , o bien, si F se conoce, se puede calcular la cantidad de calor transmisible por la superficie dada.

1.1.5 Cálculo de la cantidad de vapor

$$G_{gl} = \frac{Q_1}{r} \quad (\text{Kg/h})$$

Donde

G_{gl} = es la cantidad de vapor por hora (Kg/h)

r = es el calor latente del vapor (Kcal/l)

1.1.6 Duración del calentamiento :

$$\tau_1 = \frac{c}{K \cdot F} \cdot \ln \frac{t_t - t_o}{t_t - t_{carga}} \quad (h)$$

donde :

c = es la capacidad térmica del equipo (junto con la carga de líquido) (Kcal/grd)

K = es el factor de transmisión total de calor, (Kcal/m², h, grd)

F = es la superficie de calentamiento (m²)

t_t = es la temperatura del vapor saturado (°C)

t_o = es la temperatura inicial de la carga de líquido (°C)

t_{carga} = es la temperatura de la carga de líquido (°C)

1.1.7 En la bola de vacío no sólo se calienta la carga del líquido, sino también se evapora una parte del lí-

quido solvente (agua en el presente caso).

- 1.1.7.1 Para determinar el tiempo de evaporación del agua, hay que conocer la cantidad del agua que se debe evaporar.

La condensación en la bola de vacío tiene lugar absorbiendo tanto líquido en la caldera como para que su nivel esté con unos 200 mm encima del duplicador. Luego, hay que comenzar el calentamiento. A causa de la evaporación disminuirá el nivel del líquido. Cuando el nivel alcance la parte superior del duplicador, se absorberá nuevamente líquido en el equipo, teniendo cuidado de que el nivel nunca disminuya por debajo del nivel superior del duplicador, ya que sólo así se puede evitar la quemadura. La absorción se proseguirá hasta obtener un producto deshidratado correspondiente a la concentración final y de cantidad correspondiente a la capacidad útil de la bola de vacío (capacidad del fondo cubierto por el duplicador).

- 1.1.7.2 La cantidad del jugo introducido puede ser calculada con las siguientes fórmulas :

$$L_0 = W + S$$

y

$$W = L_0 \left(1 - \frac{x_h}{x_s} \right)$$

$$S = V_h \cdot \rho_s$$

De ello obtenemos

$$L_0 = S \cdot \frac{x_s}{x_b}$$

donde

L_0 = es la cantidad del jugo licuado entrante (Kg)

W = cantidad del agua a evaporarse (Kg)

S = cantidad del producto condensado.

x_b = refracción del jugo licuado (contenido de materia seca disuelta)

x_s = refracción del producto deshidratado

V_h = volumen útil de la bola de vacío (m^3)

γ_s = es el peso específico del producto condensado (Kg/m^3)

1.1.7.3 Conociendo el vapor de W , y en base a la cantidad de calor pasable por la superficie de calentamiento, por hora, se podrá calcular el tiempo de evaporación.

$$Q_2 = W \cdot r \quad (\text{Kcal})$$

donde

Q_2 = es el calor necesario para evaporar el agua (Kcal)

r = es el calor latente del agua al punto de ebullición correspondiente a la presión dominante en el equipo (Kcal/Kg)

W = cantidad de agua a evaporarse (Kg)

Cantidad de calor traspasable por la superficie de caldeo durante una hora :

$$Q'_2 = K' \cdot F \cdot \Delta t \quad (\text{Kcal/h})$$

donde :

K' = es el factor de transmisión total de calor
(Kcal/m², h, grad)

El valor de K' ha de ser determinado para ebullición, ya que en la bola de vacío la carga de líquido está hirviendo ya en la fase de evaporación. El factor de transmisión total de calor será, por lo tanto :

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{1}{w} + \frac{1}{\alpha_{f'}}} \quad (\text{Kcal/m}^2, \text{ h, grad})$$

La interpretación de los distintos factores se encuentra descrita bajo el inciso 1.1.6

El valor del factor de transmisión de calor para ebullición, respecto a agua, se calcula con la siguiente fórmula :

$$\alpha_{f'} = 22 \cdot p^{0.58} \cdot \Delta t^{2.33} \quad (\text{Kcal/m}^2, \text{ h, grad})$$

donde

p = es la presión dominante en el líquido
(atm. de sobrepresión)

$$\Delta t = t_w - t_{\text{carga}}$$

t_w = es la temperatura de la pared (°C)

t_{carga} = es la temperatura de la carga de líquido en ebullición (°C)

F = es la superficie de calentamiento (m²)

$$\Delta t = t_t - t_{\text{carga}}$$

t_t = es la temperatura del vapor de caldeo saturado ($^{\circ}\text{C}$)

t_{carga} = es el punto de ebullición de carga de líquido ($^{\circ}\text{C}$)

Tiempo necesario para evaporar W cantidad de agua :

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{Q'_2} = \frac{W \cdot i \cdot 60}{K' \cdot F \cdot \Delta t} \text{ (minutos)}$$

V.2 RECIPIENTES DE COCCION

Objetivo.- Medir el vapor, temperatura y el tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento y superficie de caldeo en el recipiente de cocer jarabe.

Procedimiento.-

- 2.1 En el equipo abierto, de mezcladora a hélice, provisto de duplicador, se determinan los factores de transmisión de calor y la superficie de calentamiento.
- 2.1.1 Calentar con vapor el duplicador del equipo de cocer jarabe. El factor de transmisión de calor entre el vapor condensado y la pared interna se calculará según las indicaciones del inciso 1.1.1.
- 2.1.2 El factor de transmisión de calor entre la pared del equipo y la carga de líquido será calculado de acuerdo a la prescripción del inciso 1.1.2, con la diferencia de usar las exponentes y constantes siguientes en la ecuación criterial :

$$c = 0.54 \qquad a = 0.64$$

$$b = 0.25 \qquad e = 0.14$$

- 2.1.3 El vapor del factor de transmisión total de calor se calcula según el inciso 1.1.3
- 2.1.4 El cálculo de la superficie de calentamiento tendrá lugar el inciso 1.1.4.
- 2.1.5 El cálculo de la cantidad de vapor veñse el descripto bajo el inciso 1.1.5.
- 2.1.6 El cálculo del tiempo de calentamiento se describe bajo el inciso 1.1.6.

Referencia Bibliográfica

- Metodología de la Planta Piloto de Conservas - Tipo E5.

VI. CAMARA DE REFRIGERACION - EL MANTENI
MIENTO EN LAS PLANTAS PILOTO.

VI.1 CAMARA DE REFRIGERACION

(Ver fig. VI.1)

Objetivo. - Efectuar el cálculo térmico del ciclo de refrigeración por compresión.

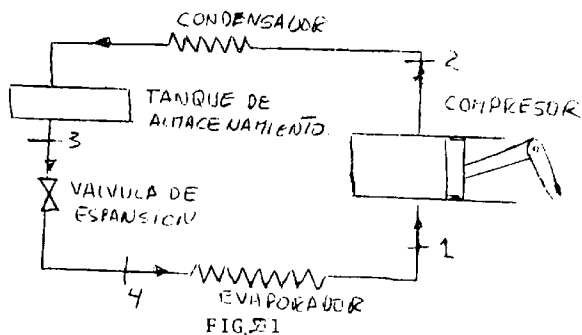
Ciclo de Refrigeración por Compresión.

La refrigeración mecánica se basa en dos principios termodinámicos fundamentales :

- I.- Todo líquido al evaporarse absorbe una determinada cantidad de calor, conocida como calor latente de evaporación.
- II.- La evaporación puede efectuarse a diferentes temperaturas, dependiendo ésta de la presión a la que esté sometida la sustancia.

El ciclo de Refrigeración se representa esquemáticamente en la fig. 2.1 con sus componentes básicos que son :

- a) EVAPORADOR : Colocado dentro del espacio refrigerado, del cual absorbe calor al producirse la evaporación del refrigerante.
- b) CONDENSADOR: En contacto con el medio ambiente disipando calor a medida que se produce la condensación.
- c) COMPRESOR : Para comprimir el vapor que sale del evaporador hasta la presión requerida en el condensador.
- d) VALVULA DE EXPANSION : Para reducir la presión del líquido que sale del condensador hasta la presión requerida en el evaporador.



Este sistema tiene la cualidad de que las temperaturas de evaporación y condensación son fácilmente controlables mediante ajustes en la presión y por otro lado, el refrigerante es usado una y otra vez, realizando sin pérdidas del mismo, salvo pequeñas fugas que pudieran existir.

Teóricamente cualquier sustancia estable, no corrosiva, puede operar como refrigerante, siempre y cuando su relación presión temperatura sea adecuada para los fines deseados.

El ciclo de refrigeración está constituido por los siguientes procesos termodinámicos, representado en los diagramas temperatura-entropía y presión-entalpía : (Figs VI 2 y VI 3).

- 1-2 Compresión Adiabática. - La sustancia de trabajo sale del evaporador a presión inferior del ciclo (P_B) y es comprimida en un compresor adiabático hasta la presión del condensador (P_A), esta presión es tal que su temperatura de saturación es mayor que la del medio ambiente.
- 2-3 Condensación Isobárica. - El fluido en la condición de vapor sobrecalentado ingresa al condensador en donde en un proceso isobárico se condensa el vapor, es decir llega a la condición de líquido saturado.
- 3-4 Expansión Adiabática. - El fluido ingresa al expansor en la

condición de líquido saturado a "alta presión" y se expande en el expansor adiabáticamente hasta alcanzar la presión P_B que tiene la temperatura de saturación menor que la del medio que se desea refrigerar. En ciclos prácticos se elimina el expansor y se le reemplaza por un proceso de estrangulamiento.

4-1 Evaporación Isobárica.- Luego de la expansión adiabática, el fluido ingresa al evaporador como una mezcla de baja calidad, y recibiendo la transferencia de calor necesaria del medio por refrigerar se evapora.

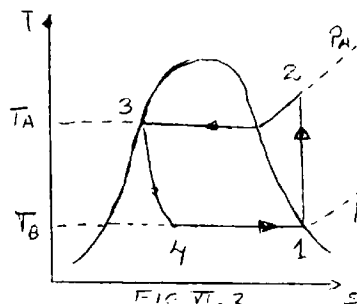


FIG. VI.2

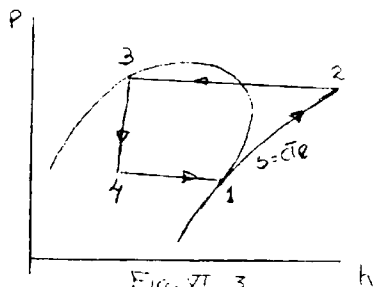


FIG. VI.3

Aplicando la 1ra. Ley de la Termodinámica se halla el trabajo del compresor (W_C) y el calor entregado al evaporador (q_B); - considerando el trabajo en el expansor igual a cero.

$$W_C = -{}_1W_2 = h_2 - h_1$$

$$q_B = {}_4q_1 = h_1 - h_4$$

Luego el COP (Coeficiente de Performance) del ciclo de refrigeración será :

$$COP = \frac{q_B}{W_N} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

(Para selección, ver TABLA 4).

Referencia Bibliográfica

- Alimbert Castro Payano "Copias de Refrigeración"

VI.2 MANTENIMIENTO EN LAS PLANTAS PILOTO

Objetivo.- Dar ciertas pautas, para que el estudiante tenga una idea de lo que significa el mantenimiento en una Planta Industrial y a su vez que intervengan en la ejecución del programa de Mantenimiento para las Plantas Piloto que se efectuaría con mayor incidencia en el mes de Diciembre de cada año.

Introducción

El mantenimiento industrial debe estar canalizado a través del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento. El mantenimiento Industrial comprende :

El Mantenimiento Preventivo : Es una primera etapa del mantenimiento, en donde a partir de un programa de mantenimiento preventivo se llevan a cabo inspecciones periódicas las mismas que dan lugar a efectuar ajuste, reparaciones o cambios de determinadas piezas en forma preventiva.

El Mantenimiento Correctivo : Es el mantenimiento "En Para", es decir que cuando a pesar del mantenimiento preventivo se suscita la parada intempestiva de una máquina. Este tipo de mantenimiento es no deseable que se produzca, ya que origina una paralización no programada de la máquina o de la línea de producción que ella integra y por otro lado al no haberse podido prever la reparación oportuna de la pieza o sistema puede dar lugar a un deterioro mayor de la máquina.

El Mantenimiento Integral : Corresponde al un mantenimiento o reparación integral de un determinado equipo o maquinaria; de manera que permita la revalorización de este bien.

Organización del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento:

Va a estar en función del tipo de empresa, geografía y situación del personal involucrado entre otros factores.

Hay sin embargo algunas reglas básicas para una organización efectiva y son las siguientes :

- Una clara división de autoridad con muy pequeño o ningún traslape.
- Mantener un número óptimo de personas reportando a una individual.
- Adecuar la organización a la personalidad de las personas involucradas.

Por otro lado, deberá tenerse en cuenta que nunca dos Plantas son iguales y se deberá considerar :

- El tipo de operación : Puede ser predominante en un campo (Edificios, Máquinas, Tuberías de Procesos, Equipo Eléctrico, etc.)
- Continuidad de Operación : Si las operaciones son de 5 días o 7 días a la semana y si corresponden a uno, dos o tres turnos por día.
- Modalidad de Operación : Si la organización de mantenimiento debe estar centralizada o si debe ser dispersa por existir diferentes frentes de trabajo.
- Tamaño de la Planta : Incide sobre todo en la magnitud de la organización de mantenimiento.

El Departamento de Mantenimiento y Evaluación de Ma-
quinarias en las Plantas Piloto de Conservas
y Alcoholes

Con el manual de funciones del responsable del D.M.E.M. se -

espera hacer llegar al estudiante una visión general de lo que le compete a un Departamento de Ingeniería de Mantenimiento y ampliado en nuestro caso a la "Evaluación de Maquinarias y Dispositivos Térmicos e Hidráulicos", por el aspecto académico. También se presenta la estructura del Programa de Mantenimiento.

Así mismo a continuación se darán algunas pautas del mantenimiento que requieren las Plantas Piloto, haciendo incidencia sobre el caldero pirotubular ubicado en la sala de máquinas, por ser uno de los equipos de mayor importancia para el proceso de producción.

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
UNIDAD AUTONOMA DE LAS PLANTAS PILOTO DE CONSERVAS Y ALCOHOLES

Manual de Funciones

- Dependencia : Departamento de Mantenimiento y Evaluación de Maquinarias.
- Cargo : Responsable del D.M.E.M. por la Facultad de Ingeniería Mecánica-Eléctrica-
- Reporta a : Presidente de la Unidad de Autónoma de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes.
- Supervisa : Personal de Mantenimiento.

Objetivo del Departamento. -

- En lo productivo : Garantizar la disponibilidad de las Maquinarias, Dispositivos, Edificios y Servicios necesitados por otras partes de la organización, para desarrollar sus funciones de manera tal que el retorno de la inversión sea óptimo, pudiendo ser la inversión en maquinaria, material y personal.
- En lo Académico : La implementación, puesta en marcha y desarrollo de los cursos de "Laboratorio de Energía II y III" que se va a dictar a partir del mes de Agosto para los alumnos que inician el 3er. año académico. Estos cursos permitirían desarrollar la parte de "Evaluación de Maquinarias y Dispositivos Térmicos e Hidráulicos" que vendrían a ser la parte complementaria de cursos teóricos como Termodinámica I y II, Mecánica de Fluidos y que sirvan de proyección - práctica para cursos como Turbomáquinas, Transferencia de calor, refrigeración y aire acondicionado entre otros.

