



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

“MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UNA BOMBA DE
AGUA DE ALIMENTACIÓN DE GENERADOR DE VAPOR EN
UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA”

T E S I S :

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA,
AREA MECÁNICA, PRESENTA:

RUBÉN ESTRADA HERNÁNDEZ

ASESORA:

ING. ALEJANDRO RODRIGUEZ LORENZANA



México, Aragón.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias

A Dios

Gracias por su misericordia,
por darle un nuevo sentido a mi vida,
por mi familia,
por darme lo necesario para concluir este proyecto,
y porque nuestros logros los debemos a Él,
sin Él, nada somos.

A mis padres

Rubén y Emelia,
por su cariño y comprensión,
por el esfuerzo y sacrificio que han hecho
para darnos a mis hermanos y a mi
lo que hemos necesitado. Gracias.

A mis hermanos

Javier, Rogelio y Guillermo
por su comprensión, amistad y apoyo.

A Sergio y mi tía Antonia

por la gran ayuda que me brindaron.

Índice

Introducción	1
1. Teoría básica de fluidos y termodinámica	2
1.1 Propiedades de los fluidos	3
1.1.1 Temperatura	3
1.1.2 Presión	4
1.1.3 Densidad, peso específico y volumen específico	4
1.2 Energías	4
1.2.1 Trabajo	5
1.2.2 Calor	5
1.2.3 Entalpía	6
1.2.4 Energía potencial	6
1.2.5 Energía cinética	7
1.2.6 Energía interna	7
1.3 Sistemas termodinámicos	7
1.3.1 Sistema cerrado	7
1.3.2 Sistema abierto	7
1.3.3 Sistema estático	8
1.3.4 Sistema dinámico	8
1.4 Procesos	8
1.4.1 Proceso reversible	8
1.4.2 Proceso irreversible	8
1.4.3 Procesos termodinámicos	9
1.5 Leyes de los gases	9
1.5.1 Ley de Boyle – Mariotte	9
1.5.2 Primera ley de Gay – Lussac	10
1.5.3 Segunda ley de Gay – Lussac	10
1.5.4 Proceso isentrópico	11
1.6 Primer principio de la Termodinámica	11
1.7 Segundo principio de la Termodinámica	12
1.8 Entropía	13
1.8.1 Diagrama de Temperatura – Entropía (T – s)	14

1.9	Ciclo de Carnot	17
1.10	Ciclo de Rankine	19
2	Clasificación de las bombas	22
2.1	Tipos de bombas	23
2.2	Bombas de desplazamiento positivo	24
2.2.1	Bombas reciprocantes	24
2.2.2	Bombas rotativas	26
2.2.2.1	Bombas lobulares	27
2.2.2.2	Bomba de tornillo	28
2.2.2.3	Bomba de aletas	28
2.2.2.4	Bomba rotatoria de pistón	29
2.3	Bombas dinámicas	29
2.3.1	Bombas centrífugas	29
2.3.1.1	Impulsores	30
2.3.1.2	Bombas de pasos múltiples	33
3	Bomba de agua de alimentación	35
3.1	Componentes de la bomba	36
3.1.1	Chumaceras	37
3.1.2	Sellos mecánicos	38
3.1.3	Caja de la bomba	39
3.1.4	Anillos de desgaste	39
3.1.5	Flecha	40
3.1.6	Manga de la flecha	40
3.1.7	Cojinetes de empuje Kingsbury	41
3.2	Equipo auxiliar de la Bomba	42
3.2.1	Variador de velocidad	42
3.2.1.1	Circuito de aceite	44
3.2.1.2	Circuito de trabajo	45
3.2.1.3	Sistema de lubricación	45
3.2.2	Enfriador de aceite del variador de velocidad	47
3.2.3	Motor de la bomba	48

4	Mantenimiento de la bomba	49
4.1	Planeación del mantenimiento	50
4.1.1	Personal	50
4.1.2	Equipo y herramientas	50
4.1.3	Refacciones	52
4.1.4	Materiales	52
4.1.5	Instalaciones	53
4.1.6	Programas de mantenimiento	53
4.2	Inspección en una bomba de agua de alimentación	54
4.2.1	Puntos a revisar en un mantenimiento	55
4.2.2	Sobrecarga	56
4.2.3	Falta de lubricación	56
4.2.4	NPSH	56
4.2.5	Líquido a bombear	57
4.2.6	Filtros	57
4.2.7	Sobrecargue la succión y descarga	57
4.2.8	Desalineación	58
4.3	Métodos de reparación	58
4.3.1	Cojinetes de carga y empuje	58
4.3.2	Anillos de desgaste y bujes de la cubierta intermedia	59
4.3.3	Flecha	59
4.3.4	“O” Ring y empaquetaduras	59
4.3.5	Tornillería	60
4.3.6	Mantenimiento de impulsores	60
4.3.7	Mantenimiento a manguitos de flecha	61
4.4	Desarrollo de actividades	62
4.5	Alineación	70
4.5.1	Determinación de la desalineación en dos flechas desalineadas	71
4.5.2	Corrección de la desalineación	73
	Apéndice	78
	Conclusiones	93
	Bibliografía	94

Objetivos

Mostrar el trabajo que desempeña una bomba de agua de alimentación de un generador de vapor para la producción eléctrica.

Ilustrar los componentes internos de la bomba, así como su funcionamiento y su cuidado regular.

Demostrar la importancia de la observación de su funcionamiento diario y elaborar un registro de las actividades que se llevan a cabo en la realización del mantenimiento preventivo.

Así, pues, brindar una herramienta didáctica al servicio de quien necesite consultarla.

Justificación

Debido a que realicé mis prácticas profesionales en la central termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” en Tula, Hidalgo, tuve la oportunidad de conocer los equipos mecánicos más importantes en el proceso de la producción eléctrica.

El mantenimiento de dichos equipos es vital para el funcionamiento continuo y con el máximo índice de eficiencia en las unidades generadoras de electricidad.

Las bombas de agua de alimentación se han constituido como un equipo crítico, al suministrar permanentemente agua para la producción del vapor que moverá la turbina y el generador eléctrico, de allí el motivo para la elaboración de ésta tesis.

Para la realización de éste trabajo he contado con la colaboración del ingeniero Anibal Orozco Linares, jefe del departamento mecánico de la central termoeléctrica y del ingeniero Jorge Antonio Patiño Medina y por las facilidades prestadas por el personal de la central en cuanto a información se refiere.

También cuento con la asesoría del ingeniero Alejandro Rodríguez Lorenzana, profesor de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la F.E.S. Aragón, U.N.A.M.

Introducción

La Central Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, de Tula, Hidalgo, pertenece a la Comisión Federal de Electricidad y forma parte de la Gerencia de Generación Termoeléctrica Central, integrada a su vez por las Centrales Termoeléctricas de Celaya, Salamanca y Valle de México, así como las de Ciclo Combinado Tula y el Sauz. La Central se encuentra a 83 Km. al norte de la ciudad de México, y a 8 Km. al sur de la ciudad de Tula de Allende, Hidalgo, a una altura de 2 100 metros sobre el nivel del mar.

La construcción de la Central se realizó en tres etapas, la primera abarcó las Unidades 1 y 2, las cuáles iniciaron su operación el 29 de junio de 1976 y el 27 de septiembre de 1975, respectivamente. En la segunda etapa, se construyeron las Unidades 3 y 4, las que entraron a operar el 14 de septiembre de 1977 y el 12 de abril de 1978. Por último, la construcción de la Unidad 5, que se inició en 1982, concluyendo el 20 de octubre del mismo año, fecha en que empezó a operar con toda su capacidad.

Las razones que influyeron para la ubicación de la Central en éste lugar fueron, entre otras: la cercanía a la ciudad de México que es el mayor centro de consumo del país, la existencia de vías de comunicación, la disponibilidad de aguas negras y de pozo para alimentar los sistemas de agua de circulación, la casi paralela construcción de la Refinería Miguel Hidalgo de PEMEX, lo que a su vez significa una ventaja en el suministro por bombeo directo del combustoleo, por una parte y el paso de los ductos del gas natural por otra.

Esta Central Termoeléctrica es una de las más grandes con que cuenta actualmente la Comisión Federal de Electricidad; está integrada por cinco unidades generadoras de 300 MW, lo que hace un total de 1 500 MW de capacidad instalada. El tamaño y localización de la Central ya mencionados son de suma importancia para el sistema interconectado nacional ya que son una fuente principal de energía y de regulación tanto de potencia como de tensión y frecuencia, localizados en la propia red de alimentación de la ciudad de México que es el anillo doble de líneas de 400 kv. Este anillo que rodea el área metropolitana contiene las subestaciones de Texcoco, Santa Cruz, Topilejo, Nopala, Victoria y Tula.

La bomba de agua de alimentación que a continuación se estudia pertenece a dicha Central Termoeléctrica.

Capitulo 1

Teoría básica de fluidos y termodinámica

1.1 Propiedades de los fluidos

Entre las propiedades que caracterizan el estado de un fluido hay tres que se denominan fundamentales, a saber, la presión, la temperatura y el volumen específico. Cabe aclarar que el estado de un fluido se caracteriza por un valor bien determinado de todas y cada una de sus propiedades: presión, temperatura, etc. Dichas propiedades se llaman fundamentales porque se prestan a medición directa y fácil: la presión mediante manómetros, la temperatura mediante termómetros, y el volumen específico por pesada y medición de las dimensiones geométricas del recipiente. El estado de un cuerpo queda unívocamente determinado por dos propiedades que sean entre sí independientes. En termodinámica se utiliza la representación gráfica bidimensional. Pueden utilizarse como coordenadas dos propiedades cualesquiera, por ejemplo en el plano $p-v$, un punto representa un estado.

1.1.1 Temperatura

La temperatura es la medida de la energía cinética media de traslación de las moléculas, pero también puede decirse que la temperatura de un cuerpo es su estado térmico considerado con referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos. Es decir que, “si dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, los tres cuerpos estarán en equilibrio térmico entre sí”. Dicha ley postula la existencia de la temperatura, que con frecuencia recibe el nombre de ley cero de la termodinámica.

Las escalas más usuales en termodinámica son la escala Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) para el SI y la escala Rankine ($^{\circ}\text{R}$) para el Sistema Ingles, ambas llamadas absolutas. Otras dos escalas de uso común son la escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) del Sistema Ingles y la escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para el SI.

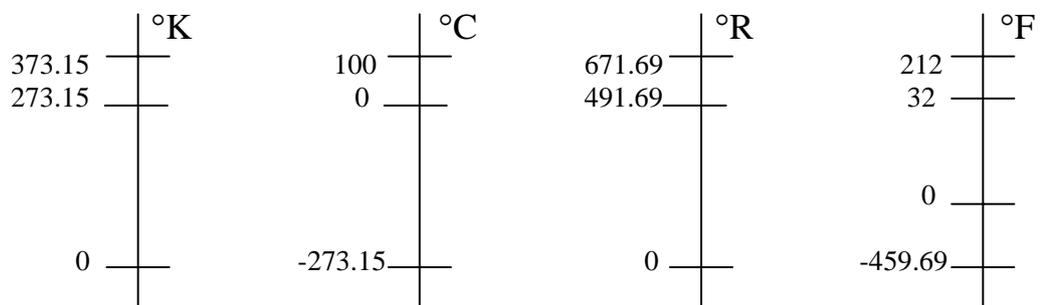


Fig. 1.1 Comparación de las escalas de temperatura

1.1.2 Presión

La presión es una variable termodinámica que se define como “la magnitud de la fuerza normal por unidad de área, ejercida por el sistema sobre el medio ambiente”. Es decir:

$$P = F/A$$

Donde:

P = Presión y se puede expresar en N/m^2 , Kg/cm^2 , atm, bars, lb/in^2 , etc.

A = Superficie sobre la que se aplica la fuerza y se expresa en m^2 , in^2 , etc.

F = Fuerza ejercida por el sistema dada en kg, Newtons, Dinas, Lb, etc.

La presión absoluta en un punto de un fluido P puede medirse con gran precisión con un manómetro y un barómetro; de ahí el interés que tiene este parámetro en termodinámica. Los manómetros corrientemente empleados miden la presión excedente o relativa p_e , o presión del punto con relación a la presión atmosférica, y el barómetro la presión atmosférica absoluta p_{amb} que se denomina presión ambiente o presión barométrica. Entre ambas existe la relación:

$$P = p_e + p_{amb}$$

1.1.3 Densidad, peso específico y volumen específico

Todas estas propiedades no son mas que expresiones distintas de una misma propiedad termodinámica. En efecto:

- La densidad ρ es la masa por unidad de volumen.
- El peso específico γ es el peso por unidad de volumen de la sustancia. Entre γ y ρ existe la relación:

$$\gamma = g_n \rho$$

Donde g_n es la aceleración normal de la gravedad de $9,80665 \text{ m/s}^2$

- Volumen específico v en el SI es el volumen por unidad de masa, o sea el recíproco de la densidad:

$$v = 1/\rho$$

1.2 Energías

La energía es una magnitud física que tiene las mismas dimensiones y es equivalente a un trabajo. Cuando se realiza trabajo sobre un cuerpo o sistema, éste almacena energía, y a su vez un cuerpo que tiene energía es capaz de realizar un trabajo a expensas de esta energía.

1.2.1 Trabajo

El trabajo involucra siempre una cantidad de movimiento y se define como “la fuerza capaz de desplazar un objeto a una distancia determinada” y se expresa como:

$$W = F \cdot dx$$

Y sus unidades son:

$$W = (\text{kg}\cdot\text{m}, \text{lb}\cdot\text{ft}, \text{joules})$$

En termodinámica el trabajo se define como “el trabajo total hecho por el sistema sobre sus alrededores” y se expresa como:

$$dW = PdV$$

$$W = \int_1^2 PdV$$

Donde la integral $\int_1^2 PdV$ representa el área bajo la curva de la trayectoria del proceso en el diagrama P-V. P y V son los parámetros involucrados, llamados también parámetros mecánicos.

W(+): Indica que el sistema cede o entrega trabajo. Cuando el gas se expande aumenta el volumen y la presión disminuye.

W(-): Indica que el sistema recibe trabajo. Cuando el gas se comprime el volumen disminuye y la presión aumenta.

1.2.2 Calor

El calor se define como la forma de energía que se transmite a través de la frontera de un sistema que está a una cierta temperatura, a otro sistema (o al medio exterior) que está a una temperatura inferior, por virtud de la diferencia de temperatura entre los dos sistemas.

La unidad para medir el calor se llama “kilocaloría de 15°C” y puede definirse como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kgm de agua desde 14.5°C hasta 15.5°C. La unidad térmica británica es el Btu (British thermal unit) y es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 lbm de agua de 59.5°F a 60.5°F y se llama Btu de 60°F.

Por otra parte el calor que entra a un sistema se considera positivo, y el calor que sale del sistema, negativo. El símbolo Q se emplea para designar el calor.

1.2.3 Entalpía

La entalpía es una propiedad que por definición es la suma de la energía interna y del trabajo de flujo, y tiene también dimensiones de una energía. La entalpía específica se designa con la letra h, siendo por definición,

$$h = u + pv \text{ (kJ/kg)}$$

Siendo en general desconocido el valor absoluto de la energía interna también lo será el valor absoluto de la entalpía; pero el incremento de la entalpía en una transformación energética, que prácticamente es lo único que interesa, siempre puede calcularse. El cero de entalpía se escoge arbitrariamente. La entalpía también es una propiedad termodinámica o función de punto porque u y pv también lo son, pudiéndose escribir

$$\begin{aligned} h &= f_1(p, T) \\ h &= f_2(p, v) \text{ etc...} \end{aligned}$$

1.2.4 Energía potencial

Es una propiedad del sistema; por consiguiente se considera el campo gravitacional como parte del sistema, es decir que, si un cuerpo se aleja del centro de la tierra o se acerca a él, la fuerza de gravedad efectúa un trabajo.

Se expresa como:

$$E_p = mgZ / gc$$

gc: Aceleración de la gravedad (32.2 ft/s², 9.81 m/s²)

g: Aceleración local de la gravedad

m: Masa del cuerpo (kg)

Z: Altura del sistema (m)

1.2.5 Energía cinética

Como se sabe la masa de un sistema lleva cierta energía cinética, la cual es función de la rapidez global del sistema (v) respecto a sus alrededores y es igual a:

$$E_c = (1/2) m (v^2/gc)$$

1.2.6 Energía interna

La energía interna (U) es la que posee el sistema aislado y que depende únicamente de la temperatura. La energía interna incorpora las formas microscópicas resultantes del movimiento molecular.

La energía total (E_t) contenida dentro de las fronteras de un sistema queda constituida por la suma de las energías: potencial, cinética e interna.

$$E_t = E_p + E_c + U$$
$$E_t = mgZ / gc + (1/2) m (v^2/gc) + U$$

1.3 Sistemas termodinámicos

Un sistema termodinámico es una porción de espacio o cantidad de materia que se selecciona para propósitos de análisis y en donde todo lo ajeno al sistema se conoce como alrededores.

1.3.1 Sistema cerrado

Es aquel en el que el flujo de masa del exterior al interior del sistema, y viceversa, es nulo. El flujo de energía en forma de calor o trabajo puede o no ser nulo; pero en los sistemas cerrados cuyo estudio ofrece interés no lo es. Un caso particular de sistema cerrado un sistema aislado térmicamente en que además de flujo nulo de masa se postula flujo nulo de calor, $dQ = 0$.

1.3.2 Sistema abierto

También llamado volumen de control. Es aquel en el cual se permite a la masa cruzar los límites que se hayan seleccionado, al igual que la energía en forma de trabajo y calor. Como ejemplos de sistemas abiertos podemos mencionar las bombas de agua, turbinas de gas o de vapor, compresores, etc.

