



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGON "

**"IMPLEMENTACION DE PRACTICAS
PARA USO Y APLICACION DE UN
EQUIPO DE BOMBEO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

RAUL CRUZ ARRIETA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

San Juan de Aragón, Edo. de Méx., 1994

ENEP



ARAGON



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

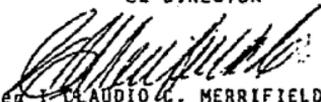
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

RAUL CRUZ ARRIETA
P R E S E N T E

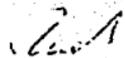
En contestación a su solicitud de fecha 25 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que la profesora ING. TERESA CELIA MORENO BAÑUELOS pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "IMPLEMENTACION DE PRACTICAS PARA USO Y APLICACION DE UN EQUIPO DE BOMBEO", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Febrero 4, 1994.
EL DIRECTOR


M. en C. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas.- Jefe de la Unidad Académica.
c c p Ing. Eedertque Jauregui Renaud.- Jefe de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Ing. Teresa Celia Moreno Bañuelos.- Asesora de Tesis.



CCMC'AIR'1a.

**CON ESTE TRABAJO NO
TERMINA NADA SOLO
COMIENZA TODO.**

A MIS PADRES
RAUL CRUZ PALAFOX
SOCORRO ARRIETA AGUIRRE

Por todo el amor, apoyo y comprensión que me han brindado mi más sincero agradecimiento por siempre.

A NIKY

Por sus agradables momentos de compañía y haberme enseñado a disfrutar cada momento.

A MIS HERMANOS

LUPE

LAURA

JORGE

Por las grandes peleas que el tiempo maduro y convirtió en lazos de amor y amistad.

A MIS TIOS

Por sus palabras de aliento
en todo momento.

A MIS PRINOS

Por compartir parte de sus
vidas conmigo.

A LA PROFESORA

TERESA CELIA MORENO BANUELOS

Por su amistad, enseñanzas y ayuda
incondicional otorgadas a mi
persona.

A MIS GRANDES AMIGOS

.

.

.

Agradezco de una manera respetuosa y muy especial a las siguientes personas por toda la ayuda y aportaciones a el presente trabajo.

Ing. Rodolfo Zaragoza Buchain.

Ing. Adrian Islas Arguello.

Ing. José Mariano Santana Colin.

Ing. Jorge Antonio Rodriguez Luna.

Ing. Arturo Ortíz Fragozo.

INDICE

OBJETIVO

INTRODUCCION

CAPITULO I

ANTECEDENTES GENERALES	1
Breve reseña historica	2
Clasificación sobre bomba	4
Aplicaciones	10
Industria química	11
Industria petrolera	12
Industria siderurgica	13
Aplicaciones en energía nuclear	13
Conceptos fundamentales	15
Fluido	15
Viscosidad	15
Volumen específico	15
Densidad	16
Peso específico	16
Presión	17
Caudal	18
Carga o cabeza	18

Carga dinámica	18
NPSH	19
NPSH disponible	19
Cavitación	20

CAPITULO II

ANALISIS DE LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	21
Principios de funcionamiento	22
Caudal teórico	24
Caudal real	26
Caudal instantaneo	26
Potencia indicada	27
Potencia hidráulica	28
Potencia al freno	28
Rendimiento hidráulico	29
Rendimiento mecánico	29
Rendimiento total	29
Curvas características	30
Curva H-Q	30
Curva n-Q	31
Curva P-Q	31
Curva NPSH	31
Interpretacion de gráficas	33

Pruebas que se realizan	34
Prueba de suspensión	35
Pruebas de carga	35

CAPITULO III

DESCRIPCION Y OPERACION DEL EQUIPO	37
Características de una bomba de engranes	38
Características de una bomba de pistones	42
Descripción y operación de la bomba de engranes Varley FMC modelo DH 25	44
Descripción y operación de la bomba de pistón Stuart A8	50

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DE PRACTICAS	58
Práctica sobre potencia real e ideal	59
Práctica para la bomba de pistón	69
Práctica para la bomba de engranes	84
Comentarios para el instructor	100

CAPITULO V

MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO	102
Bomba de pistón	104
Bomba de engranes	105
Fichas de mantenimie	108
Manómetros	108
Válvula de seguridad	108
Tacometro	109
Bomba	111
Motor	112
Conclusiones	115
Apéndice A	118
Apéndice B	118
Apéndice C	120
Bibliografía	127

OBJETIVO

Considerando la importancia que los laboratorios tienen para cualquier carrera de ingeniería, se debe prestar una especial atención a este respecto ya que un estudiante sea cual sea su especialidad requiere de la comprobación teórica a través de la práctica y con ese fin se pretende aprovechar el equipo existente en el laboratorio de térmica y fluidos, específicamente el de bombeo pues un equipo en desuso origina como consecuencia pérdidas de gran consideración, tanto económicas como académicas. El objetivo del presente trabajo, es el de aportar antecedentes que permitan poner en marcha las bombas de pistón y de engranes que se encuentran en el laboratorio de termofluidos, los antecedentes principales lo forman tres prácticas propuestas que pretenden prestar apoyo en las materias de termodinámica y máquinas de desplazamiento positivo, a la práctica de termodinámica se le otorgo el nombre de "potencia real e ideal", fue pensada con el propósito de resaltar la importancia y entendimiento practico que este concepto tiene, a las otras les corresponde el nombre del equipo que se encarga de estudiar la forma en que un fabricante pude obtener las curvas características de una bomba.

INTRODUCCION

Los conocimientos teóricos que los alumnos asimilan en las aulas, permite que el egresado continúe con un autodesarrollo en el que les será posible comprender y adaptar nuevos desarrollos prácticos y teóricos con los cuales dará resolución a los problemas que se le presenten en su vida profesional.

El conocimiento básico de los principales equipos o principios que los rigen, presentaran gran ventaja al egresado. Las bombas constituyen uno de los dispositivos más recurridos dentro de la industria, se puede afirmar con toda seguridad que prácticamente todos los sistemas productivos ya sea de bienes o servicios cuentan con un equipo de bombeo.

Una bomba es un transformador de energía pues recibe energía mecánica, que es dada por un motor que puede ser eléctrico, térmico, etc. y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión y velocidad.

En el primer capítulo de " LA IMPLEMENTACION DE PRACTICAS PARA UNA BOMBA DE PISTON Y UNA DE ENGRANES " se da una breve reseña histórica de las bombas para después pasar a su clasificación y aplicaciones sin dejar a un lado los principales conceptos que se manejan.

En el siguiente capítulo nos introduce más a fondo en lo que corresponde a lo que es la teoría de las máquinas de desplazamiento positivo sin perder de vista el enfoque dirigido a las máquinas de este tipo que funcionan como bombas.

Del capítulo tres se puede decir que presenta a los equipos con los que se trabajará, dando una descripción física y de funcionamiento de los mismos los cual aportarán antecedentes necesarios para pasar al capítulo cuatro, pues dicho capítulo ésta contemplado como el de mayor importancia ya que en el se presentan las prácticas probables de realizar en el equipo de interés que en tanto son tres. Una, para termodinámica y otras dos para la materia de máquinas de desplazamiento positivo, en el último de los capítulos se da una pequeña guía sobre los problemas que pueden presentarse en el equipo de estudio, en los apéndices se puede consultar algunos apuntes de interés, como pueden ser mediciones realizadas junto con sus gráficas correspondientes.

CAPITULO I

ANTECEDENTES GENERALES

La necesidad de crear un elemento que permitiera al hombre, el poder transportar agua desde un pozo o un arroyo al lugar donde se le requería, dio inicio a la fabricación de las primeras bombas, éstas en sus primeras etapas eran muy rústicas hasta llegar a bombas que son capaces de proporcionar un gasto de 20,750 lts/s.

Los principios en los que se basan las bombas los podemos encontrar en la hidrodinámica, la cual parte de la mecánica de fluidos que se encarga del estudio de los fluidos en movimiento.

Establecidos los principios, su campo de acción se extiende de tal forma que no sólo se utilizan para el transporte de agua, si no que también para mover casi cualesquier tipo de fluido, originando con ello una gran variedad de aplicaciones.

BREVE RESEÑA HISTORICA

La bomba seguramente es el ingenio más antiguo que se conoce para transferir energía a un fluido, las primeras bombas de las que se tiene referencia son conocidas de diversas formas, dependiendo de la manera en que se registró su descripción, como las ruedas persas, ruedas de agua o Norias, estos dispositivos eran ruedas verticales con gangilones o cubetas que se llenaban con agua cuando se sumergían en una corriente y automáticamente se vaciaban en un colector a medida que se llevaban al punto más alto de la rueda en movimiento, los dispositivos mencionados anteriormente fueron usados en Asia y Africa, aproximadamente hace unos 3000 años, la existencia de ruedas sumergentes ha continuado aun dentro del siglo veinte.

La bomba más conocida en la antigüedad fue la de tornillo de Arquimides, la cual consistía en un tubo enrollado alrededor de un eje, uno de los extremos se sumergía y el eje se hacía girar por lo que el agua ascendía por el tubo, los informes sobre el empleo del tornillo de Arquimides datan de alrededor de 250 años a.C. algo destacado es que todavía se construye hoy en día para aplicaciones de baja carga, en donde el líquido se carga de basura u otros sólidos.

El gran paso hacia los aparatos que se asemejan a los actuales se dio durante el renacimiento con las ideas de hombres como Leonardo da Vinci y sus útiles sugerencias sobre las máquinas hidráulicas, es en esta época donde se comienza a construir las grandes bombas como la del sistema de agua del puente de Londres la cual se inauguró en 1581, a inicios del siglo XIX se había desarrollado hasta poder suministrar 18 millones de litros de agua de río al día. La corriente hacía girar la gran rueda de paletas que accionaban los cigüeñales, éstos movían los émbolos de las bombas por medio de unas palancas.

Conforme el desarrollo tecnológico fue evolucionando, la transformación de potencia del agua en otras formas de energía, como por ejemplo la producción de vapor, se fueron implementándose a los sistemas ya establecidos dando como resultado máquinas como la de Newcomen (1603-1729), que servía para accionar bombas elevadoras de agua, el funcionamiento era el siguiente : se llenaba un cilindro de vapor proveniente de la caldera, una vez lleno una válvula cerraba el paso al tiempo que dejaba entrar un chorrito de agua el cual provocaba una condensación del vapor causando un vacío que tiraba del pistón de la bomba, éste tipo de bombas aparte del suministro de agua se aplicaron en el drenado de las minas.

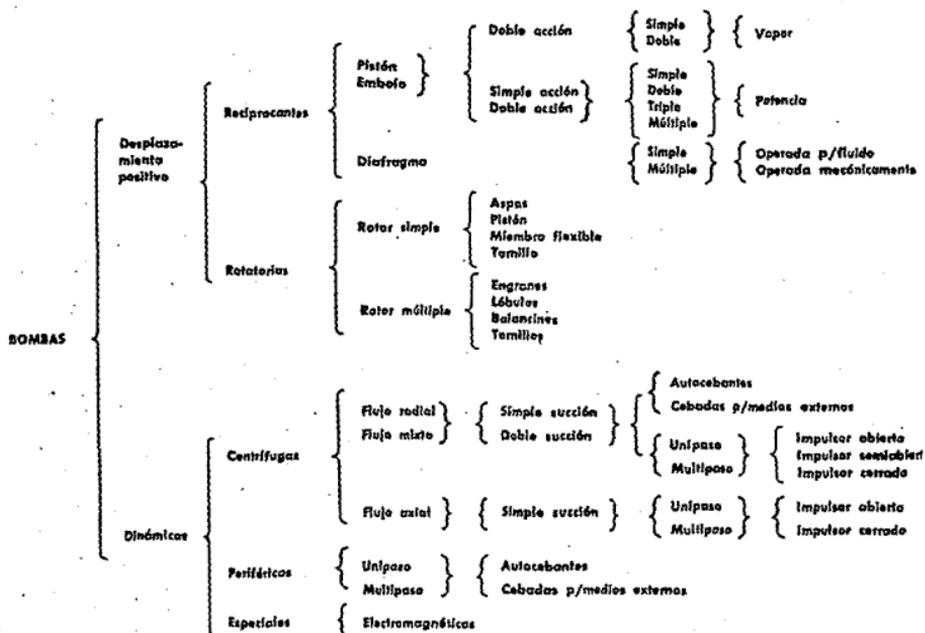
El paso culminante hacia la actualización de los modelos más sofisticados lo proporcionó la invención del motor eléctrico, el cual extendió el campo de acción e incremento el uso de las mismas.

CLASIFICACION SOBRE BOMBAS

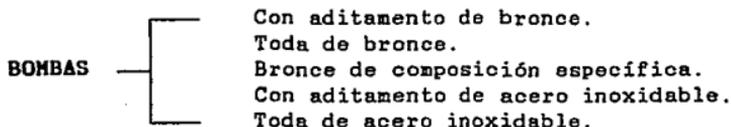
Como se pudo ver en la reseña anterior, las bombas han existido por mucho tiempo y su aplicación es tal que no es de sorprenderse que se produzcan en una infinidad de variedades, tamaños y tipos, lógicamente al tener todas estas variantes la información sobre ellas es numerosa, por lo que se dara una descripción de algunas de ellas de una forma general.

Una bomba es un dispositivo que recibe una energía mecánica de un motor eléctrico o térmico etc; y la transforma en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad, ejemplos adicionales de presión los tenemos en oleoductos, en donde las cotas de altura así como los diámetros de las tuberías y las velocidades son iguales, en tanto la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de presión que se tuviesen en la conducción.

Las bombas que se utilizan para cambiar la posición de un fluido son ocupadas en pozos profundos, dichas bombas proporcionan energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie. Aplicaciones específicas se tratarán posteriormente. Comprendido el concepto de bomba será conveniente pasar a su clasificación, la más completa de ellas la hace la "HYDRAULIC INSTITUTE" y es la que se muestra a continuación.



La clasificación anterior fue hecha en base a las características del diseño y manejo del fluido. También, puede ser de acuerdo a los materiales de construcción, el mismo Instituto Hidráulico usa las designaciones siguientes:



Las bombas con aditamento de bronce tienen una carcaza de hierro vaciado, impulsor de bronce, anillos impulsores y cubre flechas de bronce. En una bomba toda de bronce, cada parte que se encuentra en contacto con el líquido está hecha con bronce. Para las de composición específica se siguen los mismos lineamientos que en las de todas de bronce, sólo que las partes están hechas de una composición de bronce adecuado a la aplicación de la bomba. Las bombas todas de fierro tienen las partes de metal ferroso en contacto con el líquido que se esta bombeando.

En una bomba con aditamentos de acero inoxidable, la carcasa es de un material adecuado al servicio, en tanto que los impulsores, anillos y cubre flechas, si se usan, son de acero resistente a la corrosión y adecuado para el líquido que se maneja. En una bomba de acero estructural, las partes en contacto con el líquido son de acero resistente a la corrosión.

De la clasificación mostrada anteriormente se puede observar que el Instituto Hidráulico describe dos grandes categorías:

1) Dinámicas, en las cuales se añade energía continuamente, para incrementar las velocidades de los fluidos dentro de la máquina a valores mayores de los que existen en la descarga, de manera que la subsecuente reducción en velocidad dentro, o más allá de la bomba, produce un incremento en la presión.

2) De desplazamiento, en las cuales se agrega energía periódicamente, mediante la aplicación de una fuerza a uno o más límites móviles de un número deseado de volúmenes que contiene un fluido, lo que resulta un incremento directo en la presión hasta el valor requerido para desplazar el fluido através de válvulas o aberturas en la línea de descarga.

En las bombas de desplazamiento positivo, el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engrane, un aspa, etc. y la carcaza o el cilindro. En el caso de las centrífugas el fluido es impulsado y no guiado a lo largo de toda su trayectoria entre el elemento impulsor y la carcaza. Los dos grandes grupos de bombas de desplazamiento positivo son : Las reciprocantes para manejo de líquidos y gases, operadas por vapor y mecánicamente y el de las bombas rotatorias (engranes, aspas, levas, tornillos etc.). Como podemos ver en esta categoría entran las de pistones y engranes objetivo de estudio del presente trabajo, para poder tener una idea más concreta del funcionamiento de las bombas de desplazamiento positivo observece la figura 1.1.