Funciones Principales. -

- Mantenimiento preventivo y correctivo del equipo existente en las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes y Sala de Máquinas.
- Establecer el Programa de Mantenimiento a través de Manuales de Mantenimiento preventivo, para cada tipo y marca del equipo mecánico-eléctrico de las Plantas Piloto.
- Establecer los niveles de los Stocks en almacén, de los implementos a usarse en su Departamento.
- Realizar el mantenimiento preventivo con la frecuencia adecuada.
- Llevar las estadísticas correspondientes : Consumo de Combustibles, Lubricantes, Filtros, Fajas, Rodajes, etc.
- Asegurar la continuidad de generación y distribución de fuerza dentro de lo previsible.
- Coordinar con los responsables de las demás áreas el calendario del mantenimiento preventivo y correctivo.
- Mantener al día la información técnica.
- Deberá coordinar con el Departamento de Producción sobre las personas que van a manipular el equipo de las Plantas Piloto.
- Evaluar y preparar planes de capacitación para el personal a su cargo.
- Modificaciones a Edificios y Equipos existentes.
- Nuevas instalaciones de e Equipos y Edificios.

Funciones Secundarias. -

- Responsabilidad de Almacenes y Depósitos.
- Protección de Planta, incluyendo protección contra incendios.
- Supervisión y control de Seguros.
- Control de polución y ruidos.

Funciones Administrativas y Académicas. -

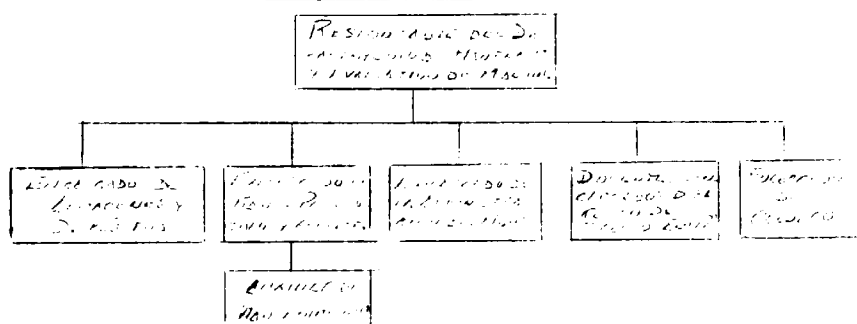
- Será el encargado, junto con el responsable del Departamento de Producción de la Evaluación de Costos y prestación de servicios.
- Se encargará de coordinar con los responsables de las demás Facultades el aspecto académico, en lo que respecta al horario y oportunidad de las prácticas, para no afectar mayormente la producción deberá contar con la producción del Comité Directivo.
- Deberá supervisar que se dicten los cursos de Laboratorio de Energía en forma apropiada, el que se cuente con la infraestructura necesaria y el constante mejoramiento y actualización de los mismos.

Autoridad. -

- Tiene suficiente autoridad para solicitar o remover personal para el D.M.E.M. de acuerdo a la capacidad de producción de la Planta y necesidades de servicio; previo informe al Comité Directivo.
- Tiene autoridad suficiente para variar los niveles del stock de almacén, en los implementos que usa.
- Tiene autoridad suficiente para implementar y adecuar los manuales de mantenimiento, y el Programa de Mantenimiento en su conjunto.
- Tiene autoridad suficiente para solicitar a la Dirección de Personal el trabajo de Horas Extras del personal a su cargo, cuando las circunstancias lo requieran.
- Tiene autoridad suficiente para ordenar la paralización del equipo mecánico-eléctrico que se encuentre operando, cuando las circunstancias lo requieran.

- Tiene autoridad suficiente para exigir controles con referencia al equipo mecánico-eléctrico de las Plantas Piloto, previa coordinación con el Departamento de Producción.
- Necesitará autorización del Comité Directivo y del Vice Registrado Administrativo para enviar al personal a lugares de instrucción o entrenamiento.

ORGANIGRAMA DEL D.M.E.M.



Estructura del Programa de Mantenimiento

- 1) Introducción
- 2) Normas de Equipos Nuevos
- 3) Normas de Mantenimiento Preventivo
- 4) Normas de Mantenimiento Correctivo.
- 5) Normas de Mantenimiento Integral
- 6) Normas de complementación de "Líneas de Producción" con maquinarias faltantes o inefficientes.
- 7) Normas básicas de seguridad.
- 8) Normas complementarias.
- 9) Anexos :
 - Formatos utilizados en el Programa de Mantenimiento,
 - Cuadros de Control
 - Hojas de especificaciones técnicas del equipo.
 - Índice de Normas Técnicas de Mantenimiento.

Formatos utilizados en el Programa de Mantenimiento

- Tarjetas de Especificaciones Técnicas.
- Parte de Producción.
- Parte de Servicio.
- Nota de Salidad de Almacén.
- Servicio de Inspección.
- Tarjeta de Servicio de Mantenimiento.
- Hoja de reparaciones.
- Control mensual de Costos de Maquinaria.
- Resumen de Resparaciones por Máquina.

MANTENIMIENTO EN UN CALDERO PIROTUBULAR

Sala de Máquinas. - Llamada también sala de calderas. Es un recinto o local especial destinado única y exclusivamente para las calderas y sus accesorios y no podrá utilizarse para otros fines. Su construcción debe ser material incombustible y tendrá la amplitud suficiente que permita el manejo, mantenimiento e inspección de todos los aparatos que integran el generador a vapor. (*Ver Plano N° 3 del Anexo*)

La sala de calderas debe disponer de buena ventilación, de buena luz bien sea natural o artificial. El techo debe ser de material incombustible y liviano. Todas las tuberías tanto de alimentación como purga o combustible que vayan al nivel del piso, es recomendable su colocación en canales cubiertos por material no combustible. El piso debe contar con un adecuado sistema de desagüe.

Respecto a las puertas de la sala de caldera, deben ser apropiadas para que permitan la evacuación de o de los operarios

en caso de siniestro, estas deben abrir hacia afuera. Las bases de las estructuras que soportan la caldera, será calculadas para resistir el esfuerzo máximo transmitido por su propio peso, más el peso del volumen total del agua.

Las dimensiones recomendadas en las salas de caldera, serán tal, que alrededor de la caldera deben haber como mínimo un espacio de 2 metro y medio, al igual entre el techo y los accesorios o válvulas más altas y de 1.80 metros sobre los pasillos más elevados.

Operación y Mantenimiento.- Un aspecto de especial importancia en el manejo de calderas a vapor es su operación y mantenimiento. Si bien la mayoría de calderas vienen equipadas para operar automáticamente, no podemos descuidar su control dado que dichos sistemas automáticos de control son susceptibles de fallar.

En general, el objetivo principal en la operación y mantenimiento de calderas es la seguridad, porque se trata de un elemento sometido a presiones y temperaturas relativamente grandes y cuya explosión puede ser de graves consecuencias para el personal, los edificios y el equipo mismo (principalmente en calderas de tubo de fuego).

Por otro lado el manejo correcto permite asegurar la vida útil de la caldera y suficiente funcionamiento, lo que redundará en una economía en reparaciones y consumo de combustible.

Sobre la operación de calderas ya se ha tratado en la experiencia de "generadores de vapor". A continuación presentamos un programa de mantenimiento para calderas pirotubulares.

El operador de Caldero debe estar siempre atento para reparar a la brevedad posible cualquier tubería de vapor, agua o petróleo que presente fugas o pérdidas.

Chequése periódicamente el ajuste de pernos, tuercas, presioneros, empaquetaduras de válvulas y ajuste cuando sea necesario.

Programa de Servicio Técnico de Mantenimiento

Servicio Mensual

- 1.- Comprobación del buen funcionamiento de la columna principal de mando de bomba (arranque y parada, etc.)
- 2.- Ajuste y balance de combustión.
- 3.- Revisión del filtro de entrada de aire al compresor.
- 4.- Comprobación de la falla de Flama en relación con la celda foto eléctrica.
- 5.- Chequeo de la Válvula de Seguridad (presión de apertura a condiciones de seguridad).

Servicio Trimestral

- 1.- Revisión del Quemador (limpieza de toberas, calibración de electrodos, chequeo del Transformador de ignición y conductores eléctricos).
- 2.- Revisión y limpieza de pressuretroles.
- 3.- Comprobación de las alarmas contra falla de flama y bajo nivel de agua.
- 4.- Chequeo de Válvulas de control de flujo e instrumentos de medición.
- 5.- Revisión del filtro de petróleo, agua, niveles, ajustes de faja de transmisión de fuerza.
- 6.- Prueba de CO₂ de los gases de combustión.

7.- Revisión de los controles primarios.

Servicio Semestral

- 1.- Revisión del pre-calentador de petróleo y ajuste de los termos wittchs y termostatos.
- 2.- Revisión del compresor de atomización de aire y el sopla dor de aire de combustión.
- 3.- Observación de refractario de la puerta posterior y empaquetadura.
- 4.- Revisión de los tubos de fuego y placas (varillado y limpieza).
- 5.- Observación interna de los tubos, para controlar depósitos de caliche (manguerado o tratamiento químico).
- 6.- Análisis de los Gases : Ver monóxido de carbono. Ver pérdidas por mala combustión.

Servicio Anual

- 1.- Revisión del Programador electrónico y secuencia de la operación de la Unidad.
- 2.- Revisión del estado de los cojinetes de los motores del Caldero y Motor modutrol.
- 3.- Chequeo de la bomba de agua, incluyendo válvulas y accesos rios.
- 4.- Revisión y cambios de los controles de seguridad que acusen defectos.
- 5.- Prueba hidráulica a presión de operación.
- 6.- Cambio de empaquetadura Man-Hole., Han-Hole del Caldero.

Lavado del Caldero Nuevo.- Después de dos meses como máximo, de haber puesto en servicio un Caldero nuevo, debe vaciársele completamente el agua, sacársele todos los registros de hom

bre y de mano, lavándolo concienzudamente todo su interior con agua a presión. (60-80 lbs/pulg²).

Esta limpieza permite observar los tubos y las placas y constatar si hay depósitos de incrustaciones, comienzos de picaduras en los tubos y recalentamientos del material, todo lo cual da un indicio si es efectivo el tratamiento que se le está dando al agua de alimentación del Caldero.

En lo sucesivo, los períodos de limpieza pueden ser cada tres o cuatro meses, de acuerdo al tipo de agua, tipo de carga, - etc.

Limpieza de los tubos de fuego.- Inspecciónese el interior de los tubos de fuego (la primera vez que lave el caldero). Si los tubos están sucios de hollín, límpielos con las escobillas de acero especial (parte del equipo de herramientas); los tubos pueden limpiarse desde cualquier lado del caldero y el hollín removido por la limpieza debe ser extraído del Caldero.

Los tubos del Caldero son de acero especial, cuya medida indica el diámetro exterior una vez cortados a la medida debe recorrerse las puntas en cal viva, para eliminar las tensiones internas del material; facilitando así el expansión del tubo.

Refractario.-

Las tapas, delanteras y posterior, deben mantener su refractario en las mejores condiciones posibles con el fin de proteger las planchas metálicas de la acción del fuego.

La parte periférica; debe mantenerse en buen estado la cinta o cordón de asbesto de acuerdo a las dimensiones especificadas por la fábrica.

Tapa.- El resto de la superficie debe recubrirse cuando se reacondiciona con Refractario Castable Super o ladrillo de -

arcilla refractaria.

Boca del Flué Central; en esta zona donde se inicia el fuego se deberá colocar ladrillos de arcilla refractario; 50% sílice y 40% de alúmina, unidos con el mortero HARWACO SOND. Es conveniente aplicar cada tres o cuatro meses una mano de mortero HARWACO a toda la superficie a badilejo o brocha, después de haber logrado un mortero de consistencia de crema.

Después de reparar el refractario, dejar que este seque al aire libre por lo menos unas 6 u 8 h. luego se puede proceder a encender el Caldero en bajo fuego por unas cuatro horas antes de entrar en servicio, reajustar pernos de las tapas.

Mantenimiento del quemador.- El secreto de un buen funcionamiento de los quemadores, depende de dos factores:

- a.- Que el petróleo esté limpio y la temperatura conveniente.
- b.- Mantener limpia la boquilla de automatización (no usar herramientas metálicas; usar madera, brochas, kerosene). El filtro de petróleo deberá limpiarse frecuentemente.

Soldadura de Tubos y Placas

Ocasionalmente, cuando se cambian tubos o se obturan rajaduras en las placas, es necesario emplear soldadura eléctrica de características apropiadas, es decir, que tenga adecuada resistencia y penetración.

Para la soldadura de los tubos de las placas se recomienda emplear soldadura marca "OERLIKON", tipo M60 12 o M-6013; para la soldadura de unión entre las placas de tubos y el casco cilíndrico, se recomienda para los cordones base soldadura marca "OERLIKON" tipo "SUPERCITO 7018" que tiene penetración y para el cordón de acabado, soldadura marca "OERLIKON", tipo -

"FERROCITO 7024".

Empaquetaduras.- Las empaquetaduras de las tapas delanteras - posterior, de "huecos de mano y de hombre", deben mantenerse.

Control del Nivel de Agua.- Si bien es realizado automáticamente en muchas calderas, se requiere un control visual relativamente continuo.

La carga de nivel asegura la limpieza de los conductos y con ello el buen funcionamiento de los sistemas de control. La colocación de válvulas de prueba a tres niveles diferentes del indicador permite cerciorarse si los indicadores están operando bien.

Un bajo nivel de agua significa que parte de la caldera se habrá recalentado con la consiguiente disminución de su resistencia mecánica (es más grave en calderas pirotubulares). Si se detecta un bajo nivel deberá principalmente evitarse choques térmicos, esto es en ningún caso se introducirá agua fría.

Medidas a adoptarse :

a) Si se detecta un bajo nivel de agua :

- Parar el quemador y dejar enfriar la caldera.
- Si la bomba de alimentación estaba funcionando, dejarla en funcionamiento, en caso contrario desconectar.
- Abrir puertas o aberturas que permitan una ventilación para su enfriamiento.
- Cerrar las válvulas de suministro de vapor para evitar caídas de presión bruscas.
- Antes de volverla a poner en servicio realizar una prueba hidrostática.

b) Excesivo nivel de agua :

Si bien significa un riesgo, es una condición anormal que debe corregirse, ya que puede ser una indicación de mal funcionamiento de los controles de nivel o la presencia de aceite en la caldera.

Barrida al encender o reencender una Caldera.- Si se dispone de tiro forzado o inducido debe hacerse funcionar los ventiladores para eliminar posible acumulación de mezclas explosivas.

Frecuencia de la limpieza interior de Calderas.- Depende de :

- Tipo de Caldera
- Calidad de Agua
- Tratamiento del Agua
- Forma de Operación

Como regla, los intervalos entre limpieza deberán ser suficientemente grandes para evitar pérdidas de producción y otras, y suficientemente cortos para evitar la excesiva acumulación de impurezas que no pudieran eliminarse por purgas o tratamientos internos.

Purgas.- En el tratamiento de agua siempre quedan impurezas, como lodos blandos o en suspensión que deben eliminarse con cierta frecuencia para evitar su acumulación en el interior de la misma.

El momento adecuado de hacer la purga es con el agua de la Caldera quieta o sea cuando no suministra vapor, o por ejemplo cuando ha estado parada de un día a otro. Si la caldera ha estado parada esperarse a que se inicien las corrientes convectivas para asegurar el desprendimiento de los lodos de las

paredes de la caldera.

Debe prestarse atención al agua durante la operación. La purga se realiza hasta que el aspecto del agua de descarga deja de ser turbio o fangoso. Si la caldera funciona en forma continua se hará cuando la carga sea mínima.

Conservación de las Calderas para un período largo de inactividad. -

- Limpiar interior y exteriormente.
- Si el período es menor de 3 meses se llena completamente con agua y se agrega 1 Kg. de carbonato de sodio (Na_2CO_3) por cada m^3 de capacidad, se prende la caldera a fuego lento; se purga el aire y luego se apaga y rellena de agua.
- Si el período es mayor de 3 meses será adecuado un recubrimiento de aceite crudo o sustancias protectoras especiales.
- Al ponerse en servicio deberá hacerse una limpieza completa.