1.3.3 Sistema estático

Es aquel en el que sólo tienen lugar procesos estáticos. En ellos sólo puede variar la energía interna del sistema. El trabajo de flujo y la variación de energía cinética o potencial son nulos. Por ejemplo, el sistema formado por el gas encerrado en un cilindro con pistón.

1.3.4 Sistema dinámico

Es aquel en que el fluido evoluciona con variación no sólo de la energía interna sino también de la energía cinética y potencial. Los sistemas dinámicos pueden ser cerrados o abiertos. Un sistema formado por toda la masa de agua que evoluciona en una central térmica de vapor constituye un sistema cerrado: en efecto la energía cinética del agua en la caldera es cero, el vapor se acelera al entrar en la tubería así como en su paso por la turbina, etc. Un sistema formado solamente por una turbina es un sistema dinámico abierto.

1.4 Procesos

Un proceso es la transformación o cambio que experimenta un sistema termodinámico de uno a otro estado en equilibrio.

- Nota: Un estado que da identificado por el conjunto de valores que tienen las propiedades termodinámicas en un instante dado.

1.4.1 Proceso reversible

Un proceso se llama reversible cuando, una vez realizado, el sistema puede ser llevado a su estado inicial sin cambio alguno en el medio exterior, de manera que el proceso puede verificarse en ambas direcciones sin dicho cambio. Los procesos reversibles son procesos ideales. Los ciclos integrados por procesos reversibles son los que tienen mejor rendimiento.

1.4.2 Proceso irreversible

Son aquellos que conllevan pérdidas de energía y son todos los procesos reales. El ciclo real tiene tanto mejor rendimiento cuanto más se acerca al ciclo ideal reversible.

1.4.3 Procesos termodinámicos

Los procesos termodinámicos son aquellos en los cuales una propiedad permanece constante y se designan con el prefijo “iso” antepuesto al nombre de la propiedad.

Propiedad que permanece constante	Nombre del proceso
Temperatura	Iso-térmico
Presión	Iso-bárico
Volumen	Iso-métrico
Entropía	Iso-entrópico
Entalpia	Iso-entálpico

Fig. 1.2 Clasificación de los procesos termodinámicos

1.5 Leyes de los gases

Experimentalmente se dedujo que 1kg de gas real evoluciona entre dos estados 1 y 2, en que el gas se comporta como gas perfecto, de manera que se cumple siempre:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}$$

1.5.1 Ley de Boyle – Matiotte

Establece que a temperatura constante los volúmenes de una masa de gas, son inversamente proporcionales a las presiones que soportan.

$$T = \text{cte.} \quad p_1 v_1 = p_2 v_2 = C$$

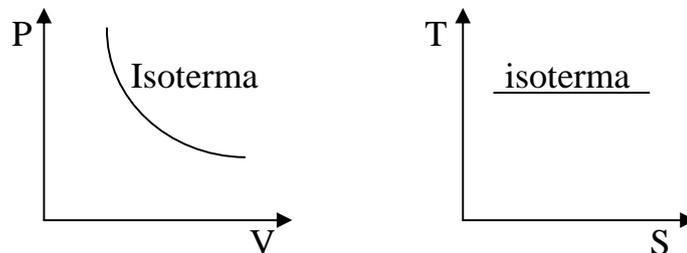


Fig. 1.3 Representación grafica de un proceso isotérmico

Los procesos a $T = \text{cte.}$ Los constituyen básicamente las compresiones y las expansiones, su representación gráfica en el diagrama $p-v$ (presión – volumen), es una hipérbola equilátera llamada isoterma.

1.5.2 Primera ley de Gay – Lussac

Establece que a presión constante el volumen de una masa de gas, es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

$$P = \text{cte.} \quad \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2} = C$$

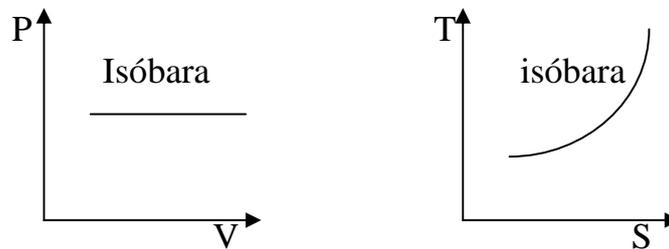


Fig. 1.4 Representación grafica de un proceso isobárico

Los procesos a $p = \text{cte.}$ lo constituyen los enfriamientos y calentamientos y se representa en el plano $p-v$, como recta horizontal llamada isóbara

1.5.3 Segunda ley de Gay – Lussac

Establece que las presiones ejercidas por un gas sobre las paredes que lo contienen son proporcionales a sus temperaturas absolutas, si el volumen permanece constante.

$$V = \text{cte.} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = C$$

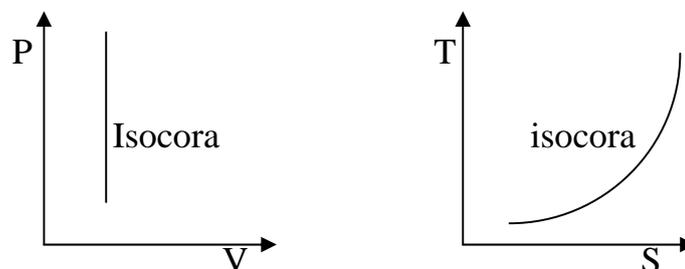


Fig.1.5 Representación grafica de un proceso isométrico

Los procesos a $v = \text{cte.}$, lo constituyen los calentamientos o enfriamientos, su representación gráfica es una recta vertical sobre el plano $p-v$ llamada isocora.

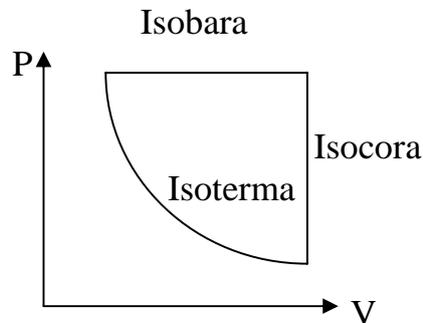


Fig. 1.6 Relaciones que resumen las leyes de los gases

1.5.4 Proceso isentrópico

En este proceso el sistema se considera sin pérdidas por fricción, es decir a entropía constante ($S = \text{cte.}$) y sin pérdidas o transferencia de calor. A dicho proceso se le conoce también como adiabático reversible y lo constituyen las compresiones y las expansiones.

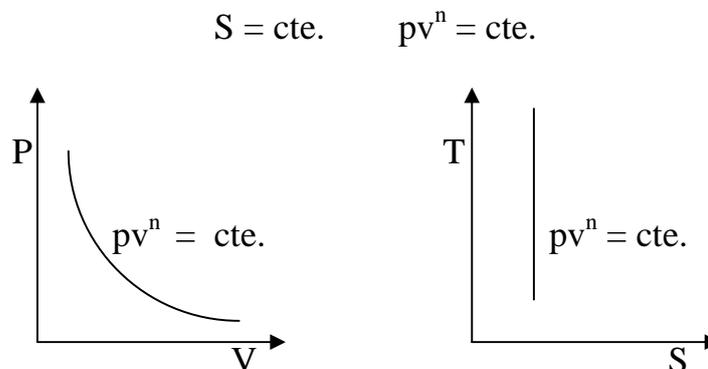


Fig. 1.7 Representación gráfica de un proceso isentrópico

1.6 Primer principio de la termodinámica

El primer principio de la termodinámica es la aplicación a la termodinámica de una ley universal de la naturaleza que es la ley de la conservación de la energía. Esta ley se enuncia así:

“La energía del universo no se crea ni se destruye; sólo se transforma de una forma en otra o se comunica de un cuerpo a otro”. Esta ley descubierta por Galileo para la energía mecánica (la suma de la energía potencial y cinética de un sistema es constante) ha sido confirmada en todos los campos de la Física y hallado válida en todas las transformaciones energéticas.

En particular el calor Q puede transformarse en trabajo mecánico W y éste en calor, existiendo una equivalencia exacta entre las cantidades de Q y W que intervienen en la transformación. En el SI el calor, el trabajo y la energía, magnitudes todas equivalentes según el primer principio, se miden en J (o kJ).

$$1 \text{ kcal} = 4.1868 \text{ J}$$

En esta primera ley existen tres manifestaciones:

Calor absorbido por el sistema = Aumento de energía interna + Trabajo efectuado por el sistema.

En un sistema cerrado formado por el agua que evoluciona en circuito cerrado en una central térmica se puede almacenar no solo energía interna sino también potencial, cinética, etc. Por tanto:

$$Q = E_2 - E_1 + W$$

Donde E_1 y E_2 son energías totales almacenadas en el estado 1 y 2 y en forma diferencial

$$dQ = dE + dW$$

1.7 Segundo principio de la termodinámica

Históricamente, el primer principio de la termodinámica constituyó una particularización a los procesos térmicos de una ley universal; mientras que el segundo principio se descubrió primero en conexión con los procesos térmicos, generalizándose después a todos los procesos naturales y anunciándose como una ley universal de toda la naturaleza.

El primer principio sirve para analizar las transformaciones energéticas cualitativa y cuantitativamente. Asimismo el segundo principio sirve para analizar cualitativa y cuantitativamente los procesos termodinámicos, así como para estudiar el rendimiento de los motores térmicos. El primer principio

establece la equivalencia de todas las transformaciones energéticas. El segundo principio analiza la dirección de estas transformaciones. Así, por ejemplo, según el primer principio, no hay diferencia entre las transformaciones de energía mecánica en térmica y las de energía térmica en mecánica; según el segundo principio, sí. En efecto, la energía demuestra que la energía mecánica, así como la eléctrica y las restantes formas de energía, pueden transformarse íntegramente en energía térmica (la energía mecánica, por ejemplo, mediante el rozamiento y la energía eléctrica mediante una resistencia eléctrica); por el contrario, no existe ninguna máquina térmica que transforme íntegramente el calor en energía mecánica.

Así, según Kelvin – Planck, *“es imposible construir una máquina térmica que operando continuamente, no produzca otro efecto que la extracción de calor desde un solo depósito y la entrega de una cantidad igual o equivalente de trabajo”*.

De la primera ley de la termodinámica se dice que $W = Q_A - Q_B$.

Q_a : Flujo de calor, el cual lleva la sustancia que realizara el trabajo.

Q_b : Flujo de calor rechazado por la máquina.

La segunda ley explica el porque un motor térmico siempre tendrá un rendimiento menor al 100%. Si se analizara un ciclo con un solo depósito a temperatura elevada de acuerdo a la primera ley sería $W = Q_A$ y por lo tanto se obtendría un rendimiento del 100%, en realidad esto no ocurre porque siempre existirá cierto calor rechazado.

1.8 Entropía

La segunda ley de la termodinámica es necesaria para describir la dirección del proceso, lo cual se logra mediante una propiedad del sistema que caracteriza el desorden, la desorganización o la incertidumbre de dicho sistema. La propiedad que describe la desorganización o la incertidumbre es la entropía.

En toda transformación real aumenta la energía no utilizable y este aumento se mide por el aumento de la entropía que ha experimentado el sistema. El cambio de entropía puede ser positivo o negativo debido a que la transferencia de calor también puede ser positiva (Calor absorbido, +) o negativa (Calor cedido, -). Esto es, la transferencia de calor positiva aumenta el desorden microscópico, la entropía crece; mientras que, si la transferencia de calor

negativa disminuye el desorden microscópico, la entropía decrece; el cambio de entropía mediante interacciones de trabajo es nulo, debido a que el trabajo es un mecanismo de transferencia de energía organizada y la entropía describe (lo opuesto) el desorden microscópico.

Si en una transformación reversible cualquiera, un elemento de calor absorbido o cedido se divide por la temperatura absoluta a la cual se realiza la transferencia, el resultado será igual a la correspondiente variación de la entropía. Su expresión matemática esta dada por:

$$dS = dQ / T$$

La entropía aumentará cuando se suministre calor al sistema, de manera reversible o irreversible, disminuirá cuando sea cedido calor por el sistema siendo reversibles todos los procesos, y permanecerá constante cuando dentro del sistema se produzcan procesos adiabáticos reversibles de trabajo.

1.8.1 Diagrama temperatura – entropía

Las tablas de vapor de agua permiten proporcionar la información tabulada de la entropía de dicho fluido. La presentación gráfica sobre las diversas propiedades, se utiliza ampliamente en los análisis termodinámicos debido a que es un método que permite obtener resultados inmediatos.

En el diagrama T – s se encuentran contenidas las siguientes propiedades: Volumen específico, entropía, entalpía, calidad de vapor, temperatura y presión. Esta dividido en varias regiones:

Líquido saturado. A la izquierda del domo o campana se encuentran todos los estados en los que la masa de control existe únicamente en la fase líquida, por lo que los estaos en esta región se les llama subenfriados.

Vapor sobrecalentado. Es aquel que se encuentra en la parte derecha de la campana y que posee una temperatura mucho mayor que la del punto de ebullición para la misma presión que existe a lo largo de la trayectoria.

Vapor saturado. Es aquel que se encuentra a la temperatura de ebullición en forma de líquido – gas.

La calidad del vapor se define como la cantidad de vapor presente en la mezcla difásica (líquido – vapor) entre la cantidad total de la mezcla y se expresa en porcentaje, su expresión matemática será:

$$X = (h_V - h_L / h_{LG}) (100)$$

Donde h_V : Entalpía del vapor
 h_L : Entalpía del líquido
 $h_{L,G}$: Entalpía de la mezcla