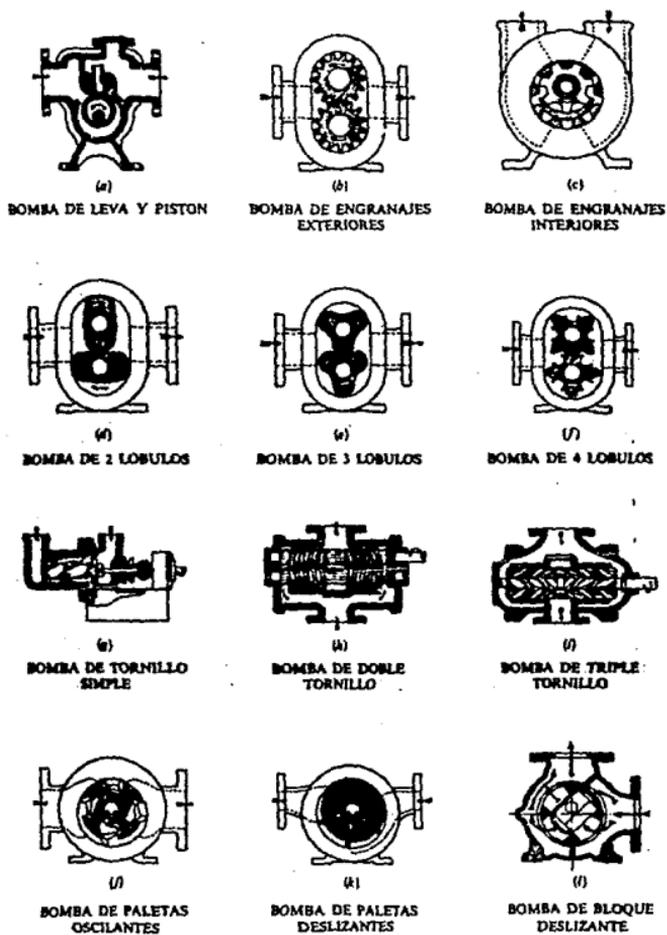


Figura 1.1. ALGUNOS TIPOS DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

APLICACIONES

Con un aparato tan útil e indispensable como lo son las bombas no es de sorprender que su campo de aplicación sea tremendamente amplio, por lo que tendremos que mencionar sólo algunas de sus aplicaciones, comenzaremos por las empleadas en la alimentación de calderas (ver la figura 1.2), para dicho fin se suelen ocupar las siguientes:

- 1.- Bombas reciprocantes.
- 2.- Bombas centrífugas de tipo difusión.
- 3.- Bombas centrífugas tipo voluta.

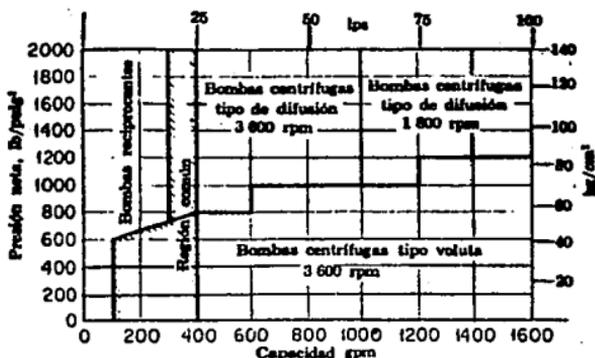


Figura 1.2. REGIONES DE OPERACION ECONOMICAS PARA BOMBAS DE OPERACION DE CALDERAS.

INDUSTRIA QUIMICA: Las bombas centrífugas se usan en las plantas químicas para manejar aproximadamente el 90% de los líquidos corrosivos, al manejar sustancias corrosivas y peligrosas los diseños de algunas bombas tienen que ser especiales como las llamadas bombas de cristal y las de cero fugas, dentro de la industria química son empleadas también :

Bombas rotatorias, en particular de tornillo simple, para gran variedad de productos cáusticos, ácidos, látex, colorantes, solventes, jabones, resinas etc.

Bombas de diafragma, en los procesos donde se requieran grandes gastos.

Bombas reciprocantes tipo émbolo para el manejo de ácidos, pinturas, abrasivos etc.

INDUSTRIA PETROLERA: Las bombas que se emplean en la industria petrolera se dividen en ocho grupos que son los siguientes : Perforación, producción, transporte, refinería, fracturación, pozos submarinos, portátiles y de dosificación.

En perforación se usan las llamadas bombas de lodos, tipo reciprocante, el lodo que maneja pesa entre 2 y 20 kg/litro.

En producción se emplean cuatro tipos de sistemas de bombeo para extraer el crudo estos sistemas son : Sistemas de cilindro de succión, sistema hidráulico, sistema sumergible y sistema de elevación por gas.

El transporte de líquidos en la industria petrolera se hace a través de miles de kilómetros, para el mencionado fin se necesitan bombas de varios pasos, en proceso de refinado la mayoría de las bombas son centrífugas con motores a prueba de explosión ó pueden ser rotatorias positivas, de camisa de vapor y reciprocantes de alta presión.

INDUSTRIA SIDERURGICA: Las principales aplicaciones dentro de la industria siderúrgica comprenden : Remoción de escoria de los lingotes, el enfriamiento de hornos y molinos etc. Debido a que la industria siderúrgica tiene procesos continuos, se requieren más bombas duraderas, las cuales obligan al fabricante a usar materiales de alta resistencia.

APLICACIONES EN ENERGIA NUCLEAR: Los líquidos que se manejan en esta área incluyen los siguientes : Agua pesada, agua radiactiva, sodio líquido, lodos radiactivos y bismuto líquido. Para cumplir con los canones de servicio, se han diseñado los siguientes tipos de bombas:

Bomba con motor enlatado;

Bomba de motor sumergido;

Bomba con motor en atmósfera de gas;

Bomba con motor de aceite;

Bombas con fuga controlada;

Bombas de diafragmas especiales.

Bomba electromagnéticas.

Las primeras cuatro unidades son bombas de cero fugas, la quinta es una de bajo costo; la fuga controlada es por medio de un sello mecánico, las últimas dos son unidades de cero fugas.

Como se ha podido observar, el aplicar un cierto tipo de bomba depende de varios factores. En función de dichos factores, podemos seleccionar de los dos grandes grupos de bombas que son:

Bombas de desplazamiento positivo: se emplean cuando existen gastos pequeños, presiones altas y el líquido que se maneja se encuentra limpio.

Bombas dinámicas: Se emplean con gastos grandes, presiones reducidas ó medias y con todo tipo de líquidos eceptuando los viscosos.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

FLUIDO: Es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. En los fluidos la deformación aumenta constantemente bajo la acción del esfuerzo constante por pequeño que éste sea.

VISCOSIDAD: Es aquella propiedad de un fluido por virtud de la cual ofrece resistencia al corte, se puede expresar como viscosidad dinámica, la cual se representa por μ y sus unidades son, poises, la otra forma es la viscosidad cinemática que se expresa como:

$$\nu = \mu / \rho \quad (1.1)$$

VOLUMEN ESPECIFICO: Es el recíproco de la densidad absoluta

$$V_e = \frac{1}{\rho} \quad (1.2)$$

DENSIDAD: Se define como la masa por unidad de volumen.

$$\rho = m/v \quad (1.3)$$

m = masa [Kg, g, Lb]

v = Volumen [Cm³, m³, ft³]

La densidad absoluta es función de la temperatura y de la presión. La densidad relativa es la relación entre la masa a la masa de un mismo volumen del agua destilada a la presión atmosférica.

PESO ESPECIFICO: Es el peso por unidad de volumen y se encuentra en función de la temperatura y la presión, se puede obtener por la siguiente expresión.

$$\gamma = \frac{\rho \times g}{v} \quad (1.4)$$

γ = Peso [N, Kg, Lb, etc.]

V = Volumen [Cm³, m³, ft³ etc.]

PRESION: La presión es una fuerza ejercida por unidad de área, las formas para medir la presión son las siguientes:

Atmosférica.
Manométrica.
Vacuométrica.
Hidrostática.
Absoluta.
Relativa.

Atmosférica: Es aquella cantidad de presión absoluta que rodea un sistema de estudio la cual se puede medir por medio de un barómetro.

Manométrica: Es aquella que se mide por encima de la presión atmosférica y se mide por medio de aparatos llamados manómetros los cuales pueden ser de columnas ó metálicos.

Vacuométrica: Se mide por debajo de la presión atmosférica por lo que se conoce como de vacío.

Hidrostática: Es la que se deja sentir en un punto por efecto de la profundidad a la que se encuentra esta de la superficie de un líquido.

Absoluta: Es la que se mide a partir del cero absoluto ó de vacío total.

CAUDAL: Este se define como la cantidad de líquido que fluye por algún dispositivo y se encuentra en función del área y la velocidad.

$$Q = A \cdot V \quad [\text{m}^3/\text{s}, \text{ lts}/\text{s}] \quad (1.5)$$

CARGA O CABEZA: Es considerada como la cantidad de trabajo necesario para mover un líquido de su posición original a la posición requerida de suministro. La presión puede ser convertida a cabeza ó carga mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CARGA ó CABEZA} = \frac{\text{Presión} \cdot 10}{\text{gravedad específica}} \quad (1.6)$$

CARGA DINAMICA: Se define como la carga total que registrará una bomba en la descarga. Matemáticamente se calcula de igual forma que la carga.

$$\text{CDT} = \frac{\text{P diferencial} \cdot 10}{\text{g específica}} \quad (1.7)$$

$\text{P diferencial} = (\text{presión se descarga} - \text{presión de succión})$.

NPSH: Es la carga neta positiva de succión [Net positive suction Head], Se define como la energía disponible que puede utilizarse para mover el líquido através de una línea de succión hacia el impulsor, tiene dos aspectos; que son:

El **NPSH Disponible** que es la energía del líquido en la conexión de succión de la bomba, es decir la presión que ofrece el sistema al equipo de bombeo, el **NPSH** se obtiene de dos formas que son :

a) Para succiones bajo la línea de centros de la bomba.

$$\text{NPSH} = \text{HA} - \text{HVPA} - \text{HST} - \text{HFS} \quad (1.8)$$

b) Para succiones por arriba de la línea de centros.

$$\text{NPSH} = \text{HA} - \text{HVPA} - \text{HSTS} \quad (1.9)$$

DONDE :

HA = La presión absoluta (en pies de líquido) sobre la superficie del nivel de líquido será la presión barométrica si la succión es de un tanque abierto o pozo.

HVPA = La carga en pies correspondiente a la presión de vapor del líquido, a la temperatura de bombeo.

HST = La altura estática en pies, del nivel del líquido a bombear, arriba o a bajo de la línea de centros u ojo del impulsor de la bomba.

HFS = Todas las pérdidas de presión en la línea de succión (en pies), incluyendo pérdidas por fricción a lo largo de tuberías, válvulas y accesorios.

NPSH: Es la energía requerida para vencer las pérdidas por fricción de la succión de la bomba a los álabes del impulsor, el NPSH Disponible deberá ser siempre mayor o igual, a cuando menos, al NPSH requerido por la bomba si se quiere evitar los problemas de cavitación.

CAVITACION: Es un fenómeno que se presenta dentro de la bomba cuando el NPSH requerido excede al NPSH disponible. Su más notable característica, es que cuando una bomba esta cavitando, suena como si estuviera bombeando guijarros o piedras, cuando este problema se presenta la capacidad de la bomba y su eficiencia decaen.

CAPITULO II

ANALISIS DE LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

La principal característica de las bombas de desplazamiento positivo, es que el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un émbolo, un diente de engrane, un aspa, etc. El funcionamiento de las bombas de desplazamiento positivo no se basa, como en el caso de las turbomáquinas, en la ecuación de Euler, pero de igual manera que en el caso de las centrífugas son adaptables a un análisis gráfico el cual nos proporcionaría su comportamiento bajo varios parámetros como son NPSH, la carga y el gasto; el análisis gráfico es primordial para una buena selección de un equipo, dicho análisis puede ser obtenido por experimentación para obtener las gráficas que posteriormente un fabricante publicara como referencia de sus equipos.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Principio de desplazamiento: Para entenderlo nos auxiliaremos de la figura 2.1

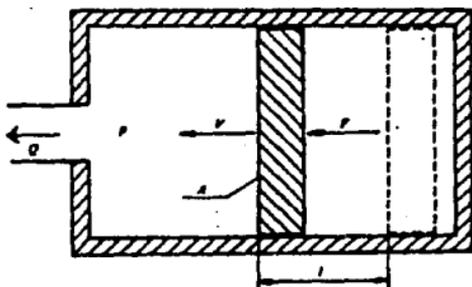


Figura 2.1

Explicación del *principio de desplazamiento positivo*: al disminuir el volumen a la izquierda del émbolo el fluido se verá obligado a salir sea cual fuere la presión, siempre que la fuerza F sea suficientemente grande y las paredes del cilindro suficientemente robustas.

El movimiento del émbolo se debe a la fuerza aplicada F , éste al moverse desplaza un fluido a través del orificio. Si el émbolo recorre un espacio l hacia la izquierda el volumen ocupado por el líquido se reducirá en un valor igual a $A \cdot l$ (donde A es el área transversal del émbolo). Como el fluido es incomprensible, el volumen de fluido que sale por el orificio también será $A \cdot l$. El tiempo t empleado en recorrer la distancia l es:

$$t = \frac{l}{v}$$

El gasto Q ó volumen desplazado en la unidad de tiempo será:

$$Q = \frac{A l}{t} = A V$$

Si no hay fricción, la potencia comunicada al fluido será:

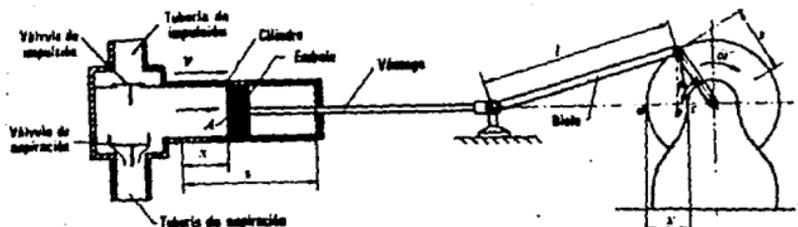
$$P = F * V$$

Pero $F = P * A$; Luego

$$P = F * V = P * A * V = Q * P$$

Como se puede ver el principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por tanto, en una máquina de este tipo el elemento que originará el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), si no que puede tener movimientos rotatorio (rotor). En las máquinas de desplazamiento positivo tanto reciprocantes como rotatorias siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye de volumen (impulsor). Por ello estas máquinas se llaman también volumétricas. Cuando el elemento transmisor de energía tiene movimiento rotativo, la máquina se llama rotoestática para distinguirla de las rotodinámicas.

CAUDAL TEORICO: En la figura 2.2 tenemos una bomba de émbolo simple.



Esquema de bomba de émbolo de simple efecto.

Figura 2.2

El movimiento de motor eléctrico, de gasolina, diesel, etc. Se transmite por el mecanismo de biela manivela al vástago del émbolo. En la bomba existen dos válvulas: La válvula de aspiración que comunica con la tubería de succión y la válvula de impulsión que comunica con la tubería de descarga. El funcionamiento es parecido al de un pistón en un motor de combustión interna, cuando el émbolo crea un vacío se abre la válvula de entrada y la presión atmosférica empuja el líquido al interior, al terminar la carrera del pistón se cierra para abrir la de descarga, de tal forma que a cada revolución del motor corresponde dos carreras (ida y vuelta) s del émbolo, sólo en una carrera se realiza la impulsión del fluido.

De lo anterior podemos encontrar que:

$$Q_t = \frac{A * n * S}{60} = \frac{D * n}{60}$$

A = Area transversal del émbolo [m²]

S = Carrera [m]

A*S = D = Desplazamiento o volumen desplazado
en una revolución. [m³]

n = rpm del cigüeñal.

Como se observa el caudal no depende de la presión.

Para una bomba de engranes hay que considerar que estas máquinas tienen dos rotores, por lo que en ellas el desplazamiento por cada revolución es:

$$D = A * b * 2 * z$$

A = area del espacio ocupado por un diente

b = Altura del diente

z = Número de dientes.

y el caudal útil será:

$$Q = \frac{\eta_v * D * n}{60} = \frac{\eta_v * A * b * 2 * Z * n}{60}$$

η_v = Rendimiento volumétrico.

CAUDAL REAL: Los factores que intervienen en la variación del caudal teórico son: la fugas, el retraso en el cierre de las válvulas, aire mezclado, el caudal de retroceso y las pérdidas exteriores. Estas pérdidas se tienen en cuenta en el rendimiento volumétrico que se obtiene:

$$r_v = \frac{Q}{Q_r}$$

r_v puede variar entre 0.85 y 0.99. Es mayor en bombas con émbolo de mayor diámetro y menor cuanto menor es la viscosidad del fluido.

CAUDAL INSTANTANEO: Debido a las características del mecanismo se presenta un desplazamiento sinusoidal lo cual provoca que la velocidad varíe, recordando que el caudal se encuentra en función de la V el caudal instantáneo se obtiene mediante:

$$Q_i = \frac{dD}{dt} = A * w * r * \text{sen}(w*t)$$

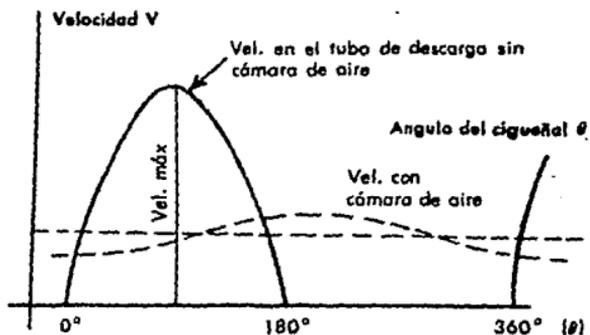
A = Area.

w = Velocidad angular constante de la manivela.

r = Radio de la manivela

t = tiempo.

En la figura 2.3 se muestra el comportamiento sinusoidal del caudal instantáneo.



Fluctuación de la velocidad en el tubo de descarga.

Figura 2.3.

POTENCIA INDICADA O POTENCIA INTERNA: Se obtiene por la siguiente relación:

$$W_i = \frac{P_i * A * S * n}{60r_v}$$

A = Área transversal del émbolo.

s = Carrera.

n = Rpm del cigüeñal.

r_v = Rendimiento volumétrico.

P_i es la presión media indicada, la cual se obtiene midiendo el área de un diagrama indicador con un planímetro y dividiendo esta área por la carrera S , la figura 2.4 muestra diversos diagramas indicadores con fallas.