Inspecciones periódicas de calderas. - Son de dos tipos :

- Exteriores o en operación.
- Interiores.

Es conveniente en Calderas de alta presión y que generan vapor para potencia una inspección anual interior y dos exteriores.

Para Calderas pequeñas el intervalo puede duplicarse.

La inspección interior puede completarse con una prueba hidrostática.

Prueba Hidrostática. - El propósito de la prueba hidrostática es probar la resistencia de las partes sometidas a presión y la hermeticidad de las juntas y uniones.

Los requisitos de la Prueba Hidrostática son :

- Presión = 1.5 x presión de trabajo
- Temperatura = No menor de 70 °F (21 °C)

Recomendaciones para realizar la prueba hidrostática :

- No realizarla con la caldera caliente.
- No exceder la presión recomendada de prueba.
- Aislar las partes que no deben someterse a presión.
- Asegurar el cierre de todas las aberturas : Entrada de mano y de hombre.
- Instalar un manómetro calibrado para registrar la presión.
- Verificar el buen funcionamiento de las válvulas de seguridad y luego amordazarlas.
- Llenar el caldero hasta que el agua salga por la válvula de ventilación y cerrarla.
- Aumentar la presión lentamente a razón de 50 PSI (3.15 Kg/cm²) por minuto.
- Alcanzada la presión de prueba realizar la detección de posibles fugas.
- La verificación puede hacerse también comprobando la caída de presión en un intervalo de tiempo. Se acepta como máximo 10 % en 24 horas.
- Concluida la prueba reducir la presión lentamente y luego abrir las purgas y ventilaciones.

Códigos y Normas.- Básicamente las reglas para la fabricación y control de calderas están contenidas en el ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.

The National Board, dicta normas para las inspecciones de calderas, prepara y autoriza Inspectores reconocidos por las compañías aseguradoras.

Los códigos relativos a las pruebas de rendimientos para cal-

deras están contenidas en los Códigos del ASME y del ASHRAE. La ASTM y la ASA norman los requisitos de materiales y dimensiones.

En nuestro país el ITINTEC, es la entidad que dicta las normas para fabricación, pruebas e inspecciones.

Referencia Bibliográfica

- Luis Tartarani - "Seminario de Calderas Industriales"
- El Departamento de Mantenimiento "Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes"
- Ing. Mori - "SEminario de Calderas Industriales".

APLICACION DE LAS EXPERIENCIAS EN EL CURSO DE LAB. DE ENERGIA II

EXP. I GENERADOR DE VAPOR - TRATAMIENTO DE AGUA

Se pide.- Esta experiencia tiene como finalidad que el estudiante conozca los principios y el funcionamiento del caldero, sus accesorios e instrumentos.

Por otro lado que esté en condiciones de efectuar los tratamientos internos y externos del agua del caldero; este último a través del sistema de ablandamiento de agua de las plantas piloto, en el que se deberá determinar la capacidad específica de procesamiento, el volumen de la resina, el tiempo entre dos regeneraciones, la cantidad de sal requerida para cada regeneración y los tiempos de regeneración y lavado.

Aparatos y Accesorios.- Se utilizan los equipos ubicados en la "Sala de Máquinas" como son: El generador pirotubular y sus diferentes accesorios y el sistema de ablandamiento de agua de intercambio iónico con resina y válvula multiport. Igualmente se utilizan los reactivos respectivos tanto para el tratamiento interno como externo del agua.

Tratamiento Interno

A partir del análisis del agua de Caldero, efectuado en el curso de Laboratorio de Energía I, con muestras tomadas antes y después de una regeneración; es decir después de haber pasado el agua por el tratamiento externo que se efectúa mediante el sistema de ablan-

damiento de agua.

Se agregan los siguientes reactivos d al agua del caldero.

- Aluminato de Sodio → Coagula y precipita Ca y Mg.
- Sulfito de Sodio → Completa la desoxidación.
- Teninos ó Lignitos ó almidones → Favorece eliminación de sólidos.
- Aminas ó Polimeros dispersantes → para eliminar el H₂.
- Hidróxido de Sodio → Para producir un PH alcalino y precipitar el Magnesio.

Tratamiento Externo

Datos.-

- Recipiente ablandador : D = 36 cms = 1.18' , H = 143.5 cms = 4.71'
- Capacidad de intercambio Iónico de la Resina: 20,000 granos/Pie cúbico de Resina.
- Recipiente Regenerador: D = 51.5 cms = 1.69' , H = 120 cms = 3.94'
- Agente de Regeneración: Solución de Na CL AL 25%.
- Peso de Na CL requerido para la regeneración de la resina: 10 lbs. de NaCl/Pie cúbico de resina, ó 160 kgs de NaCl/metro cúbico de Resina.
- Flujo de regeneración: 2 Gls./min./Pie cúbico de resina.
- Flujo de agua de lavado: 60 Gls/Pie cúbico de resina.

Cálculos y Resultados

- Si consideramos que se requieren 10 Gls/min. de agua blanda, con

una dureza de 200 ppm como Ca CO_3 en el agua cruda.

(Para un régimen intenso de trabajo en las plantas).

Si tenemos un recipiente ablandador con un volumen de :

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times H \quad V = \frac{\pi (1.18)^2}{4} \times 4.71 = 5.15 \text{ Pie cúbico}$$
$$= 0.146 \text{ metro cúbico.}$$

Luego la capacidad específica de procesamiento será igual A:

$$C = \frac{10 \text{ Gls./min}}{5.15 \text{ Pie}^3} = 1.94 \text{ Gls./min./Pie}^3$$

- El volumen ocupado por la resina (V_r) debe ser aproximadamente el 60% del volumen del recipiente ablandador. Luego :

$$V_r = 0.6 \times 5.15 = 3.09 \text{ Pie}^3$$

Lo que equivale a una altura de Resina en el recipiente ablandador de:

$$H_r = 86.1 \text{ cms} = 2.83'$$

- Por otro lado de acuerdo a las equivalencias, 200 ppm como CaCO_3 , equivalen a $200/17.1 = 11.7$ granos por galón. Luego siendo la capacidad de intercambio Iónico de la Resina de 20,000 granos por pie^3 de Resina, para que se sature dicha resina deberá circular un volumen de agua (V_a) de :

$$V_a = \frac{20,000 \text{ Granos/Pie}^3 \times 3.09 \text{ Pie}^3}{11.7 \text{ Granos/Galón}} = 5,282 \text{ Galones}$$

Luego el tiempo que operará el ablandador entre dos regeneraciones consecutivas será de :

$$T = \frac{5,282 \text{ Gls}}{10 \text{ Gls/Min.}} = 528.2 \text{ Min.}$$
$$= 8.8 \text{ Horas.}$$

Cada 8.8 horas deberá procederse a la regeneración.

- La cantidad de NaCl requerido por cada regeneración será de :

$$10 \text{ Lbs. de NaCl/Pie cúbico de resina} \times 3.09 \text{ Pie cúbicos} =$$
$$30.9 \text{ Lbs.}$$
$$= 68.16 \text{ kgs. de sal.}$$

que coincide con la recomendación del manual, de 12" de sal.

- Estimando que 68.16 kgs. ocupa un volumen de 0.06882 m^3 , en solución al 10% representará un volumen de 0.682 m^3 de solución.
= 180 Galones de solución.

Si el tanque de regeneración ó de salmuera tiene una capacidad de :

$$Vr = \frac{\pi \cdot (1.69)^2}{4} \times H = \frac{\pi (1.69)^2}{4} \times 3.94 = 8.84 \text{ pie cúbico}$$
$$= 0.251 \text{ m}^3$$

Lo cual no satisface la capacidad requerida.

Por otro lado el manual recomienda 12" de sal en el tanque regenerador, esto significa que la solución de NaCl será al 25%, para la capacidad del tanque, implica un volumen de $0.0682 \times 4 = 0.2728 \text{ m}^3$ de solución = 72 galones de solución.

Considerando esta nueva concentración, se recomienda un flujo de regenerante de 2 Gls/min.pie³ de resina, es decir de :

$$2 \text{ Gls/min./pie}^3 \text{ de resina} \times 3.09 \text{ pie}^3 = 6.18 \text{ Gls/min.}$$

Para la cantidad de resina.

Luego la regeneración demorará :

$$T = \frac{72 \text{ Galones}}{6.18 \text{ Gls./Min.}} = 11.65 \text{ min.}$$

- Por otro lado si se considera una velocidad 3 m/seg para la salmuera en la tubería de alimentación, el Diámetro de la tubería - corresponderá a :

$$A = \frac{6.18 \text{ Gls/min.} \times 3.785 \text{ lts/Gls.}}{3 \text{ m/seg} \times 60 \text{ seg/min} \times 10 \text{ m.}} = 0.013 \text{ dm}^2$$

$$\text{Diámetro} = 0.128 \text{ dm} = 1.28 \text{ cms.} \cong 1/2 \text{ Pulg.}$$

- Para el proceso de lavado se requerirá un volumen de agua de 60 galones/pie³ x 3.09 Pie³ = 185.4 galones. Este volumen alimentado a razón de 2 galones/min./ pie³ x 3.09 Pie³ = 6.18 gls./min., nos determinará un tiempo de lavado de 30 minutos.
- Las tuberías de agua dura y blanda considerando una velocidad de 3 m/seg. corresponderán a :

$$A = \frac{10 \text{ Gls/min} \times 3.785 \text{ lts/gln.}}{3 \text{ m/seg.} \times 60 \text{ seg/min.} \times 10 \text{ dm/ m}} = 0.02103 \text{ dm}^2$$

Diámetro = 0.164 dm = 1.64 cms \cong 11/16 Pulg.

Conclusiones y Sugerencias

- Si se trabaja con una concentración de la solución regenerativa al 10% resulta deficiente el tamaño del tanque de regeneración - por lo que se ha considerado una concentración de 25%, estando esta de acuerdo con el manual.
- De la misma manera como se trata de una solución regenerativa - más concentrada se ha ~~ad~~umentado el caudal de regeneración.
- Por lo demás, los diferentes valores calculados, resultan coherentes con las cantidades y tiempos utilizados en el sistema de tratamiento de agua.
- Para llevar la dureza del agua de 9 ppm. que da el análisis de agua a 1 ppm. que se recomienda para los calderos de baja presión se debe tener en cuenta el balance del sistema de tratamiento de agua efectuado anteriormente y si no es suficiente, - llevar a cabo el tratamiento interno especificado (en este también se considera el hidróxido de sodio para llevar el PH alrededor de lo recomendado).

EXP. II. BALANCE TERMICO DE UN GENERADOR DE VAPOR - ANALISIS
DE GASES

Se pide.- Efectuar el análisis de los gases de salida del Caldero-Pirotubular de las Plantas Piloto, y su Balance Térmico respectivo.

Aparatos y Accesorios

- Analizador de Gases tipo 'ORSAT'
- Caldero Pirotubular de las Plantas Piloto, con sus diferentes accesorios e instrumentos de medición.

Datos.-

- T.B.S. = 23.5°C = 74.3°F
- T.B.II. = 17°C = 62.6°F
- Temperatura del Agua de Alimentación : $T_a = 25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$
- Temperatura del combustible : $T_c = 25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$
- Temperatura de gases de escape : $T_g = 337.8^{\circ}\text{C} = 640^{\circ}\text{F}$
- Presión de salida del vapor : $P_v = 60$ Psia.
- Desnivel en el tanque de combustible : $\Delta h_c = 10$ cms. ≈ 7 gls.
- Diferencia de presión :
- Temperatura de vapor que sale : $T_v = 292^{\circ}\text{F} = 144.4^{\circ}\text{C}$
- Tiempo en que suceden los desniveles de combustible: $T_c = 50$ min.
- Con el analizador de gases :

$$\% \text{CO}_2 = 9.6\%$$

$$\% \text{CO} = 0.4\%$$

$$\% \text{O}_2 = 6.45 \%$$

Calculos y Resultados.-

A.1 Determinación del Flujo de Vapor : (\dot{m}_V)

A través del medidor de flujo de "Plato con orificio" de las Plantas Piloto.

$$\dot{m}_V = 621 \text{ lbs/hr.}$$

A.2 Determinación del flujo de combustible : (m_C)

Se consumieron 7 gls. en aproximadamente 50 min.

$$V_C = \frac{7 \text{ gls} \times 3.785 \text{ dm}^3}{1 \text{ gln.}} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{28.32 \text{ dm}^3} = 0.936 \text{ pie}^3$$

Luego la masa de combustible es :

$$\begin{aligned} m_C &= V_C \cdot P_C = 0.936 \text{ pie}^3 \times 54.6 \text{ lbs/pie}^3 \\ &= 51.1 \text{ lb.} \end{aligned}$$

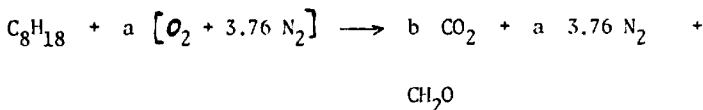
Que fue consumida en aproximadamente 50 min., dando un flujo de combustible de :

$$\dot{m}_C = \frac{m_C}{t_C} = \frac{51.1 \text{ lbs.}}{50 \text{ min.}} \times \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hr.}} = \frac{61.32 \text{ lbs}}{\text{hr.}}$$

A.3 Análisis de los gases de escape.-

RELACION AIRE - COMBUSTIBLE TEORICA : Es la que corresponde a

la combustión teórica con aire estequiométrico ó aire necesario para la combustión completa. Para un hidrocarburo de fórmula $C_8 H_{18}$ la relación aire - combustible teórica la calculamos a partir de la ecuación teórica para la combustión completa.



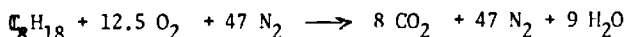
Balanceando la Ecuación :

$$C : 8 = b \quad \rightsquigarrow \quad b = 8$$

$$H_2 : 18 = 2c \quad \rightsquigarrow \quad c = 9$$

$$O_2 : 2a = 2b + c \quad \rightsquigarrow \quad a = 12.5$$

La Ecuación balanceada es :



De Donde :

$$\gamma_{a/c} = \frac{m_{aire}}{m_{comb.}} = \frac{12.5 \times 32 + 47 \times 28}{8 \times 12 + 18 \times 1} = 15.05$$

$$\gamma_{a/c} = 15.05$$

Luego la relación Aire - Combustible teórica para el C_8H_{18} es 15.05.

RELACION AIRE - COMBUSTIBLE REAL : Esta se obtiene a partir

de los datos del ORSAT. Los siguientes datos corresponden a la com
bustión del C_8H_{18} con exceso de aire :

$$C O_2 : 9.6 \%$$

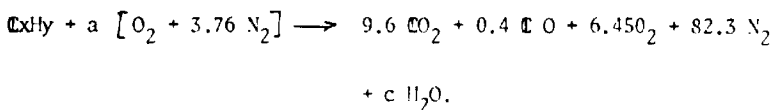
$$O_2 : 6.45\%$$

$$C O : 0.4 \%$$

$$N_2 : 82.3\%$$

La Ecuación de la combustión real para un compuesto de la fórmula
 $C_x H_y + a [O_2 + 3.76 N_2] \longrightarrow b C O_2 + c C O + d O_2 + a 3.76 N_2$
 $+ e H_2 O.$

Lo cual con los datos del Orsat queda :



Balanceando esta Ecuación :

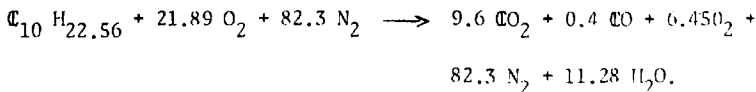
$$C : X = 9.6 + 0.4 \rightarrow X = 10$$

$$N_2 : a \cdot 3.76 = 82.3 \rightarrow a = 21.89$$

$$O_2 : 2a = 2 \times 9.6 + 0.4 + 2 \times 6.45 + c \rightarrow c = 11.28$$

$$H_2 : y = 2e \rightarrow Y = 22.56.$$

La Ecuación balanceada es :



De donde se obtiene la relación aire - combustible :

$$\gamma_{a/c} = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{comb.}}} = \frac{21.89 \times 32 + 82.3 \times 28}{10 \times 12 + 22.56 \times 1} = 21.07$$

Luego la relación aire - combustible real de la reacción es 21.07.