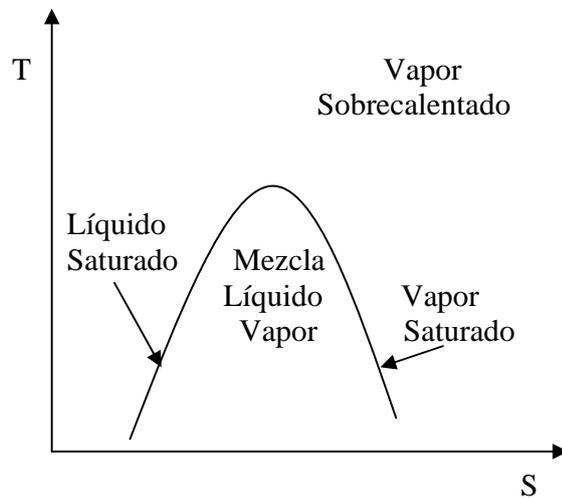


Fig. 1.8 Regiones del diagrama $T - s$

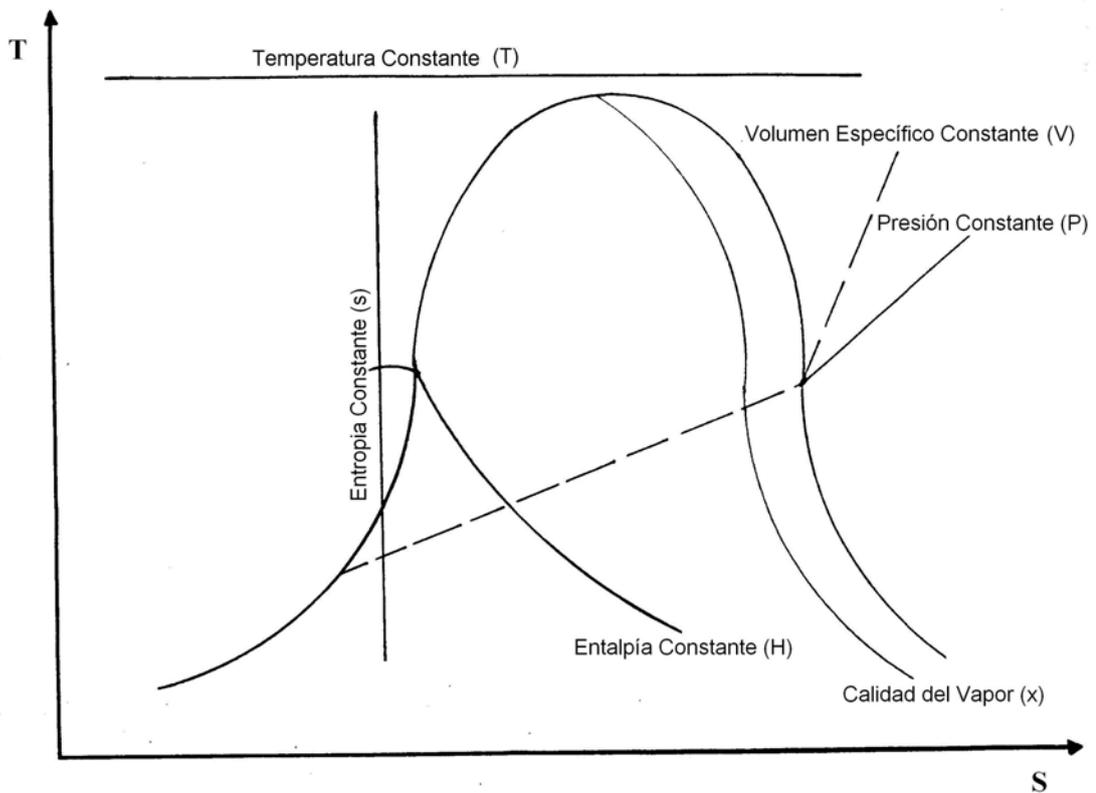


Fig. 1.9 Diagrama $T - s$

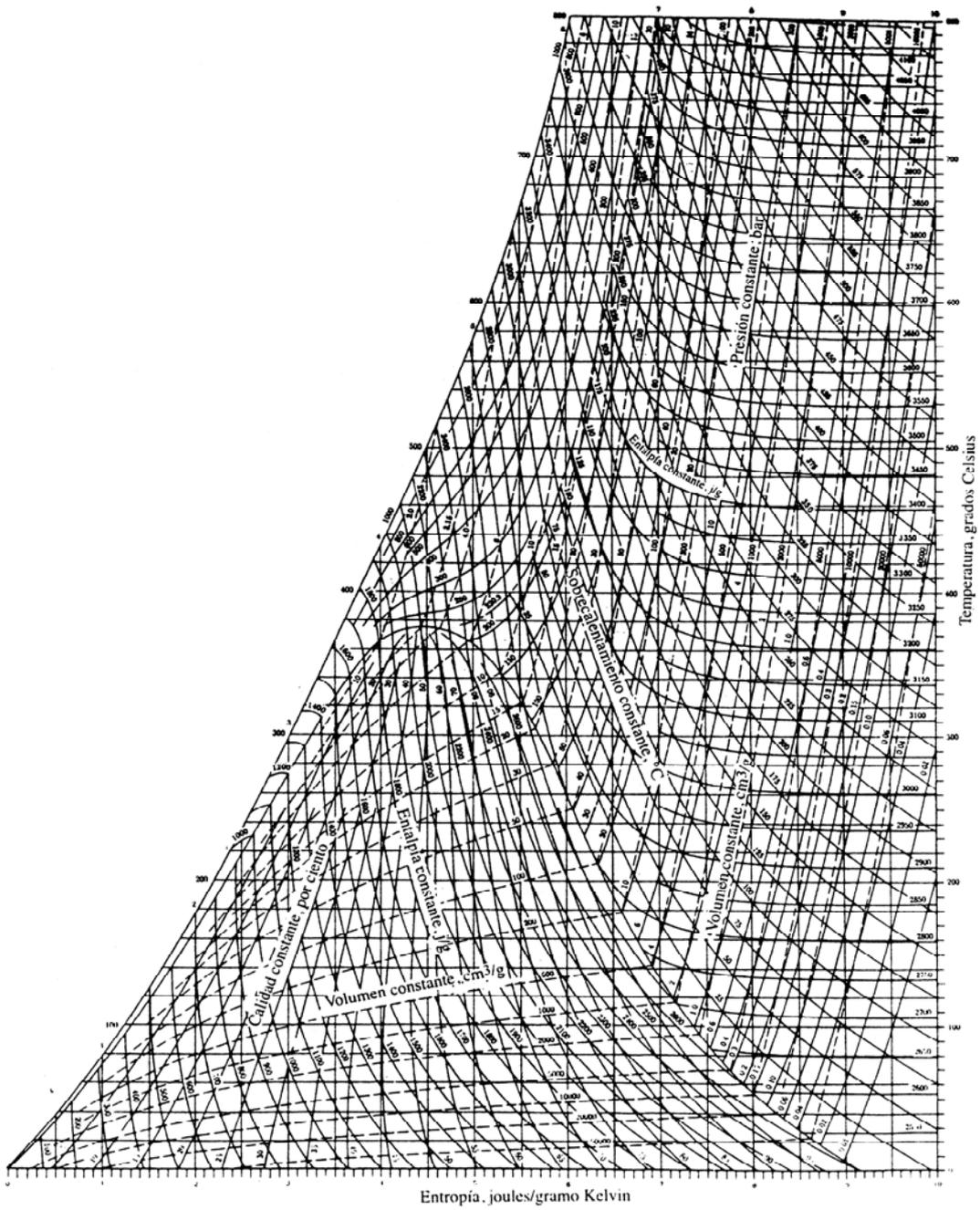


Fig. 1.10 Carta de temperatura – entropía para vapor de agua

1.9 Ciclo Carnot

Un ciclo termodinámico se produce cuando un sistema experimenta dos o más procesos y regresa a su estado original. La mayoría de las máquinas se estudian por medio de ciclos.

Todos los ejemplos sobre ciclos tienen un rango distintivo en común que es: operar entre dos límites de temperaturas. La temperatura alta o elevada resulta de un proceso de combustión dentro de un cilindro o de un generador de vapor. La temperatura baja se debe a procesos de enfriamiento, ya sea en la expulsión de los gases o bien en el cambio de fase del vapor en un condensador. Los ciclos con esta característica de dos temperaturas se muestran desde un punto de vista muy general como un depósito de transferencia de calor a temperatura elevada o fuente a T_A y un depósito de transferencia de calor a temperatura baja o sumidero a T_B .

La figura representa una planta de potencia que incluye cuatro elementos de volumen de control (Bomba o compresor, caldera o generador de vapor, turbina de vapor y condensador) con el fluido de trabajo realizando los procesos cuando éste circula a través de dichos elementos.

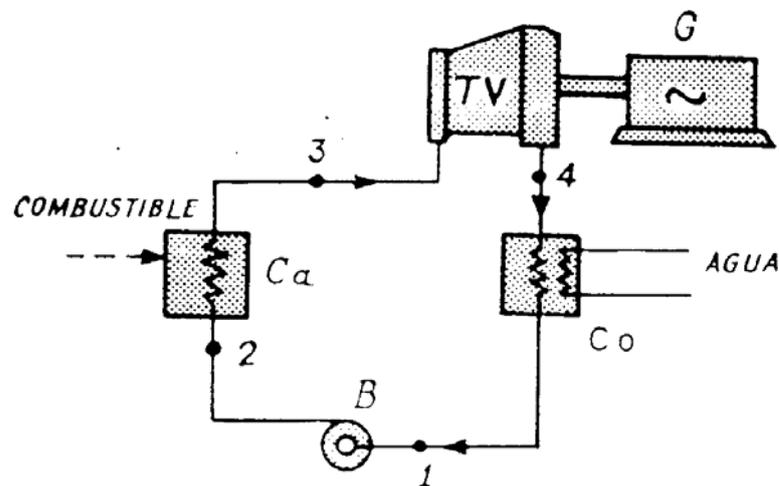


Fig. 1.11 Esquema de una central térmica de vapor

Ca es una caldera, la cual mediante combustión convierte agua en vapor seco (humedad casi nula). Al pasar la corriente de vapor por la turbina (TV) mueve los alabes de la rueda y este movimiento se aprovecha para generar electricidad mediante el generador (G). Al salir de la turbina, el vapor tiene

ahora una temperatura menor (es una mezcla de vapor y agua, vapor húmedo). Posteriormente pasa por un condensador (Co) en el cual mediante agua de enfriamiento se le extrae calor para disminuir el volumen condensándose. La bomba (B) sirve para aumentar la presión al líquido hasta alcanzar la que existen en la caldera y con ello el fluido puede iniciar su recorrido por la instalación.

Los procesos que se realizan son:

- 1 – 2 Bombeo adiabático reversible
- 2 – 3 Transferencia de calor isotérmica a T_A
- 3 – 4 Expansión adiabática del vapor
- 4 – 1 Transferencia de calor isotérmica a T_B

En la caldera hay transferencia de calor isotérmica hacia el fluido y se lleva a cabo entre los puntos 2 y 3, el fluido se expande en la turbina entregando un trabajo entre los puntos 3 y 4 en forma adiabática reversible; el condensador cambia de fase al fluido (de vapor a líquido) y esta transferencia se lleva a cabo a T_B entre los puntos 4 y 1. Finalmente la bomba recircula el fluido hacia la caldera en forma adiabática reversible entre los puntos 1 y 2.

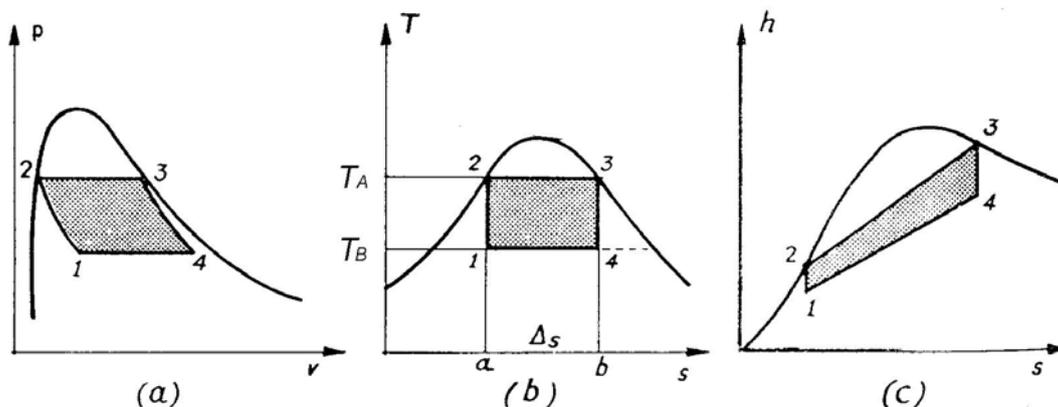


Fig.1.12 Representación grafica del ciclo de Carnot en los planos (a)pv, (b)Ts y (c)hs

El rendimiento térmico del ciclo Carnot con cualquier sustancia es:

$$\eta_t = \frac{T_A - T_B}{T_A}$$

El rendimiento será tanto mayor cuanto mayor sea T_A . Por otra parte, la eficiencia térmica de un ciclo Rankine es menor que la de un ciclo Carnot debido a que la temperatura media correspondiente al suministro de calor en el

ciclo Rankine es menor que la temperatura T_A del ciclo Carnot. Sin embargo, la realización práctica del ciclo de Carnot con el vapor de agua tiene los siguientes inconvenientes:

- El trabajo neto del ciclo es pequeño. En el diagrama hs , el trabajo de compresión ($h_2 - h_1$) sería menor si se realizara en la fase líquida, mientras que el trabajo de expansión ($h_3 - h_4$) sería mayor si se realizara en la fase gaseosa.
- En el ciclo real la bomba que bombea vapor húmedo tendría un rendimiento muy bajo.
- Las dimensiones de la turbina al funcionar con vapor húmedo serían muy grandes, y su precio muy elevado, o dicho de otro modo la potencia específica de la turbina (potencia por unidad de volumen) sería muy pequeña.

1.10 Ciclo Rankine

La idea fundamental del ciclo Rankine consiste en continuar la extracción de calor en el condensador hasta convertir la mezcla en líquido saturado. Ahora el fluido no es comprimido como en el ciclo Carnot, sino simplemente una bomba envía el líquido a la caldera aumentándole la presión al inicio del ciclo; esto se realiza adiabáticamente.

En la figura 1.13 (b) y (c) se han dibujado los tres ciclos siguientes: el ciclo 1-2-3-4''-5''-1, ciclo de Rankine con vapor húmedo a la entrada de la turbina; ciclo 1-2-3-4'-5'-1, ciclo de Rankine con vapor inicialmente saturado seco y ciclo 1-2-3-4-5-1, ciclo de Rankine con vapor sobrecalentado. Este último es el de mejor rendimiento y el más utilizado. Sólo este último, denominado ciclo de Hirn, está dibujado en la figura 1.13 (a).

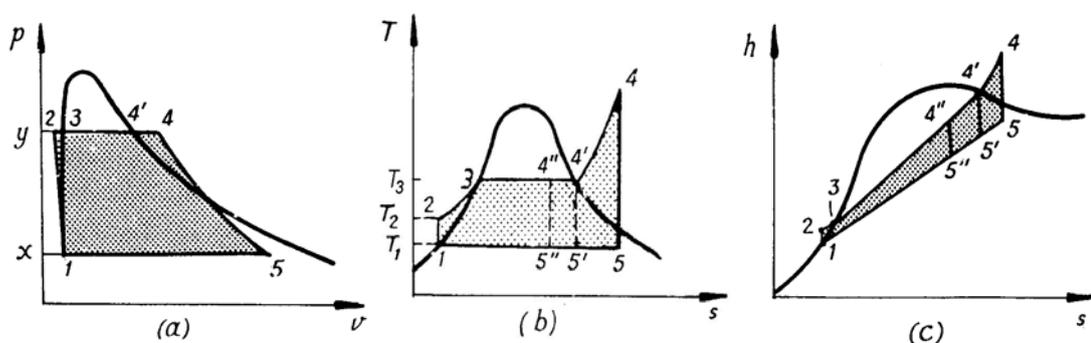


Fig. 1.13 Representación gráfica del ciclo Rankine

Los números de estos diagramas corresponden con los del siguiente esquema de una central térmica de vapor de agua con sobrecalentador s.

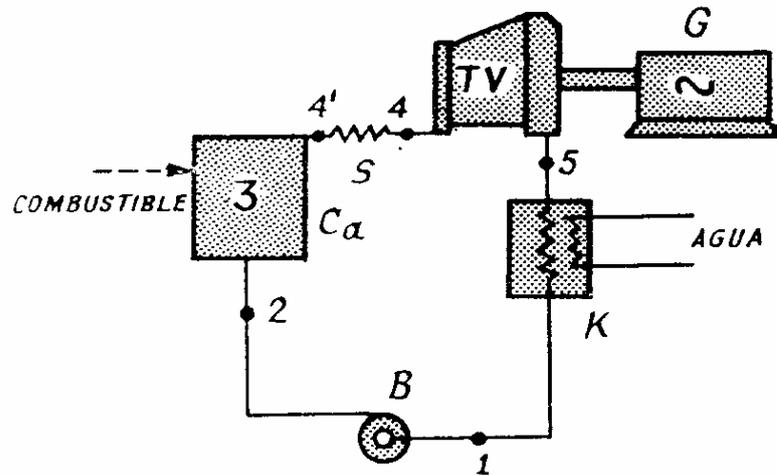


Fig. 1.14 Esquema de una central térmica de vapor con sobrecalentador

Para aumentar la eficiencia del ciclo Rankine se puede recurrir al sobrecalentamiento del vapor cuando sale de la caldera o a un recalentamiento del vapor de agua después de su expansión en la turbina. Evidentemente, si disminuimos la presión de salida del vapor de agua al condensador o aumentamos la presión durante el suministro de calor incrementamos la eficiencia del ciclo Rankine.

El sobrecalentamiento del vapor se realiza con un elemento denominado sobrecalentador. Al salir el vapor de la caldera empleamos el sobrecalentador para calentar este vapor hasta una temperatura mayor a la de saturación efectuándose este calentamiento a presión constante, hasta un estado que corresponde a la región de vapor sobrecalentado. En el ciclo Rankine se realizan los siguientes procesos:

- El proceso 4-5 (o 4'-5', etc...) de expansión isentrópica del vapor en la turbina. Siendo este proceso reversible – isentrópico es también adiabático, luego $Q = 0$, el trabajo de la turbina es:

$$W_{45} = -\Delta h_{\text{tot}} = -(h_{\text{tot}5} - h_{\text{tot}4}) > 0$$

$$W_{45} = h_4 - h_5$$

- Proceso 5-1 (o 5'-1, etc...) de condensación isobarica del vapor en el condensador. Este proceso, a diferencia del ciclo de Carnot se realiza hasta el estado de líquido saturado, con el fin de poder realizar la

compresión en fase líquida, con la ventaja de reducir el trabajo de compresión. En este proceso el vapor cede el calor.

$$-Q_{15} = (h_5 - h_1)$$

- El proceso 1-2 de compresión adiabático-isentrópica, a diferencia del ciclo de Carnot, se realiza ahora en la fase líquida siendo:

$$W_{12} = \text{Trabajo de la bomba} = -(h_{\text{tot}2} - h_{\text{tot}1}) < 0$$

$$W_{12} = -(h_2 - h_1)$$

- El proceso 2-3-4 de adición isobárica de calor en la caldera y en el sobrecalentador, si lo hay. El agua se calienta de 2 a 3 y se evapora y sobrecalienta de 3 a 4. La adición de calor en el ciclo Rankine es isotérmica nada más en el proceso 3-4. El calor comunicado al fluido (proceso 2-3-4 o 2-3-4', etc...) será:

$$Q_{24} = h_4 - h_2$$

La formula para la eficiencia del ciclo Rankine no puede reducirse a la correspondiente al ciclo de Carnot:

$$\eta = \frac{T_A - T_B}{T_A}$$

Pues en la etapa de suministro de calor (proceso 2-4) la temperatura no es constante, pero conociendo las entalpías h_1 , h_2 , h_4 y h_5 , podemos determinar la eficiencia del ciclo Rankine:

$$\eta = \frac{(h_4 - h_2) - (h_5 - h_1)}{(h_4 - h_2)}$$

Desde el punto de vista de la eficiencia térmica, el ciclo Rankine está en desventaja con el ciclo Carnot; sin embargo en condiciones reales al rendimiento económico conviene más el ciclo Rankine que el Carnot, pues la irreversibilidad del proceso de compresión del agua en la eficiencia total es mucho menor que la del de compresión del vapor húmedo. Con esto podemos ver que el rendimiento económico del ciclo Rankine es más elevado que el correspondiente de Carnot.

También la sustitución del voluminoso compresor que el ciclo de Carnot requeriría por la compacta **bomba de agua de alimentación** del ciclo Rankine permite reducir considerablemente los gastos para construir la planta.