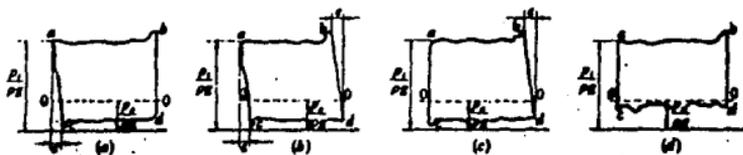


Figura 2.4. DIAGRAMAS DIVERSOS DEL INDICADOR. El diagrama (a) acusa que la válvula de impulsión no se cierra a tiempo; (b) ambas válvulas funcionan mal; (c) la válvula de aspiración no se cierra a tiempo; (d) vacío insuficiente.

POTENCIA UTIL O HIDRAULICA: Esta se obtiene por:

$$w_u = Q * \rho * g * H$$

POTENCIA AL FRENO: Es la potencia que se necesita para mover la bomba.

$$w_f = w * T$$

w = Velocidad angular del eje.

T = Par del eje.

RENDIMIENTO HIDRAULICO: SE obtiene por medio de

$$\eta_h = \frac{H}{P_1/\gamma}$$

H = Carga.

P₁ = Presión.

γ = Peso específico.

RENDIMIENTO MECANICO: Se define como:

$$\eta_m = \frac{\text{Potencia al freno}}{\text{Potencia de entrada}}$$

RENDIMIENTO TOTAL: Para bombas de émbolo este rendimiento varía de 0.7 a 0.92 y se obtiene por :

$$\eta_T = \eta_v + \eta_h + \eta_m$$

$$\eta_T = \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia de entrada}}$$

CURVAS CARACTERISTICAS

Para una bomba dada, la carga total desarrollada, la potencia requerida para impulsarla y la eficiencia resultante varían con el gasto. Estas interrelaciones de carga, potencia, eficiencia y capacidad se conocen comúnmente como "características de la bomba". La práctica usual es colocar la carga, la potencia y la eficiencia contra la capacidad a una velocidad constante.

Aun cuando se ha aplicado mucho sobre el uso de curvas en conexión con bombas centrífugas, debe recordarse que el análisis gráfico puede adaptarse igualmente a bombas rotatorias y reciprocantes, en la figura 2.5 se muestran las principales curvas de comportamiento de una bomba centrífuga y una comparación de comportamiento entre bombas dinámicas y bombas de desplazamiento positivo.

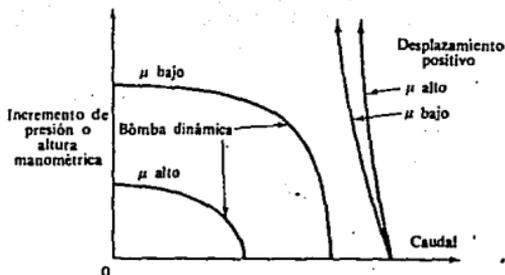
La curva H-Q de la figura 2.5 nos muestra la relación entre la capacidad total y la carga total que se llama curva de carga-capacidad, muchas veces las bombas se clasifican en base a la forma de las curvas H-Q.

La curva η -Q muestra la relación entre la eficiencia y la capacidad, se llama simplemente curva de eficiencia, usualmente expone un máximo o mínimo de eficiencia.

La curva P-Q muestra la relación entre la potencia de entrada y la capacidad de la bomba. El nombre con el que se conoce es de curva de potencia.

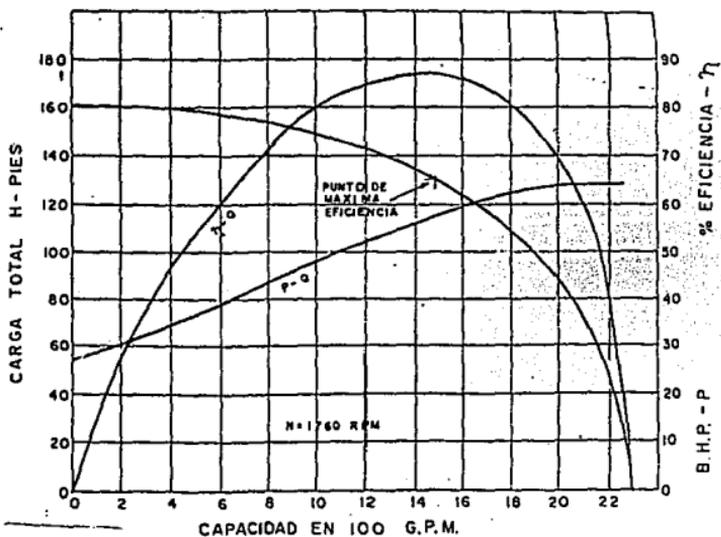
La curva de HPSH nos muestra el comportamiento del NPSH con respecto al gasto, hay que recordar que un error en el NPSH puede ocasionar problemas de cavitación.

Existe otro tipo de curva la cual es de IMPULSORES en ella se muestra la variación del gasto con respecto a los diferentes diámetros de un impulsor para un mismo modelo de bomba, de tal forma que si en un sistema de suministro las condiciones de demanda cambian, no se tiene que cambiar completamente la bomba para ajustarnos a las necesidades nuevas, sólo hace falta consultar la curva de impulsores y adaptar o cambiar el impulsor.



COMPARACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS TICAS DE BOMBAS DINAMICAS Y DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO A VELOCIDAD CONSTANTE.

Figuras 2.5.

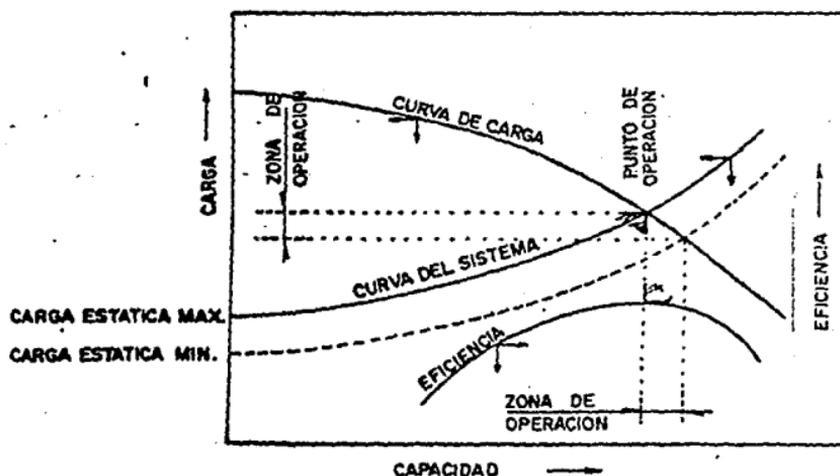


CURVA TÍPICA DE CARACTERISTICAS DE BOMBA CENTRIFUGA

INTERPRETACION DE GRAFICAS

La condición usual de diseño es que un sistema sea dado y una bomba adecuada se seleccione. Si en la curva del sistema que muestra la figura 2.8 se sobrepone la curva característica de la bomba, entonces su intersección localizará el "punto de operación".

Figura 2.6



DETERMINACION DEL PUNTO DE OPERACION DE LA BOMBA.

El punto de operación indica el gasto y la carga a los cuales el sistema dado y la bomba dada operan. Este también localiza la eficiencia de operación y las necesidades de potencia. Una bomba deberá seleccionarse de tal manera que tenga un punto de operación en o cerca de su eficiencia máxima.

PRUEBAS QUE SE REALIZAN

El objetivo de las pruebas de funcionamiento es determinar el gasto, carga, potencia de una bomba con la cual pueden determinarse las curvas características. Antes de proceder a la prueba de funcionamiento se debe tener cuidado de inspeccionar lo siguiente:

- 1.- Alimentación de bomba y motor.
- 2.- Dirección de rotación.
- 3.- Conexiones eléctricas.
- 4.- Aberturas piezométricas.
- 5.- Estoperos y sistemas de lubricación.
- 6.- Calor entre los anillos de desgaste.
- 7.- Todos los pasajes del líquido.

Otra prueba que un fabricante debe hacer es la hidrostática la cual consiste en exponer a una presión determinada alguna pieza que estará en contacto con el líquido a presión.

La prueba se efectúa introduciendo agua a presión y manteniendo ésta durante un tiempo determinado según el tipo de bomba, una regla general es someter las piezas al doble de la presión de operación por un espacio de tiempo que puede llegar hasta 30 minutos, la detección de una fuga es visual y la pieza deberá arreglarse o sustituirse según sea el caso.

PRUEBA DE SUSPENSION: Consiste en determinar el NSPH para los cuales se empieza a presentar problemas de cavitación, para dicho fin se lleva acabo un estrangulamiento en la línea de succión o bien variando el nivel del líquido en la succión.

PRUEBA DE CARGA: Para su realización se emplea la carga de succión y la carga de descarga. Estas a su vez, están compuestas por cargas estáticas, presiones, pérdidas dinámicas etc. Para medir la carga deben tenerse en cuenta los siguientes factores.

-Debe asegurarse que exista un flujo constante, para ello, la presión debe tomarse en una sección de tubo de área constante y en un punto alejado de 5 a 10 diámetros de cualquier válvula, codo etc.

-Deben proveerse válvulas de control y drenaje.

-Todas las conexiones deben hacerse de tal manera que no existan fugas.

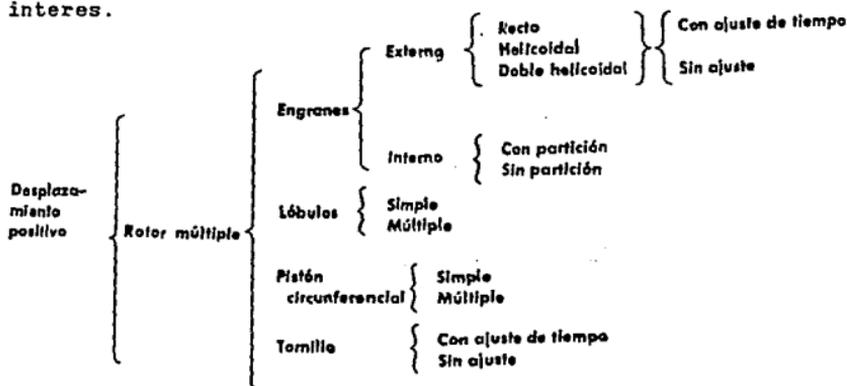
CAPITULO III

DESCRIPCION Y OPERACION DEL EQUIPO

Para todo ingeniero es indispensable conocer al menos algunos de los principios de funcionamiento de los equipos más empleados en la industria, estos principios se pueden comprender y aprender mejor por medio de equipos didácticos, en los cuales se representan a escala de una manera real, requerimientos, comportamiento y variaciones de funcionamiento; con este fin en el laboratorio de termofluidos de la ENEP Aragón, se cuenta con dos equipos de bombeo, los cuales se caracterizan por ser de desplazamiento positivo, una de engranes y otra de pistón.

CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA DE ENGRANES

A continuación se muestra una clasificación sobre diversos tipos de bombas de engranes, dicha clasificación nos permitira auxiliarnos para especificar el equipo de interes.



Una bomba de engranes desarrolla flujo al llevar flúido entre los dientes de los engranes dentados. Uno de los engranes es impulsado por el eje impulsor y gira al otro. Las cámaras bombeadoras que se forman entre los dientes de los engranes, están cubiertas por la caja de la bomba y las placas de los lados (frecuentemente llamadas placas de presión o desgaste).

Un vacío parcial se crea en la entrada de la bomba cuando se van girando los engranes. El fluido fluye en el espacio para llenarlo y es girado hacia afuera del engrane. Cuando se van encontrando los dientes del engrane en la salida el fluido es expulsado. Una alta presión en la salida de la bomba implica una carga desbalanceada en los engranes y en los soportes.

En la figura 3.1 se muestra una bomba típica de engranes externos, los engranes pueden ser rectos, helicoidales simples o dobles como el tipo espina de pescado (Herringbone).

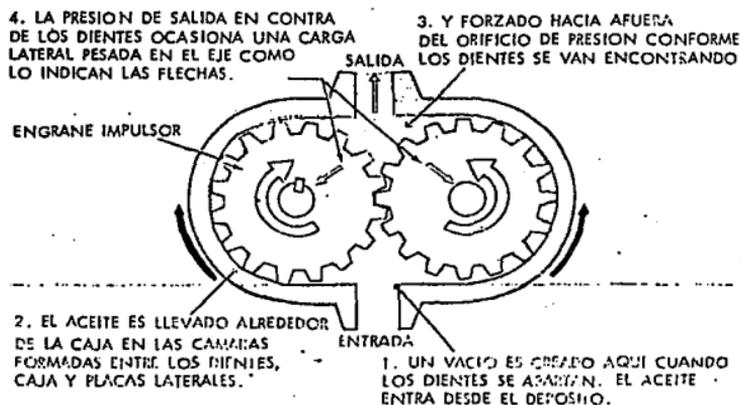


Figura 3.1 BOMBA DE ENGRANES EXTERNOS

En la figura 3.2 se muestra una bomba de engranes internos; en este diseño las cámaras bombeadoras también se forman entre los dientes del engranaje. Un sello en forma de luna creciente es maquinado adentro del cuerpo de la válvula entre la entrada y la salida en donde el espacio de los dientes es mayor.

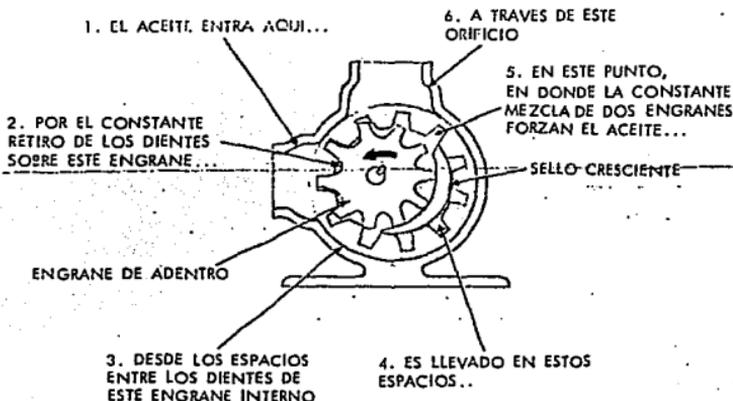
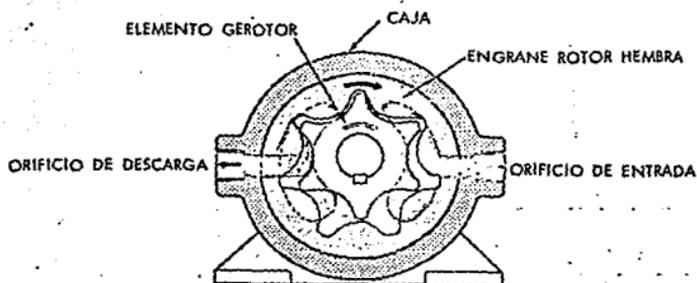


Figura 3.2 BOMBA DE ENGRANES INTERNOS.

En la bomba de engranes internos sin partición, el rotor interno es impulsado y llevado al rotor exterior alrededor entredentándose. Las cámaras de la bomba se forman entre los lóbulos del rotor. El sello en forma de luna creciente no se usa. Más bien, las puntas del rotor interior hacen contacto con el rotor exterior para sellar las cámaras de una a la otra, En la figura 3.3 se puede ver este tipo de bomba .

Figura 3.3 BOMBA TIPO GEROTOR.



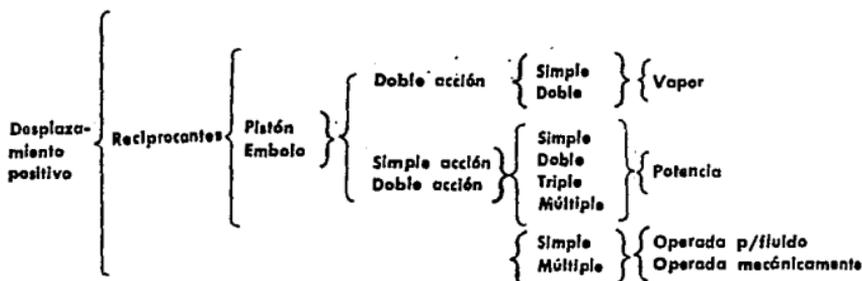
La mayoría de las bombas de engranes tienen desplazamiento arreglado. Su porcentaje de salida es desde muy bajo a muy alto volumen. A causa de la carga del lado del eje, son unidades de baja presión normalmente aun que a algunas se les pueda usar a 3000 psi, a demás de las características anteriores también se puede decir que :

- Las fugas internas aumentan con el desgaste. Sin embargo las unidades son bastante duraderas y más tolerantes al polvo.
- Generan frecuencias altas por lo que tienden a correr ruidosamente.

- No tienen válvulas y pueden manejar líquidos altamente viscosos.
- No se deben usar en instalaciones donde pudieran quedarse girando en seco.

CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA DE PISTONES

La clasificación y tipos de bombas de pistones son las siguientes:



Las bombas de émbolo prácticamente no tienen límite de presiones. Actualmente se construyen para presiones de 1000 bar o más. Para aumentar la presión bastara con hacer la bomba más robusta y el motor más potente. En este tipo de bombas la velocidad media del émbolo no suele exceder de 550 a 600 por minuto.