Exceso de Aire :

El cálculo del exceso de aire podemos hacerlo de dos formas :

a) Mediante la Fórmula :

$$\text{Exceso de aire} = \frac{(\gamma_{a/c})_{\text{real}} \times 100 - 100}{(\gamma_{a/c})_{\text{teórica}}} = \frac{21.07 \times 100 - 100}{15.05}$$

$$\text{Exceso de aire} = 40\%$$

b) Mediante la fórmula en que intervienen unicamente los datos del

Orsat :

$$\text{Exceso de aire} = 100 \frac{(O_2 - CO/2)}{(21/79) N_2 - (O_2 - CO/2)}$$

Reemplazando datos :

$$\text{Exceso de aire} = \frac{100 (6.45 - 0.4/2)}{(21/79) \times 82.3 - (6.45 - 0.4/2)} = 40\%$$

Se puede observar que mediante las dos fórmulas obtenemos el mismo resultado: 40%. Como el balance de la ecuación de la combustión

nos dá la fórmula del combustible y sabiendo que este combustible es C_8H_{18} , asemejamos el $C_{10}H_{22.56}$ a la fórmula C_8H_{18} y nos resulta $C_8H_{18.05}$, que es prácticamente la fórmula real del combustible usado en la reacción

1) Cálculo del calor útil (Q_1) :

$$Q_1 = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_c} \times \Delta h$$

En el generador se da el siguiente proceso.

$$Q_1 = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_c} (h_2 - h_1)$$

Siendo :

$$\dot{m}_v = 621 \text{ Lb/hr.}$$

$$\dot{m}_c = 61.32 \text{ Lb/hr.}$$

$$h_2 = h_g \text{ 60 psia} = 1177 \text{ Btu/lb}$$

$$h_1 = h_f \text{ 25}^\circ = 45 \text{ Btu/Lb.}$$

Luego :

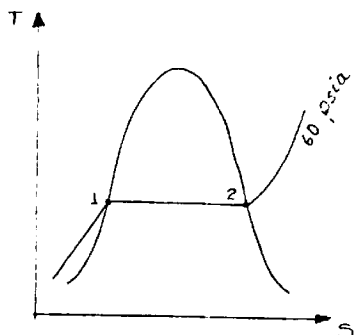
$$Q_1 = \frac{621 \text{ Lb/hr}}{61.32 \text{ lb/hr.}} \times (1,177 \text{ Btu/lb} - 45 \text{ Btu/lb})$$

$$Q_1 = 11,463.9 \text{ Btu/lb de comb.}$$

2) Calor perdido en gases de escape (Q_2) :

$$Q_2 = m_g \times C_{pg} \times (T_g - T.B.S.) \text{ ----- (I)}$$

Considerando los productos de la combustión :



$$\% \text{CO}_2 + \% \text{CO} + \% \text{O}_2 + \% \text{H}_2\text{O} + \% \text{N}_2$$

Tomando en cuenta sólo los *humos* ó gases.

$$\text{mg} = 44 (\% \text{CO}_2) + 28 (\% \text{CO}) + 28 (\% \text{N}_2) + 32 (\% \text{O}_2)$$

$$\text{mg} = 44 (\% \text{CO}_2) + 28 (\% \text{CO}) + 28 (100\% - \% \text{CO}_2 - \% \text{CO} - \% \text{O}_2) + 32 (\% \text{O}_2)$$

$$\text{mg} = [16 (\% \text{CO}_2) + 4 \% \text{O}_2 + 2,800] \text{ Lbs. de gases.}$$

Luego la cantidad de carbono (C) presentes en estos gases es :

$$\text{C} = 12 (\% \text{CO}_2 + \% \text{CO}) \text{ Lbs. de C .}$$

Por otro lado la composición del combustible en peso es :

$$84.2 \% \text{C}$$

$$15.8\% \text{H.}$$

Luego, la masa de gases por libra de combustible es :

$$\text{mg} = \frac{16 (\% \text{CO}_2) + 4 (\% \text{O}_2) + 2,800 \text{ Lbs. de gases}}{12 (\% \text{CO}_2 + \% \text{CO}) \text{ Lbs. de C}} \times 0.842 \frac{\text{Lbs de C}}{\text{Lbs de comb.}}$$

$$\text{mg} = \frac{4 (\% \text{CO}_2) + (\% \text{O}_2) + 700}{3 (\% \text{CO}_2 + \% \text{CO})} \times 0.842 \frac{\text{Lbs de gases}}{\text{Lbs de combustible.}}$$

Reemplazando datos :

$$\text{mg} = \frac{4 (9.6) + 6.45 + 700}{3 (9.6 + 0.4)} \times 0.842$$

$$mg = 20.91 \frac{\text{Lbs de gases}}{\text{Lbs de combustible}}$$

En (I) :

$$Q_2 = 20.91 \frac{\text{Lbs. de gases}}{\text{Lbs. de comb.}} \times 0.24 \frac{\text{BTU}}{\text{lbs} \times ^\circ\text{F}} \times (640^\circ\text{F} - 74.3^\circ\text{F})$$

$$Q_2 = 2,838.9 \text{ BTU/Lbs de comb.}$$

3) Calor perdido por evaporación del agua de formación (Q_3) :

$$Q_3 = 91 \left[1 \times (212 - T_c) + 970.3 + 0.46 (T_g - 212) \right] \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs de comb.}}$$

(Fórmula sustentada en la guía teórica).

Reemplazando datos, tenemos :

$$Q_3 = 9 \times 0.158 \left[1 (212 - 77) + 970.3 + 0.46 (640 - 212) \right] \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs comb.}}$$

$$Q_3 = 1,851.7 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbs. de comb.}}$$

4) Calor perdido por evaporación de humedad superficial del combustible (Q_4) :

$$Q_4 = m_H (212 - T_c) + 970.3 + 0.46 (T_g - 212)$$

m_H = Cantidad de humedad/lb. de combustible.

Para nuestro caso :

$$Q_4 = 0$$

Ya que Q_4 solamente es significativo en combustibles sólidos.

5) Calor perdido por combustión incompleta (Q_5) :

En la formación de :	Calor de combustión
CO	3,960 BTU/lb. de comb.
CO ₂	14,150 BTU/lb. de comb.

Luego de la fórmula sustentada en la guía teórica :

$$Q_5 = \frac{\% \text{ CO}}{\% \text{ CO}_2 + \text{CO}} \times (14,150 - 3960) \times 0.842 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb. comb.}}$$

Reemplazando datos :

$$Q_5 = \frac{0.4}{9.6 + 0.4} \times 0.842 (14,150 - 3960)$$

$$Q_5 = 343.2 \frac{\text{BTU}}{\text{lb. de comb.}}$$

6) Calor perdido por carbón no consumido y se halla presente en las cenizas (Q_6)

$$Q_6 = 14,150 \times \frac{W_a}{M_c} \times C_a$$

(según fórmula sustentada en guía teórica)

Para nuestro caso :

$$Q_6 = 0$$

Por tratarse de combustible líquido.

7) Calor perdido al calentamiento de la humedad del aire ambiental

(Q_7) :

$$Q_7 = M \times C_{pv} \times (T_g - T.B.S.) \text{ BTU/lb de comb. ----- (II)}$$

$$M = W \frac{\text{Lbs de humedad}}{\text{Lbs. de aire}} \times \gamma \text{ a/c } \frac{\text{Lbs de aire}}{\text{Lbs. de comb.}}$$

$$\text{Con : } T.B.S. = 23.5^\circ\text{C} = 74.3^\circ\text{F}$$

$$T.B.H. = 17.^\circ\text{C} = 62.6^\circ\text{F}$$

$$\text{En carta psicrométrica : } W = 0.0095 \frac{\text{Lbs de vapor de agua}}{\text{Lbs. de aire.}}$$

Luego :

$$M = 0.0095 \frac{\text{Lbs de vapor de agua}}{\text{Lbs. de aire}} \times 21.07 \frac{\text{lbs. de aire}}{\text{Lbs. de comb.}}$$

$$M = 0.200 \frac{\text{Lbs. de vapor de agua}}{\text{Lbs. de comb.}}$$

$$C_{pv} = 0.46 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}} \text{ (Calor específico del vapor de agua)}$$

Entonces en (II) :

$$Q_7 = 0.200 \times 0.46 (640^\circ\text{F} - 74.3^\circ\text{F})$$

$$Q_7 = 52.04 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb. de comb.}}$$

8) Calor perdido por radiación, convección y otros (Q_8) :

$$Q_8 = Q_t - \sum_{i=1}^7 Q_i$$

Donde :

Q_t = Poder calorífico bajo del combustible por Lb.

(19,300 BTU/lb. de comb.)

$$Q_8 = 19,300 - 16,549.74$$

$$Q_8 = 2,750.26 \text{ BTU/lb. de comb.}$$

Representación gráfica del Balance Térmico

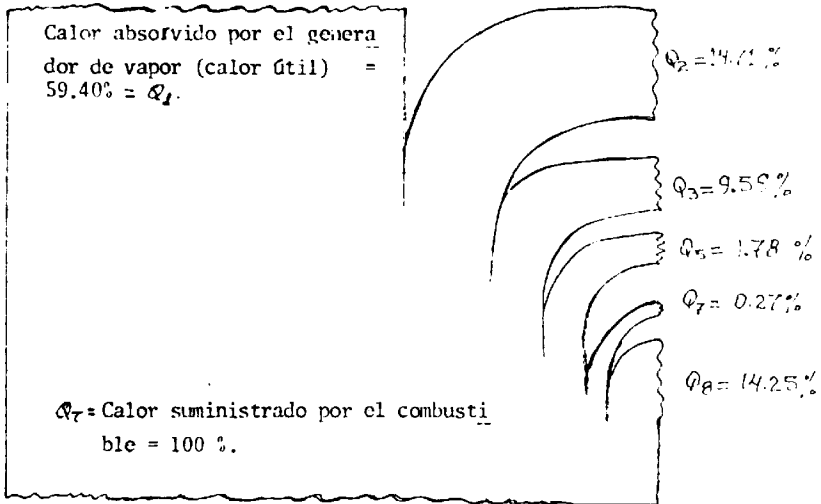


DIAGRAMA DE SANKEY

9) Cálculo del HP de Caldera (HPC)

De la definición de HP de caldera, dada en la guía teórica.

$$\text{HPe} = \frac{0.9575 \times 10^4 \frac{\text{BTU}}{\text{lb. de comb.}} \times 61.32 \frac{\text{lb. de comb.}}{\text{Hr.}}}{33,500 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr} - \text{HP.}}}$$

$$\text{HPe} = 17.53$$

10) Cálculo del factor de evaporación (fe) :

De acuerdo a la definición en la guía teórica

$$\text{fe} = \frac{(h_2 - h_1)}{\text{Ah } 1 \text{ HP caldero.}}$$

$$\text{fe} = \frac{(1177 - 45) \text{ BTU/lb.}}{(970.3) \text{ BTU/lb.}}$$

$$\text{fe} = 1.17$$

11) Evaporación equivalente (Ee) :

Según guía teórica.

$$Ee = \text{fe} \times \text{mv.}$$

$$Ee = 1.17 \times 521 \frac{\text{lbs de vapor}}{\text{hora}}$$

$$Ee = 609.57 \frac{\text{lbs de vapor equivalente}}{\text{Hora.}}$$

12) Producción de Caldero (Pc) :

$$Pc = \frac{Ee}{\frac{3600}{mc}}$$

$$Pc = 609.57 \frac{\text{Lbs. de vapor equivalente}}{\text{hr.}}$$

$$\frac{61.32 \text{ lbs. de comb.}}{\text{hr.}}$$

$$Pc = 9.94 \frac{\text{Lbs. de vapor equivalente}}{\text{Lbs. de comb.}}$$

13) Rating. (% R) :

$$\% R = \frac{Q_1 / 33,500 \text{ BTU/hora} - \text{HP}}{Sc/10 \text{ Pie}^2 / \text{HP}}$$

Sc → Superficie de calentamiento del caldero.

$$\% R = \frac{521 (1177 - 45) \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times 10 \frac{\text{Pie}^2}{\text{HP}}}{200 \text{ pie}^2 \times 33,500 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}} \times \text{HP.}}$$

$$\% R = 0.880$$

14) Eficiencia del generador (?) :

$$\eta = \frac{Q_1}{P_c}$$

$$\eta = \frac{11,463.9}{19,300}$$

$$\eta = 0.594$$

$$\eta = 59.4\%$$

Conclusiones y Sugerencias.

- El análisis de los gases de escape se ha efectuado con un analizador implementado en las Plantas Piloto con fines experimentales, en donde se ha tratado de asemejar la distribución del analizador "ORSAT", con sus respectivos reactivos. Sin embargo por no haberse podido concretar un acabado adecuado para la hermeticidad de las conexiones y una eficiente regulación de los flujos se consideran la validez de los resultados con cierta relatividad. Sin embargo, se espera que para el inicio del curso, se cuente con un analizador "ORSAT" apropiado que nos permita a la vez tener una referencia para implementar nuestros propios analizadores.
- Igualmente en el caso del medidor de plato con orificio para el flujo de vapor, está pendiente la utilización del diagrama ya -- que no se ha podido conseguir hasta el momento los catálogos respectivos. Sin embargo se ha evaluado el flujo de vapor, cuando -

el caldero trabaja con una demanda media de vapor, a partir del consumo de agua en un determinado intervalo de tiempo.

Se consumieron 86.5 galones de agua de alimentación en 70 minutos, luego :

$$m v = \frac{86.5 \text{ gls} \times 3.785 \text{ lts} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1 \text{ lt.}} \times \frac{2.2 \text{ lbs}}{1 \text{ kg.}}}{1.166 \text{ hrs.}} = 621 \text{ lbs/hr.}$$

- La relación Aire - Combustible determinada, así como el exceso de aire; resultan elevados para los valores recomendados en calderas con combustibles líquidos, que en el caso del exceso de aire debería ser del orden del 15%. Por lo que se concluye que la energía perdida por los gases de escape es alta, verificada por la alta temperatura de descarga, lo cual aparte del exceso de aire también se debe a las incrustaciones en las superficies de calentamiento.
- El combustible Diesel corresponde a una mezcla de Hidrocarburos, sin embargo el Heptano (C_7H_{16}), el Octano (C_8H_{18}) y el Hexadecano ($C_{16}H_{34}$) no difieren su comportamiento mucho del hidrocarburo real.
- Otra conclusión, a que se puede arribar, es el alto porcentaje de pérdidas por convección y radiación; y esto se debe a la excesiva corriente de aire en la ubicación del caldero.
- Como interpretación de los resultados del análisis de gases, se

puede inferir de los siguientes gráficos.

* Gráfico de % de O_2 , CO y CO_2 VS % de aire teórico.

Entrando con 140% de aire teórico, determinamos 6.5% de O_2 y 10.1 % de CO_2 , valores que están muy cerca de lo hallado con el analizador.

* Gráfico de % $CO_2 + O_2$ VS % CO_2 .

Entrando con 9.6 % de CO_2 , de la curva para el C_8H_{18} , determinamos 16.6 % de $CO_2 + O_2$, resultando que también es bastante aproximado a lo conseguido con el analizador.

* Gráfico % de exceso de aire VS. % en volumen de O_2 y CO_2 .