Capitulo 2

Clasificación de las bombas

2.1 Tipos de bombas

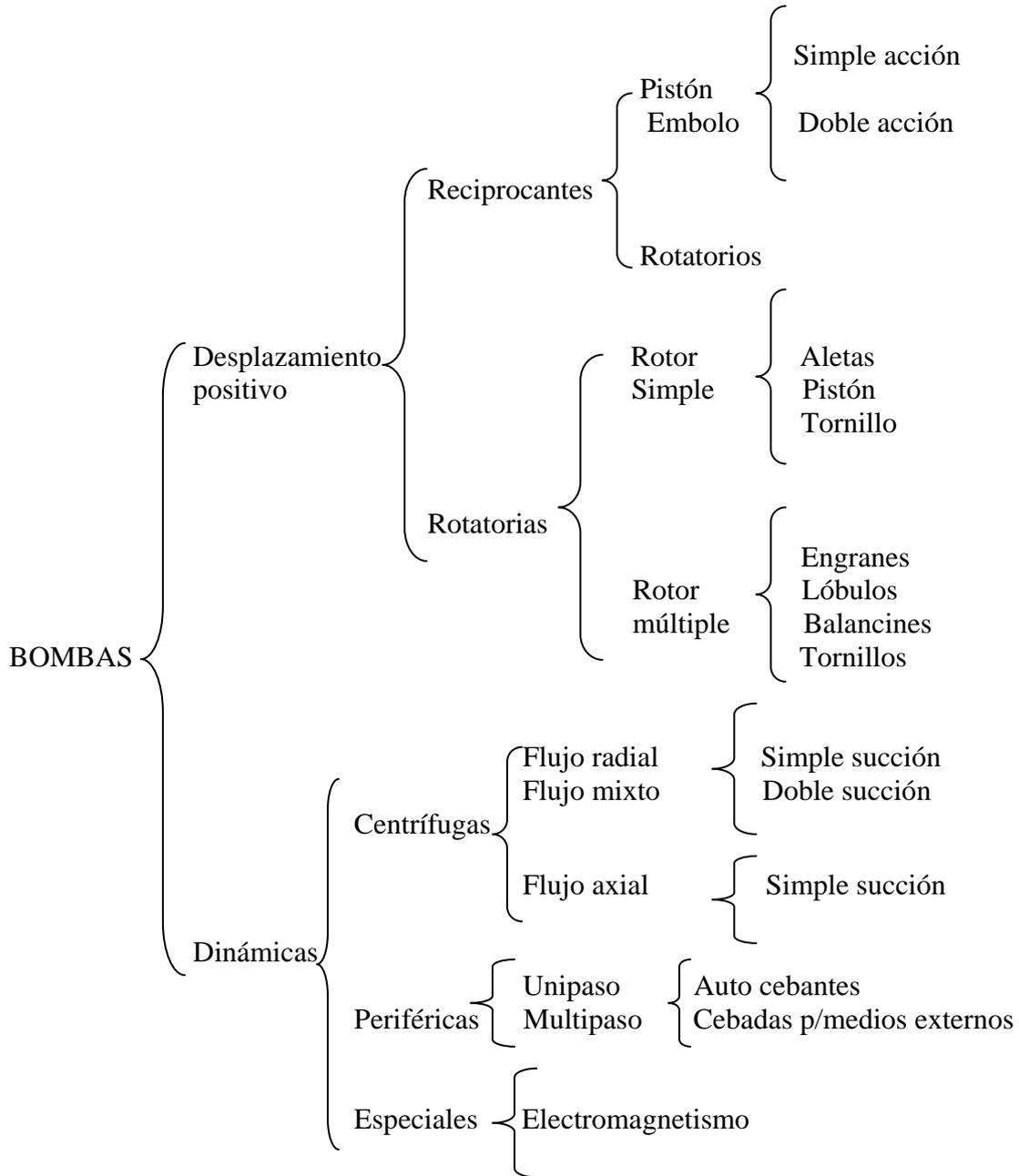


Fig. 2.1 Clasificación de las bombas

Las bombas usadas comúnmente en las centrales termoeléctricas son para alimentación de caldera, circulación de caldera, condensado, agua de alimentación y circulación. La selección cuidadosa es importante debido a que la eficiencia de la planta está directamente afectada por la eficiencia de las bombas. Los factores principales para determinar qué tipo de bomba usar son los siguientes:

- a) Índice de acidez – alcalinidad (PH)
- b) Condiciones de viscosidad
- c) Temperatura
- d) Presión de vaporización del líquido a temperatura de bombeo
- e) Densidad
- f) Materiales en suspensión
- g) Condiciones de abrasión
- h) Contenido de impurezas

Las bombas de desplazamiento positivo son aplicables para:

- a) Gastos pequeños.
- b) Presiones altas.
- c) Líquidos limpios.

Las bombas de desplazamiento positivo rotatorias para:

- a) Gastos pequeños.
- b) Presiones altas.
- c) Líquidos viscosos.

Las bombas Dinámicas de tipo centrífugo para:

- a) Gastos grandes.
- b) Presiones reducidas o medianas.
- c) Líquidos de todos, excepto viscosos.

2.2 Bombas de Desplazamiento Positivo.

Una bomba de desplazamiento positivo es una en la cual una cavidad se expande en volumen mientras entra el fluido de trabajo y se vuelve pequeña conforme sale el fluido. Analizando los procesos que ocurren en una máquina de desplazamiento positivo tratamos con un sistema de flujo transitorio abierto mientras el fluido entra o sale y con un sistema cerrado durante el resto del ciclo de operación.

2.2.1 Bombas Reciprocantes

Las características de descarga de las bombas reciprocantes se indican en la figura, las válvulas de descarga dejan salir el fluido hasta que el pistón llega casi al final de su carrera, esto es, cuando el pistón se detiene e invierte su movimiento. Durante parte del ciclo de bombeo el flujo es cero, sin embargo, puede mantenerse el flujo en la línea de descarga aproximadamente constante, dependiendo del diseño de la bomba. Por

ejemplo, las bombas de doble acción proporcionarán un flujo constante a la línea de descarga. Las bombas dúplex presentan la descarga de un cilindro desplazada media carrera con respecto a la descarga del otro. En esta forma el flujo total proveniente de la bomba es la adición de ambos, proporcionando la línea sólida mostrada en la figura. Dúplex se refiere al trabajo que realizan dos pistones en forma alternada, mientras que simplex consiste en el trabajo de un solo pistón. La doble acción se realiza en un pistón en ambos sentidos (ida y vuelta) y la acción simple se realiza durante la carrera de ida.

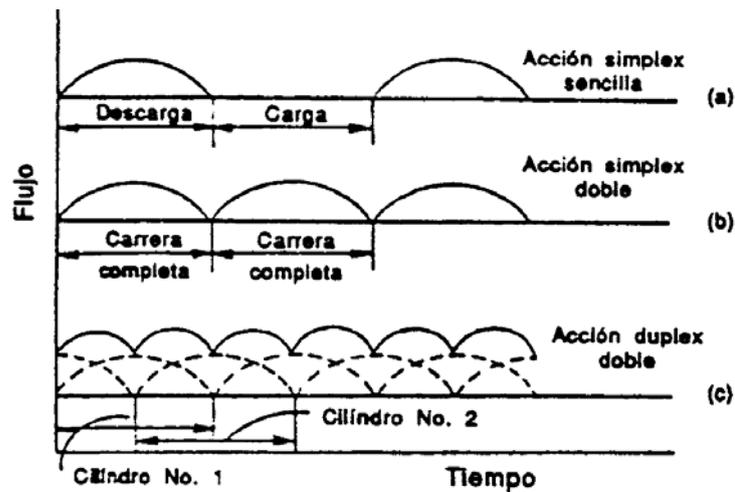


Fig. 2.2 Curvas de descarga para Bombas Recíprocas. (a) Acción sencilla simplex. (b) Acción doble simplex. (c) Acción doble dúplex.

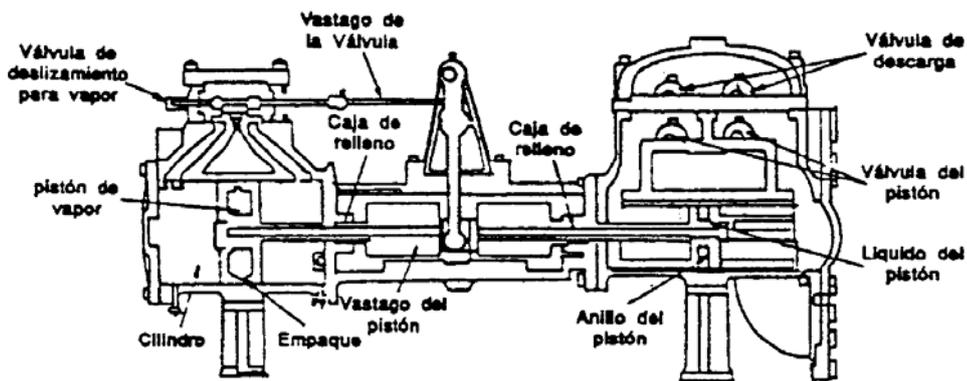


Fig. 2.3 Bomba de pistón de doble acción movida con vapor.

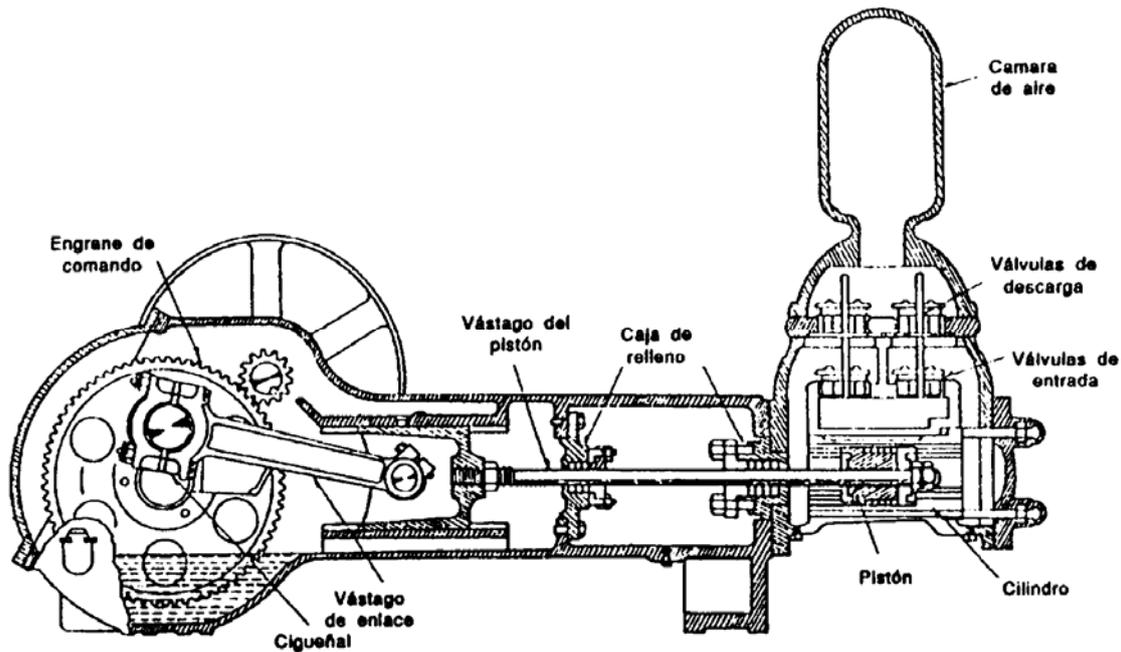


Fig. 2.4 Corte de una bomba de pistón simple.

2.2.2 Bombas Rotativas

Otro grupo de bombas de desplazamiento positivo es el tipo rotatorio. Esta clase de bombas pueden ser caracterizadas por el método de toma y descarga del fluido. Al contrario de las bombas reciprocantes, que dependen de válvulas de reten para controlar la carga y la descarga, una bomba rotatoria atrapa una cantidad de líquido y lo mueve hasta el punto de descarga, este principio se indica en la figura. La entrada de la bomba, proporciona un espacio para ser ocupado por el líquido. Cuando el engrane gira, el líquido es atrapado entre el diente y el cuerpo de la bomba y posteriormente liberado en la línea de descarga. Estas bombas son del tipo de engranes externos. Las bombas rotatorias pueden manejar casi cualquier líquido libre de abrasivos y son especialmente indicadas para fluidos de alta viscosidad. Cierta acción lubricante del fluido disminuye el desgaste.

Uso: Lubricación viscosa y manejo de combustibles viscosos.

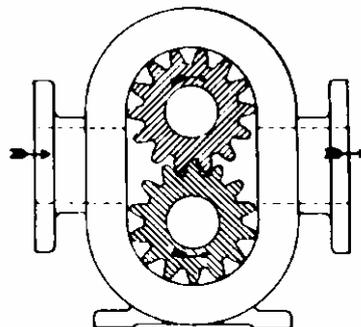


Fig. 2.5 Corte de una bomba de engranajes rotativos.

Otro tipo de bomba de engranes, es la bomba de engranes internos mostrada en la figura siguiente. El líquido es introducido en el cuerpo de la bomba y queda atrapado entre el diente del rotor y la corona dentada, figura a. La forma creciente del cabezal de la bomba, divide el líquido y sirve como un sello entre las compuertas de entrada y de descarga, figura b. La figura c, muestra la bomba casi llena de líquido y la figura d, muestra la bomba completamente inundada y descargando líquido. El rotor y la corona dentados, se engranan para formar un sello intermedio entre las compuertas de entrada y de descarga. Uso: manejo de aceites lubricantes.

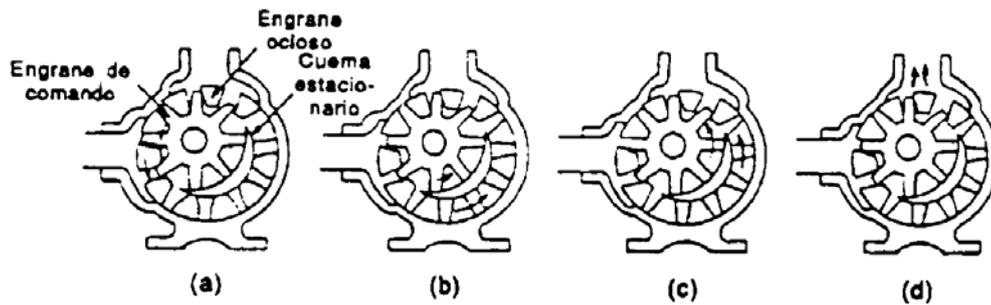


Fig. 2.6 Diagrama de una bomba de engranes internos y su operación.

2.2.2.1 Bombas Lobulares

Estas bombas son similares a las bombas de engranes, excepto en que los engranes son remplazados con rotores que tienen dos o más lóbulos. Ambos rotores están accionados externamente. Uso: Extractor de vapores de los tanques de aceite de lubricación, inyección de aire a descarbonadores.

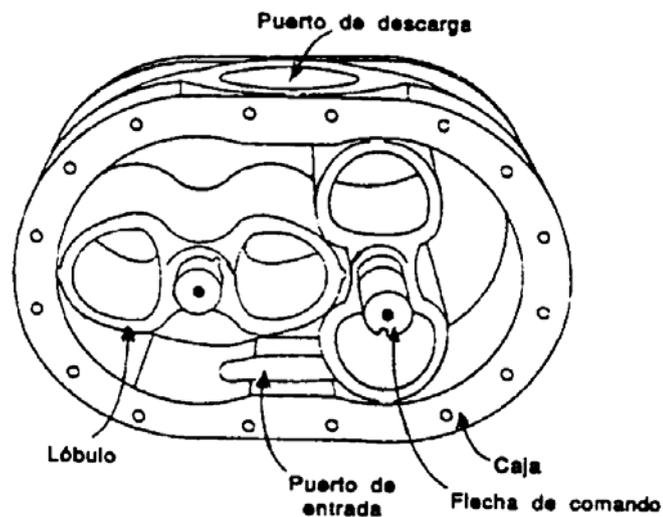


Fig. 2.7 Vista seccional de la bomba de lóbulo.

2.2.2.2 Bomba de Tornillo

Otra variación de la bomba de engranes, consiste en reemplazar los engranes con tornillos apropiados, girando en una caja fija. El líquido entra a la cámara de succión de la bomba y se divide fluyendo hacia los extremos del cuerpo de la misma. En este punto, el líquido entra a las aberturas entre los filetes del tornillo del rotor y es desplazado por el rotor hacia la compuerta de descarga, en el centro del cuerpo de la bomba. Las bombas de tornillo producen un fluido libre de pulsaciones y resultan bastante buenas para manejar materiales viscosos.

Usos: Manejo de combustóleo, diesel y aire.

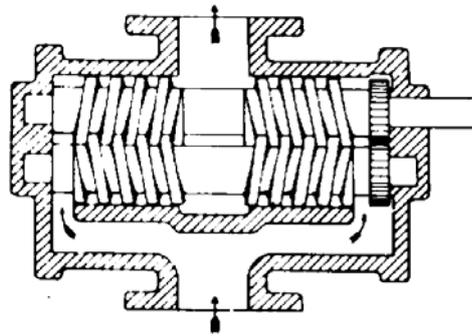


Fig. 2.8 Bomba de Doble Tornillo

2.2.2.3 Bomba de Aletas

Las bombas de aletas llevan varias aletas deslizantes insertadas en una flecha rotatoria. La fuerza centrífuga desplaza las aletas hacia fuera y mientras gira la flecha, el espacio entre las aletas se ensancha y arrastra el fluido hacia adentro. Este fluido es atrapado entre las aletas y posteriormente forzado hacia fuera por la compuerta de descarga.

Uso: Turbinas de aire para mover los sopladores de hollín.



Fig. 2.9 Bomba de Aletas Deslizantes

2.2.2.4 Bomba Rotatoria de Pistón

En lugar de engranes, este tipo de bombas consta de un rotor circular montado excéntricamente en centro del cuerpo de la bomba. La ilustración es un corte de una bomba rotatoria de pistón. El ciclo de operación mostrado indica el pistón moviéndose en dirección de la flecha. Este movimiento origina un espacio para el flujo en la cámara de bombeo mientras simultáneamente se descarga fluido a través de la válvula de salida. Esta bomba da excelentes resultados para bombear gases.