Como ya se mencionó anteriormente el caudal no puede ser regulado por cierre de válvulas de impulsión si no variando el número de revoluciones del motor o bien haciendo el by-pass regresando el caudal impulsado a el tubo de aspiración.

En las bombas de pistón o émbolo simple (simplex) existe una cámara de aire con objeto amortiguador al golpe de ariete que resulta de la pulsación continua del caudal en la tubería de impulsión, la bomba simplex se muestra en la figura 3.4.

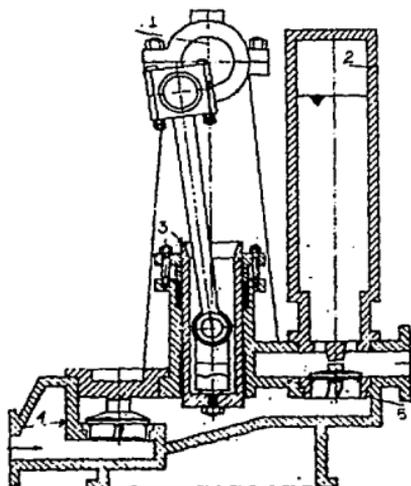
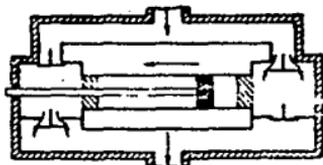


Figura 3.4 BOMBA DE EMBOLO BUZO adaptada a grandes presiones o alturas útiles: 1, cigüeñal; 2, cámara de aire; 3, émbolo buzo; 4, válvula de aspiración; 5, válvula de impulsión.

Otros tipos de bombas de émbolo son la duplex o de doble efecto, en la figura 3.5 se muestra una bomba duplex y una triplex, una bomba multiplex tiene la ventaja de aminorar las pulsaciones del caudal, al mismo tiempo que el caudal aumenta.

Figura 3.5



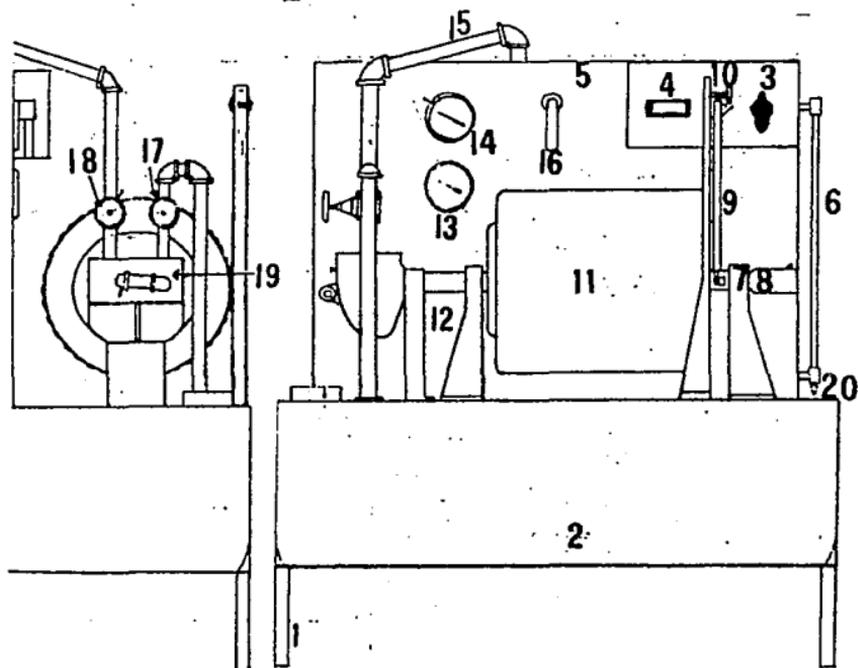
Esquema de una bomba de émbolo de doble efecto.

Existen multitud de variantes en la construcción de estas bombas, se pueden fabricar sin válvulas como la bomba de cilindro oscilante cuyo funcionamiento se basa en la oscilación de un cilindro, que pone en comunicación las cámaras de izquierda y derecha alternativamente.

DESCRIPCION Y OPERACION DE LA BOMBA DE ENGRANES VARLEY FMC MODELO DH 25

La bomba que se encuentra en el laboratorio es una bomba Varley 5 Fr .01p de engranes helicoidales y a sido diseñada para permitir la obtención de las curvas características de una forma simple, en la figura 3.6 se muestra la bomba así como las partes que la conforman.

ESQUEMA DE LA BOMBA DE ENGRANES



- 1.- Mesa bastidor de ángulo y solera.
- 2.- Recipiente de aceite con capacidad aproximada de 90 litros.
- 3.- Panel de control donde se encuentra el interruptor general y el selector de velocidad para alta y baja.
- 4.- Tacómetro digital.

- 5.- Tanque medidor de flujo con capacidad de 43 litros.
- 6.- Nivel del tanque medidor de flujo.
- 7.- Basculante para dinamómetro, su brazo armado es de 179 mm, la constante de freno de 53.35.
- 8.- Referencia de toma de lectura de los pares.
- 9.- Dinamómetro.
- 10.- Perilla para ajustar el dinamómetro.
- 11.- Motor de la bomba con velocidades nominales, de 750/1500 rev/min con 50 Hz y 900/1800 rev/min con 60 Hz y una potencia nominal de 0.75 KW.
- 12.- Tolva de la transmisión.
- 13.- Vacuómetro de succión su escala se expresa en Bars y su presión máxima registrada es de -1 Bars.
- 14.- Manómetro de descarga expresado en Bars y su presión máxima registrada de 8 Bar.
- 15.- Garza cambiadora de flujo.
- 16.- Palanca drenadora del tanque medidor de flujo.
- 17.- Válvula reguladora de succión.
- 18.- Válvula reguladora de la descarga.
- 19.- Válvula de seguridad.
- 20.- Válvula drenadora del nivel.

La bomba ha sido montada sobre una estructura de fierro con ruedas, la cual permite, una gran libertad de desplazamiento hacia cualquier parte, esta bomba es accionada por un motor de 0.75 kw de c.d. y dos velocidades, el motor se encuentra sujeto sobre una balanza de resorte, la cual permite conocer el torque, la bomba y el motor son acoplados por dos juntas en forma de estrella que embonan en una hembra de plástico, en las juntas se encuentra el censor magnético del tacómetro. Bomba y motor son mantenidos sobre un tanque de acero, el cual constituye la reserva de aceite de donde la bomba extrae el fluido de trabajo, succión y descarga son controladas por unas válvulas que regulan presión y flujo, que son indicadas por unos manómetros; el elemento que nos permite la medición de la cantidad de fluido movido por la bomba, es un tanque en donde es descargado el aceite, el tanque de descarga cuenta con un nivel que permite observar el llenado del mismo, un tubo desviador de fluido que se comunica con la reserva además de un dren que drena hacia la reserva.

Para evitar un daño por sobrepresiones la bomba cuenta con una válvula de alivio la que debe regresar el fluido hacia el lado de succión, la presión que abre ésta válvula es de 8 Bars.

OPERACION: Antes de comenzar a operar el equipo se debe checar que ambas válvulas de control se encuentren totalmente abiertas, en seguida se podrá activar el interruptor del motor en las condiciones de baja velocidad y se tendrá que esperar un corto tiempo hasta que el aire haya sido descargado de la bomba, cuando el sistema a sido estabilizado se podrá operar el equipo en alta velocidad si se desea, con la válvula que controla la descarga se podrá ajustar el rango de presión a la que se desea trabajar, solo hay que recordar que la válvula de alivio se abre cuando la presión rebasa los 8 Bars.

Las curvas características pueden ser obtenidas por una sucesión de diez lecturas que se encuentren distribuidas dentro del rango de presiones, que vayan desde cero hasta la máxima escala escogida, se debe tomar una serie para cada una de las velocidades del motor. El procedimiento recomendado para la toma de lecturas de una prueba puede ser el siguiente:

- a) Leer y anotar las presiones de succión y descarga.
- b) Leer el torque después de ajustar el nivel del dinamómetro con el brazo de palanca.

- c) Con el tacómetro, se debe determinar la velocidad del motor, si se quiere ser muy exacto se puede auxiliar de un cronómetro y tomar la velocidad durante el intervalo de un minuto.

- d) Registrar el nivel de aceite en el medidor del tanque si se considera que existe demasiada cantidad de aceite en el tanque de mediciones, se puede accionar la palanca del dren.

- e) Para tomar la lectura cambie el brazo director de aceite a la reserva al mismo tiempo que para el reloj de mediciones, para cada medición se tendrá que drenar el tanque de mediciones.

La hoja adecuada para el registro de datos se muestra en el apéndice del presente trabajo. Cuando la válvula de entrada es demasiado cerrada se produce una depresión que provoca que la bomba cavite, la cavitación es indicada por fuertes ruidos en la bomba y un decaimiento en la descarga. Un examen de la variación de la presión es mejor hacerla en condiciones de alta velocidad. Es necesario para los cálculos registrar la presión barométrica ya que las gráficas de gasto y eficiencia volumétrica deben registrarse en presiones absolutas.

**DESCRIPCION Y OPERACION DE LA BOMBA
DE PISTON STUART A6**

Aparte de la bomba de engranes con la que cuenta el laboratorio de termofluidos, para el análisis de equipo de desplazamiento positivo existe una bomba de émbolo marca Stuart A6, la cual puede proporcionar un flujo máximo de 1600 litros/hr, y una carga máxima de 53m. En la figura 3.7 se muestra un corte transversal de la bomba.

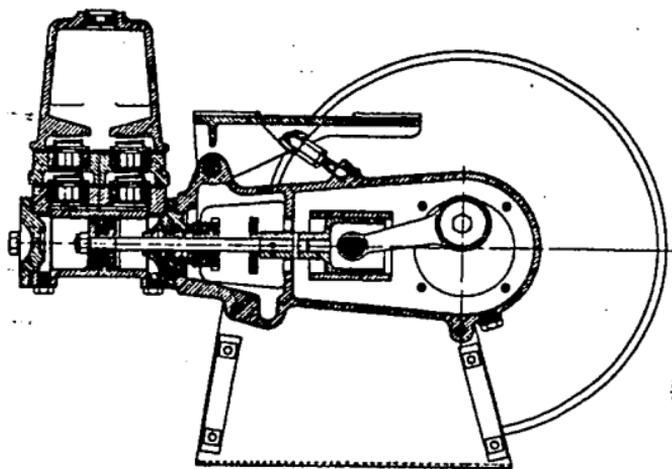


Figura 3.7

La bomba es horizontal de un solo cilindro y doble acción, es un tipo ampliamente usado en el suministro de agua doméstica.

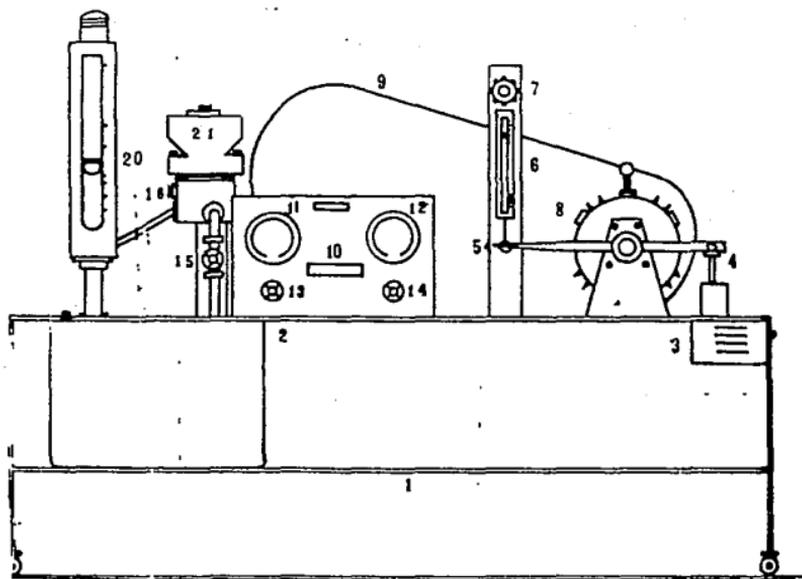
El equipo se encuentra montado sobre una estructura de fierro con ruedas para permitir un libre desplazamiento hacia cualquier lugar del laboratorio, en la parte baja de la estructura se encuentra un recipiente el cual constituye la reserva del fluido de trabajo (agua). La bomba es accionada por medio de un motor eléctrico de 0.75 KW de corriente alterna y dos velocidades, integrado con un dinamómetro, la potencia del motor es transmitida a la bomba por medio de una banda dentada.

El motor se encuentra montado sobre un muñón y fijado con un resorte de balance para medir el torque, las revoluciones del motor se miden por medio de un tacómetro digital.

El agua succionada de la reserva es regulada por una válvula de control, en la descarga también existe una segunda válvula para el control de la misma, el agua descargada es pasada através de un medidor de flujo, Para después ser retornada al recipiente de reserva.

La presión en la succión es registrada por un vacuómetro y la presión de descarga es medida por un manómetro, los medidores se encuentran provistos de válvulas de aguja para eliminar las pulsaciones producida por el desplazamiento sinusoidal del émbolo; en la parte superior de la bomba se localiza un recipiente o cámara de aire cuya función es la de reducir las pulsaciones en la tubería de descarga, una parte fundamental del equipo es la válvula de alivio que previene sobrecargas de presión en la bomba, la válvula de alivio se encuentra calibrada para que abra cuando la presión rebase los 5 Bars. En la figura 3.8 se encuentra un esquema de la bomba así como las partes que la conforman.

ESQUEMA DE LA BOMBA DE PISTON



- 1.- Mesa bastidor de ángulo y solera.
- 2.- Recipiente de agua con capacidad de 50 litros.
- 3.- Panel de control donde se encuentra el interruptor general y el selector de velocidad para alta y baja velocidad.
- 4.- Basculante para dinamómetro, su brazo armado es de 179 mm y la constante al freno vale 53.35.

- 5.- Referencia de tomas de lecturas del dinamómetro.
- 6.- Dinamómetro.
- 7.- Perilla para ajustar el dinamómetro.
- 8.- Motor de la bomba con velocidades nominales, de 750/1500 rev/min con 50 Hz y 900/1800 rev/min con 60 Hz y una potencia nominal de 0.75 KW.
- 9.- Tolva de la transmisión.
- 10.- Tacómetro digital.
- 11.- Vacuómetro indicador de la presión de succión su escala es en Bars y su máxima presión registrada es de -1 Bars.
- 12.- Manómetro indicador de la presión de descarga su escala es en Bars y su máxima presión registrada es de 6 Bars.
- 13.- Válvula para fijar la lectura en el indicador de presión en la succión.
- 14.- Válvula para fijar la presión en el indicador de presión en la descarga.
- 15.- Válvula para regular la succión.
- 16.- Válvula para regular la descarga.
- 17.- Válvula de la cámara de aire.
- 18.- Válvula de seguridad.
- 19.- Rotámetro.
- 20.- Indicador del rotámetro.
- 21.- Cámara de aire.

OPERACION: Antes de poner en marcha el equipo, se debe checar que las válvulas de succión y descarga se encuentren abiertas, checado esto se podrá arrancar el motor en baja velocidad y manteniéndolo en esta condición por unos segundos hasta que el aire haya sido sacado del sistema, una vez evacuado el aire, el motor puede ser operado en condiciones de alta velocidad si se desea, con la válvula de descarga se puede obtener un rango de presiones requeridas que pueden ir desde cero hasta la máxima permitida por el manómetro.

Las válvulas de aguja que se encuentran localizadas antes de los medidores de presión, deben ser cuidadosamente ajustadas para evitar las oscilaciones en los manómetros o limitarlos a pequeñas amplitudes, es importante no cerrarlas al máximo ya que sólo atraparé por algunos instantes la presión en los manómetros y luego las agujas indicadoras desenderan, disminuyendo la presión.

Se debe tener cuidado de verificar que el recipiente de reserva se encuentre con agua suficiente, de lo contrario las condiciones de trabajo variarán, afectando los resultados obtenidos.

Si se sospecha que en la cámara de aire existe escasez del mismo, puede ser cargada operando la bomba por pequeños intervalos de tiempo, con la válvula que se encuentra en la parte baja del cilindro de la bomba abierta.

Para obtener las curvas de comportamiento, se deben tomar una serie de diez puntos distribuidos sobre el rango de las presiones permitidas, se deben tomar una serie para cada una de las velocidades de la bomba.

El procedimiento que se recomienda para la toma de lecturas es el siguiente:

- a) Leer y anotar las presiones de succión y descarga.
- b) Leer y anotar el torque, ajustando el resorte de balance del motor de tal forma que el puntero móvil del motor coincida con el punto fijo.
- c) Tomar la lectura del tacómetro, si se quiere exactitud se deberá recurrir a un cronómetro y tomar la velocidad durante un intervalo de tiempo de un minuto.
- d) Tomar la lectura del medidor de flujo.

La hoja adecuada para el registro de datos se muestra en el apéndice. Las pruebas pueden realizarse con la válvula de succión totalmente abierta y la presión en la descarga deben ser regulada con la válvula de descarga.

El fenómeno de cavitación se produce cuando la válvula de succión se cierra gradualmente, hasta llegar a una depresión, este fenómeno se indica por fuertes ruidos en la bomba.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DE PRACTICAS

En el presente capítulo se proponen tres prácticas que se pueden realizar con el equipo descrito en el capítulo anterior, la primera de las prácticas pretende prestar apoyo en la materia de termodinámica, las otras dos en las materias de máquinas de desplazamiento positivo.