Entrando con 40% de exceso de aire determinamos para el petróleo N°1 (que es el combustible más cercano al Diesel N°2), un 6% de O_2 y aproximadamente 11% de CO_2 , valores que también es tan cerca de los resultados del análisis.

Nota.- Estos gráficos se encuentran en los libros de "Laboratorio de Ing. mecánica I" - profesores LNI ; y en "El Laboratorio del Ing. mecánico" - Seymour.

EXP. III AISLAMIENTO TERMICO - TUBERIAS Y PERDIDAS EN INSTALACIONES CON VAPOR.

Se Pide. - Efectuar el rediseño de algunos Parámetros del Sistema de Tuberías que transporta vapor y evaluar sus pérdidas de presión. Asimismo evaluar las pérdidas en soles que significa el -- que no tengan las tuberías aislante térmico y calcular el espesor de un determinado aislamiento Térmico.

Aparatos y Accesorios. - El Sistema de Tuberías de vapor de la -- Planta de Conservas.

Cálculos y Resultados

- Cálculo del espesor de una tubería de 2" de diámetro que conduce vapor a 60 psia. y una temperatura de 292°F (144.4°C).

Utilizando las Tablas para tuberías de acero al carbono sin -- costura, para 144.4°C, obtenemos $S = 81.93 \text{ kg/cm}^2$ (1165 psia).

Luego :

$$t = \frac{60 \times 2.375}{2 \times 1165 + 0.8 \times 60} + 0.065 = 0.1239$$

$$t = 0.124 \text{ pulg.}$$

De acuerdo a tabla, debemos usar una tubería Schedule 40 que -- tiene un espesor de 0.154 pulg.

- Seleccionar el diámetro de una tubería de Sch 40 para conducir

621 lb/hr de vapor saturado a 60 psia.

La determinación del diámetro de las tuberías está en función del flujo del fluido a transportarse y de la pérdida de presión en el sistema de tuberías. En esta aplicación utilizaremos velocidades de transporte recomendadas que implican un costo inicial-económico y una pérdida de presión aceptable.

De tablas de vapor, el volumen específico del vapor saturado a 60 psia es $v_g = 7.175 \text{ pie}^3/\text{lb.}$, con una velocidad seleccionada de 4,500 pies/min. Aplicando la Ecuación de continuidad.

$$\dot{m} = \frac{V \cdot \Lambda}{v} \rightarrow \Lambda = \frac{\dot{m} \cdot v}{V} = \frac{621 \times 7.175 \times 1/60}{4,500}$$

$\Lambda = 0.0165 \text{ pies}^2$, que corresponde a un diámetro interior :

$$D_i = \sqrt{\frac{4\Lambda}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0165 \times 144}{\pi}} = 1.739 \text{ pulg.}$$

Luego :

Seleccionando la tubería de 2" de \emptyset nominal (Sch 40) que tiene un diámetro interior de 2.067 pulg., nos da una velocidad de 3186 pies/min, la misma que se considera muy por de bajo del rango de velocidades recomendadas.

Seleccionando una tubería de 1 1/2" \emptyset nominal (Sch 40) que tiene un diámetro interior de 1.610 pulg., nos da una velocidad -

de 5,253 pies/min., la misma que está en el rango recomendado.

(En las tablas de la guía teórica se recomienda un rango de 4000

- 6000 pies/min., para vapor saturado a baja presión).

- Pérdida de presión en el Sistema de Tuberías de vapor de la Planta de Conservas.

Datos :

Longitud total de la Tubería :

- . Tubería de $3\frac{1}{2}$ " ϕ Sch. 40 : 80.25 pies
- . Tubería de 1 1/2" ϕ Sch. 40 : 11.30 pies.
- . Tubería de 1 1/4" ϕ Sch. 40 : 165.73 pies.
- Tubería de 1" ϕ Sch. 40 : 73.95 pies.
- Tubería de 3/4" ϕ Sch. 40 : 77.90 pies.

<u>Accesorios del Sistema de Tuberías.</u>	<u>Fe.</u>	<u>Lc (Pies)</u>
. Válvula de retención : 1	7	7 x 1 x 1 1/4 = 1.75
. Válvula de globo : 9	25	25 (6 x 1 + 3 x 1 1/4) = 243.75.
. Tee : 2	8	8 x 2 x 1 = 16
. Válvula de compuerta : 3	1	1 x 3 x 1 = 3
. Codo 90° soldado : 36	1	1 x 16 x 1 + 1 x 8 x 1 1/4 + 1 x 1 x 1 1/2 + 1 x 3 x 3/4 + 1 x 8 x 3 1/2 = 57.75.
. Reductor : 2	1	1 x 2 x 1 = 2
. Válvula de seguridad : 2	7	7 (1 x 2 + 1 x 1) = 21

. Codo 90° Roscado : 3 1 1 x 3 x 1 = 3

Donde : $Le = Fe \times N^{\circ} \text{ accesorios} \times D_n$.

$Le \rightarrow$ Longitud equivalente (pies) $D_n \rightarrow$ Diámetro nominal (pulg.)

$Fe \rightarrow$ Factor de equivalencia

Para el tramo de tubería de 3 1/2" ϕ nominal

$$Deq = 3.548'' = Di \quad \Lambda = 0.0687 \text{ pie}^2 \quad Le = 80.25 + 1 \times 8 \times 3 \frac{1}{2} \\ = 108.25 \text{ pies.}$$

$$V = 4,500 \frac{\text{pies}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg.}} = 75 \text{ pies/seg. (Tabla copias)}$$

$$\mu = 0.033 \frac{\text{lb m}}{\text{pie-hr.}} \quad (Tabla copias) \quad \rho = \frac{1}{V_{292^{\circ}\text{F}}} = 0.138 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3} \quad (\text{Tablas de vapor})$$

Luego :

$$Re = \rho \frac{V Deq}{\mu} = \frac{0.138 \text{ lbm/pie}^3 \times 75 \text{ pies/seg} \times 3.548 \text{ pulg}}{0.033 \text{ lbm/pie} \cdot \text{hr.}} \times$$

$$\frac{3,600 \text{ seg}}{\text{hr.}} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg.}}$$

$$Re = 333,835$$

$$\epsilon = 0.05^{\text{mm}} \quad (\text{para acero comercial ó hierro forjado, del diagrama de Moody})$$

$$\epsilon/Deq = 0.05 \text{ m.m.} / 90.12 \text{ mm.} = 0.00055$$

$$\text{Del diagrama de Moody : } f = 0.0185$$

Luego :

$$\Delta h = f \times \frac{Le}{Deq} \times \frac{V^2}{2g} = 0.0185 \times \frac{108.25 \times 12}{3.548} \times \frac{(75)^2}{2 \times 32.2} = 591.6 \text{ pies de vapor - de agua.}$$

$$(g = 32.2 \text{ pies/S}^2)$$

$$\Delta P = \frac{f}{144} \times \Delta h.$$

$$\Delta P = \frac{0.138}{144} \times 591.6$$

$$\Delta P = 0.567 \text{ psi}$$

Para el tramo de tubería de 1 1/2" \emptyset nominal.

$$Deq = 1.610'' = Di \quad \Lambda = 0.01414 \text{ pie}^2$$

$$Le = 11.30 + 1 \times 1 \times 1 \times 1/2 = 12.8 \text{ pies.}$$

$$V = 4,500 \text{ pies/min.} = 75 \text{ pies/seg.}$$

$$\mu = 0.033 \frac{\text{lbm}}{\text{pie} \cdot \text{hr.}}$$

$$\rho = 0.138 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$$

Entonces :

$$Re = \rho \frac{V Deq}{\mu} = \frac{0.138 \times 75 \times 1.610}{0.033} \times 3600 \times \frac{1}{12}$$

$$Re = 151,486$$

$$\epsilon = 0.05 \text{ m.m.} \quad \epsilon/D = \frac{0.05}{40.89} = 0.00120$$

Del Diagrama de Moody $f = 0.039$

Luego:

$$\Delta h = f \times \frac{L_e}{D_{eq}} \times \frac{V^2}{2g} = 0.039 \times \frac{12.8 \times 12}{1.610} \times \frac{(75)^2}{2 \times 32.2} = 324.98$$

$\Delta h = 324.98$ pies de vapor de agua

$$\Delta P = \frac{\rho}{144} \times \Delta h$$

$$\Delta P = \frac{0.138}{144} \times 324.98$$

$$\Delta P = 0.311 \text{ psi}$$

PARA EL TRAMO DE TUBERIA DE 1 1/4 Ø NOMINAL

$$D_{eq} = 1.380" = D_i$$

$$A = 0.01039 \text{ pie}^2$$

$$L_e = 165.73 + 7 \times 1 \times 1 \frac{1}{4} + 25 \times 3 \times 1 \frac{1}{4} + 1 \times 8 \times 1 \frac{1}{4} = 278.23 \text{ pies}$$

$$V = 4,500 \text{ pies/min} = 75 \text{ pies/seg.}$$

$$\mu = 0.033 \frac{\text{lbm}}{\text{pies-hr}}$$

$$\rho = 0.138 \frac{\text{lbm}}{\text{pies}^3}$$

Luego:

$$Re = \frac{\rho V D_{eq}}{\mu} = \frac{0.138 \times 75 \times 1.380}{0.033} \times \frac{3600}{12} = 129,845$$

$$E = 0.05 \text{ mm.}$$

$$E/D = \frac{0.05}{35.05} = 0.00143$$

Del Diagrama de Moody

$$f = 0.023$$

$$\Delta h = f \times \frac{L_e}{D_{eq}} \times \frac{V^2}{2g} = 0.023 \times \frac{278.23 \times 12}{1.380} \times \frac{(75)^2}{2 \times 32.2} = 4860.4$$

$\Delta h = 4860$ pies de vapor de agua.

$$\Delta P = \frac{\rho}{144} \times \Delta h$$

$$\Delta P = \frac{0.138}{144} \times 4860.4$$

$$\Delta P = 4.66 \text{ psi}$$

Para el tramo de tubería de 1" \emptyset nominal.

$$D_{eq} = 1.049'' = D_i$$

$$A = 0.006 \text{ pie}^2$$

$$L_e = 73.95 + 25 \times 6 \times 1 + 8 \times 2 \times 1 + 1 \times 3 \times 1 + 1 \times 16 \times 1 + 1 \times 2 \times 1 + 7 \times 1 \times 1 + 1 \times 3 \times 1.$$

$$L_e = 270.95 \text{ pies.}$$

$$V = 4,500 \text{ pies/min} = 75 \text{ pies/seg.}$$

$$\mu = 0.033 \frac{\text{lbm}}{\text{Pie-hr.}}$$

$$f = 0.138 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$$

Luego :

$$Re = \rho \times V \frac{Deq}{\mu} = \frac{0.138 \times 75 \times 1.049}{0.033} \times 3600 \times \frac{1}{12}$$

$$Re = 98,701$$

$$E = 0.05 \text{ m.m.} \quad E/D = \frac{0.05}{26.64} = 0.00188$$

Del Diagrama de Moody $f = 0.025$

$$\Delta h = f \times \frac{Le}{Deq} \times \frac{V^2}{2g} = 0.025 \times \frac{270.95 \times 12}{1.049} \times \frac{(75)^2}{2 \times 32.2}$$

$\Delta h = 6,768.2$ pies de vapor de agua.

$$\Delta P = \frac{\rho}{144} \times \Delta h \quad \Delta P = \frac{0.138}{144} \times 6,768.2$$

$$\Delta P = 6.49 \text{ psi}$$

Para el tramo de tubería de 3/4" ϕ nominal.

$$Deq = 0.824" = Di \quad A = 0.0037 \text{ pie}^2$$

$$Le = 77.90 + 1 \times 3 \times 3/4 = 80.15 \text{ pies.}$$

$$V = 4,500 \text{ pies/min.} = 75 \text{ pies/seg.}$$

$$\mu = 0.033 \frac{\text{lbm}}{\text{pie-hr.}}$$

$$\rho = 0.138 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V_{\text{Deq}}}{\mu} = \frac{0.138 \times 75 \times 0.824}{0.033} \times 3600 \times \frac{1}{12}$$

$$\text{Re} = 77,531$$

$$\epsilon = 0.05 \text{ m.m.}$$

$$\epsilon/D = \frac{0.05}{20.93} = 0.0024$$

De Moody : $f = 0.027$

$$\Delta h = f \times \frac{L_e}{D_{eq}} \times \frac{V^2}{2g} = 0.027 \frac{80.15 \times 12}{0.824} \times \frac{(75)^2}{2 \times 32.2}$$

$$\Delta h = 2,752.7 \text{ pies de vapor de agua.}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{144} \times \Delta h$$

$$\Delta P = \frac{0.138}{144} \times 2752.7$$

$$\Delta P = 2.64 \text{ psi}$$

perdidas totales en el Sistema de Tuberías.

$$\Delta P_{\text{total}} = 0.567 + 0.311 + 4.66 + 6.49 + 2.64$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 14.668 \text{ psi}$$

AISLAMIENTO TERMICO

Pérdida de calor en el sistema de tuberías de vapor.

<u>Dn</u>	<u>Dext.</u>	<u>L</u>	<u>Aext (pie²)</u>
3 1/2"	4.000"	80.25'	84.04
1 1/2"	1.900"	11.30'	5.62
1 1/4"	1.660"	165.73'	72.02
1"	1.315"	73.95'	25.46
3/4"	1.050"	77.90'	21.41
			<u>208.55 pie²</u>

Dn = Diámetro nominal (pulg.)

Dext. = Diámetro exterior (pulg.)

L = Longitud de la tubería (pies)

Aext = Area exterior = $\pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot \frac{4.000}{12} \times 80.25 = 84.04 \text{ pie}^2$

Pérdida De calor por unidad de superficie :

Para: $T = 292^\circ\text{F} \rightarrow H = 1040 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr} - \text{pie}^2}$ (Del gráfico de la guía)

Luego : Pérdida total de calor.

$$\dot{Q}_t = H \cdot A_{\text{total}} = 1040 \frac{\text{BTU}}{\text{Hr-pie}^2} \times 208.55 \text{ pie}^2 = 216,892 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}$$

Si consideramos una operación de 2,500 horas/año, obtenemos :

$$\dot{Q} = 216,892 \times 2,500 = 542.2 \times 10^6 \text{ BTU/año.}$$

Considerando una eficiencia de generación de vapor de 59.4% y con Petróleo Diesel N°2 con poder calorífico de 19300 BTU/Lb. 6 --- 95,462 BTU/Galón, (el 59.4%), la pérdida de calor significa un -- desperdicio de :

$$\dot{m}_c = \frac{542.2 \times 10^6}{95,462} = 5,680 \text{ galones/año.}$$

Lo que al precio actual del Petróleo de s/. 10,000/galón, representa una pérdida anual de : S/. 56'800,000.

Considerando solamente un turno de trabajo/día.

Cálculo del espesor del aislamiento requerido.

- Considerando las tuberías de acero al carbono : $K = 43 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$
- $T_{\text{vapor}} = 292^\circ\text{F} = 144.4^\circ\text{C}$, $T_{\text{ambiente}} = 25^\circ\text{C}$.
- Los coeficientes de transferencia de calor, interior y exterior son iguales a $8,300 \text{ w/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$, y $7 \text{ w/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$, respectivamente.
- Se quiere aislar las tuberías de la Planta de Conservas con fibra de vidrio : $K = 0.04 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$. Para disminuir las pérdidas en un 75%.

<u>Dn</u>	<u>Dext.(cm)</u>	<u>Dint.(cm)</u>	<u>q(w/m)</u>	<u>q'(w/m)</u>	<u>D3(cm)</u>	<u>espes.(cm)</u>	<u>Espes.(pulg.)</u>
3 1/2"	10.16	9.01	266.26	66.57	14.8	2.32	15/16
1 1/2"	4.83	4.09	126.61	31.65	11.2	3.18	1 1/4
1 1/4"	4.22	3.51	110.62	27.66	11.3	3.54	1 3/8
1"	3.34	2.66	87.57	21.89	11.9	4.28	1 11/16
3/4"	2.67	1.09	69.99	17.50	13.6	5.47	2 1/8

Luego : El calor disipado por unidad de longitud cuando el tubo se encuentra sin aislamiento térmico (q). (de la guía teórica).