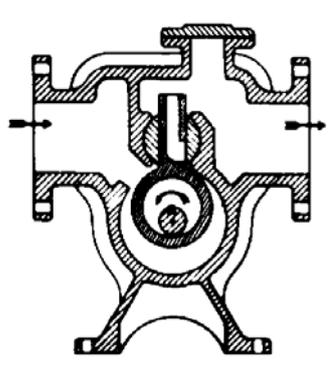


Fig. 2.10 Corte de una Bomba Rotatoria de Pistón

2.3 Bombas Dinámicas

Las bombas dinámicas son aquellas donde la energía es transferida entre un fluido y un propulsor rotatorio o rotor. El rendimiento de este tipo de bombas depende del mecanismo de transferencia de energía entre el fluido y un rotor. Otra característica importante de estos dispositivos es que el flujo siempre es constante en cualquier punto en el interior de estos.

2.3.1 Bombas Centrífugas

Derivan su nombre porque utilizan la fuerza centrífuga para mover el líquido. Básicamente es un impulsor o rodete que gira rápidamente, produciendo un vacío o succión en el centro del impulsor, acarreando el líquido hacia el exterior del impulsor y por la fuerza centrífuga el líquido es impulsado hacia la salida.

La fuerza centrífuga es aquella que tiende a lanzar objetos hacia fuera, cuando estos giran rápidamente alrededor de un punto.

De acuerdo con la dirección del flujo las bombas se dividen en:

- a) Bombas de flujo radial
- b) Bombas de flujo mixto
- c) Bombas de flujo axial

Las bombas de flujo radial, tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas, el flujo es casi totalmente radial y la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrífuga.

En las bombas de flujo mixto, el flujo cambia de axial a radial, son bombas para gastos y cargas intermediarias y la velocidad específica de los impulsores es mayor que la del flujo radial.

En las bombas de flujo axial, llamadas de propela, el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad específica.

2.3.1.1 Impulsores

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cuál depende la carga producida por la bomba. Los impulsores según su tipo de succión se clasifican como impulsores de simple succión y de doble succión.

En un impulsor de simple succión el líquido entra por un solo extremo, en tanto que en uno de doble succión podría considerarse como uno formado por dos de simple succión colocados espalda con espalda. El de doble succión tiene entrada por ambos extremos y una salida común.

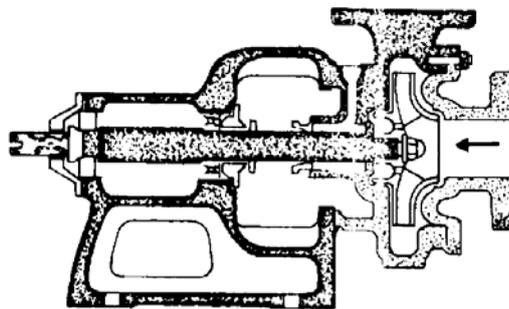


Fig. 2.11 Impulsor de simple succión

Un impulsor de simple succión es más práctico y usado, debido a razones de manufactura ya que simplifica considerablemente la forma de la carcasa. Sin embargo para grandes gastos, es preferible usar un impulsor de doble succión, ya que para la misma carga maneja el doble de gasto. Tiene además la ventaja de que debido a la succión por lados opuestos no se produce empuje axial, sin embargo, complica bastante la forma de la carcasa.

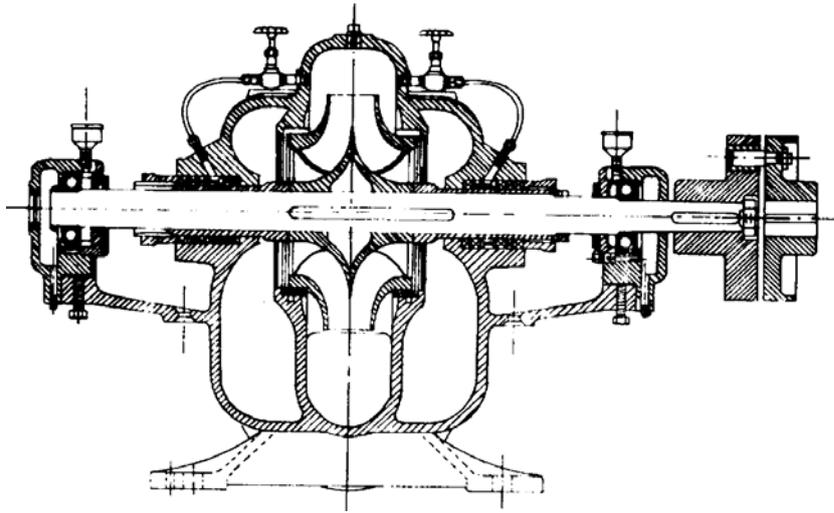


Fig. 2.12 Impulsor de doble succión

De acuerdo a la forma de las aspas, estas pueden ser de curvas radiales, tipo Francis, de flujo mixto, y de tipo propela. Los impulsores de aspas de simple curvatura son de flujo radial y están sobre un plano perpendicular. Generalmente son impulsores para gastos pequeños y cargas altas, por lo cuál son impulsores de baja velocidad específica. Manejan líquidos limpios sin sólidos en suspensión.

En un impulsor tipo Francis, las aspas tienen doble curvatura. Son más anchas y el flujo tiende a ser radial o axial. La velocidad específica va aumentando y la curva de variación del gasto con la carga se hace más plana.

Una degeneración de este tipo la constituye el clásico impulsor de flujo mixto, es decir, radial – axial. El cuál puede manejar líquidos con sólidos en suspensión.

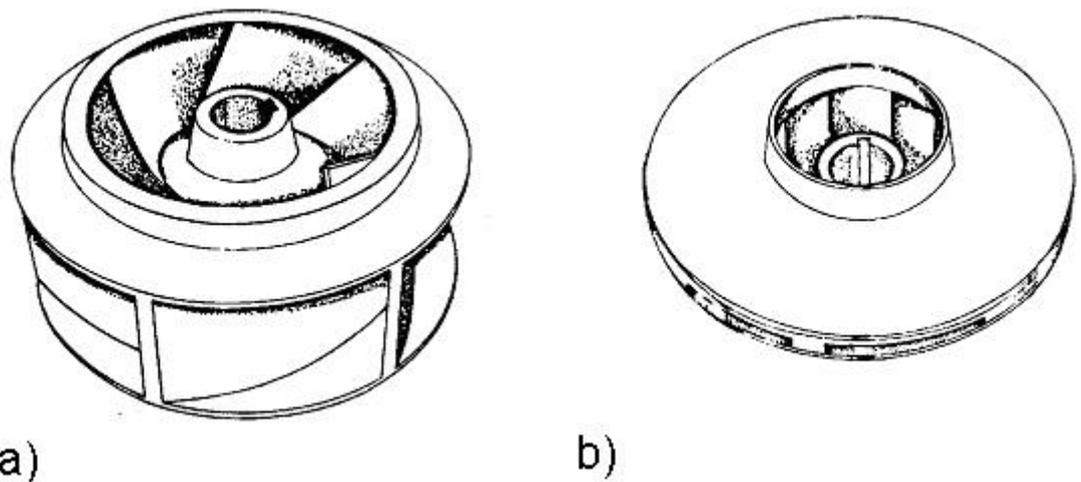


Fig. 2.13 (a) Impulsor tipo Francis. (b) Impulsor de Aspas Curvas Radiales.

Por último tenemos los impulsores tipo propela, de flujo completamente axial para gastos altísimos y cargas reducidas, que vienen a ser los de máxima velocidad específica. Tienen pocas aspas y pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión de tamaño relativamente grande. Son especialmente adecuados para bombas de drenaje en ciudades.

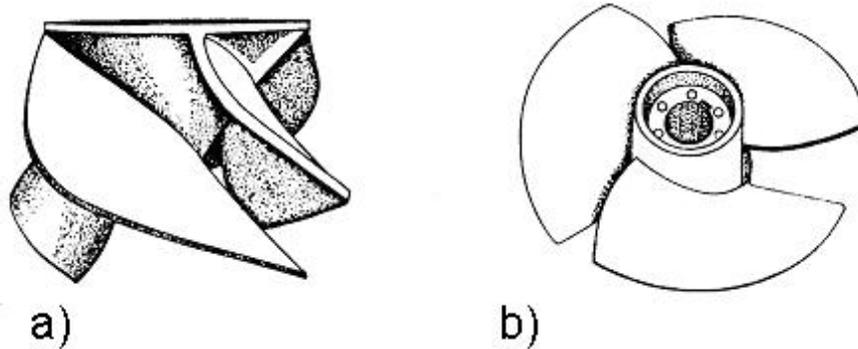


Fig. 2.14 (a) Impulsor de Flujo Mixto. (b) Impulsor Axial

Otro tipo de aspas es el de los impulsores centrífugos inatascables. Por su construcción mecánica pueden ser completamente abiertos, semiabiertos o cerrados.

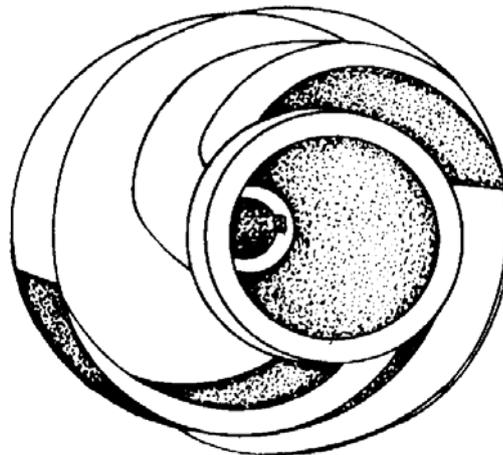


Fig. 2.15 Impulsor Tipo Inatascable

Un impulsor abierto es aquel en el cuál las aspas están unidas al mamelón central sin ningún plato en los extremos. Si estos impulsores son grandes en diámetro resultan muy débiles, por lo cuál, aún cuando en realidad son semiabiertos, lo que se reconoce como impulsores abiertos, llevan un plato en la parte posterior que les da resistencia. Estos impulsores abiertos tienen la ventaja de que pueden manejar líquidos ligeramente sucios ya que la inspección visual es mucho mas simple y posible. Tienen la desventaja de tener que trabajar con claros muy reducidos.



Fig. 2.16 Impulsor Abierto

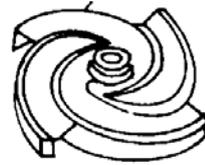


Fig. 2.17 Impulsor Semiabierto.

Los impulsores cerrados pueden trabajar con claros mayores entre ellos y la carcasa, ya que en realidad el líquido va canalizado entre las tapas integrales con las aspas que cubren ambos lados del impulsor. Por esta razón no se presentan fugas ni recirculación, y son los impulsores más usados en centrífugas generales de las bombas centrífugas de simple y doble succión así como en las bombas de varios pasos.

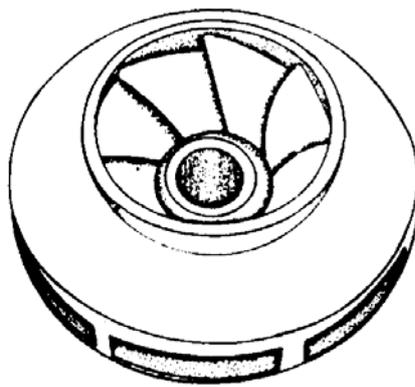


Fig. 2.18 Impulsor Cerrado

2.3.1.2 Bombas de pasos múltiples

Las unidades horizontales de este diseño, están construidas con carcasa ya sea del tipo barril o del tipo horizontalmente dividido. La carcasa tipo barril se usa más comúnmente en diseños de alta presión con cuatro o más pasos, mientras que la carcasa dividida se usa para presiones que varían desde bajas hasta moderadamente altas con cualquier número de pasos.

Las bombas de agua de alimentación tienen carcasa de tipo barril y seis pasos (impulsores), lo cual es necesario para imprimirle una alta presión al fluido de trabajo y poder vencer la altura y la presión dentro del generador de vapor.

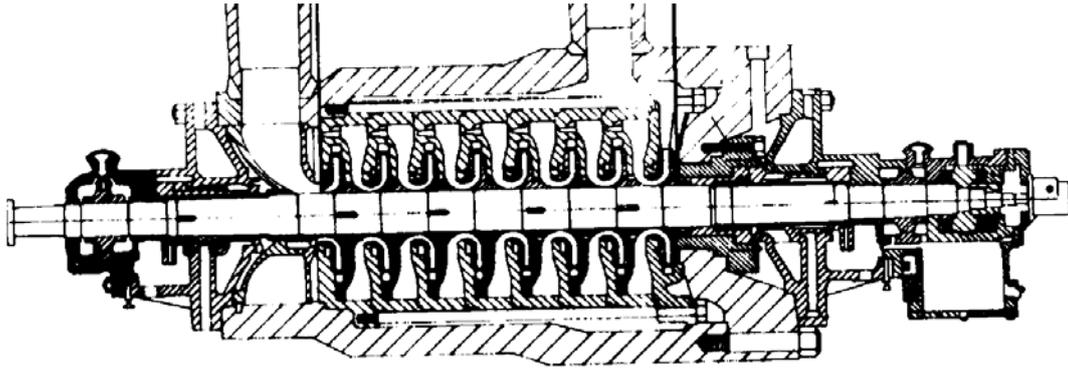


Fig. 2.19 Bomba de pasos Múltiples.

Capitulo 3

Bomba de agua de alimentación

3.1 Componentes de la bomba

Son bombas de barril multipasos con impulsores centrífugos colocados en serie, el primero de doble succión y los demás de simple succión. Son las encargadas de bombear el agua de alimentación para ser introducida al domo del generador de vapor. Existen tres de estas bombas por unidad, cada una con capacidad del 50% del total del flujo. Todas son centrífugas horizontales de seis pasos. Ordinariamente el impulsor de descarga es el último impulsor colocado en serie. La cubierta interna estacionaria y difusor múltiple, están localizados en la periferia de cada impulsor. Las cubiertas internas alrededor de los impulsores intermedios son llamadas cubiertas intermedias; aquellas alrededor de la succión y descarga de los impulsores son llamadas espaciadores. Las cubiertas y difusores internos son usualmente unidos con soldadura para resistir la tendencia del difusor a rotar. La carcasa cilíndrica está centrada montada sobre una base y tiene una cabeza removible en el extremo de salida (o descarga) de la bomba. El eje de la bomba esta soportado en cada extremo por una chumacera de carga y el empuje axial esta soportado por una chumacera de empuje axial en el extremo de descarga de la bomba. Estas chumaceras requieren lubricación especial en cada extremo de la bomba. Un sello de eje actúa para evitar fugas de agua.

Normalmente la carga radial en el eje de la bomba de barril esta soportada por una chumacera de carga y el empuje axial esta soportado por una chumacera de empuje tipo Kingsbury. Por ordenes específicas una bomba puede ser equipada con otros tipos de chumaceras.

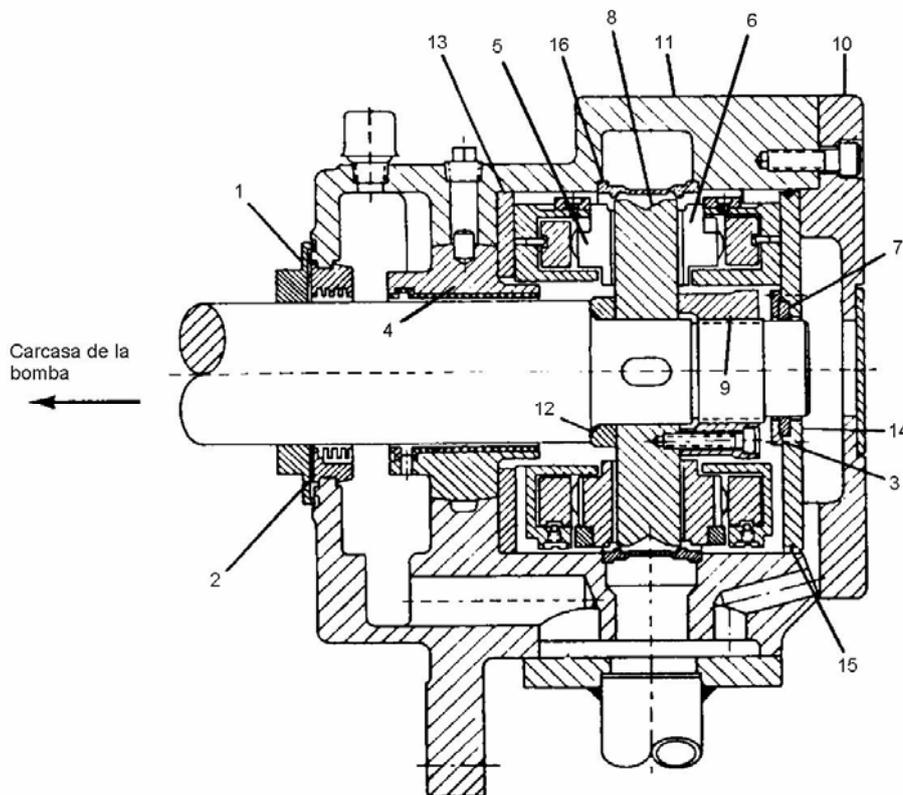
Una bomba puede utilizar algún tipo de sellos para prevenir fugas alrededor del eje: sello mecánico, escape controlado. El sello de escape controlado existe en tres tipos, una pieza sólida llamada buje fijo, una serie de anillos y partes asociadas llamadas anillos flotantes; y una combinación de los dos llamada buje de anillos fijos flotantes.

Desde que los impulsores en la bomba de barril están en serie y todas las caras en la misma dirección, el flujo del líquido a través de la bomba va en una dirección, esto es desde el primero hacia el segundo, al tercero, y así asta el último paso del impulsor, desde el cual el flujo es guiado a la tobera de descarga. La presión aumenta en cada paso, y en el último paso la presión de descarga. Es igual a la presión de diseño.