Al final de cada práctica se presentan dos cuestionarios con la finalidad de alternar cada semestre uno, de tal forma que no se repita el mismo cada año, además se presentan comentarios dirigidos al instructor para obtener mejores resultados, el instructor puede comparar sus resultados con los obtenidos en el presente trabajo, éstos resultados se presentan en el apéndice.

POTENCIA REAL E IDEAL

OBJETIVO :

Analizar por medio de la primera ley de la termodinámica la potencia suministrada a un equipo de bombeo, además de comparar y encontrar la potencia perdida por diferentes causas, se graficará la potencia real e ideal según la variación del flujo.

ACTIVIDADES :

- a) Análisis del sistema de bombeo aplicando la primera ley de la termodinámica.
- b) Registro de las lecturas del equipo.
- c) Análisis de las lecturas y resultados.

MATERIAL Y EQUIPO :

- Bomba de pistón Stuart A6.
- 1 Cronómetro.
- 1 Dinamómetro con escala en N.

ASPECTOS TEORICOS :

Como se ha visto en las prácticas anteriores la primera ley de la termodinámica examina la interacción de varios tipos de energía y se fundamenta en que la energía entendiéndose por energía calor ó trabajo, no se puede crear ni desaparecer, solo se transforma en otras, como lo muestra

la siguiente ecuación en donde los términos expresados ya son conocidos por el alumno:

$$W + Q = m \frac{V_B^2 - V_A^2}{2} + g(Z_B - Z_A) + \frac{(P_B - P_A)}{\rho} + (U_B - U_A)$$

POTENCIA : La potencia se define como la velocidad para realizar un trabajo y se expresa como:

$$P = \frac{\text{TRABAJO}}{\text{TIEMPO}}$$

De tal suerte tenemos que si un motor puede hacer la misma cantidad de trabajo que otro en la mitad de tiempo, es dos veces más potente.

Thomas Savery, uno de los primeros que se ocuparon del vapor, había sugerido que la medida de la potencia debía estandarizarse basándose en la velocidad de trabajo de un caballo, Watt tomó la idea. Determinó que un caballo de tiro podría ejercer una tracción de unos 670 N caminando a 1 m/s durante un tiempo considerable. Esto es equivalente a 40 200 Nm cada minuto, o 670 Nm por segundo y se denomina un caballo de potencia.

La potencia que existe cuando hay un movimiento de rotación está dada por:

$$P = T \times \omega \quad \text{--- (a)}$$

$$P = F \times d \times \omega \quad \text{--- (b)}$$

Donde :

T = Par aplicado
 ω = Velocidad angular
 F = Fuerza en N
 d = Brazo de palanca

En b podemos convertir a radianes por minuto quedando el termino N que son las revoluciones por minuto.

$$P = \frac{F \times d \times 2\pi \times N}{60} \quad \text{--- (c)}$$

Al aplicar la ecuación (c) a algún equipo se obtiene una constante a la que se conoce como constante de potencia:

$$K = \frac{(d \times 2 \times \pi)^{-1}}{60} = \frac{60}{(d \times 2 \times \pi)}$$

Para el caso de nuestro equipo en el que el brazo armado vale 179 mm, la constante de potencia vale:

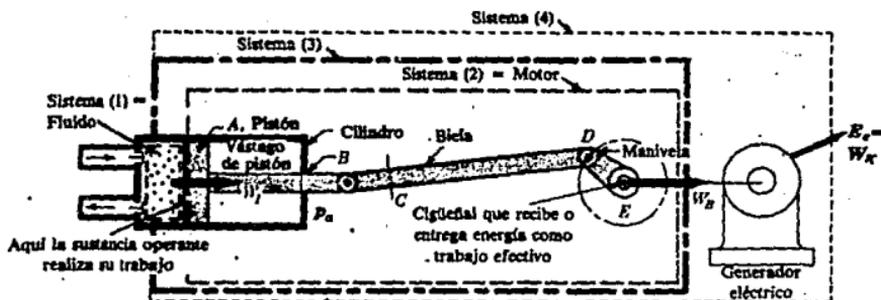
$$K = \frac{60}{2 \times \pi \times 0.179} = 53.35$$

Por lo que la fórmula para encontrar la potencia que suministra el motor a nuestro equipo es:

$$P = \frac{F \times N}{53.35}$$

DESARROLLO :

a) Al mismo tiempo que se va siguiendo el desarrollo se deberan ir contestando las preguntas que se vayan encontrando y añadir las respuestas al cuestionario final. En la figura 4.1 se observa un sistema parecido al del laboratorio, al realizar un análisis con la ayuda de la primera ley de la termodinámica se obtiene la fórmula (a').



El trabajo mecánico (de eje) (o cualquier clase de trabajo) es energía *en transición*, y existe en virtud del movimiento de un elemento (fuerza) contra una resistencia. El trabajo de eje se puede transformar en un grado limitado en energía cinética *de* (y *almacenada en*) las partes rotatorias conectadas. Si este fuera un compresor, se invertirían los flujos de trabajo neto.

Figura 4.1 SISTEMA DE FRONTERA

¿ En la fórmula (a') por qué no aparecen los demás términos si se ha empleado la ecuación de la primera ley de la termodinámica, explicar cada uno de ellos ?

$$a') \quad W_1 = \frac{(P_B - P_A) \pi}{\rho}$$

Donde :

P_B = Presión en la descarga de la bomba.
 P_A = Presión en la succión de la bomba.
 ρ = Densidad del fluido de trabajo.
 W_1 = Potencia suministrada por el motor.

Se tiene que recordar que toda la potencia suministrada por el motor no es aprovechada ya que existen pérdidas, las pérdidas se pueden obtener de la forma siguiente:

$$L = W_1 - W_2$$

Donde :

W_1 = Potencia suministrada por el motor.
 W_2 = Potencia hidráulica o potencia útil (aprovechada).

$$W_2 = (P_B - P_A) \times Q$$

Q = Caudal en litros por segundo.

¿ Cómo afectan las pérdidas al caudal de la bomba ?

¿ Si $W_1 = W_2$ como es el caudal en este caso ?

Empleando el equipo de bombeo del laboratorio, realizar lo siguiente:

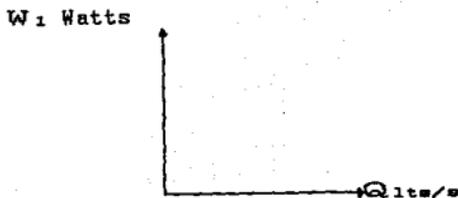
- Checar que el equipo se encuentre nivelado.
- Accionar el motor de la bomba después de haber accionado el interruptor general, se debe tener cuidado que las válvulas de succión como la de descarga se encuentren completamente abiertas, el motor debe ser operando en baja Velocidad.
- Estabilizado el sistema, se graduará la presión de succión a - 0.2 bars con la válvula que regula la succión (esta permanecerá constante), Con la válvula que se encuentra en la descarga el instructor variará la presión en la salida.
- La variación de los parámetros se registrará en la tabla siguiente.

	P_A	P_B	F	N	Q_1
N	BARS	BARS	Newtons	rev/min	lts/min
1	- 0.2				
2	- 0.2				
3	- 0.2				
4	- 0.2				
5	- 0.2				
6	- 0.2				

Con las lecturas obtenidos se realizaran las conversiones y operaciones convenientes para llenar la siguiente tabla de resultados.

N	W_1 watts	W_2 watts	L watts	$\dot{m} = Q_2$ lts/min	P_A KN/n ²	P_B KN/n ²
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Con los valores de potencia suministrados por el motor (W_1) y los caudales real (Q_1) y teórico (Q_2), se realizara la siguiente gráfica:



La gráfica debe ser realizada en papel milimétrico y se
endrán que responder estas preguntas:

¿Cuál es la diferencia entre las curvas ?

¿ Qué tipos de curvas son cada una ?

¿ Por qué se presento esta variación entre ellas ?

Explique el comportamiento de cada una de las
curvas obtenidas.

Se puede decir que el comportamiento de las
pérdidas es lineal, si no por qué.

¿ Por qué se omitieron las presiones absolutas si
la manera correcta es emplearlas ?

Emita sus resultados y observaciones sobre la presente
práctica con respecto a los resultados obtenido.

NOTA: Para encontrar \dot{m} puede emplear la siguiente fórmula:

$$\dot{m} = Q_{\dot{m}} = \frac{W_x [\text{J/s}] \times 60 \times \rho [\text{Kg/m}^3]}{(P_m - P_a) [\text{KN/m}^2]}$$

CUESTIONARIO # 1

- 1.- En la placa del motor se dice que es de 1 Hp (0.75 Kw)
¿ Por qué no se emplea este valor para W_1 como si fuera
constante ?
- 2.- ¿ Para qué nos sirve obtener un comportamiento real e
ideal de la bomba ?
- 3.- En el caso de que nuestro fluido de trabajo (agua) se
encontrara a 90 °C. ¿ En qué afectaría a nuestro
análisis ?
- 4.- ¿ En dónde quedo la potencia perdida ?
- 5.- Al existir perdidas se reduce la eficiencia de nuestra
bomba ya que toda la energía suministrada no es
aprovechada ¿ En qué medición de las realizadas nuestro
equipo resulto más eficiente? ¿ Por qué ?

CUESTIONARIO # 2

- 1.- Dar 5 ejemplos donde se ocupen bombas como la utilizada en la práctica y explicar las razones.
- 2.- ¿ Por qué se originan las perdidas (dar 8 causas de perdidas para el equipo explicando cada una de ellas ?
- 3.- Si el equipo fuera de mayor capacidad y se trabajara en altas presiones, con una tubería demasiado vieja, ¿ Qué otros términos de la ecuación de la primera ley se emplearían y explicar las razones ?

$$W + Q = m \frac{V_{2B}^2 - V_{2A}^2}{2} + g(Z_B - Z_A) + \frac{(P_B - P_A)}{\rho} + (U_B - U_A)$$

$$\checkmark \quad ? \quad \checkmark \quad \frac{2}{?} \quad ? \quad \checkmark \quad \rho \quad ?$$

- 4.- ¿ En cuál de nuestras mediciones la bomba fue más eficiente ? ¿ Por qué ?
- 5.- ¿ Para qué nos sirve conocer un comportamiento ideal y uno real ?

BOMBA DE PISTON

OBJETIVO :

Determinar las curvas características por medio de la relación existente entre la carga, potencia, rendimiento y gasto de una bomba de pistones a dos velocidades diferentes.

ACTIVIDADES :

- a) Toma de lecturas en el equipo para un análisis posterior.
- b) Demostración de la cavitación.
- c) Resolución de dudas sobre la forma de obtener las curvas características y la secuencia de cálculos.

MATERIAL Y EQUIPO :

- Bomba de pistón Stuart AG.
- 1 Cronómetro.
- 1 Dinamómetro con escala en N.

ASPECTOS TEORICOS :

La bomba es seguramente el ingenio más antiguo que se conoce para transferir energía a un fluido, de todas las variedades que de estos dispositivos existen en la presente práctica se estudiará una bomba de pistón, la cual se

clasifica dentro de las de desplazamiento positivo y en el grupo de las reciprocantes.

La principal característica de las bombas de desplazamiento positivo, es que el fluido que se desplaza, siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un émbolo, un diente de engrane, un aspa etc. El funcionamiento de este tipo de bombas, no se basa como en el caso de las turbomáquinas en la ecuación de Euler.

El comportamiento de una bomba de émbolo puede ser analizado sobre la base de la ecuación de energía para un flujo estable, considerando que el fluido de trabajo es incompresible, la ecuación por unidad de tiempo se expresa como:

$$P_2 Q - P_1 Q = W_1 - L \quad \text{--- (a)}$$

Donde :

P_2 = Presión en la descarga de la bomba. [N/m²]

P_1 = Presión en la entrada de la bomba. [N/m²]

Q = Caudal volumétrico nominal. [lts/s]

W_1 = Potencia de entrada. [watts]

L = Perdidas de potencia ($W_1 - W_2$). [watts]

Con la ecuación anterior, se puede determinar el trabajo realizado por la bomba sobre el fluido, sin considerar la energía cinética y la diferencia de alturas entre la entrada y la salida, si nosotros sabemos que $L = W_1 - W_2$ podemos sustituir L en la ecuación (a) y encontrar la potencia útil o hidráulica de la bomba, expresada en la forma siguiente:

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

La potencia de entrada o aplicada por el motor la podemos encontrar por:

$$W_1 = \frac{F \times N}{K}$$

Donde :

F = Fuerza marcada por el dinamómetro. [N]

N = Velocidad en rev/min.

K = Constante de potencia. [K = 53.35]

Si conocemos la energía suministrada y la energía entregada podemos encontrar la eficiencia de la bomba por:

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

La eficiencia volumétrica la podemos encontrar por medio de:

$$\eta_v = \frac{60 \times Q}{N \times q}$$

Donde :

q = Volumen desplazado por revolución.

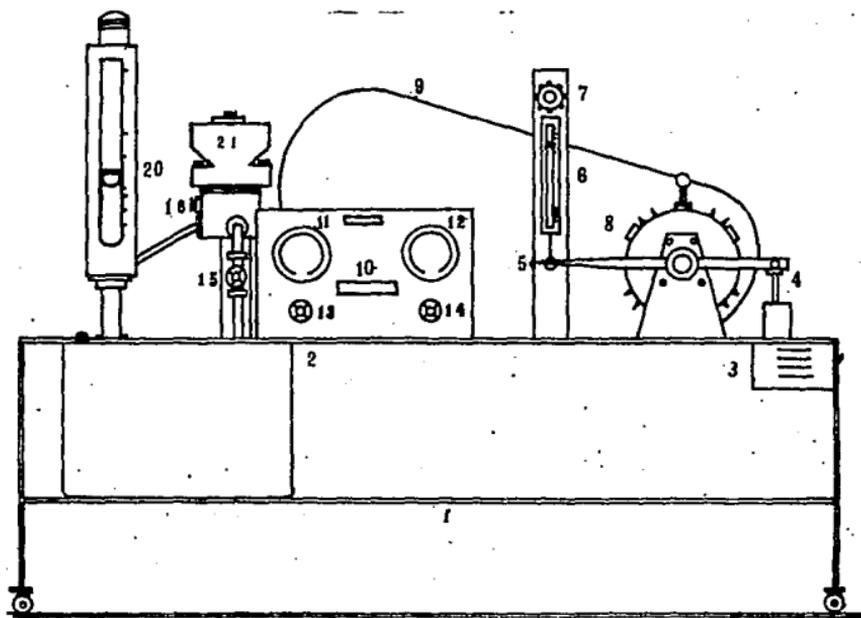
$$q = 0.1245 \text{ lts/rev}$$

DESCRIPCION DEL EQUIPO:

La bomba es horizontal de doble efecto, este tipo es ampliamente utilizada en el suministro de agua doméstica. La bomba es movida por un motor de corriente alterna con dos velocidades, la potencia nominal del motor es de 1 Hp. El motor cuenta con un sistema dinamométrico en el cual se puede medir el torque que aplica, también cuenta con un tacómetro para medir la velocidad del motor. La potencia es transmitida del motor a la bomba por medio de una banda dentada.

El agua que la bomba succiona del tanque pasa por una válvula de control, cuando el agua sale de la bomba pasa por la válvula de control que se encuentra en la descarga, después el agua es guiada al medidor de flujo para ser retornada posteriormente al tanque de reserva. La presión de succión es indicada por un vacuómetro y la presión en la

ESQUEMA DE LA BOMBA DE PISTONES



- 1.- Mesa bastidor de ángulo y solera.
- 2.- Recipiente de agua con capacidad de 50 litros.
- 3.- Panel de control donde se encuentra el interruptor general y el selector de velocidad para alta y baja velocidad.
- 4.- Basculante para dinamómetro, su brazo armado es de 179 mm y la constante al freno vale 53.35.

- 5.- Referencia de tomas de lecturas del dinamómetro.
- 6.- Dinamómetro.
- 7.- Perilla para ajustar el dinamómetro.
- 8.- Motor de la bomba con velocidades nominales, de 750/1500 rev/min con 50 Hz y 900/1800 rev/min con 60 Hz y de 0.75 KW.
- 9.- Tolva de la transmisión.
- 10.- Tacómetro digital.
- 11.- Vacuómetro indicador de la presión de succión su escala es en Bars y su máxima presión registrada es de -1 Bars.
- 12.- Manómetro indicador de la presión de descarga su escala es en Bars y su máxima presión registrada es de 6 Bars.
- 13.- Válvula para fijar la lectura en el indicador de presión en la succión.
- 14.- Válvula para fijar la presión en el indicador de presión en la descarga.
- 15.- Válvula para regular la succión.
- 16.- Válvula para regular la descarga.
- 17.- Válvula de la cámara de aire.
- 18.- Válvula de seguridad.
- 19.- Rotámetro.
- 20.- Indicador del rotámetro.
- 21.- Cámara de aire.

DESARROLLO :

a) Antes de poner en marcha la bomba, debe chequear que las válvulas de succión y de descarga se encuentren totalmente abiertas. El motor debe de ser accionado en condiciones de baja velocidad y se le mantiene así por algunos segundos hasta que todo el aire haya sido sacado de la bomba y se estabilice el sistema, posteriormente el motor puede ser operado en condiciones de baja velocidad si se desea, la carga se debe ir dando al equipo por medio de las válvulas que se encuentran en la entrada y en la salida, es recomendable dejar fija en alguna medición la carga de entrada y sólo variar la de salida, el rango de presiones puede ir desde cero hasta la máxima permitida por el manómetro.