Para Dn = 3 1/2"

$$q = \frac{144.4 - 25}{\frac{1}{\pi(0.0901)(8,300)} + \frac{\ln(10.16/9.01)}{2\pi(43)} + \frac{1}{\pi(0.1016)(7)}}$$

$$q = 266.26 \text{ w/m.}$$

De igual manera para los otros diámetros.

Como la caída de temperatura en la superficie pelicular vapor-cilindro interior y en el material del tubo son insignificantes, se supone que la temperatura en la superficie exterior del tubo es igual a 144.4°C.

Si las pérdidas se reducen en un 75%.

$$q' = 0.25 (266.26) = 66.57 \text{ w/m.}$$

De la misma manera para los demás diámetros.

Luego : Tomando en cuenta sólo las resistencias térmicas del aislante y de la película exterior.

$$66.57 = \frac{144.4 - 25}{\frac{\ln (D3/10.16)}{2 \pi (0.04)} + \frac{1}{\pi (D3/100) (7)}}$$

Resolviendo mediante aproximaciones sucesivas :

$$D3 = 14.8 \text{ cm.}$$

Luego : El espesor requerido del aislamiento térmico es :

$$\text{Espesor} = 2.32 \text{ cms} \approx 15/16 \text{ pulg.}$$

Igual procedimiento se sigue para los demás diámetros.

Conclusiones y Recomendaciones.

- Para un determinado diámetro nominal, corresponde un único diámetro exterior para diferentes espesores de tubería, variando el diámetro interior en función del espesor.
- Como se podrá apreciar el diámetro de tubería que ha sido calculado corresponde a un flujo de masa y una presión de trabajo , cuando el generador de vapor, está funcionando prácticamente a

un tercio de sus condiciones máximas de trabajo.

- También podemos apreciar de los cálculos que la pérdida de presión total en el sistema de tuberías de vapor es de aproximadamente 1 atm., de presión y que conforme aumentan las condiciones de trabajo aumenta la pérdida de presión al aumentar la densidad y la velocidad dinámica.
- En cuanto a la selección del aislamiento térmico, de acuerdo a la extensión que se le quiera dar a esta práctica, se puede calcular también el radio crítico y el espesor crítico para cada diámetro de tubería y efectuar el análisis económico para determinar el espesor óptimo (según guía teórica).
- En la Planta de Alcoholes se cuenta con un sistema de tuberías de vapor donde también se puede efectuar el análisis visto anteriormente.

EXP. IV. BALANCE TERMICO : TRITURADOR PRECALENTADOR - AUTOCLAVE

DE ESTERILIZACION.

Los presentes Balances Térmicos, se efectúan durante el proceso de elaboración del "Tomate deshidratado".

TRITURADOR - PRECALENTADOR

Se Pide. - La medición de la cantidad y temperatura del vapor en este dispositivo térmico.

Aparatos y Accesorios. - El Triturador - Precalentador con sus respectivos instrumentos de la Planta de Conservas.

Datos Experimentales. -

$T_b = 16^{\circ}\text{C}$ (con un termómetro de Mercurio).

$T_K = 80^{\circ}\text{C}$ (con el termómetro de la máquina).

$m_a^{\circ} = 156 \text{ kg/hr.}$ (En un proceso total de 5 horas, ya que durante 1 hora se suministra 300 kg/hr de tomate - hasta que comience la condensación en la esfera de vacío, y posteriormente 120 kg/hr. durante 4 horas, lo que da un promedio de 156 -- kg/hr).

$$G_K = 16.5 \text{ kg/hr.} \quad (\text{Midiendo el agua condensada en el recipiente colector}).$$

$$r_{45 \text{ psia}} = 515 \text{ Kcal/kg} \quad (\text{De tablas de vapor}).$$

$$C_a = 0.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg K}} \quad (\text{De tablas de calores específicos}).$$

Cálculos y Resultados. - De la fórmula de balance térmico que figura en la guía teórica, calculamos la cantidad de vapor utilizado.

$$G_K = \frac{\dot{m}_a \times C_a \times \Delta T}{r} = \frac{156 \text{ kg/hr} \times 0.89 \text{ Kcal/kgK} \times (80 - 16) \text{ }^\circ\text{C}}{515 \text{ Kcal/kg}}$$

$$G_K = 17.25 \text{ kg/hr.}$$

Conclusiones.

- La fórmula del Balance térmico, nos sirve para calcular el valor de cualquiera de los componentes desconocidos ó para comprobar los Datos.
- Como podemos apreciar, la masa de vapor resultante del Balance de Energía es bastante aproximada de la masa de vapor medida a través del agua condensada.

AUTOCLAVE DE ESTERILIZACION

Se Pide.- La medición de la cantidad del agua de enfriamiento y el cálculo de la temperatura y duración de esterilización.

Aparatos y Accesorios.- Se utiliza la autoclave de esterilización con sus instrumentos y accesorios, ubicada en la Planta de Conservas.

Datos, Cálculos y Resultados.- En cuanto se desee saber que tipo de tratamiento térmico debe aplicarse a un envase de producto alimenticio, en caso de una contaminación dada (células de microbios de resistencia térmica y número conocidos) se tienen que tener en cuenta también los datos de propagación del calor. La determinación empírica del proceso de tratamiento térmico necesario, puede tener lugar de varias maneras distintas.

Como ejemplo, el tiempo y la temperatura de esterilización necesarias serán calculados, conociendo los datos de destrucción por calor de la más resistente especie de gérmenes, así como la velocidad de penetración del calor. Un ejemplo de un caso sencillo: considerando la bacteria *Clostridium botulinum*, como el micro organismo toxicante más resistente al efecto del calor, se determinó el tiempo necesario para lograr la destrucción completa de un número inicial de gérmenes a una determinada temperatura (tiempo de destrucción absoluta).

Dichos datos, fueron :

a 100°C	330 minutos
a 105°C	100 minutos
a 110°C	32 minutos
a 115°C	10 minutos
a 120°C	4 minutos

Llevando estos datos a un diagrama, se pueden calcular los tiempos de destrucción correspondientes a las distintas temperaturas. La rapidez de la destrucción, valor recíproco del tiempo de destrucción, se da en el siguiente cuadro :

Cuadro N°1

Temperatura de tratamiento (agua) (°C)	Tiempo de destrucción interpolado (minuto)	$\frac{1}{T_F}$ Rapidez de destrucción.
96	810	0,001;
98	510	0,001
100	330	0,003
102	200	0,005
104	127	0,007
106	80	0,012
108	50	0,020
110	32	0,031
112	20	0,050
114	12,3	0.081

Partiendo de los datos de medición se puede trazar un sistema de coordenadas cuyo eje horizontal indica la duración del tratamiento térmico, y el vertical señala las temperaturas medidas en el centro del material envasado (en función del tiempo). Dichos datos se resumen en el siguiente cuadro y se ilustran en el diagrama de la Fig. IV.1.

Cuadro N° 2.

Duración del tratamiento térmico (minuto)	Temperatura medida en el centro del producto alimenticio envasado. (°C)
17	96
23	98
27	100
33	102
38	104
45	106
52	108
61	110
72	112
90	114

La escala de temperaturas no es de divisiones uniformes, de modo que los distintos valores serán marcados de acuerdo al tiempo de destrucción recíproco, marcado en el mismo eje.

De tal modo, en el eje vertical del diagrama, en el punto de --

98°C de temperatura corresponde la unidad de 0,001. A 102°C equivale 0,005 unidad, a 110°C equivale 0,0313 unidad, etc. El cuadro 2 señala las temperaturas medidas en el centro de la lata durante el tratamiento térmico.

Trazando los datos del cuadro en el sistema de coordenadas preparado según las indicaciones antedichas, se obtendrá la curva ilustrada en el Fig. IV.2.

Para la destrucción del *Clostridium botulinum* hay que proseguir el tratamiento térmico hasta que el área encerrada por la curva de penetración de calor especial y el eje horizontal sea una unidad. (Esto se puede decidir por comparación al cuadrado de 0,1 - unidad de área, dibujado en la parte superior de la figura). En el ejemplo, esto se logra al cabo de 72 minutos de calentamiento a una temperatura del agua de tratamiento de 112°C. Durante el enfriamiento, el producto se encuentra sometido a temperaturas destructoras de gérmenes, por cierto tiempo. El proceso no toma en consideración tal exceso, por razones de seguridad.

La cantidad del agua de enfriamiento, se mide a través del Rotámetro, cuya curva de calibración la hemos desarrollado en la experiencia de "Medición de Caudales".

<u>Lectura Rotámetro</u>	<u>Flujo de masa(Gráfico)</u>	<u>Tiempo</u>	<u>Cantidad de</u> <u>agua</u>
80 mm.	1.4 gl/min=0.0883 <u>lt</u>	190 seg	16.78 lts.
		<u>seg.</u>	

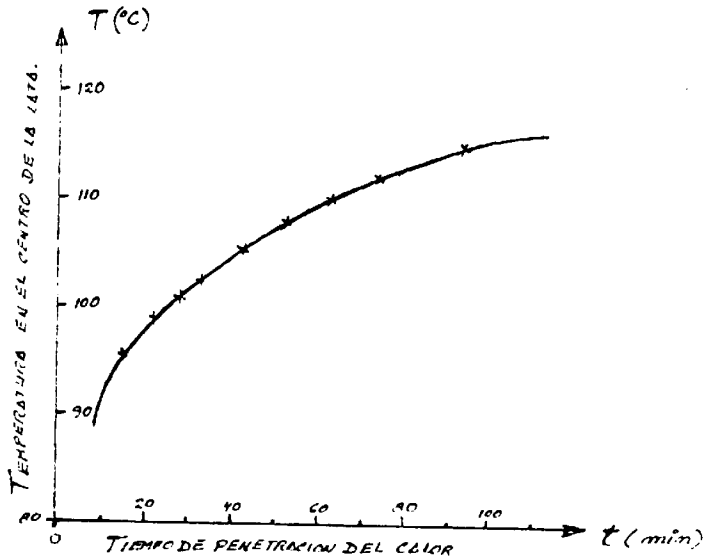


FIG. IV.1.

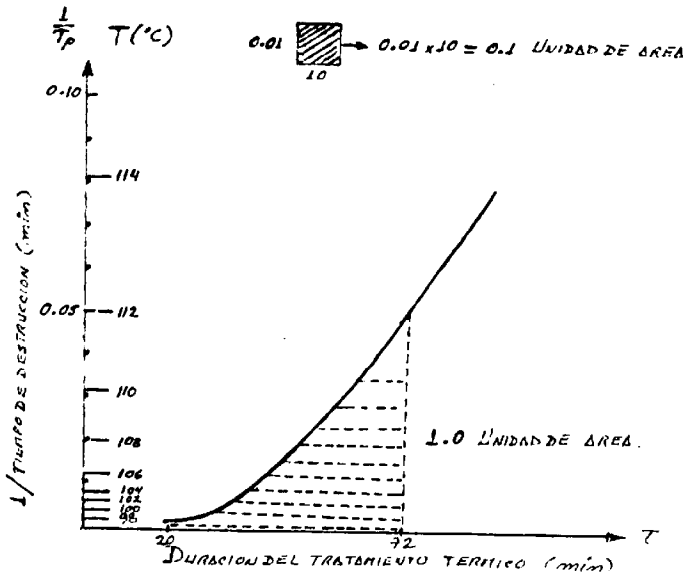


FIG. IV.2.

120 mm.	2.15 gl/min=0.1356	$\frac{\text{lbs}}{\text{seg.}}$	85 seg.	11.53 lbs.
140 mm.	2.55 gl/min=0.1609	$\frac{\text{lbs}}{\text{seg}}$	55 seg.	<u>8.85 lbs.</u>
				37.16 lbs.

Con esta cantidad de agua fría (37.16 lbs.) a 16°C, se alcanza una temperatura de 30°C. En el agua del autoclave, habiendo sido drenada previamente la mayor parte del agua caliente al disminuir la sobrepresión.

Conclusiones y Recomendaciones.

- Las Latas y Tapas se lavarían antes de ser llenadas en agua de 60-65°C y se enjuagarían con chorro de agua limpia.
- Al poner en marcha el compresor (después de haber llenado el autoclave con agua y calentado esta ha alrededor de 85°C) se producirá una sobrepresión de aproximadamente 1 atm. en el autoclave.
- Con la sobrepresión producida se ajusta la temperatura del agua a unos 116°C y una vez que la temperatura del producto alcance los 112°C se le mantiene a tal temperatura entre 10 a 15 minutos como máximo.
- Para abrir el autoclave hay que cesar la sobrepresión y abrir los grifos dando paso a que el agua fría entre al autoclave, debiendo enfriarse las latas entre 25 y 30°C.

EXP. V. BAVANCE TERMICO: ESFERA DE VACIO - RECIPIENTES DE COCCION

ESFERA DE VACIO

Se Pide. - Medir la cantidad de vapor, temperatura y vacío. Calcular la superficie de calentamiento, la duración del calentamiento, la cantidad de agua que se va a evaporar y el tiempo de evaporación.

Aparatos y Accesorios. - Se utiliza la esfera de vacío con su instrumental y accesorios, ubicada en la Planta de conservas.

Datos, Cálculos y Resultados. - (Aplicando las Fórmulas descritas en la Guía Teórica).