3.1.1 Chumaceras

Dos alojamientos de chumaceras, uno en el extremo de entrada y otro en el extremo de salida de la bomba, están divididos axialmente para permitir remoción e instalación de partes sin desacomodar el eje de la bomba. Los objetivos principales de la existencia de chumaceras en la maquinaria son:

- Mantener el peso de la flecha o rotor.
- Limitar el movimiento axial del eje.
- Mantener el correcto espacio entre rotor y cubierta.



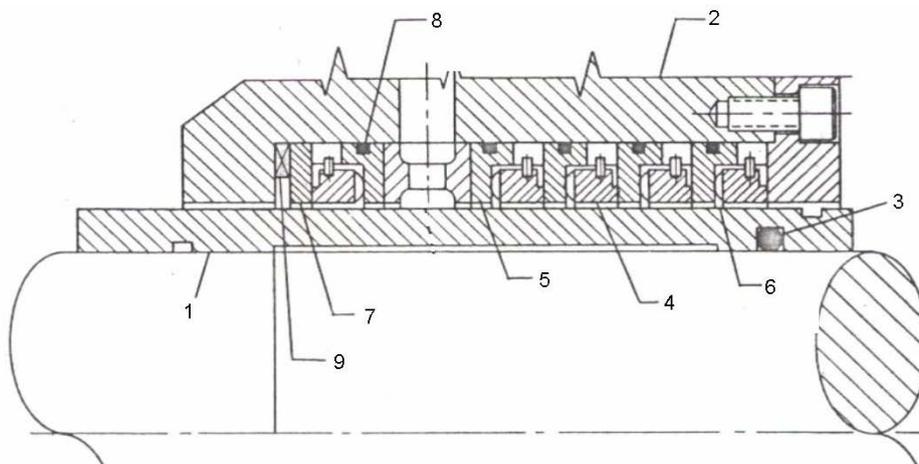
- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Anillo deflector externo | 10. Cubierta frontal |
| 2. Anillo deflector interno | 11. Tapa superior |
| 3. Reten de sello de aceite | 12. Espaciador del collar de empuje |
| 4. Chumacera de carga | 13. Plato retenedor interno |
| 5 y 6. Zapatas internas y externas de empuje | 14. Plato retenedor externo |
| 7. Anillo de sello de aceite | 15. Anillo "O" del plato retenedor |
| 8. Collar de empuje | 16. Anillo de control de aceite |
| 9. Tuerca del collar de empuje | |

Fig. 3.1 Caja de chumaceras y componentes internos

El alojamiento en el extremo de salida de la bomba contiene la chumacera de carga y la chumacera de empuje Kingsbury. El alojamiento de entrada contiene una chumacera de carga. La chumacera de empuje Kingsbury y las dos chumaceras de carga están hechas por mitades, permitiéndole ser levantadas y armadas sobre la flecha, además el diseño Kingsbury permite un reemplazamiento individual de las zapatas. Las mitades inferior y superior de los anillos base interno y externo Kingsbury son suministrados por parejas y deben ser reemplazados por otros semejantes.

3.1.2 Sellos Mecánicos

Un sello mecánico es un dispositivo mecánico de sellado que usa dos componentes planos lapeados (caras de sellado), una rotatoria empacada con la flecha (manga) y accionada por la misma, y otra estacionaria empacada con la brida del sello que al mismo tiempo es empacada y atornillada al estopero de la caja de la bomba. Siendo la única trayectoria normal de escape de líquido a la atmósfera, precisamente entre las dos caras del sello, por lo cual deben estar perfectamente planas y pulidas (lapeadas). Como en el caso de los empaques, cierta cantidad (mínima) de líquido, debe pasar entre ambas caras,



- | | |
|--|---|
| 1. Manga de la flecha | 6. Resorte del anillo de sello |
| 2. Alojamiento del sello | 7. Arandela de sello |
| 3. Anillo "O" de la manga de la flecha | 8. Anillo "O" del reten del anillo de sello |
| 4. Anillo del sello | 9. Junta de la arandela de sello |
| 5. Reten del anillo del sello | |

Fig. 3.2 Sellos de la flecha de anillos flota

con el fin de lubricarlas y enfriarlas. No obstante esto, debido a las características de planicidad de las caras, la cantidad de líquido escapando es tan pequeña, que en muchas ocasiones no se percibe fuga alguna.

Hay muchas variaciones de sellos mecánicos; típicamente son un dispositivo de precisión en el cual la cara de una tuerca que es retenida por la manga de la flecha gira contra la cara de un asiento fijado al alojamiento del sello. Las caras de los sollos son altamente pulidas, tienen un espacio de carrera diminuto, y corre con una fina película de líquido de enfriamiento. La carga es realizada por un resorte y la fuerza hidráulica presiona contra la arandela. Para mejorar la circulación de líquido entre las caras de sellado algunos sellos presentan un anillo de bombeo giratorio.

3.1.3 Caja de la Bomba

Es la parte estacionaria principal de la bomba, que cumple con dos funciones fundamentales:

- a) Convierte la carga de velocidad generada por el impulsor en carga de presión, guiando al líquido al conducto de descarga.
- b) Sirve de frontera a la presión del líquido bombeado.

3.1.4 Anillos de Desgaste

Son anillos reemplazables montados en los impulsores, cajas y cubiertas, mismos que están sujetos a desgaste, y que son reemplazados cuando se quiere reestablecer los claros originales de operación en la bomba. Es usual proveer de diferentes materiales con diferentes durezas a los anillos que forman claros, con el fin de eliminar el riesgo de que se pegue el componente estacionario al rotatorio. La función del anillo de desgaste es el tener un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde, debido a las cerradas holguras que se producen entre el impulsor que gira y la carcasa fija, la presencia del desgaste es casi segura. En esta forma, en lugar de tener que cambiar todo el impulsor o toda la carcasa, solamente se quitan los anillos, los cuales pueden estar montados a presión en la carcasa o en el impulsor, o en ambos. Se llaman anillos de desgaste de caja porque van montados en la caja y/o cubierta de la bomba, y operan con el anillo de desgaste del impulsor o su superficie giratoria. El claro en los anillos de desgaste es crítico en el comportamiento de la bomba. Deberá cuidarse el claro que existe entre los anillos, puesto que si es excesivo resultará en una recirculación considerable, y si es reducido, éstos

pueden pegarse, sobre todo si los materiales tienen tendencia a adherirse entre sí, como en el caso de los materiales inoxidables. Generalmente en las bombas centrífugas estándar se usa bronce.

3.1.5 Flecha

La flecha de la bomba centrífuga es el eje de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo además el movimiento que le imparte la flecha del motor. En la bomba centrífuga horizontal la flecha es una sola pieza a lo largo de toda la bomba, a diferencia de las bombas de pozo profundo, donde existe una flecha de impulsores y después una serie de flechas de transmisión unidas por un cople, que completan la longitud necesaria desde el cuerpo de tazones hasta el cabezal de descarga.

Las flechas generalmente son de acero, modificándose únicamente el contenido de carbono, según la resistencia que se necesite. La determinación del diámetro de las flechas en centrifugas horizontales se hace tomando en cuenta la potencia máxima que va a transmitir la bomba, el peso de los elementos giratorios y el empuje radial que se produce en las bombas de voluta, que como se ha visto anteriormente, llega a ser una fuerza de magnitud apreciable.

3.1.6 Manga de la Flecha

Pieza cilíndrica reemplazable montada en la flecha para proteger ésta en las áreas donde la erosión o desgaste es alto. Frecuentemente se usan en la zona de empaques de la caja de estopas.

La manga o manguito debe ser lisa para que pueda girar sin generar demasiada fricción y calor. Por eso los materiales para manguitos deben ser capaces de admitir un acabado muy fino, de preferencia de pulimento. Por lo tanto, el hierro colado no es apropiado, generalmente se usa un bronce duro para bombas que manejan agua limpia, pero se prefiere algunas veces acero al cromo y otros aceros inoxidables. Para servicios sujetos a areniscas, el acero al cromo endurecido u otros aceros inoxidables dan buenos resultados. Para condiciones más severas con frecuencia se usan manguitos que están cromados en el área de empaquetadura. Los manguitos hechos completamente de acero al cromo endurecido, son generalmente los más económicos y satisfactorios.

3.1.7 Cojinetes de empuje Kingsbury

El principio del cojinete Kingsbury puede describirse como sigue: supóngase que un collar circular se corta en pequeños segmentos y que cada sección está adecuadamente soportada en su lado interior, de modo que pueda columpiarse ligeramente en el punto indicado como el punto de suspensión y, al mismo tiempo, quedarse en su lugar. Cuando la flecha empieza a girar, la película de aceite tiende a ser arrastrada bajo los bordes ligeramente redondeados de las secciones. Al aumentar la velocidad de la flecha, esta tendencia aumenta, asentándose la sección ligeramente, ladeándose a un ángulo mayor corriendo sobre la película de aceite como un patinador corre al encontrar la resistencia de la superficie que queda debajo.

A mayor velocidad mayor es la tendencia de la sección a inclinarse hacia delante, y es mayor la tendencia a ajustarse al aumento de la película de aceite arrastrado debajo de ella. La montadura de empuje de cojinetes de tipo Kingsbury, usada en las bombas horizontales, está arreglada para resistir empuje en ambas direcciones. Algunas veces ambas cargas son aproximadamente iguales; otras veces puede haber un empuje mayor en una dirección y un empuje menor ocasional en la dirección opuesta.

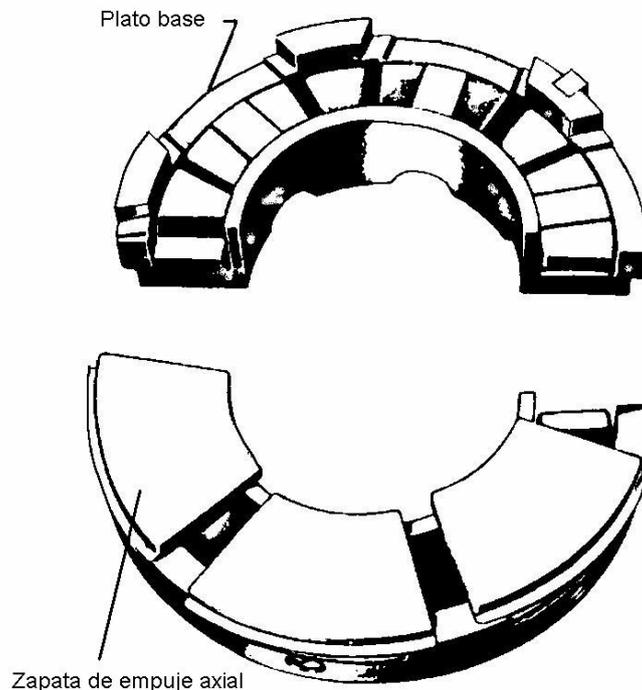


Fig. 3.3 Cojinetes de empuje Kingsbury

En cualquier caso, el cojinete Kingsbury está equipado con zapatas de empuje a cada lado para limitar el movimiento axial del rotor. El número de zapatas de cada lado puede ser igual o no serlo, dependiendo de la aplicación. Los cojinetes Kingsbury son capaces de resistir las cargas de empuje de las unidades y las velocidades lineales, muy por encima de las apropiadas para el empuje del collar derecho ordinario, por lo que no hay comparación entre los dos. Como su costo es relativamente alto, su uso sólo puede justificarse para condiciones extremas de empuje.

3.2 Equipo auxiliar de la bomba

El funcionamiento de la bomba requiere de un equipo que le proporcione el movimiento giratorio al que se le llama equipo auxiliar, el cual consiste en el acoplamiento de un motor eléctrico y un variador de velocidad, junto con un sistema de enfriamiento de aceite.

3.2.1 Variador de Velocidad

La razón más importante de que actualmente se estén usando los variadores en lugar de los incrementadores, es de que se puede regular el flujo de agua a la caldera de acuerdo a la demanda, evitándose la recirculación, la cual originaría pérdidas en el sistema.

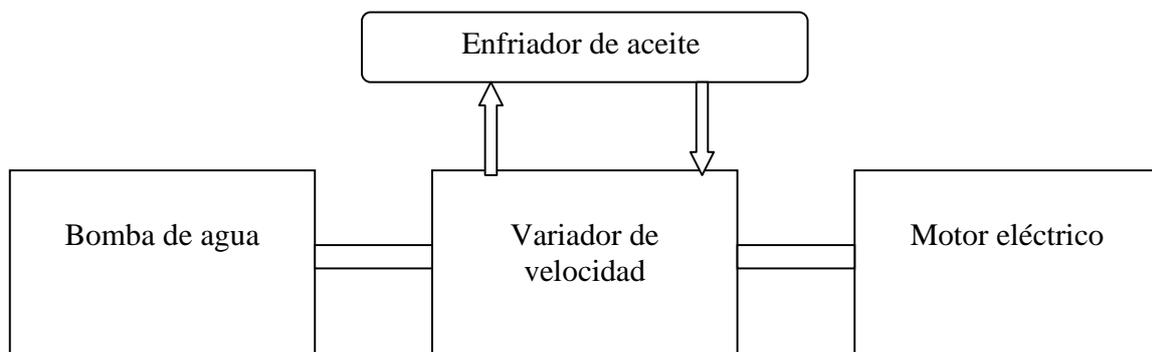


Fig. 3.4 Instalación de una bomba de agua de alimentación y su equipo auxiliar

Los convertidores de par, son transmisiones hidrodinámicas que varían el par automáticamente y sin escalonamiento, y el régimen de revoluciones del eje de entrada respecto al de salida, en función de las características de los mismos. El principio del acoplamiento hidrodinámico (llamado aquí hidráulico) es la transmisión de potencia del impulsor de una bomba al

impulsor de una turbina por medio de fuerzas dinámicas. No existe ninguna unión mecánica entre el eje de entrada y el de salida. El circuito hidráulico que se forma en el convertidor elimina las vibraciones.

Si todas las pérdidas tales como tubería, carcasa, etc., son insignificantes en la unidad de la bomba y turbina consideradas como simples impulsores. Ellos actuarán conjuntamente a la vez como un acoplamiento hidráulico. La figura muestra los impulsores de la bomba y la turbina, también llamados impulsores primarios y secundarios, con la recirculación del aceite indicada por medio de flechas.

Las leyes de la física indican que la transferencia de energía de un impulsor a otro es únicamente posible con una cierta cantidad de deslizamiento. Bajo condiciones de diseño esta diferencia de velocidad es aproximada de 1.5 a 3%. El deslizamiento puede ser variado por el cambio de la cantidad de aceite en el acoplamiento, sin embargo también cambiará la potencia que puede ser transferida, una cantidad fija de aceite se puede poner en servicio, como es normalmente el caso de acoplamiento de velocidad constante llamados “Acoplamientos constantes llenos”. El cambio en el aumento de aceite puede ser controlado durante la operación, haciendo del acoplamiento un “Acoplamiento hidráulico de velocidad variable”. Estos son los dos grupos básicos de acoplamientos hidrodinámicos.

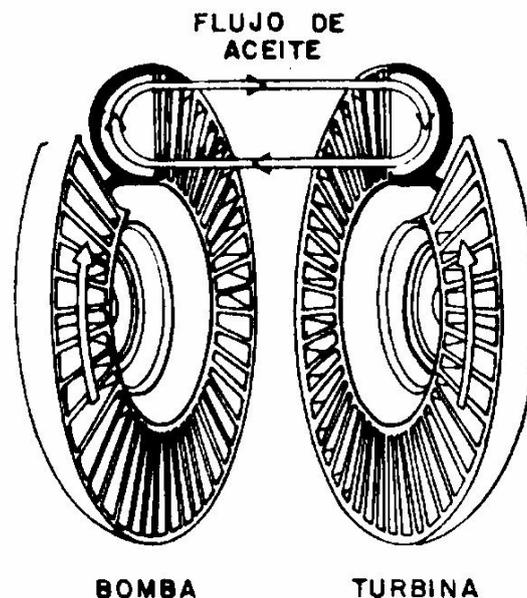


Fig. 3.5 Diagrama del flujo de aceite en un acoplamiento de velocidad variable

Cuando las características de la máquina motriz y la máquina a mover no coinciden, entonces deberá considerarse un acoplamiento hidráulico. El campo de aplicaciones es bastante amplio con muchas posibles variaciones, las cuales son causa de los diferentes tipos de acoplamientos hidráulicos en los dos grupos arriba mencionados, los cuales se encuentran actualmente en operación. El tipo de acoplamiento hidráulico usado en la bomba de agua de alimentación es del tipo de velocidad variable, de lo cual se mencionan algunas razones:

- Suave aceleración de cargas de alta inercia con motores no demasiado grandes.
- Arranque de motores bajo condiciones sin carga, siempre con carga en la máquina.
- No se requiere un motor más grande ya que el motor puede utilizar su par límite durante todo el período de arranque.
- Amortiguamiento de choque por vibraciones torsionales.
- Transmisión del par sin desgaste.
- Ahorros por reducir los esfuerzos en unidades eléctricas y mecánicas en el engranaje con muchos arranques y paros.

Estas características se aplican a los acoplamientos de velocidad variable los cuales a través de las características de velocidad variable permiten más aplicaciones favorables.