Para una mejor toma de presiones se debe tener cuidado en ajustar las válvulas de aguja para evitar una oscilación excesiva en los manómetros. Si se sospecha que la cámara de aire no cuenta con el suficiente aire, puede cargarse operando la bomba y abriendo la válvula que se encuentra en la parte inferior de la misma.

Para conseguir las curvas de comportamiento, se tomaran una serie de 10 puntos distribuidos sobre el rango de presiones permitidas, (se tendrán que tomar una serie para

cada velocidad) con cada lectura se llenará la siguientes tablas :

P_1 P_2 F N Q

	KN/n	KN/n	N	rev/nin	lts/nin
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tabla 1 Baja velocidad

P_1 P_2 F N Q

	KN/n	KN/n	N	rev/nin	lts/nin
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tabla 2 Alta velocidad

El orden para llenar las tablas es el siguiente :

- a) Tomar y anotar la lectura de las presiones de succión y descarga (la presión de succión se sustituirá en la fórmula $H = P_2 - P_1$, usando la presión negativa queda $H = P_2 + P_1$ como la carga total), para expresar la carga en metros se usa:

$$H = \frac{P_2 + P_1}{\rho \times g}$$

- b) Tomar y anotar el valor del torque, de modo que el puntero del brazo coincida con el puntero fijo.
- c) Tomar la lectura del tacómetro, si se quiere ser muy exacto se deberá recurrir a un cronómetro y tomar la velocidad durante un intervalo de tiempo de un minuto.
- d) Tomar la lectura del medidor de flujo.

Con los datos obtenidos se realizarán las operaciones pertinentes para poder llenar las tablas siguientes :

TABLAS DE RESULTADOS

H W₁ W₂ η η_v

	η	Watts	Watts		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tabla 4 Alta velocidad

H W₁ W₂ η η_v

	η	Watts	Watts		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tabla 3 Baja velocidad

Con los resultados se construirán las siguientes gráficas en papel milimétrico:

- a) $H-Q$
- b) $H-n_T$
- c) $H-n_v$
- d) $H-W_1$
- e) W_1-Q
- f) n_v-Q
- g) n_T-Q

b) La cavitación es el fenómeno que se presenta dentro de una bomba cuando existe una variación excedente entre la presión de succión y la de descarga. Cuando el líquido bombeado entra a la bomba, su velocidad aumenta correspondiendo una reducción en la presión, si la presión cae abajo de la presión de vapor del líquido, éste comenzará a ebullición y a formar burbujas de vapor. Al incrementarse de nuevo la presión dentro de la bomba, la presión aumenta por arriba de la presión de vapor, provocando que las burbujas imploten, si ellas implotan contra un alabe del impulsor o las paredes del cilindro, la implosión podría ser suficientemente fuerte para remover pedazos de metal.

El sonido de guijarros que se escucha cuando una bomba se encuentra cavitando, es realmente debido a que miles de implosiones están ocurriendo dentro de ella.

Para demostrar este fenómeno en nuestro equipo se dejará fija la presión de descarga y sólo se cerrará gradualmente la válvula de succión hasta que el alumno note cambios en el sonido de trabajo de la bomba, con diferentes grados de sonido se llenará la tabla siguiente:

	P_1	P_2	Q
N	BARS	BARS	lts/min
1			
2			
3			

En las conclusiones se comentará la tabla anterior en su totalidad.

NOTA : Se recuerda a los alumnos que para toda fórmula el flujo se empleara en lts/s, y que el valor de la gravedad es de 9.72 m/s^2 .

CUESTIONARIO # 1

- 1.- De acuerdo a las gráficas obtenidas ¿ Cuáles son las condiciones ideales para trabajar nuestro equipo ?
- 2.- Investigar cinco aplicaciones de las bombas de pistón y explicar cada una.
- 3.- Investigar las características de las bombas de pistones así como sus ventajas y desventajas.
- 4.- ¿ Por qué no se utiliza la presión atmosférica si se supone que todos los cálculos deben involucrarla ?
- 5.- ¿ Para qué nos sirve conocer la eficiencia volumétrica ?
- 6.- Las bombas ¿ qué tipo de energía intercambian ?
- 7.- ¿ En qué afecta la cavitación a nuestro equipo según las mediciones realizadas ?

CUESTIONARIO # 2

- 1.- ¿ Por qué se expresa la carga H en metros ?
- 2.- ¿ Cuáles serían las condiciones en las que dejaría trabajando el equipo, para que diera el máximo de su utilidad (tomar las mediciones registradas) ?
- 3.- Hacer una comparación entre una bomba centrífuga y una de pistones, así como sus ventajas y desventajas ?
- 4.- ¿ Por qué no se emplearon presiones absolutas en nuestros cálculos ?
- 5.- ¿ En qué afecta la cavitación a nuestro equipo, según las mediciones realizadas ?
- 6.- ¿ Cómo afecta a la velocidad de la bomba en su eficiencia ?

BOMBA DE ENGRANES

OBJETIVO :

Determinar las curvas características por medio de la relación existente entre la carga, potencia, rendimiento y gasto de una bomba de engranes con dos velocidades.

ACTIVIDADES :

- a) Toma de lecturas en el equipo para un análisis posterior.
- b) Demostración de la cavitación.
- c) Resolución de dudas sobre la forma de obtener las curvas características y la secuencia de cálculos.

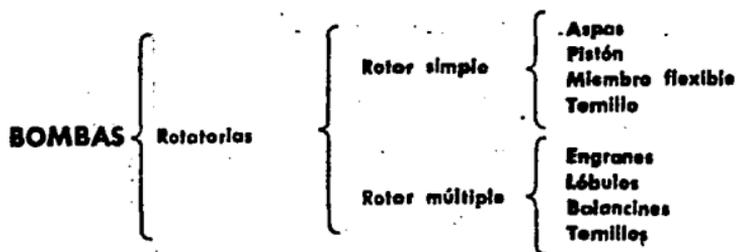
MATERIAL Y EQUIPO :

Bomba de pistón Stuart A6.
1 Cronómetro.
1 Dinamómetro con escala en N.

ASPECTOS TEORICOS :

La necesidad de crear un elemento que permitiera al hombre, poder transportar agua desde un pozo o arroyo al lugar donde se le requería, dio inicio a la creación de las primeras bombas, estas en sus primeras etapas muy rústicas,

hasta llegar a bombas que dan un gasto de 20 750 lit/s, al aumentar el número de bombas también se dio una gran variedad, por lo que fue necesario crear una clasificación quedando las de engranes de la siguiente forma:



Una bomba de engranes desarrolla flujo al llevar fluido entre los dientes de los engranes, uno de los engranes es impulsado por el eje impulsor y gira al otro, un vacío parcial se crea en la entrada de la bomba cuando se van girando los engranes, la principal característica de una bomba de engranes es que puede manejar sustancias altamente viscosos.

El funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo tipo rotatoria puede ser analizada sobre la base de la ecuación de energías para un flujo estable, considerando el flujo de trabajo como incompresible, la ecuación por unidad de tiempo puede expresarse como:

$$P_2 Q - P_1 Q = W_1 - L \quad \text{--- (a)}$$

Donde :

P_2 = Presión en la descarga de la bomba. [N/m²]

P_1 = Presión en la entrada de la bomba. [N/m²]

Q = Caudal volumétrico nominal. [lts/s]

W_1 = Potencia de entrada. [watts]

L = Perdidas de potencia ($W_1 - W_2$). [watts]

Con la ecuación anterior, se puede determinar el trabajo realizado por la bomba sobre el fluido, sin considerar la energía cinética y la diferencia de alturas entre la entrada y la salida, si nosotros sabemos que $L = W_1 - W_2$ podemos sustituir L en la ecuación (a) y encontrar la potencia útil o hidráulica de la bomba, expresada en la forma siguiente:

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

La potencia de entrada o aplicada por el motor la podemos encontrar por:

$$W_1 = \frac{F \times N}{K}$$

Donde :

F = Fuerza marcada por el dinamómetro. [N]

N = Velocidad en rev/min.

K = Constante de potencia. [K = 53.35]

Si conocemos la energía comunicada y la energía entregada podemos encontrar la eficiencia de la bomba por la expresión:

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

Mientras tanto la eficiencia volumétrica la podemos hallar por medio de:

$$\eta_v = \frac{60 \times Q}{N \times q}$$

El volumen desplazado se podrá expresar a través de:

$$Q = \frac{q_2 - q_1}{t}$$

q_1 y q_2 son los volúmenes de aceite registrados en el tanque de mediciones, en un tiempo determinado t , Las cantidades de q_1 y q_2 se determinan por :

$$q_1 = 0.111 h_1$$

$$q_2 = 0.111 h_2$$

Donde h_1 y h_2 son las alturas del nivel del tanque de mediciones, el factor 0.111 tiene unidades de lts/mm y fue determinado por el fabricante.

DESCRIPCION DEL EQUIPO :

El equipo consta de una bomba de engranes helicoidales, acoplada a un motor de dos velocidades con potencia nominal 1 Hp, el motor lo soportan dos chumaseras y cuenta con un dinamómetro que permite medir el par que aplica el motor, entre el acoplamiento de la bomba y el motor se encuentra el sensor magnético del tacómetro. El motor la bomba y el tanque de mediciones son soportados sobre otro tanque que constituye el tanque de reserva cuya capacidad es de 90 lts.

El aceite succionado por la bomba pasa por una válvula de control, de igual forma en la tubería de descarga existe otra válvula de control, la línea de descarga termina en una garza con la que se puede dirigir el aceite al tanque de medición ó al recipiente principal.

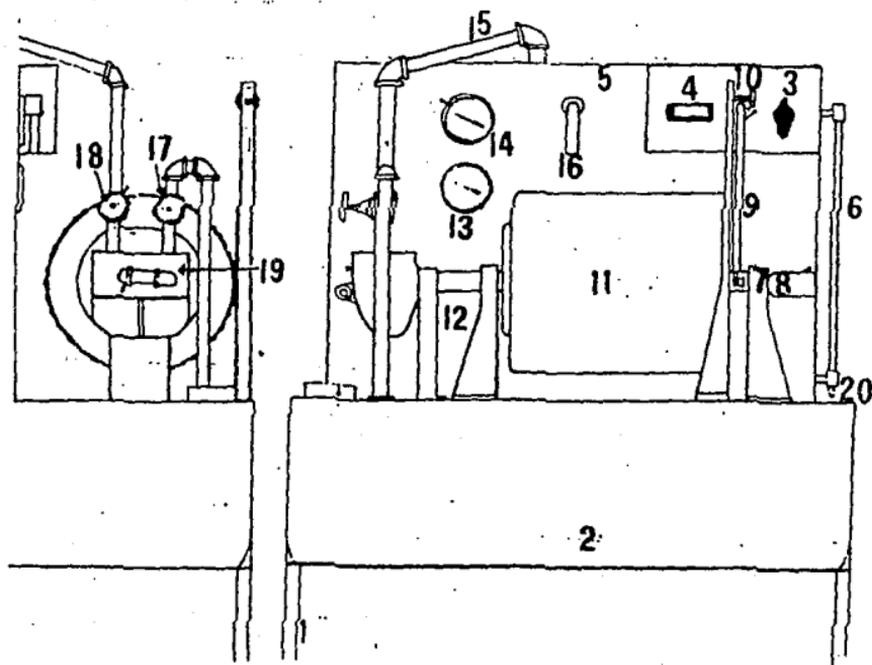
La presión de salida y la de entrada son indicados por unos manómetros. Para prevenir sobrecargas, la bomba cuenta con una válvula de seguridad que se abre a los 8 Bars.

La bomba cuenta con los siguientes datos técnicos:

Bomba de engranes Varley-FMC modelo DH25.

Volumen desplazado	0.0212 lts/rev.
Máxima presión	800 KN/m ² .
Potencia nominal	1 HP.
Velocidad nominal	50 Hz:750/1500 rev/min. 80 Hz:900/1800 rev/min.
Capacidad del tanque de reserva	90 litros.
Brazo de palanca del motor	178 mm.
Constante de potencia	53.35

ESQUEMA DE LA BOMBA DE ENGRANES



- 1.- Mesa bastidor de ángulo y solera.
- 2.- Recipiente de aceite con capacidad aproximada de 90 litros.
- 3.- Panel de control donde se encuentra el colocado interruptor general y el selector de baja y alta velocidad.
- 4.- Tacómetro digital.

- 5.- Tanque medidor de flujo con capacidad de 43 litros.
- 6.- Nivel del tanque medidor de flujo.
- 7.- Basculante para dinamómetro, su brazo armado es de 179 mm, la constante de freno de 53.35.
- 8.- Referencia de toma de lectura de los pares.
- 9.- Dinamómetro.
- 10.- Perilla para ajustar el dinamómetro.
- 11.- Motor de la bomba con velocidades nominales, de 750/1500 rev/min con 50 Hz y 900/1800 rev/min con 60 Hz y una potencia nominal de 0.75 KW.
- 12.- Tolva de la transmisión.
- 13.- Vacuómetro de succión su escala es en Bars y su presión máxima registrada es de -1 Bars.
- 14.- Manómetro de descarga su escala es en Bars y su presión máxima registrada de 8 Bar.
- 15.- Garza cambiadora de flujo.
- 16.- Palanca drenadora del tanque medidor de flujo.
- 17.- Válvula reguladora de succión.
- 18.- Válvula reguladora de la descarga.
- 19.- Válvula de seguridad.
- 20.- Válvula drenadora del nivel.

DESARROLLO :

a) Antes de poner en marcha la bomba, debe chequear que las válvulas de succión y de descarga se encuentren totalmente abiertas. El motor debe de ser arrancado en condiciones de baja velocidad y mantenido así por algunos segundos hasta que todo el aire haya sido sacado de la bomba y se estabilice el sistema, posteriormente el motor puede ser operado en condiciones de baja velocidad si se desea, la carga se debe ir dando al equipo por medio de las válvulas que se encuentran en la entrada y en la salida, es recomendable dejar fija en alguna medición la carga de entrada y sólo variar la de salida, el rango de presiones puede ir desde cero hasta la máxima permitida por el manómetro.

Para conseguir las curvas de comportamiento, se tomarán una serie de 10 puntos distribuidos sobre el rango de presiones permitidas, (se tendrán que tomar una serie para cada velocidad) con cada lectura se llenará la siguientes tablas de lecturas.

TABLA DE RESULTADOS

	P_1	P_2	F	N	Q	h	h
	KN/n	KN/n	N	rev/nin	lts/nin	mm	mm
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tabla 1 Baja velocidad

	P_1	P_2	F	N	Q	h	h
	KN/n	KN/n	N	rev/nin	lts/nin	mm	mm
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tabla 2 Alta velocidad

El procedimiento para llenado de las tablas es el siguiente:

- a) Leer y anotar las presiones de descarga succión y descarga (la Carga se obtiene por: $H = (P_2 + P_1)$) para expresar en metros se usa:

$$H = (P_2 + P_1) / (\rho \times g)$$

- b) Leer el torque después de ajustar el nivel del dinamómetro, cuando el brazo empate con el punto fijo.
- c) Con el tacómetro se determina la velocidad del motor, si se quiere ser muy exacto se puede uno auxiliar de un cronómetro y tomar la velocidad durante un intervalo de tiempo de un minuto.
- d) Registrar el nivel de aceite en el medidor del tanque si se considera que existe demasiada cantidad de aceite en el tanque de mediciones se puede accionar la palanca de drene.
- e) Para tomar la lectura, cambie el brazo director de aceite a la reserva al mismo tiempo que para el reloj de mediciones, para cada medición se tendrá que drenar el tanque de mediciones.

Con los datos obtenidos se realizarán las operaciones pertinentes para poder llenar las tablas siguientes.

	H	W_1	W_2	n	n_v	q_1	q_2
	n	Watts	Watts			lts	lts
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tabla 3 Baja velocidad

	H	W_1	W_2	n	n_v	q_1	q_2
	n	Watts	Watts			lts	lts
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tabla 4 Alta velocidad

Con los resultados se construirán las siguientes gráficas en papel milimétrico :

- a) $H-Q$ e) W_1-Q
- b) $H-nr$ f) n_v-Q
- c) $H-nv$ g) $nr-Q$
- d) $H-W_1$

b) La cavitación es el fenómeno que se presenta dentro de una bomba cuando existe una variación excedente entre la presión de succión y la de descarga. Cuando el liquido bombeado entra a la bomba, su velocidad aumenta correspondiendo una reducción en la presión, si la presión cae abajo de la presión de vapor del liquido, este comenzará a ebulir y a formar burbujas de vapor. Al incrementarse de nuevo la presión dentro de la bomba, la presión se incrementa por arriba de la presión de vapor causando que las burbujas imploten si ellas implotan contra un alabe de el impulsor o las paredes del cilindro, la imploción podría ser suficientemente fuerte para remover pedazos de metal.

El sonido de guijarros que se escucha cuando una bomba se encuentra cavitando, es realmente debido a que miles de impluciones están ocurriendo dentro de ella.