1.1.1. Cálculo del factor de transmisión del calor entre el vapor y la pared interna.

$$H' = 22 + 38 = 60 \text{ cms} = 0.6 \text{ m.}$$

$$\Delta t = t_t - t_w = 124^\circ\text{C} - 114.6^\circ\text{C} = 9.4^\circ\text{C} \quad (t_t \text{ a } 45 \text{ psia})$$

$$\gamma = 0.513 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C} \quad (\text{De tabla de propiedades del agua})$$

$$\delta' = 998 \text{ kg/m}^3 \quad (20^\circ\text{C}) \quad (\text{De tabla del agua})$$

$$\gamma_{45 \text{ psia}} = 515 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \quad (\text{De tablas de vapor})$$

$$\mu_{20^{\circ}\text{C}} = 1 \times 10^{-4} \text{ kg x seg/m}^2 \quad (\text{De tabla del agua})$$

Luego :

$$\alpha_K = 7.3 \left(\frac{1}{H' \cdot \Delta T} \right)^{1/4} \left(\frac{\gamma^3 \cdot \delta^2 \cdot r}{\mu} \right)^{1/4}$$

Donde :

$$\alpha_K = 7.3 \left(\frac{1}{0.6 \times 6.4} \right)^{1/4} \left(\frac{0.513^3 \times 998^2 \times 515}{1 \times 10^{-4}} \right)^{1/4}$$

$$\alpha_K = 1734$$

La temperatura referencia a la cual se deben referir las propiedades materiales es :

$$t = \frac{t_t + t_w}{2} = \frac{124 + 114.6}{2} = 119.3^{\circ}\text{C}$$

1.1.2. El Factor de transmisión de calor entre la pared del equipo y la carga de líquido.

$$Nu = \alpha_F \cdot D \quad (\text{Número de Nusselt}) \quad \text{----- (1)}$$

También :

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^e \quad \text{----- (2)}$$

Donde :

$$D = 1.14 \text{ m.}$$

$$= 0.46 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{grad.}}$$

$$\text{Luego : } Re = \frac{n_s \cdot d^2 \cdot \rho'}{\mu \cdot g} \quad (\text{Número de Reynolds})$$

$$\text{Donde : } n_s = 22.5 \text{ RPM} = 0.375 \frac{1}{\text{seg}}$$

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$d = 0.05 \text{ m.}$$

$$\rho' = 814 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{20^\circ\text{C}} = 1.6 \times 10^{-4} \frac{\text{kg} \cdot \text{seg}}{\text{m}^2}$$

$$Re = \frac{0.375 \times (0.05)^2 \times 814}{1.6 \times 10^{-4} \times 9.81} = 486.19$$

Luego :

$$Pr = \frac{3600 \mu \cdot g \cdot c}{\gamma} \quad (\text{Número de Prandtl})$$

Donde :

$$c = 0.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{kgk}}$$

Por otro lado :

$$\mu_{f_{95^{\circ}\text{C}}} = 0.85 \times 10^{-4} \frac{\text{kg} \times \text{seg}}{\text{m}^2}$$

$$\mu_{w_{124^{\circ}\text{C}}} = 0.61 \times 10^{-4} \frac{\text{kg} \times \text{seg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Pr} = \frac{3600 \times 1.6 \times 10^{-4} \times 9.81 \times 0.89}{0.46} = 10.93$$

Para; $\text{Re} = 486.19$, la ecuación criterial para una mezcla dora es :

$$\text{Nu} = 0.38 \times 486.19^{0.67} \times 10.93^{0.38} \left(\frac{0.85}{0.61}\right)^{0.18}$$

$$\text{Nu} = 63.05$$

En (2) :

$$\alpha_f = \frac{\text{Nu} \cdot \gamma}{D} = \frac{63.05 \times 0.46}{1.14} = \frac{25.44 \text{ Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad.}}$$

1.1.3. El factor de transmisión total del calor será :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_K} + \frac{\delta}{\gamma_w} + \frac{1}{\alpha_f}}$$

$$\delta = 3.2 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$\tau_w = 723.48 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Luego :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1734} + \frac{3.2 \times 10^{-3}}{723.48} + \frac{1}{25.44}} = 25.06$$

1.1.4. Cálculo de la superficie de calentamiento.

Calor absorbido por la carga de la sustancia de trabajo durante el calentamiento :

$$Q_t = G_t \cdot C_t (t_{\text{carga}} - t_o)$$

Donde :

Q_t = Calor absorbido por la carga del líquido.

$$G_t = 130 \text{ kgs/hr}$$

$$C_t = 0.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$t_{\text{carga}} = 95^\circ\text{C}$$

$$T_o = 69.6^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 130 \frac{\text{kgs}}{\text{hr}} \times 0.89 \frac{\text{kcal}}{\text{kg grad.}} (95 - 69.6) \text{ grad.}$$

$$Q_1, 2938.78 \text{ kcal/hr.}$$

Por otra parte :

$$Q'_1 = K.F.\Delta T \text{ ----- (3)}$$

Donde :

Q'_1 = Calor transmitido por la superficie de caldeo.

$$K = 25.06 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad.}$$

F = La superficie de caldeo (m²)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} \text{ ----- (4)}$$

$$\Delta t_n = t_t - t_o = 124^\circ\text{C} - 69.6^\circ\text{C} = 54.4^\circ\text{C}$$

t_t = Temp. del vapor saturado.

t_o = Temp. inicial de la carga de líquido.

$$\Delta t_k = t_t - t_{\text{carga}} = 124^\circ\text{C} - 95^\circ\text{C} = 29^\circ\text{C}$$

t_{carga} = Temp. final de la carga del líquido.

Luego : En (4)

$$\Delta t = \frac{54.4 - 29}{\text{LN } \frac{54.4}{29}} = 48.38 \text{ grad.}$$

Reemplazando en (3) :

$$2938.78 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} = 25.06 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad.}} \times 40.38 \text{ grad.} \times F$$

$$\underline{F = 2.9 \text{ m}^2}$$

1.1.5. Cálculo de la cantidad de vapor.

$$G_{gl} = \frac{Q_v}{\gamma}$$

Donde :

G_{gl} = Cantidad de vapor por hora (Kg/hr.)

γ = Calor latente del vapor (Kcal/kg) = 515 Kcal/kg.

$$G_{gl} = \frac{2,938 \text{ Kcal/hr.}}{515 \text{ Kcal/kg}} = \underline{5.71 \text{ kg/hr.}}$$

1.1.6. Duración del calentamiento.

$$\tau = \frac{c}{K.F.} \cdot \text{Ln } \frac{t_t - T_o}{t_t - t_{\text{carga}}} \text{ ----- (5)}$$

Donde :

$$c = C_t \times G_t + C_e \times m_e \quad (\text{Datos de tabla O de Exp. III})$$

Donde :

$$m_e = A \text{ Duplicador} \times e \times \gamma_{\text{acero}} \times 2 = 2.90 \text{ m}^2 \times 3.2 \times 10^{-3} \\ \text{m} \times \frac{7800 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 2$$

$$m_e = 144.8 \text{ kg} \quad (\text{Masa de la esfera de camisa doble})$$

$e \rightarrow$ Espesor de la esfera.

$C_e \rightarrow$ Calor específico de la esfera.

Luego :

$$c = 0.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg.grd.}} \times 130 \text{ kg} + 0.117 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg.grd.}} \times 144.8 \text{ kg}$$

$$c = 132.64 \frac{\text{Kcal}}{\text{grd.}}$$

$$K = 25.06 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2.\text{h.grd.}}$$

$$F = 2.9 \text{ m}^2$$

$$t_t = 124^\circ\text{C}$$

$$t_o = 69.6^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{carga}} = 95^{\circ}\text{C}$$

Reemplazando en (5) :

$$\tau_1 = \frac{132.64}{25.06 \times 2.9} \cdot \ln \frac{124 - 69.6}{124 - 95}$$

$$\tau_1 = 1.15 \text{ hr.}$$

1.1.7.1. Cantidad de agua que se debe evaporar.

Para calcular la cantidad de jugo a introducir :

$$L_o = W + S \quad \text{-----} \quad (6)$$

En donde, la cantidad de agua a evaporarse es:

$$W = L_o \left(1 - \frac{X_b}{X_s} \right) \quad \text{-----} \quad (7)$$

$$\text{Pero : } L_o = S \cdot \frac{X_s}{X_b} \quad \text{y} \quad S = V_h \cdot \gamma'_s$$

$$\text{LUEGO : } L_o = V_h \cdot \gamma'_s \cdot \frac{X_s}{X_b}$$

$$L_o = 68 \frac{\text{tts}}{\text{hr}} \times 4 \text{ hr} \times \frac{1}{1000} \times 570 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{56}{16.8} = 516.8 \text{ kg}$$

En (7) :

$$W = 516.8 \text{ kg} (1 - 0.3) = 361.8 \text{ kg.}$$

1.1.7.2. Cálculo del tiempo de evaporación.

El calor necesario para evaporar el agua.

$$Q_2 = W \cdot r$$

$$\text{Siendo : } r = 540.3 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \quad (\text{a } 0.6 \text{ atm. man.})$$

$$Q_2 = 361.8 \text{ kg} \times 540.3 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_2 = 195,480 \text{ Kcal.}$$

Luego la cantidad de calor traspasable por la superficie de caldeo durante una hora.

$$Q'_2 = K' \cdot F \cdot \Delta t \quad \text{-----} \quad (8)$$

$$\text{Donde : } \Delta t = t_w - t_{\text{carga}} = 114.6^\circ\text{C} - 95^\circ\text{C} = 19.6^\circ\text{C}$$

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_K} + \frac{\delta}{\gamma_w} + \frac{1}{\alpha_{f'}}} \quad \text{-----} \quad (9)$$

Donde :

$$\alpha_{f'} = 22 \cdot p^{0.58} \cdot \Delta t^{2.33}$$

$$\alpha_{f'} = 22 \cdot (0.4)^{0.58} \cdot (19.6)^{2.33}$$

$$\alpha_{f'} = 13,259.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd.}}$$

En (9) :

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{1734} + \frac{3.2 \times 10^{-3}}{723.48} + \frac{1}{13,259.7}} = 1524.77$$

$$K' = 1524.77 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd.}}$$

En (8) :

$$Q'_2 = 1524.77 \times 2.9 \times 19.6$$

$$Q'_2 = 86,667.93$$

Donde: El tiempo necesario para evaporar W cantidad de agua es:

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{Q'_2} = \frac{W \cdot r \cdot 60}{K' \cdot F \cdot \Delta t} \text{ (min.)}$$

$$\tau_2 = \frac{11'728,800}{86,667.93} = 135.33 \text{ min.}$$

Conclusiones y Recomendaciones

- Como la diferencia entre las temperaturas del vapor saturado y la pared del duplicador es pequeña, muchas veces se toma como referencia para seleccionar las propiedades del material, la del vapor saturado.

- La temperatura de ebullición del tomate es ligeramente superior que la del agua a la presión de vacío, por la menor conductividad térmica del porcentaje de pulpa de tomate.

- La temperatura del vapor saturado a 3 atm. de presión absoluta considerando las pérdidas en el sistema de tuberías, es 134.4°C Sin embargo la temperatura tomada con el termómetro del vapor saturado es sólo de 124°C; esto debido al enfriamiento producido por no existir aislante térmico en el interior de las plantas.

- La cantidad de calor y por lo tanto de masa de vapor que se utiliza para la esfera de vacío es bajo ya que se está utilizando una cantidad mínima de carga de líquido y además esta ha pasado previamente por el triturador precalentador y entra a la esfera con una temperatura inicial alta.

- El tiempo de proceso que se considera aproximadamente 4 horas , se determina considerando el tiempo de preparación y abastecimiento inicial del equipo, el tiempo de calentamiento y el tiempo de evaporación.

RECIPIENTES DE COCCION

Se pide.- Calcular la superficie de calentamiento, la cantidad de vapor y el tiempo de calentamiento.

Aparatos y Accesorios.- Se utilizan los dos recipientes de cocción ubicados en la Planta de Conservas.

Datos, Cálculos, Resultados, Conclusiones.- Como se puede apreciar en la guía teórica, el procedimiento para calcular los parámetros de estos equipos de cocción es similar al efectuado anteriormente para la "Esfera de Vacío".

EXP. VI. CAMARA DE REFRIGERACION - EL MANTENIMIENTO EN LAS PLANTAS
PILOTO.

CAMARA DE REFRIGERACION

Se Pide.- Efectuar el cálculo térmico del Ciclo de Refrigeración de las Cámaras de Refrigeración, de las Plantas Piloto.

Aparatos y Accesorios .- Cámaras de Refrigeración y accesorios de la Planta Piloto de Conservas y de la Planta Piloto de Alcoholes.

Cálculo térmico del Ciclo de Refrigeración.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de performance (COP) del Ciclo de Refrigeración es :

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Además una tonelada de refrigeración equivale a :

$$1 \text{ Ton} = 12000 \text{ BTU/hr} = 200 \text{ BTU/mint.} = 3.52 \text{ KW.}$$

El flujo de refrigerante por unidad de tiempo requerido por cada tonelada de refrigeración es de :

$$\dot{m}_R = \frac{3.52}{h_1 - h_4} \text{ en kg/seg.}$$

y la potencia de compresión en KW es :

$$\dot{W}_C = \dot{m}_R (h_2 - h_1) = 3.52 \frac{h_2 - h_1}{h_1 - h_4} = \frac{3.52}{\text{COP}} \text{ (Kj/seg) } \text{ ó (KW)}$$

El volúmen de desplazamiento por segundo del compresor será:

$$\dot{V}_D = \frac{\dot{m}_R \cdot \mathcal{V}_1}{\text{evc}} \quad (\text{m}^3/\text{seg.})$$

$$\dot{V}_D = \frac{3.52 \mathcal{V}_1}{(h_1 - h_4) \text{ evc}} \quad (\text{m}^3/\text{seg.})$$

$$V_D = \frac{3.52 \mathcal{V}_1 \times 60}{(h_1 - h_4) \text{ evc} \cdot N} = \frac{211 \mathcal{V}_1}{N(h_1 - h_4) \text{ evc}} \quad (\text{m}^3)$$

Donde :

evc = eficiencia volumétrica convencional del compresor.

N = RPM del compresor

\mathcal{V}_1 = Volúmen específico del refrigerante en el estado (1).

De la Cámara de Refrigeración de la Planta de Conservas.

Datos Experimentales:

- Ciclo de refrigeración : Por compresión de vapor.
- Refrigerante : Freón - 12.
- Temperatura del condensador : 54°C
- Temperatura del evaporador : 4°C
- Eficiencia volumétrica convencional. : e.v.c. = 95%
- RPM del motor : N = 1710
- Diámetros de poleas del motor y del compresor. : d = 4 cms, D = 15 cms.

Cálculos y Resultados:

De tablas para el Freón 12 obtenemos (6 del Diagrama P - h)

$$h_1 = 189.094 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} ; h_3 = h_4 = 89.134 \text{ Kj/Kg} ;$$

$$h_2 = 212.512 \text{ Kj/Kg.}$$

- EL EFECTO REFRIGERANTE UTIL (q_R)

$$q_B = h_1 - h_4 = 189.094 - 89.134$$

$$q_B = 99.96 \text{ Kj/Kg.}$$

- EL COP DEL CICLO.

$$\text{COP} = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) =$$

$$\text{COP} = (189.094 - 89.134) / (212.512 - 189.094)$$

$$\text{COP} = 4.27$$

- LAS PRESIONES EN EL EVAPORADOR Y EL CONDENSADOR. DE TABLAS DEL FREON 12.

$$P_B = P_1 = P_{\text{evaporador}} = P_{\text{SAT. A } 54^\circ\text{C}}$$

$$P_B = 3.518 \text{ bar.}$$

$$P_A = P_2 = P_{\text{condensador}} = P_{\text{SAT. A } 4^\circ\text{C}}$$

$$P_A = 13.37 \text{ bar.}$$

- LA POTENCIA DE COMPRESION REQUERIDA.

$$\dot{W}_C = \dot{m}_R \cdot (h_2 - h_1) = 3.52 \frac{h_2 - h_1}{h_1 - h_4} = \frac{3.52}{\text{COP}} \quad (\text{Kj/seg}) \text{ ó } (\text{KW})$$

$$\dot{W}_C = \frac{3.52}{4.27} = 0.824 \text{ Kj/seg.} = 0.824 \text{ KW}$$

- EL FLUJO REFRIGERANTE QUE INGRESA AL COMPRESOR.

Como :

$$\dot{W}_C = \dot{m}_R (h_2 - h_1) = 0.824 \text{ Kj/seg.}$$

Luego :

$$\dot{m}_R = \frac{0.824 \text{ Kj/seg.}}{(h_2 - h_1)} = \frac{0.824 \text{ Kj/seg.}}{(212.512 - 189.094) \text{ Kj/Kg}}$$

$$\dot{m}_R = 0.035 \text{ Kg/seg.}$$

- LA CAPACIDAD DE REFRIGERACION.

$$Q_B = \dot{m}_R (h_1 - h_4) = 0.035 \text{ Kg/seg} \times 99.90 \text{ Kj/Kg.}$$

$$Q_B = 3.5 \text{ Kj/seg.} = 3.5 \text{ Kw}$$

Luego :

$$Q = 3.5 \text{ Kw} \times \frac{1 \text{ ton.}}{3.52 \text{ Kw}} = 0.99 \text{ Ton.}$$

- EL VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO DEL COMPRESOR.