3.2.1.1 Circuito del aceite

Los turboacopladores con reductor se suministran con acoplamientos flexibles torsionalmente (acoplamientos dentados con flujo de aceite) que aseguran la unión a las máquinas impulsora e impelida. Todos los elementos giratorios están contenidos en un cárter estanco. El reductor anterior permite adaptar las revoluciones normales de los motores de 2 o 4 polos con rotor en cortocircuito al las máquinas impelidas de gran velocidad. La combinación reductor acoplador se consigue con una forma constructiva compacta que requiere un volumen reducido. Los elementos giratorios del turboacoplador regulable (rodete primario, rodete secundario y cubierta exterior) se fabrican de acero fundido o de aceros especiales. Todos los turboacopladores regulables con reductor disponen de cojinetes de fricción. Las altas cargas radiales y axiales sobre los cojinetes requieren superficies de rodadura de metal blanco. Se han previsto teletermómetros para la vigilancia de la temperatura en los cojinetes. El cárter se construye partido por su eje central y

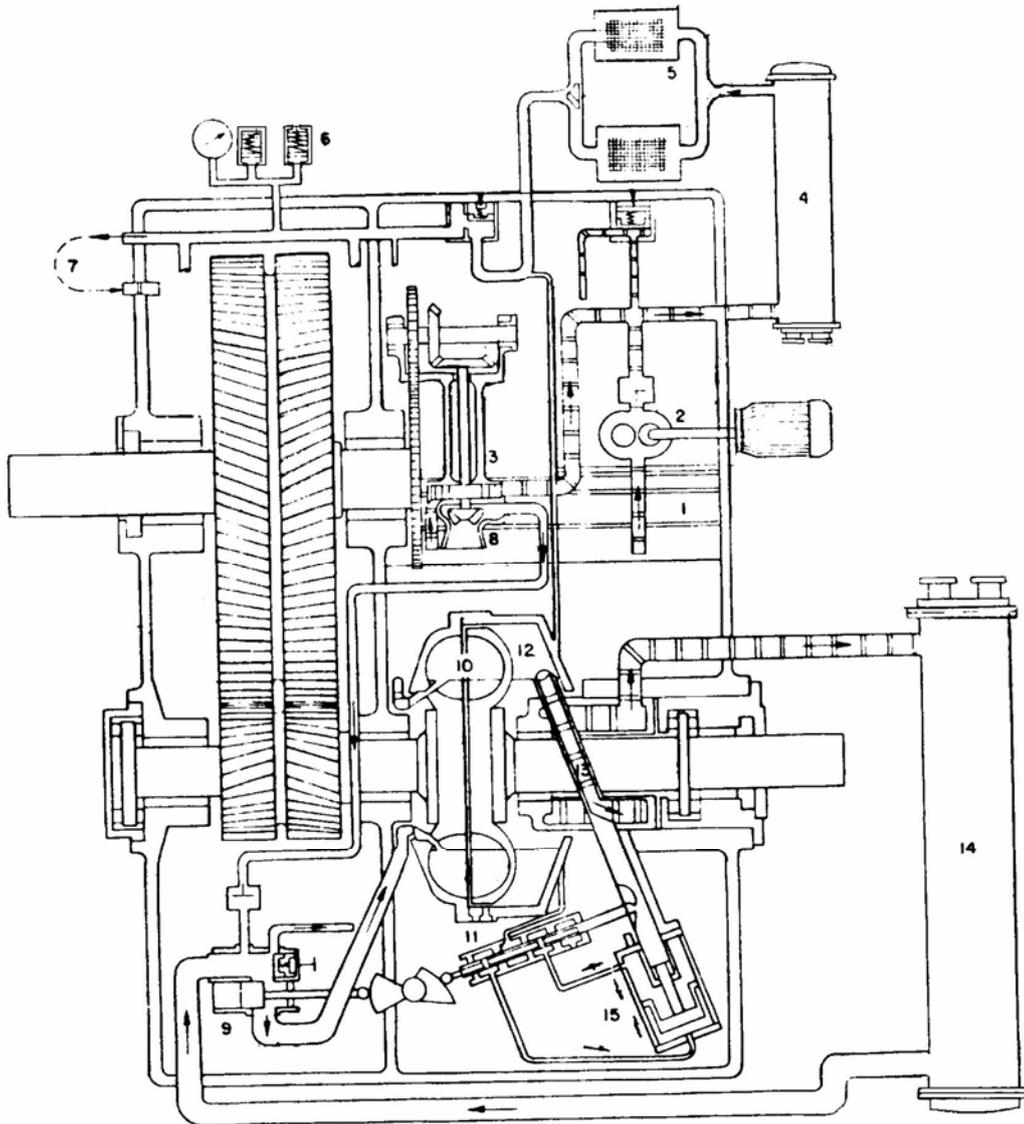
permite que después de levantar la parte superior queden fácilmente accesibles todos los cojinetes y demás elementos del acoplador y del reductor. El mantenimiento ocasiona gastos muy reducidos.

3.2.1.2 Circuito de Trabajo

Una bomba de aceite accionada por el eje de entrada del reductor aspira el aceite del depósito, incorporado en la parte inferior del carter; este aceite pasa a través de la válvula de mando de circulación a la zona de trabajo del acoplador. Esta zona de trabajo esta compuesta del rodete primario y del secundario. La zona de trabajo y la cubierta del acoplador sobre el rodete secundario están concebidos como vasos comunicantes. Debido a la fuerza centrífuga, el aceite que allí se encuentra adopta la forma de anillo, cuyo diámetro interior queda determinado por la posición radial del tubo extractor dispuesto en la zona de extracción. El aceite extraído por el tubo extractor pasa a través del refrigerador de aceite a la válvula de mando de circulación y desde aquí es conducido nuevamente a la zona de trabajo o al depósito. La válvula de mando de circulación trabaja en dependencia de la posición del tubo extractor y controla el caudal de aceite según el calor de deslizamiento producido en cada momento por el turboacoplador. El aceite sobrante retorna al cárter. Con esta válvula se consiguen tiempos de respuesta muy cortos, ya que cuando la válvula regula en sentido ascendente, deja totalmente libre el paso de aceite a la bomba y cuando lo hace en sentido descendente corta por completo el paso a la zona de trabajo.

3.2.1.3 Sistema de Lubricación

El sistema de lubricación dispone de un sistema independiente, aunque utiliza el mismo aceite. La bomba de engrase principal dispuesta en el eje de la bomba de llenado aspira el aceite del cárter y a través de un refrigerador del aceite de engrase y un filtro doble dispuesto a continuación lo envía a los diversos cojinetes y a los engranajes. Con objeto de que ya en el arranque exista una película lubricante, antes del arranque los puntos de lubricación del turboacoplador regulable reciben aceite de una bomba auxiliar de lubricación, hasta que al aumentar las revoluciones la bomba de circulación accionada mecánicamente asume sus funciones. La bomba de lubricación de arranque se para sola (con el instrumento para la vigilancia del engrase) y si baja la presión (por ejemplo al desconectar el grupo de accionamiento) entra nuevamente en servicio.



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Depósito de aceite | 8. Bomba de trabajo |
| 2. Bomba de aceite de lubricación | 9. Válvula de mando de circulación |
| 3. Bomba de engrase | 10. Zona de trabajo del acoplador |
| 4. Refrigerador de aceite lubricante | 11. Acoplamiento hidráulico |
| 5. Filtro doble | 12. Zona de extracción |
| 6. Dispositivo para la vigilancia del engrase | 13. Tubo extractor |
| 7. Lubricación del motor o de la máquina impelida | 14. Refrigerador de aceite de trabajo |

Fig. 3.6 Esquema del circuito de aceite del variador de velocidad

Para asegurar un funcionamiento continuo, existe un filtro incorporado en el circuito de lubricación. Sólo trabaja una parte del filtro y si este se ensucia, entra automáticamente la otra parte por medio de un manómetro diferencial y un contacto de alarma óptica o acústica indica la necesidad de cambio de filtro. Entonces la parte del filtro obstruida debe desmontarse y limpiarse. El aceite lubricante del turboacoplador regulable puede utilizarse para la lubricación del motor de accionamiento o de la máquina impelida.

3.2.2 Enfriador de aceite de variador de velocidad

Debido al objetivo del funcionamiento de este mecanismo hidráulico, el aceite tiene una función reguladora, donde por efectos de fricción, adquiere una temperatura elevada que, requiere la cantidad necesaria de superficie de transferencia de calor. Es del tipo de tubos rectos, de dos pasos, para transferir calor de un aceite que actúa como lubricante y para trabajo. El agua de enfriamiento es tomada del suministro de agua de circulación (es la que entra al condensador para ayudar a condensar el vapor) de la misma bomba de agua de alimentación; el flujo del agua de enfriamiento se regula con válvulas a la entrada y salida del enfriador y el aceite circula por él, al entrar en servicio la bomba auxiliar de lubricación. La operación a máxima carga de la unidad maneja una presión de 1.9 Kg/cm^2 en la entrada de aceite al enfriador a $63 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura; a la salida de aceite del enfriador se registran 1.6 Kg/cm^2 de presión y $48 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura.

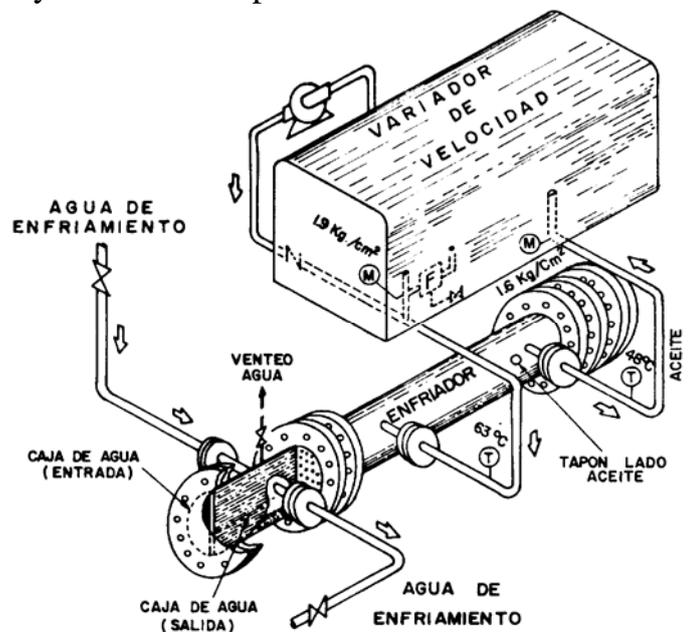


Fig. 3.7 Enfriador de aceite del variador de velocidad

3.2.3 Motor de la bomba

El motor eléctrico se encuentra colocado en forma lineal con el variador de velocidad y la bomba de agua de alimentación. El motor tiene una potencia de 6000 hp ó 4480 kW y opera con una tensión de 4000 volts y 750 amperios a una velocidad nominal de 1780 rpm.

Capitulo 4

Mantenimiento de la bomba

4.1 Planeación del mantenimiento

Para efectuar la planeación de las actividades de mantenimiento de la bomba de agua de alimentación, de la manera más eficiente, en cuanto a tiempo de duración, calidad y costo, es de suma importancia contar con los requerimientos inherentes al mismo, como son:

- a) Personal
- b) Equipo y Herramientas
- c) Refacciones
- d) Materiales
- e) Instalaciones
- f) Programas de Mantenimiento

Por la naturaleza propia de la bomba, así como por la exactitud y complejidad de sus mecanismos, se requiere que su reparación sea de máxima calidad, para que la eficiencia y producción de la misma se mantenga en los niveles adecuados. La calidad se obtiene optimizando los factores anteriormente mencionados.

Nota: Este trabajo no incluye estudio de costos y tiempo, ni mantenimiento de variador de velocidad, enfriador de aceite y motor eléctrico.

4.1.1 Personal.

Es importante que dentro de la organización de la central se cuente con personal de mantenimiento capacitado, ya que es la base de una reparación exitosa. Debe ser analista, observador, cuidadoso, ordenado, limpio y conocedor de los conocimientos teóricos y prácticos del trabajo que realiza. Es preocupación de la industria, dentro de sus programas permanentes de capacitación de personal, por su propio bienestar; formar, entrenar y mantener el nivel técnico del personal de mantenimiento, así como de seleccionar supervisores del más alto nivel profesional, necesarios para cumplir con los programas de mantenimiento.

4.1.2 Equipo y Herramientas

Para efectuar con eficiencia, seguridad y de la manera más adecuada todas y cada una de las actividades de mantenimiento, se debe contar con diversos

tipos de herramientas y equipo en cantidad suficiente y calidad optima. Para un mejor entendimiento se clasifican de la siguiente manera:

- Herramientas Básicas
- Herramientas Especiales
- Equipo Diverso

Herramientas Básicas. Es el tipo de herramienta más usual dentro de las actividades de mantenimiento, y se utiliza en varios tipos, medidas y capacidades, a continuación se enlistan algunas de ellas:

- Llaves de golpe (rectas,30°, etc.)
- Martillos y Marros
- Juego de Autocle (dados, manerales, extensiones, matracas, etc.)
- Juego de llaves combinadas
- Juego de llaves españolas
- Diferenciales y Montacargas
- Llaves perico
- Llaves steelson
- Desarmadores (planos, de cruz)
- Limas (planas, musas, bastardas)
- Tijeras para corte
- Pinzas (mecánicas, de punta, de presión)
- Juego de brocas y machuelos
- Taladros eléctricos y neumáticos
- Equipo de seguridad personal (guantes, mascarillas, cascos protectores)
- Equipo de corte y calentamiento (oxiacetileno)
- Esmeriladoras eléctricas y neumáticas
- Instrumentos de medición y calibración
- Cinceles, botadores y puntos de marca.
- Estrobos y accesorios para maniobra ligera (cable de acero, pernos, etc)
- Juego de llaves allen
- Equipo para soldar con arco eléctrico

Herramientas especiales. Este tipo de herramientas como su nombre lo indica, se utiliza en ciertas actividades especiales. A continuación se enlistan algunas de ellas:

- Herramienta para retirar chumaceras de carga
- Pernos guía

- Tornillos sujetadores y retenedores
- Llaves matraca tipo estrías
- Accesorios para maniobra pesada

Equipo diverso. Dentro del equipo necesario para efectuar las actividades de mantenimiento se consideran los siguientes:

Equipo y maquinaria para manejo y maniobras

- Grúa montada sobre camión
- Camioneta pick-up

Maquinaria de taller

- Máquinas de soldar (eléctricas)
- Esmeriles de banco

4.1.3 Refacciones

Como los requerimientos de inspección y mantenimiento del equipo se pueden definir hasta cierto punto con anterioridad, dependiendo del tipo de servicio (horas de operación, condiciones de operación) es necesario contar con existencias de refacciones y partes de repuesto para efectuar los mantenimientos eficientemente y en el tiempo programado para ello. A continuación se enlistan las refacciones que se requieren usualmente durante los mantenimientos:

- Chumaceras y componentes
- Tornillería (varios tipos y tamaños)
- Retenes y sellos
- Sellos mecánicos
- Flechas, impulsores, coples, etc.
- Empaques, empaquetaduras especiales

4.1.4 Materiales

Otro de los factores requeridos con anterioridad para efectuar el mantenimiento, es el renglón de materiales de consumo, que constituye un elemento auxiliar de gran importancia, como son:

- Diversos solventes limpiadores
- Empaquetaduras y empaques
- Tornillería, seguros y arandelas
- Material para limpieza (estopa, trapo limero, etc.)
- Tubería (diversos diámetros y tipos)
- Bolsas (polipropileno)
- Grasas y aceites
- Compuestos selladores y antiferradores
- Material abrasivo (lijas, piedras de asentar, etc.)
- Compuestos para pruebas no destructivas
- Material de aislamiento térmico (asbesto, lana mineral, etc.)
- Soldadura especial para mantenimiento
- Durmientes y madera en tablones
- Lonas impermeabilizadas

4.1.5 Instalaciones

Este factor también es muy importante, ya que es necesario contar con las instalaciones adecuadas, que permitan la limpieza, rapidez y optimización de la ejecución de las actividades del mantenimiento. Deben ser prácticas, amplias, con buena ventilación y visibilidad de acuerdo al tipo de componentes de la bomba.

- Taller mecánico
- Mesas de trabajo
- Taller de máquinas-herramientas
- Almacén de refacciones y materiales
- Área de maniobras
- Área para mantenimiento

De nada o poco servirá tener personal brillante y herramientas completas, si las estaciones o locales donde se realizan las actividades de mantenimiento no son adecuadas; ya que se retrasará el mantenimiento y su calidad por consiguiente será baja.

4.1.6 Programas de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento preventivo rutinario y general del equipo se integran de acuerdo a las condiciones particulares de cada grupo en los formatos anexos:

- Programa de mantenimiento preventivo rutinario
 - Programa de mantenimiento general (mantenimiento correctivo)
- a) Mantenimiento preventivo rutinario. Este tipo de mantenimiento engloba todas las actividades que se deben de efectuar rutinariamente con periodicidad y no necesariamente por falla en el equipo. Se realizan semestralmente. El tipo de operación y servicio del equipo determina en gran parte los trabajos de mantenimiento preventivo que deben ejecutarse (inspección, ajustes, reparación, análisis, limpieza, lubricación, calibración, etc.). Las recomendaciones del fabricante del equipo y la experiencia del personal son también factores muy importantes para la ejecución de dichos trabajos.
- b) Mantenimiento general. Se trata de un mantenimiento del tipo correctivo y consiste en una inspección y reacondicionamiento total de la unidad con el fin de restituir las condiciones operativas, en tal forma que pueda ser utilizado a su capacidad y eficiencia originales. Se realiza cuando se registra una disminución de carga, y normalmente se cambia la voluta, los empaques, los sellos de agua, las tapas de los sellos y las chumaceras. Se lleva a cabo en periodos mayores a dos años.

4.2 Inspección en una bomba de agua de alimentación

Las bombas de agua de alimentación deben ser inspeccionadas constantemente.