Para demostrar este fenómeno en nuestro equipo se dejará fija la presión de descarga y sólo se cerrará gradualmente la válvula de succión hasta que el alumno note cambios en el sonido de trabajo de la bomba, con diferentes grados de sonido se llenará la tabla siguiente:

	P_1	P_2	Q
N	BARS	BARS	lts/min
1			
2			
3			

En las conclusiones se comentara la tabla llena.

NOTA : Se recuerda a los alumnos que para toda fórmula el flujo se empleara en lts/s, y que el valor de la gravedad es de 9.72 m/s^2 .

CUESTIONARIO # 1

- 1.- De acuerdo a las pruebas realizadas, ¿ En qué mediciones se encontrarán las condiciones ideales para que nuestro equipo trabaje ?
- 2.- ¿ En qué se afectará el cambiar la densidad del fluido de trabajo ?
- 3.- ¿ Se debe considerar la presión atmosférica para el buen funcionamiento ? si, no ¿ Por qué ?, en caso de que la respuesta sea afirmativa ¿ Por qué no se empleó en la práctica ?
- 4.- Comparar las gráficas obtenidas con las de cualquier bomba centrífuga comentando cada una de ellas.
- 5.- ¿ Qué ventajas y desventajas presentan las bombas de engranes sobre las bombas de pistón ?
- 6.- Según las mediciones tomadas en la práctica, ¿ Qué es lo que provoca la cavitación ?
- 7.- Investigar algunas medidas para evitar la cavitación.

CUESTIONARIO # 2

- 1.- Se requiere seleccionar un equipo para satisfacer una carga muy alta con un gasto constante, ¿ Escogería una bomba de engranes si no ¿ Por qué ?
- 2.- La temperatura del fluido en que afecta al funcionamiento de la bomba si, no ¿ Por qué ?
- 3.- Investigar algunas aplicaciones de las bombas de engranes justificando su empleo.
- 4.- ¿ Por qué no se empleo el valor de la presión atmosférica en la práctica ?
- 5.- ¿ Qué ventajas y desventajas presenta una bomba de engranes sobre una centrífuga ?
- 6.- ¿ Qué produce la cavitación, mencionar al menos tres causas explicando cada una de ellas ?
- 7.- ¿ Cuándo se presenta cavitación en alguna bomba, qué se tiene que hacer para corregirla ?
- 8.- ¿ En qué velocidad resulto la bomba más eficiente ?

COMENTARIOS PARA EL INSTRUCTOR

El instructor para obtener mejores resultados tendrá que prestar atención en los siguientes puntos :

NIVELACION DE LA UNIDAD : Es recomendable asegurarse que los equipos cuando trabajen se encuentren nivelados, en el equipo que se debe prestar mayor atención es la bomba de engranes ya que de no encontrarse nivelada puede ocasionar variaciones en las lecturas del flujo, para su nivelación se puede emplear un nivel de gota y algunas calzas.

PUNTOS DE MEDICION : Los puntos de medición son los dinamómetros, los manómetros y los indicadores de flujo, el dinamómetro debe ser calibrado de acuerdo al requerimiento del motor, en cada medición se tendrán que esperar algunos segundos para poder ver la estabilidad entre el brazo armado y el punto fijo. Para los manómetros de la bomba de pistón se deberá prestar atención a las válvulas de aguja. Al registrar las mediciones del flujo checar que se vea en un plano horizontal, el indicador del rotámetro para la bomba de pistón y la cima del menisco en el indicador del nivel para el tanque de la bomba de engranes.

TOMA DE LECTURAS : Para la toma de lecturas una persona deberá ser responsable de las anotaciones para los valores de presión, una segunda persona deberá anotar los valores de flujo, la tercera deberá anotar la lectura del dinamómetro y la cuarta tendrá que anotar los resultados.

Las prácticas para las materias de máquinas de desplazamiento positivo, no solamente se pueden obtener gráficas variando la descarga, sino que también dejando fija la descarga y variar la succión, el instructor al realizar las dos variantes puede dar a sus alumnos un estudio mucho más completo y crear una ampliación en el criterio para manejar cualquier equipo.

CAPITULO V

MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

Todo equipo que presta algún servicio requiere de mantenimiento, el mantenimiento puede prestarse de dos formas diferentes, el preventivo que es el que se da a un equipo periódicamente sin que presente falla alguna, el correctivo que sólo se presta cuando se presenta alguna falla, es lógico que el preventivo es para evitar el correctivo, el cual por lo general resulta más caro y tardado.

Los programas de mantenimiento deben estar ligados a las características de cada uno de los equipos, puesto que los costos para efectuarlos crecen, cuando no son realizados en su momento ya sea por ahorro o por negligencia, pues un equipo nos servirá mejor en cuanto se le tenga en buenas condiciones, proporcionando así operaciones seguras y un promedio de vida mayor.

El equipo del laboratorio no presenta mayores problemas ya que el mantenimiento preventivo se puede realizar cada semestre y el correctivo sólo cuando se requiera.

En este capítulo se presentan en forma sencilla, con fichas de trabajo las partes más importantes y de mayor cuidado de cada equipo. Cada ficha trae:

- 1.- Utilización.
- 2.- Instalación.
- 3.- Descripción.

BOMBA DE PISTON

Dentro de las recomendaciones que se hacen para cada semestre se encuentran los siguientes:

- Cambiar el agua del recipiente de reserva así como lavar el mismo con agua y jabón.
- Checar que el nivel del tanque de reserva sea el correcto para el buen funcionamiento de la bomba.
- Checar la clavija y el cable que alimentan la corriente.
- Checar que el interruptor del motor funcione correctamente.
- Aceitar las camiserías del motor así como el pivote del sistema de medición de la fuerza del motor.
- Checar el nivel de aceite del brazo transmisor.
- Checar que no existan fugas en las conexiones.
- Descargar el agua del sistema, en caso de no usar el equipo en prolongados periodos de tiempo.
- Revisar que las válvulas cierren y abran con facilidad.
- Revisar que las agujas de los manómetros no se encuentren en mala posición.

BOMBA DE ENGRANES

Los cuidados que cada semestre se deben prestar a este equipo, como mantenimiento preventivo se encuentran los siguientes :

- Limpiar el tanque de mediciones por dentro para evitar que se llene de polvo o cuerpos extraños.
- Limpiar el nivel indicador del tanque de reserva, para evitar que se acumule aceite y se quede pegado en el vidrio afectando nuestras mediciones.
- Mientras el equipo no se ocupe, se tendrá que tapar por medio de un tapón de estopa el drene principal que comunica con el recipiente de reserva, de tal forma que no entren cuerpos extraños ni polvo.
- Checar la clavija y el cable por donde se toma la corriente.
- Checar que el interruptor del motor funcione correctamente.
- Aceitar las camiserías del motor así como el pivote del sistema de medición de la fuerza del motor.
- Checar que no existan fugas en las conexiones.

FICHAS DE MANTENIMIENTO

MANOMETROS

UTILIZACION : puntos donde es necesaria una indicación de presión directa.

INSTALACION : A la entrada y salida de la bomba.

DESCRIPCION : Indicadores de presión, el manómetro tiene una escala máxima de 8 Bars, el vacuómetro registra una presión máxima de 8 Bars.

Problemas de mantenimiento

Condición

Causa

Corrección

Condición	Causa	Corrección
Agujas no bajan al descanso.	<ul style="list-style-type: none">- Se encuentran cerradas las válvulas de aguja.- Se encuentran desniveladas las agujas.	<ul style="list-style-type: none">- Abrir las válvulas de aguja.- Girar en la parte de atrás del manómetro con una llave allen hasta que la aguja baje, esta operación debe realizarse con mucho cuidado.

<p>No registran presión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Las válvulas de aguja se encuentran cerradas. - No llega presión al manómetro. - El manómetro no sirve. 	<ul style="list-style-type: none"> - Abrir las válvulas. - Desconectar la manguera que abastece el manómetro, para ver si hay presión en la misma o se encuentre obstruida. - Quitar el manómetro y checarlo con aire.
------------------------------	---	---

Los manómetros con sus partes internas los muestra la figura 5.1

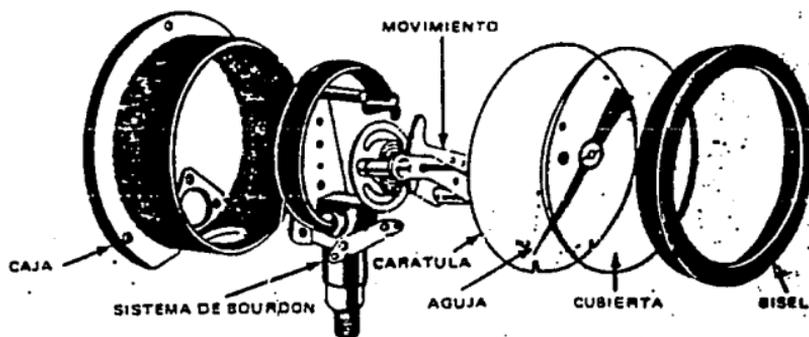


Figura 5.1

VALVULA DE SEGURIDAD

UTILIZACION : Punto donde se pueda controlar y al mismo tiempo mantener una presión constante.

INSTALACION : Se encuentra a la salida de la bomba.

DESCRIPCION : Fabricada en bronce con un capuchón protector, dentro se encuentra un resorte y un tornillo con el cual se calibra.

Problemas de mantenimiento

Condición	Causa	Corrección
Fugas.	- El resorte no comprime.	- Checar el correcto ajuste del resorte.
No alivia la presión.	- Resorte demasiado comprimido por un mal ajuste.	- Ajustar correctamente el tornillo de ajuste.

TACOMETRO

UTILIZACION : Se encarga de registrar la velocidad del motor.

INSTALACION : El censor magnético debe colocarse entre el acoplamiento de la bomba y el motor, su instalación eléctrica se puede consultar en el diagrama del sistema eléctrico que se encuentra al final del presente capítulo.

DESCRIPCION : El censor magnético debe ir entre el acoplamiento de la bomba y el motor, para su instalación eléctrica se puede consultar el diagrama del sistema eléctrico, que se encuentra al final del presente capítulo.

Problemas de mantenimiento

Condición	Causa	Corrección
No funciona.	<ul style="list-style-type: none"> - No pasa corriente eléctrica. - Algún cable se encuentra roto. - Los fusibles están fundidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que pase corriente. - Checar que los cables tengan continuidad. - Cambiar fusibles.
Se descontrola	<ul style="list-style-type: none"> - Puede que exista un falso contacto en los fusibles. - El censor se encuentra mal colocado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar donde se encuentra el falso contacto para corregirlo. - Colocar bien el censor.

Nota : El diagrama de la instalación eléctrica puede consultarse al final del presente capítulo.

BOMBA

EL LIQUIDO NO SALE

- a) Baja velocidad por lo que se tendrá que checar el motor.
- b) La carga es demasiada alta por lo que se tendrá que revisar la válvula de descarga ó checar el correcto ajuste de la válvula de presión.
- c) Verificar que no existan obstrucciones en la entrada ni en la toma de fluido.
- d) Examinar el nivel del tanque de reserva ya que puede encontrarse demasiado bajo.
- e) Revisar que el filtro en la succión no se encuentre tapado.

PRESION DE DESCARGA INSUFICIENTE

- a) Revisar la velocidad del motor.
- b) Checar alguna obstrucción o la válvula de entrada.
- c) Defectos internos en la bomba.

LA BOMBA VIBRA

- a) Hay un fuerte desalineamiento.
- b) La estructura que la soporta se encuentra en mala posición o se encuentra vencida.
- c) Existe alguna obstrucción en alguna parte del sistema.

LA BOMBA FUGA AIRE DE LA CAMARA

- a) Falta de torque a los tornillos que la unen, se tendrán que ajustara con cuidado, no ejerciendo demasiada fuerza.
- b) El empaque no sella, se tendrá que cambiarlo.

MOTOR

UTILIZACION : Es el encargado de transmitir la potencia a la bomba.

INSTALACION : Para su instalación eléctrica correcta ver el diagrama del sistema eléctrico que se presenta al final de este capítulo, el acoplamiento con la bomba tiene que hacerse correctamente de acuerdo a el tipo de acoplamiento.

Problemas de mantenimiento

NO FUNCIONA

- a) Revisar el suministro de corriente eléctrica.
- b) Checa la clavija y la continuidad del cable.
- c) Examinar los fusibles en caso de encontrarse en mal estado cambiarlos, ver diagrama eléctrico.
- d) Ver el correcto funcionamiento del interruptores.

EL MOTOR SE PRENDE Y SE APAGA

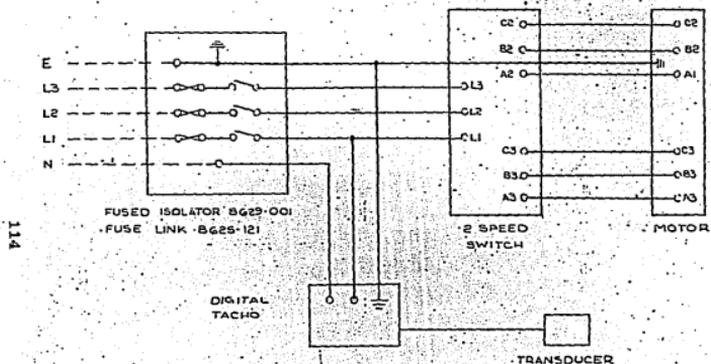
- a) Cerciorarse de el buen estado de la clavija.
- b) Checar las conexiones de los plitos y fusibles.
- c) Revisar el interruptor de velocidad.

PLINT & PARTNERS LTD. WOKINGHAM, ENGLAND.

ORG NO
13981

DIMENSIONS IN MM UNLESS OTHERWISE STATED

THIRD ANGLE PROJECTION



114

DIAGRAMA DE LA INSTALACION ELECTRICA

	DESIGNED BY	TITLE	MAT	SCALE
	DATE	WIRING DIAGRAM AC		
	BY 5-7-76		GENERAL LIMIT	ORG NO
REV	DESCRIPTION	TE 92 & TE 74	FINISH	13981

CONCLUSIONES

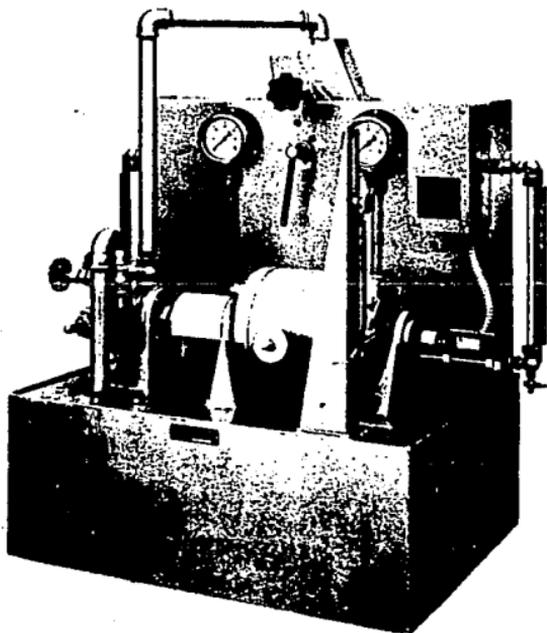
La formación de un profesionista no puede ser sólo teórica, por lo que en las carreras de Ingeniería se cuenta con laboratorios, que aportan lo esencial en la parte práctica, esta es obtenida por medio de equipos didácticos que representan condiciones a escala de equipos reales, dando a conocer los principios fundamentales de funcionamiento para cualquier equipo que se encuentre prestando algún servicio.

El objetivo del presente trabajo se llevo a cabo mucho antes de terminado el trabajo escrito, ya que el equipo se encuentra funcionando y la práctica correspondiente a potencia real e ideal se impartió a los alumnos de termodinámica como parte complementaria, obteniendo resultados iguales a los obtenidos en este trabajo (los cuales se encuentran en el apéndice), durante la realización de la misma los alumnos mostraron un gran interés por conocer equipos que serán empleados en materias más adelante de su carrera. En la práctica de la bomba de pistón no pudo ser obtenida la potencia indicada del equipo debido a que no se cuenta con un indicador de presión que permita obtener un diagrama indicador, quedando abierto este punto para una investigación futura.

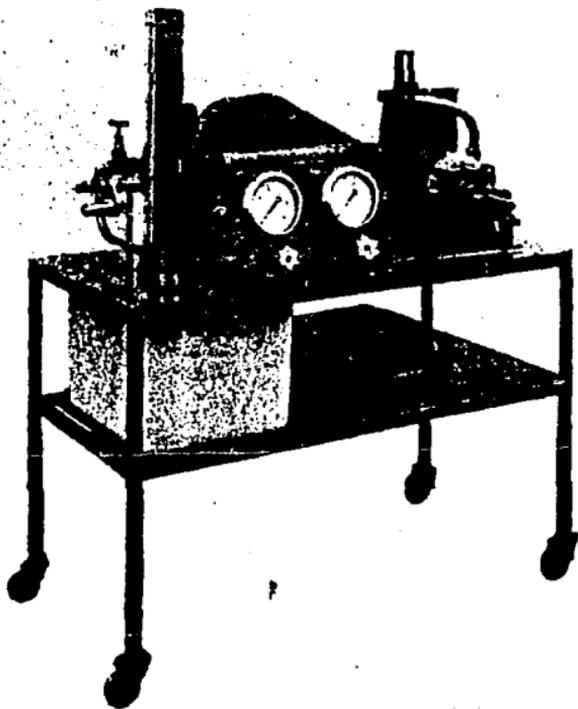
APENDICE A

El equipo descrito es presentado a continuación en las siguientes fotografías.