De tablas del Freón 12.

$$V_1 = 0.049066 \text{ m}^3/\text{Kg.}$$

Si:

$$\dot{V}_D = \frac{\dot{m}_r \cdot V_r}{\text{evc}} = \frac{0.035 \text{ Kg/seg} \times 0.049066 \text{ m}^3/\text{Kg}}{0.95}$$

$$\dot{V}_D = 1.808 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Luego :

$$V_D = \dot{V}_D \times \frac{60}{N_c}$$

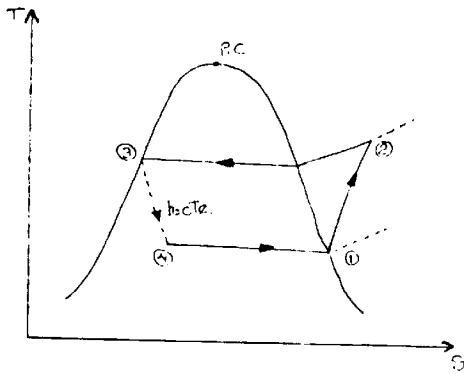
$$N_c = \text{RPM}_{\text{compresor}} = \text{RPM}_{\text{motor}} \times \frac{d}{D} = 1710 \times \frac{4}{15} = 456$$

$$V_D = 1.808 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg} \times \frac{60}{456}$$

$$V_D = 2.38 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

- TRAZAR LOS DIAGRAMAS DE LOS CICLOS T-S, h-S y P-h.

Indicando los valores correspondientes.



$$T_1 = T_4 = 4^\circ\text{C}$$

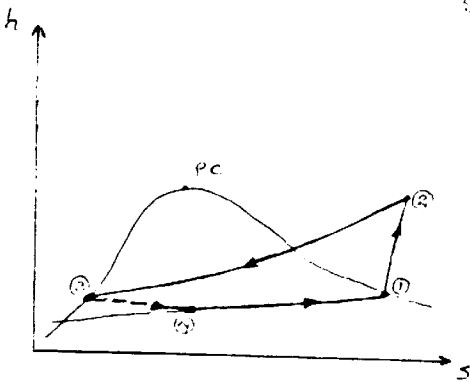
$$T_3 = 54^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 61^\circ\text{C}$$

$$S_1 = S_2 = 0.6942 \text{ Kj/KgK}$$

$$S_3 = 0.3162 \text{ Kj/Kg K}$$

$$S_4 = ?$$



$$h_1 = 189.094 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_2 = 212.512 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_3 = h_4 = 89.134 \text{ Kj/Kg}$$

$$S_1 = S_2 = 0.6942 \text{ Kj/Kg K}$$

$$S_3 = 0.3162 \text{ Kj/Kg K}$$

$$P_1 = P_4 = 3.518 \text{ bar}$$

$$P_2 = P_3 = 13.37 \text{ bar}$$

$$h_1 = 189.094 \text{ Kj/Kg}$$

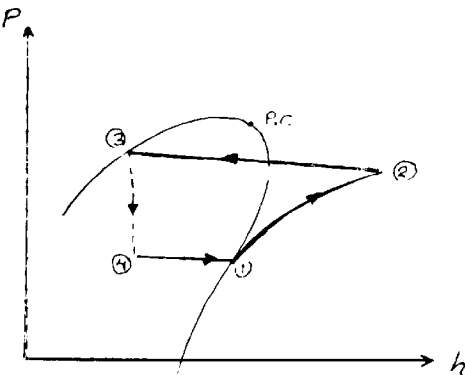
$$h_3 = h_4 = 89.134 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_2 = 212.512 \text{ Kj/Kg}$$

como:

$$h_4 = h_f + x h_{fg}$$

$$x = \frac{h_4 - h_f}{h_{fg}}$$



De Tablas

$$\left. \begin{array}{l} \text{Para } T_1 = T_4 = 4^\circ\text{C} \\ \text{y } P_1 = P_4 = 3.518 \text{ bar} \end{array} \right\}$$

$$X = \frac{89.134 - 40.659}{148.859}$$

$$X = 0.33$$

Luego : $S_4 = S_f + x Sfg$ (De tablas para $T_1 = T_4 = 4^\circ\text{C}$ y

$$P_1 = P_4 = 3.518 \text{ bar})$$

$$S_4 = 0.1585 + 0.33 \times 0.5351$$

$$S_4 = 0.3351 \text{ Kj/Kg K}$$

Conclusiones y Recomendaciones. -

- Los diferentes valores halaldos en el cálculo térmico coinciden ó son muy cercanos de los valores que figuran en las placas de características técnicas de los equipos componentes de la Cámara de Refrigeración.
- Uno de los objetivos de esta experiencia es que el estudiante pueda verificar los valores teóricos conseguidos a través del cálculo térmico con los valores de diseño que figuran en los Equipos y a su vez que pueda reconocerlos a estos.
- La e.v.c. es un valor asumido para el compresor de la cámara, -

el resto de los datos son tomados del equipo mismo.

- En nuestro balance térmico para hallar la capacidad de refrigeración previamente se tiene que conocer la potencia de compresión y el flujo de refrigerante.
- En los Diagramas, para hallar la Entropía del punto 4 (mezcla) en forma analítica, previamente se ha calculado la calidad de la mezcla.
- En forma similar al cálculo térmico efectuado en la Cámara de Refrigeración de la Planta de Conservas, se efectúa para la Cámara de Refrigeración de la Planta de Alcoholes.

.....

EL MANTENIMIENTO EN LAS PLANTAS PILOTO

En esta práctica, se busca que el estudiante conozca en forma muy genérica el sistema y organización de mantenimiento que suele encontrarse en plantas similares a las descritas.

Por otro lado se pretende que el estudiante efectúe una práctica de servicio, de tal manera que pueda intervenir en alguna de las fases del mantenimiento preventivo y correctivo que deberá efectuarse en el mes de Diciembre en las Plantas. Poniendo énfasis en el Mantenimiento del Caldero Pirotubular por su importancia y utilización diversa que tiene en la Industria.

Cursos Teóricos requeridos para cada Experiencia

- Laboratorio de Energía I.

<u>Experiencia</u>	<u>Requisito</u>
I	----- Física General
II	----- Física General
III	----- Física General
IV	----- Físico Química
V	----- Física General
VI	----- Física General
VII	----- Físico Química
VIII	----- Físico Química

- Laboratorio de Energía II.

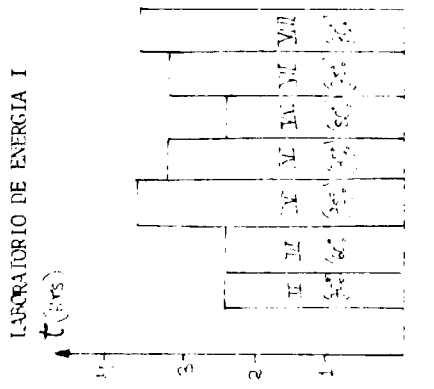
<u>Experiencia</u>	<u>Requisito</u>
I	----- Física General
II	----- Físico Química
III	----- Mecánica de Fluidos
IV	----- Mecánica de Fluidos
V	----- Mecánica de Fluidos y Termodinámica I.
VI	----- Mecánica de Fluidos

- Laboratorio de Energía III.

<u>Experiencia</u>	<u>Requisito</u>
I	----- Termodinámica I
II	----- Termodinámica I
III	----- Termodinámica II
IV	----- Termodinámica II
V	----- Termodinámica II
VI	----- Termodinámica II.

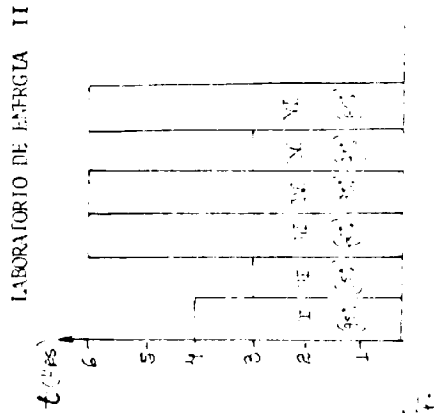
DIAGRAMA DE BARRAS DE DURACION DE LAS EXPERIENCIAS

Y PORCENTAJE DE IMPLEMENTACION DE LAS MISMAS



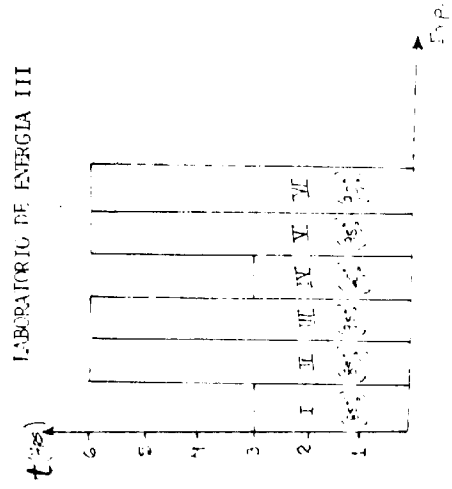
TOTAL = 7 sem. de prácticas
de 3 horas.

() — Porcentaje de implementación () — Porcentaje de Implementación
de las prácticas (70% en promedio)



TOTAL = 9 sem. de prácticas
de 3 horas.

() — Porcentaje de implementación () — Porcentaje de Implementación
de las prácticas (75% en promedio)



TOTAL = 10 sem. de prácticas
de 3 horas.

() — Porcentaje de implementación () — Porcentaje de Implementación
de las prácticas (85% en promedio)

SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO

C A P I T U L O 7

PROYECCION DEL LABORATORIO DE ENERGIA IV Y REDISTRIBUCION DE LOS LABORATORIOS DE ENERGIA A PARTIR DE SU PROPIA INFRAESTRUCTURA.

En esta Segunda Etapa del Proyecto, se pretende dejar planteada la (inquietud) necesidad de proseguir este Proyecto, para dotar a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de un adecuado Centro Experimental; que permita: Una mayor disponibilidad para llevar el Curso de Laboratorio de Energía I y la complementación de algunos Instrumentos y Dispositivos de Ensayo y; el contar -- con máquinas térmicas e hidráulicas de tipo experimental para -- los Cursos de Laboratorio de Energía II, III y IV que permitan - complementar las experiencias desarrolladas en la Primera Etapa de este Proyecto con los Dispositivos Térmicos e Hidráulicos de las Plantas Piloto de Conservas y Alcoholes.

7.1 Relación de Experiencias a desarrollarse una vez adquiridas las Maquinarias y Dispositivos solicitados.

Además de las Experiencias desarrolladas en la Primera Etapa del presente Proyecto, de adquirirse las maquinarias y dispo

sitivos solicitados, estaríamos en condiciones de desarrollar las siguientes experiencias :

- Calibración de Termómetros.
- Calibración de Manómetros
- Mediciones de Potencia (Motor Diesel; Turbinas Pelton, Francis; Indicador de Diagrama)
- Medición de Propiedades de Combustibles y Lubricantes (Viscosímetro Saybolt Universal).
- Medición de Propiedades del Vapor (Caldero Marcet, Calorímetro Universal)
- Determinación del Poder Calorífico (Bomba calorimétrica de Emerson)
- Medición en ductos de sección constante y variable (Ventiladores y Tubo Pitot)
- Medición de Flujos Incompresibles con Venturis, Toberas y Tubos de Reynolds, Piezómetros.
- Medición de Flujos compresibles con Anemómetro, Gasómetro , Tubo de Pitot, Caja de estancamiento.
- Dispositivo Experimental para medición de Flujo Interno (Tuberías de cobre de diferentes diámetros)
- Compresor de dos etapas de tipo experimental.
- Intercambiador de calor de tipo experimental.
- Turbina a vapor.
- Turbina Francis
- Turbina Pelton
- Tunel de viento

- Turbo Jet.
- Motores de Combustión Interna.

Varias de estas Experiencias, cuentan con el desarrollo teórico correspondiente en los Manuales de Experiencias presentados en la primera parte de este Trabajo.

7.2 Redistribución de las Experiencias en los Cursos de Laboratorio de Energía I, II, III y IV, una vez implementada la Infraestructura solicitada.

1) Proyección del contenido del Curso de Laboratorio de Energía I.

- I Introducción al Curso.
- II Mediciones de Temperatura - Calibración de Termómetros.
- III Mediciones de Presión - Calibración de Manómetros.
- IV Mediciones de Densidad, Peso Específico y Gravedad Específica. Determinación de la Viscosidad (Viscosímetro Ostwald y Saybolt Universal).
- V Mediciones de Desplazamiento, Velocidad y Área. Mediciones de Potencia.
- VI Determinación del Punto de Inflamación y de Combustión. Determinación del Poder Calorífico.
- VII Procesos con Gases.
- VIII Termoquímica - Presión de Vapor - Calor Latente
- IX Fuerza Electromotriz - Recubrimiento de Metales - Baterías. Análisis de Agua.

2) Proyección del contenido del Curso de Laboratorio de Energía II.

- I Descripción General de las Plantas Piloto de Conservas y Alcohóles - Evaluaciones Preliminares.
- II Medición de la Humedad. Determinación de los Estados de Vapor (Calorímetro de Estrangulación, Calorímetro Universal, - Caldero Marcet).
- III Flujos - Medición de Caudales.
- IV Medición de Flujos Incompresibles con: Tubos de Reynolds, Tóberas, Venturis, Piezómetros.
- V Medición de Flujos compresibles con: Anemómetro, Gasómetro, Tubo de Pitot, Caja de Estancamiento.
- VI Flujo en tuberías - Experiencia con Banco de Tuberías de Cobre - Pérdidas en Sistemas de Tuberías de las Plantas Piloto.
- VII Escurrimiento - Compresores (De simple y de doble etapa).

3) Proyección del contenido del Curso de Laboratorio de Energía III.

- I Generadores de Vapor - Tratamiento de Agua.
- II Análisis de Gases - Balance Térmico del Generador de Vapor.
- III Instalaciones con vapor, tuberías y pérdidas - Aislamiento Térmico.
- IV Balance Térmico: Triturador - Precaentador - Autoclave de Esterilización.
- V Balance Térmico: Esfera de vacío - Recipientes de cocción.
- VI Intercambiador de Calor de Tipo Experimental.
- VII Turbina a Vapor.

4) Proyección del contenido del Curso de Laboratorio de Energía IV.

- I Bombas Centrífugas y de Profundidad.
- II Turbinas Hidráulicas - Peltón y Francis.
- III Motores de Combustión Interna.
- IV Tunel de viento y Turbo Jet.
- V Cámara de Refrigeración - El mantenimiento en las Plantas -
Piloto.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES GENERALES

- 1) El presente trabajo ha resultado bastante voluminoso. Y esto se debe a su caracter académico, que planteaba la necesidad de Implementar los Manuales de Experiencias ó Guías-Teóricas para los Cursos de Laboratorios de Energía; aparte de las Experiencias propiamente dichas; todo esto con la finalidad de hacer más factible la iniciación de estos Cursos.
- 2) Por otro lado, la diversidad de los temas tratados en este trabajo, hacían de él un Proyecto ambicioso; que sin embargo reflejan la necesidad perentoria que había en la F.I.M. E. de la Universidad de Ica, de plantear estos temas.
- 3) Si bien es cierto que desde el momento que se presentó el Anteproyecto del presente trabajo, al entonces "Programa Académico de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.N.ICA" en Febrero del - 84, se contó con cierto apoyo inicial; --siendo nominado posteriormente como "Responsable del Proyecto de Implementación del Laboratorio de Energía"; sin embargo el desarrollo del Proyecto y sobre todo cuando se requerían materiales mínimos para la Implementación de Dispositivos Experimentales simples, se ha contado con muy po

co apoyo.

- 4) Cabe destacar el aporte al presente Proyecto de los Grupos-Experimentales de alumnos del segundo y tercer año de la F. I.M.E., igualmente de diferentes colegas y trabajadores No Docentes.

- 5) De la misma manera es necesario señalar el caracter inicial de estas primeras experiencias; debiendo profundizarse y ampliarse a medida que se repitan estas experiencias, se cuenta con algunos manuales y catálogos que no ha sido posible conseguir y se adquieran e implementen algunos instrumentos y dispositivos elementales.

- 6) Con las limitaciones señaladas, se considera que el presente trabajo es un aporte inicial a la F.I.M.E. de la Universidad de Ica y que en la medida que se implemente y profundice debe contribuir al desarrollo de la Región.

.....