BOMBA DE ENGRANES



BOMBA DE PISTON



APENDICE B

Lista de resultados típica para la bomba de pistón.

FRECUENCIA DE TRABAJO	50Hz
PRESION DE ENTRADA	- 1 KN/m ²
PRESION DE SALIDA	239 KN/m ²
CAUDAL	27 lts/min
VELOCIDAD DEL MOTOR	1393 rev/min
VELOCIDAD DE LA BOMBA	232 rev/min
FUERZA EN EL DINAMOMETRO	8.5 N
POTENCA DE ENTRADA W ¹	222 Watt
POTENCIA HIDRAULICA W ²	108 Watt
EFICIENCIA DE LA BOMBA	0.486
EFICIENCIA VOLUMETRICA	0.935

Lista de resultados par la bomba de engranes.

FRECUENCIA DE TRABAJO	50Hz
PRESION DE ENTRADA	- 10 KN/m ²
PRESION DE SALIDA	390 KN/m ²
CAUDAL	27.1 lts/min
VELOCIDAD DE LA BOMBA	1461 rev/min
FUERZA EN EL DINAMOMETRO	15.1 N
POTENCA DE ENTRADA W ¹	414 Watt
POTENCIA HIDRAULICA W ²	184 Watt
EFICIENCIA DE LA BOMBA	0.44
EFICIENCIA VOLUMETRICA	0.87

APENDICE C

TABLAS DE LECTURAS REALIZADAS POR EL FABRICANTE
PARA LA BOMBA DE PISTON

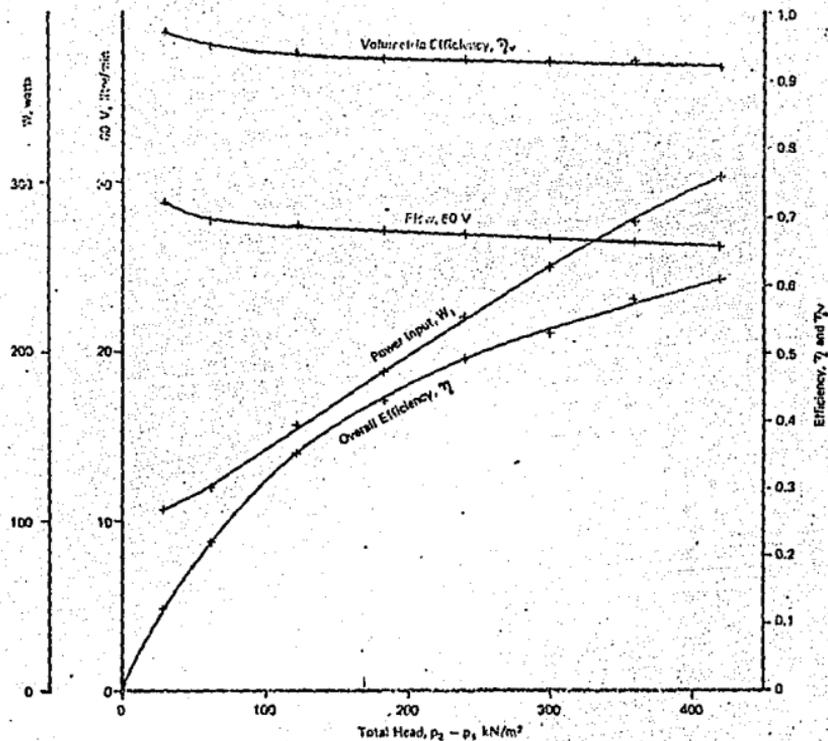
LOW SPEED

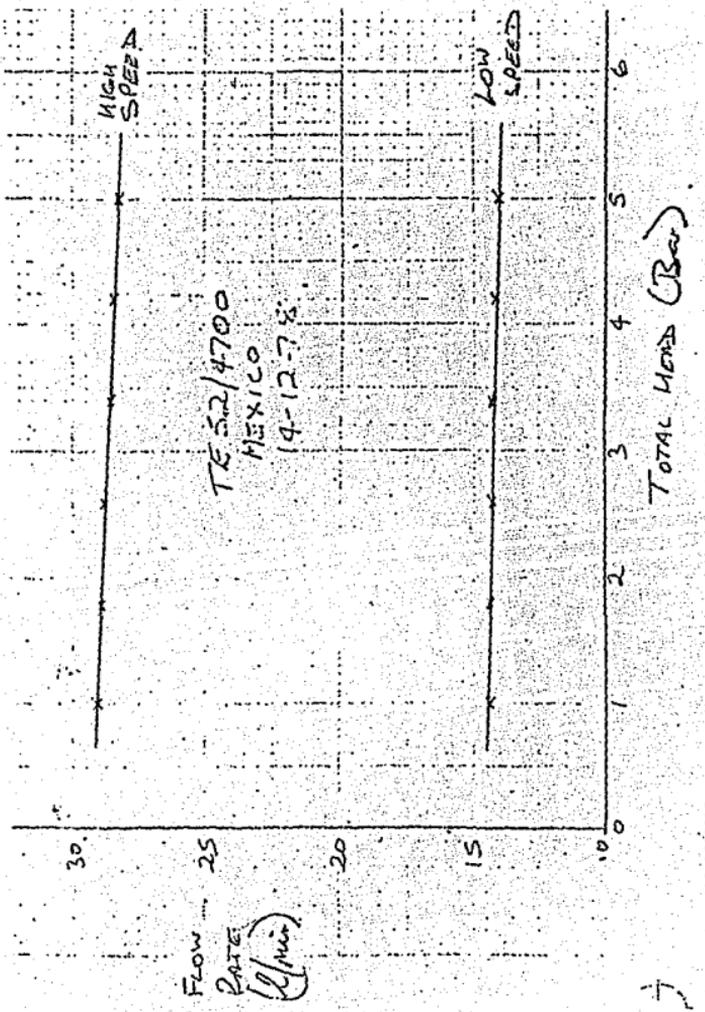
COUN- TER	LOAD	FLOW RATE	SUCTION		DELIVERY		FLOW METER H
			cm/ H ₂ O	m/H ₂ O	Total m/H ₂ O	m/H ₂ O	
rev/ min	KG	l/hr	bar		bar	bar	cm
893	4.2	14.4	.2		.8	1.0	
893	5.2	14.4	"		1.6	1.8	
891	6.6	14.3	"		2.4	2.6	
890	7.7	14.3	"		3.2	3.4	
888	8.9	14.2	"		4.0	4.2	
886	10.1	14.0	"		4.8	5.0	

HIGH SPEED

COUN- TER	LOAD	POWER	SUCTION		DELIVERY		FLOW RATE
			cm/ H ₂ O	m/H ₂ O	Total m/H ₂ O	l/hr	
rev/ min	KG	C V	bar		bar	bar	l/min
1785	6.0		.2		.8	1.0	29.1
1779	7.3		"		1.6	1.8	28.9
1777	8.5		"		2.4	2.6	28.8
1771	10.6		"		3.2	3.4	28.6
1768	11.3		"		4.0	4.2	28.5
1761	12.5		"		4.8	5.0	28.3

Gráficas de la bomba de pistón.





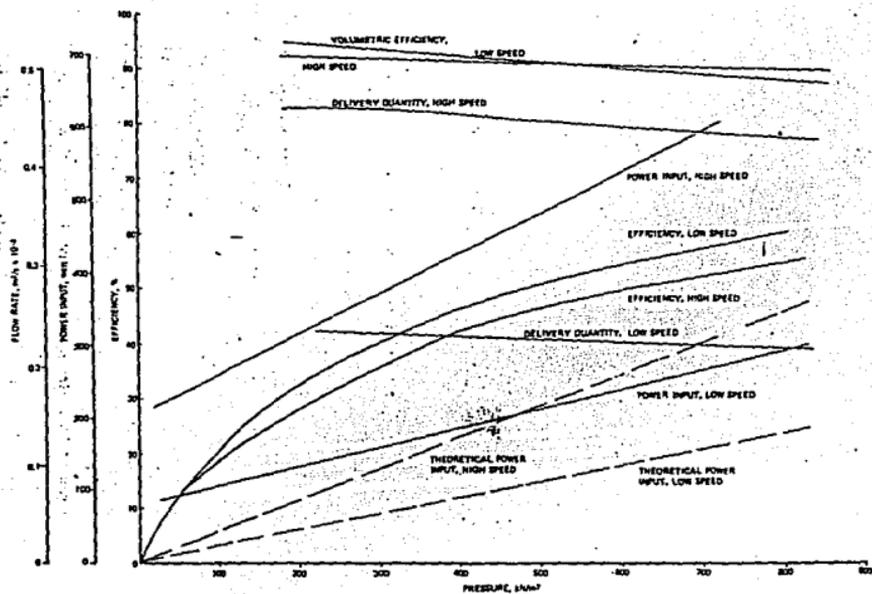
L/3/79 CUSTOMER MEXICO (ARAGON) W.O. No. 1198 Torque
 120 Volts 3 Phase 60 Hz 240 Tank Rate. 0-111 1/mm, R.H.
 Part 19-2 °C Finish 21 °C

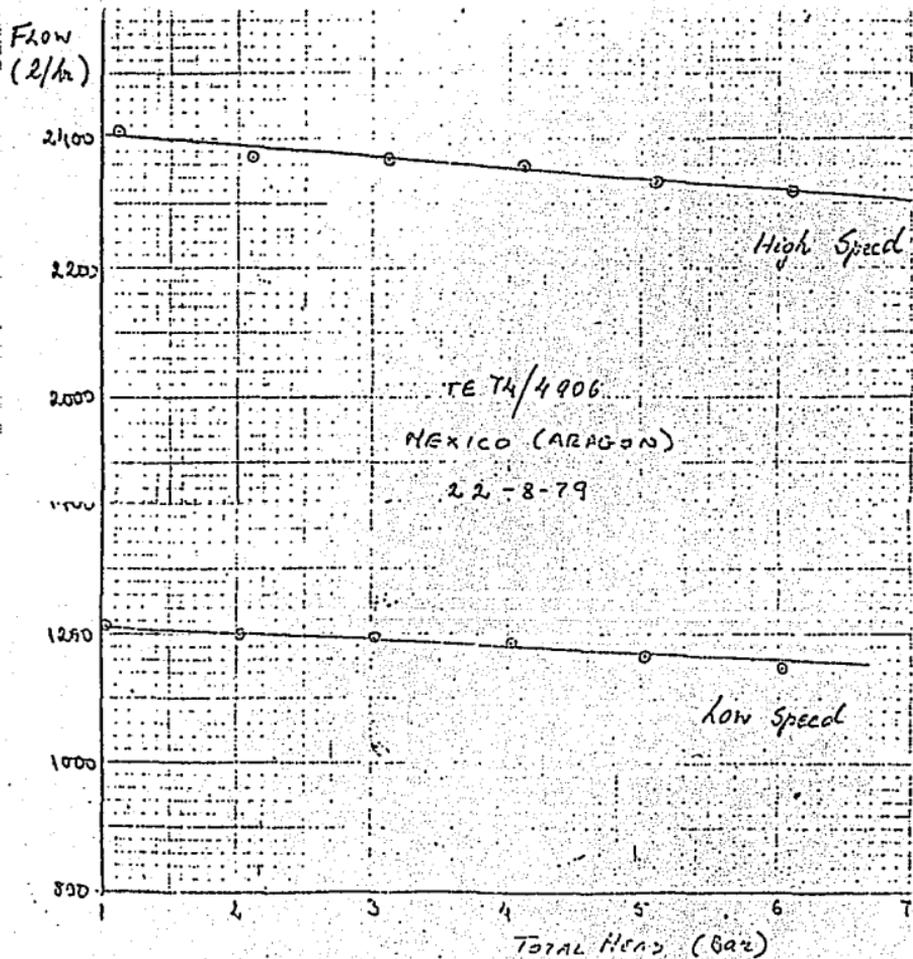
Suction	Deliv- ery	Total	Load	Coun- ter	Power	1st Rdg.	1st Read- ing	2nd Read- ing	Diff	Time	Flow
KN/m ²	KN/m ²	KN/m ²	N	rev/min	KW		mm	mm	mm	secs	l/hr
HIGH SPEED											
0-11	1-0	1-11	9-2	1770		0	181			30	2411
0-11	2-0	2-11	11-5	1764		0	178			"	2371
0-11	3-0	3-11	14-0	1759		0	177-5			"	2364
0-11	4-0	4-11	15-5	1755		0	177			"	2358
0-105	5-0	5-105	16-4	1751		0	175			"	2331
0-10	6-0	6-10	19-0	1747		0	174			"	2318
LOW SPEED											
0-03	1-0	1-03	5-7	894		0	91			"	1212
0-03	2-0	2-03	8-6	893		0	90			"	1199
0-03	3-0	2-03	10-0	892		0	89-5			"	1192
0-03	4-0	4-03	12-1	890		0	89			"	1135
0-03	5-0	5-03	14-0	887		0	87-5			"	1166
0-03	6-0	6-03	16-1	884		0	86-0			"	1146

PRESSURE RELIEF VALVE SET @ 8.5 bar

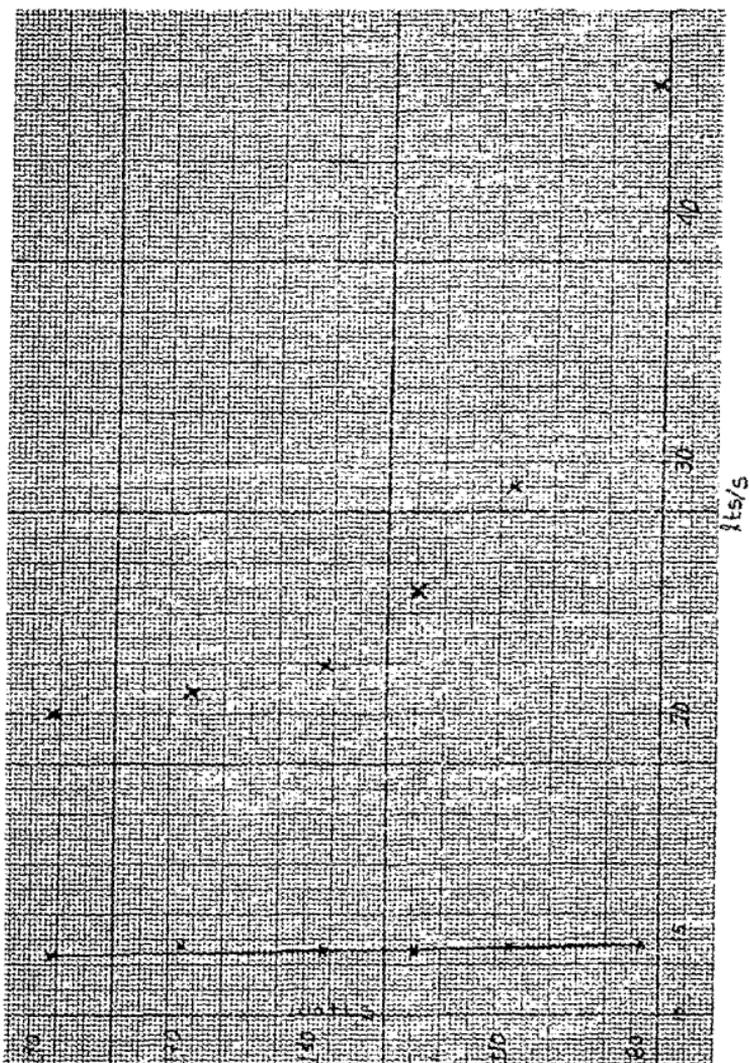
TABLAS DE LECTURAS REALIZADAS POR EL FABRICANTE
 PARA LA BOMBA DE ENGRANES

Gráficas de la bomba de engranes.





Gráficas de la práctica de potencia real e ideal.



BIBLIOGRAFIA

- CLAUDIO MATAIX

Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas
Harla 1982, segunda edición, 680 p.p.

- FRANK M. WHITE

Mecánica de fluidos
Mc Graw Hill, 1983, 757 p.p.

- VICTOR L. STREETER

Mecánica de los fluidos
Mc Graw Hill, segunda edición, 595 p.p.

- KENNETH MCNAUGHTON

Bombas selección, uso y Mantenimiento
Mc Graw Hill, 1989, 373 p.p.

- MANUEL VIEJO ZUBICARAY

Bombas teoría, diseño y aplicaciones
Limusa, 1975, segunda edición, 290 p.p.

- KARASSIK KRUTZSCH

Manual de bombas
Mc Graw Hill, 1983.

- HICKS G. TYLER
Bombas su selección y aplicación
CECSA, 1979, XIV edición, 530 p.p.

- JOSE A. MANRIQUE
Termodinámica
Harla, 1981, 338 p.p.

- WARK
Termodinámica
Mc Graw Hill, 1992, .V edición, 923 p.p.

- FAIRES
Termodinámica
UTEHA, 1990, II edición, 668 p.p.

- STEPHEN J. CHAPMAN
Máquinas eléctricas
Mc Graw Hill, 1993, II edición, 740 p.p.

- EUGENE HECHT
Física en perspectiva
CAEDIZA, 1987, 633 p.p.

- PLANTE AD PARNERS LTD
Pistón pump set.

- PLINT AND PARNERS LTD

Gear pump set.

- ASA (Aeropuertos y servicios Auxiliares)

Manual de mantenimiento a plantas de combustible.