Observación diaria. Las instalaciones de bombas que se atienden constantemente deberán inspeccionarse cada hora y todos los días. El operador debe reportar inmediatamente cualquier irregularidad en la operación de la bomba. Un cambio de sonido en una bomba que esta trabajando, debe investigarse inmediatamente. Las temperaturas de los cojinetes deben operarse cada hora. Un cambio repentino de temperatura en un cojinete es una indicación mucho más clara de dificultades que una temperatura alta constante. Si la bomba está equipada con chumaceras aceitadas con anillo se deberá observar el funcionamiento apropiado de los anillos de aceite.

También se debe observar cada hora el funcionamiento de los estoperos. Se debe revisar el escurrimiento de los estoperos para ver si es suficiente para

proporcionar enfriamiento y lubricación a la empaquetadura pero no excesiva y con desperdicio.

Los manómetros e indicadores de flujo, si están instalados, deberán también revisarse cada hora para su correcta operación. Los instrumentos registradores, si se cuenta con ellos, se deben verificar todos los días para asegurarse que la capacidad de salida, tensión o consumo de corriente no indican que algo necesita atención.

Inspección semestral. El sello hidráulico deberá revisarse cada medio año para ver que tenga movimiento libre. Se deberán limpiar y aceitar los pernos y tuercas del sello hidráulico. El alineamiento de la bomba y del impulsor deberá verificarse y corregirse si es necesario. Los cojinetes lubricados con aceite deberán vaciarse, escurrirse y llenarse con aceite nuevo.

Inspección anual. Las bombas centrífugas se deben inspeccionar muy cuidadosamente una vez al año. Además del procedimiento de mantenimiento semestral, se deben desmontar los cojinetes, limpiar y examinar si tienen defectos.

Las cajas de cojinetes deben limpiarse cuidadosamente. Los cojinetes antifricción deben examinarse, para ver si están rayados o si tienen desgaste, después de limpiarse. Inmediatamente después de la inspección, los cojinetes deben cubrirse con una capa de aceite para evitar que les entre la mugre o la humedad.

Los drenes, tubería de agua de sello, tubería de agua de enfriamiento y otras tuberías deberán revisarse y soplarse. Si se usa un enfriador de aceite, deberá soplarse y limpiarse.

Si se tienen disponibles dispositivos e instrumentos de medición, éstos deberán recalibrarse y hacer una prueba para determinar si se tiene un funcionamiento correcto. Si se hacen reparaciones internas deberá probarse nuevamente la bomba al terminar la reparación.

4.2.1 Puntos a revisar en mantenimiento

- Desplazamiento axial de la bomba
- Coples y tornillos
- Alineación radial

- Alineación axial
- Cojinete de carga lado libre y lado cople
- Huelgos de cojinetes en ambos extremos
- Cojinetes de empuje
- Claros de deflectores de aceite
- Tuerca de compresión del manguito de compresión y descarga
- Anillos de espaciamento
- Sello de retención “O” Ring
- Anillo de aceite de control
- Plato de retención interior
- Sello de anillos flotantes del eje
- Estado del aceite

4.2.2 Sobrecarga

La bomba fue diseñada para determinadas características de carga, capacidad, velocidad, etc. Esto es lo que la mayor parte del personal está haciendo. Esto se aplica especialmente a bombas que se ordenaron para operar intermitentemente. Olvide la característica intermitente, la bomba puede alcanzar esas condiciones, por lo que hay que dejarla operar así todo el tiempo. Eso es, 24 horas al día, 7 días a la semana. Usted no tendrá que afrontar una disputa de trabajo, pero, como cualquier equipo sobre trabajado, la bomba fallará un día de un eje roto, una chumacera o balero destruido.

4.2.3 Falta de lubricación

Las chumaceras y valeros ya sean lubricados con grasa o aceite necesitan reponer la lubricación periódicamente para trabajar satisfactoriamente. Y si

se quiere una falla por falta de lubricación, nunca dé a la grasera una buena llenada o para las chumaceras lubricadas con aceite que generalmente vienen con una aceitera de nivel constante, asegúrese que la aceitera esté vacía.

4.2.4 NPSH

La bomba aspira líquido por su tubería de succión. Para que falle es necesario que el NPSH disponible (presión total de succión menos la presión del vapor del líquido bombeado a la temperatura de succión) sea menor que el requerido por la bomba. Vamos a suponer que en el tiempo de la instalación

original había suficiente NPSH disponible. Entonces puede fallar la bomba por estos tres modos: a) Si se está bombeando de un pozo, baje el nivel del agua lo suficiente debajo de la bomba; b) Si se tiene un filtro en la succión, deje que se tape con basura, y no se limpie y c) Si se está bombeando líquido caliente, deje que la temperatura suba sin aumentar su presión de succión para compensar el aumento de la presión del vapor. Esto nos provocará ruidos extraños en el interior, y si los ruidos aumentan, pronto se tendrá el impulsor erosionado hasta el punto de no poder repararlo.

4.2.5 Líquido a bombear

Cuando se ordenó el equipo, se le indicó al fabricante qué líquido se trataba de bombear. Por lo que los materiales que se utilizaron para fabricarla se seleccionaron adecuadamente. Ahora, para que falle la bomba, únicamente se cambia el fluido que se está bombeando sin consultar al fabricante. Entonces se usan aditivos químicos, aún a bajas concentraciones. De vez en cuando se cambia la temperatura de ciertos ácidos que se esté bombeando. Con un poco de suerte se puede iniciar la acción corrosiva de la unidad. Entonces la máquina presentará muchos agujeros, lo cual repercute en la eficiencia.

4.2.6 Filtros

La bomba está hecha de metal por lo que *nada puede dañarla*. Por lo tanto es necesario retirar el filtro de la succión. Los cuales solamente se tapan todo el tiempo, procure que en la succión haya bastante tierra, arena, rebabas y todo lo parecido al fluido bombeado. Las partículas pulirán y erosionarán esmeradamente las partes internas de la bomba, especialmente los anillos de desgaste así como las áreas de las mangas de la flecha. Con lo que las pérdidas hidráulicas y volumétricas aumentarán considerablemente en perjuicio de la vida del equipo.

4.2.7 Sobrecargue la succión y descarga

Se puede romper la bomba en pedazos de varios modos. Un método popular es cargar grandes pesos de tubería en la succión y descarga. Esto puede llevarse a cabo tanto por desalineación inicial, por expansión térmica de la tubería o por líneas no autosoportadas. Si las bridas de la tubería no se unen exactamente con las bridas de la bomba, no cambie la tubería, únicamente jálala hasta que se una por medio de una garrucha y atorníllela a la bomba. También no ponga juntas de expansión si está bombeando líquido caliente o

frío. ¿Qué son unos pocos cientos de grados cuando el coeficiente de expansión de la mayor parte de los materiales de tuberías es tan bajo?. Tendrá la suerte de despegar la bomba de su base.

4.2.8 Desalineación

El modo más fácil de hacer fallar los puntos de apoyo, es por desalineación en el cople. Pero asegúrese de que sea mayor que la cantidad que un cople flexible puede compensar. Esto sujetará a fuerzas alternas a las chumaceras y a la flecha, lo cual, lenta pero inexorablemente despegará algo.

La desalineación puede obtenerse de varios modos. Uno es instalando inicialmente desalineados los ejes motores de la bomba o instalando una cimentación débil. Esto facilitará que su bomba o su motor se muevan fuera de lugar durante la operación.

Estas son las formas más fáciles de acabar con una bomba. No es rápido pero actúa acelerando el deterioro. Cuando se compró su equipo, probablemente fue instruido por el fabricante a efectuar revisiones semestrales o anuales. Pero si se quiere que una bomba tenga una vida corta, no revise la empaquetadura, sellos mecánicos, tornillos del prensaestopas, o todos los demás pequeños conceptos que pueden ser reparados o repuestos fácil y económicamente. Deje que éstas partes se deterioren completamente. Entonces el mal funcionamiento afectará los componentes internos. Niéguele una pequeña engrasada a su acoplamiento de tipo de engrane, nunca revise el acoplamiento, nunca cambie el filtro de aceite.

4.3 Métodos de reparación

Los problemas de mantenimiento del equipo de bombeo varían de sencillos complicados. En general, las piezas que componen la bomba, después de ser desensambladas se inspeccionan cuidadosamente y dependiendo del estado en que se encuentren y la función que realizan, se decide si se cambian definitivamente por otras nuevas, se reconstruyen dependiendo del daño que presenten y de su vida útil, o si sólo se preparan para volverlas a instalar.

4.3.1 Cojinetes de carga y empuje

Se pueden reparar teniendo precaución ante todo de una buena limpieza, aplicándole el grado de material babbitt adecuado, para lo cual deben

precalentarse aproximadamente a la temperatura de fusión del estaño y aplicar el babbitt con un caudín de cobre al cual se le aplica calor con un equipo de oxiacetileno para ir depositando por capas, el metal antifricción.

El metal babbitt es un término general que se aplica a metales a base de plomo y estaño, los cuales se usan fundidos para revestimientos interiores o casquillos de los respaldos de bronce o de acero que constituyen los cojinetes. En general, estos metales se emplean con preferencia a los bronce para las velocidades mayores y cargas alternativas, pero son menos seguros contra los abusos. Tienen excelente capacidad embebedora (o sea, de encerrar dentro de sí las partículas extrañas) y muy buena condición de conformabilidad (condición de deformarse plásticamente para compensar las irregularidades que se encuentren en el montaje del cojinete). Muchas de las aleaciones a base de estaño y a base de plomo pueden sustituirse unas por otras. Sin embargo, en relación con las de base de plomo, las de base de estaño tienen mejor resistencia a la corrosión de los aceites ácidos, pero son de costo considerable.

4.3.2 Anillos de desgaste y bujes de la cubierta intermedios

Es difícil generalizar en la cantidad de desgaste aceptable antes de que una bomba tenga que desarmarse y se renueve la junta de desgaste, porque intervienen demasiados factores. El escurrimiento interno por los anillos naturalmente significa una pérdida de eficiencia. Se deben renovar los anillos cuando el costo de la reparación se compense con el ahorro de fuerza. Así, con el uso continuo y alto costo de la energía, se justifica una renovación más frecuente. La regla general de que el aumento de espacio libre de un 100% en el juego de los anillos justifica la reposición de ellos, puede usarse como guía.

4.3.3 Flecha

La flecha no se recomienda repararla porque cambian sus propiedades mecánicas, si se trata de aplicar soldadura por arco.

4.3.4 “O” Ring y empaquetaduras

Cambiarlas todas nuevas.

4.3.5 Tornillería

Revisar la longitud de tornillos y espárragos de las tapas del barril en caso de que tengan una elongación exagerada de $\frac{1}{2}$ hilo de la cuerda.

4.3.6 Mantenimiento de Impulsores

Un impulsor que se saca de la cubierta de una bomba deberá examinarse cuidadosamente en todas las superficies para ver si hay desgaste indebido, como de abrasión, corrosión o cavitación. La mayoría de las bombas para servicio general utilizan impulsores de bronce, que tienen una vida razonablemente larga. Ocasionalmente esas bombas operan en elevaciones de succión altas o a capacidades parciales y ambas cosas afectan la vida del impulsor.

- *Cavitación.* En los flujos líquidos pueden crearse condiciones que den lugar a una presión inferior a la presión de vapor del líquido. Cuando esto sucede, se forman burbujas localmente. Este fenómeno llamado cavitación, puede ser muy dañino cuando las burbujas son transportadas por el flujo a regiones de más alta presión. Lo que sucede es que las burbujas se colapsan al entrar en la región de más alta presión, y este colapso produce picos de presión, locales que podrían dañar las aspas de un impulsor.
- *Abrasión.* Es producida por los sólidos en suspensión en el líquido. Las bombas que manejan agua que contiene arena pueden usar impulsores de bronce, hierro colado, ferroniquel fundido y aún acero al cromo, dependiendo de la cantidad de arena, su grado de abrasión y el carácter del agua.

Siempre que se saque durante una reparación un impulsor del rotor de la bomba, debe revisarse el equilibrio. Para balancear un impulsor con caja, la mejor práctica es montar el impulsor fuera de centro en un torno y hacer un corte (que será más profundo en la periferia) de la caja. El corte puede hacerse en ambas guarniciones, dependiendo del espesor real y de la cantidad de metal que hay que quitar.

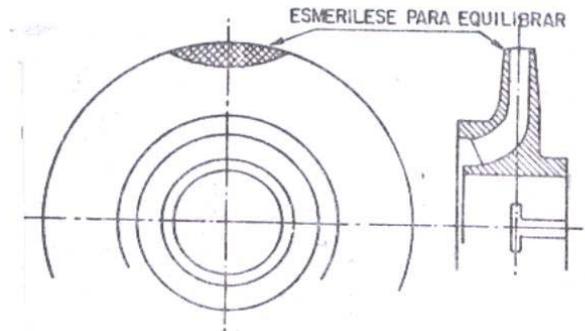


Fig. 4.1 Método para balancear un impulsor

4.3.7 Mantenimiento a manguitos de flecha

Los manguitos de flecha son generalmente la parte de la bomba que se desgasta más rápidamente y la que requiere más frecuentemente reponerse. Una vez que los manguitos se han desgastado apreciablemente, la empaquetadura no puede ajustarse para evitar escurrimiento excesivo. De hecho, los manguitos gastados excesivamente, con frecuencia rasgan y marcan cualquier empaquetadura nueva tan pronto como se coloca. Por ello, los manguitos requieren frecuentemente reparación o reposición cuando no es necesaria ninguna otra reparación en la bomba.

Los manguitos de bombas de un solo paso y de poca altura de elevación se pueden sacar fácilmente. Como puede ser más difícil sacar los manguitos más largos, que a veces se usan en bombas de alta presión de varios pasos, con frecuencia se fabrican con ranuras exteriores de modo que se puede utilizar un extractor de manguitos.

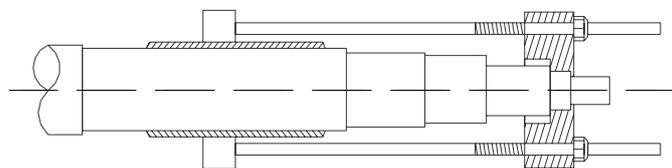


Fig. 4.2 Extractor de manguito de flecha

Los manguitos de flecha algunas veces se reparan con soldadura y luego rectificándolos. Este procedimiento no se recomienda para bombas en servicio severo o si las facilidades existentes para la rectificación o acabado final son

inadecuadas. Es necesario asegurarse tanto de la concentricidad del esmerilado como de la perpendicularidad de las caras radiales de la flecha a sus bordes. La concentricidad se deberá volver a rectificar después de armar el rotor. Los manguitos reparados deben tener una superficie buena, bien lisa. Los manguitos desgastados, ordinariamente se reponen en vez de repararse. Deberán cortarse teniendo gran cuidado de no dañar la flecha.

4.4 Desarrollo de actividades

Actividad	Desarrollo
<p>1 Desacoplar bomba – variador de velocidad</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desmontar guarda del acoplamiento. 2. Desacoplar bomba – variador de velocidad, retirar espaciador y marcar puntos de referencia. 3. Extraer cople lado bomba, precalentando para ese fin.
<p>2 Desmontar caja de chumaceras lado libre</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconectar líneas de entrada y salida de aceite. 2. Desmontar tapa frontal de la caja de chumaceras. 3. Aflojar opresores y separar el anillo deflector de aceite exterior de la caja de chumaceras. 4. Extraer plato retenedor de aceite exterior. 5. Desmontar anillo de control de aceite. 6. Desmontar zapatas y caja de balancines de la chumacera de empuje axial. 7. Extraer tuerca y collar de empuje. 8. Extraer plato retenedor interno y anillo localizador de rotor. 9. Desmontar chumacera de carga radial. 10. Extraer anillo deflector de aceite interior. 11. Desmontar soporte inferior de la

	<p>caja de chumaceras con sus respectivas guías.</p> <p>12. Extraer anillo deflector de aceite exterior .</p> <p>13. Desconectar líneas de agua de sellos y de agua de balance.</p>
<p>3</p> <p>Desmontar caja de chumaceras lado cople</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconectar líneas de entrada y salida de aceite. 2. Aflojar opresores y separar el anillo deflector de aceite exterior en la caja de chumaceras. 3. Desmontar tapa superior de la caja de chumaceras. 4. Desmontar chumacera de carga radial. 5. Desmontar soporte inferior de la caja de chumaceras con sus respectivas guías. 6. Extraer anillos deflectores de aceite internos. 7. Extraer anillo deflector de aceite exterior. 8. Desconectar líneas de agua de sellos.
<p>4</p> <p>Desmontar voluta de la bomba</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desmontar tubería de drenes de la tapa de agua de sellos en lado libre y lado cople. 2. Desmontar tapas de las cajas de agua en sellos en lado libre y lado cople. 3. Extraer tuerca de la manga del conjunto de agua de sellos en ambos lados. 4. Extraer caja de agua de sellos flotantes en lado libre y lado cople. 5. Desmontar cubierta del barril lado libre. 6. Instalar patín y maniobra. 7. Extraer y bajar voluta del patín. 8. Retirar patín y maniobra.

	<p>9. Realizar limpieza e inspección del barril.</p> <p>10. Inspeccionar y rehabilitar barril internamente.</p>
<p>5</p> <p>Dimensionar chumaceras de carga, manga y buje reductor de presión</p>	<p>1. Realizar medición del diámetro interior de las chumaceras de carga radial. Estas deberán tener un huelgo de: $0.006'' + 0.003''$ $- 0.000''$ diametralmente con respecto a los muñones del eje.</p> <p>2. Realizar mediciones del diámetro exterior de la manga y del diámetro interior del buje reductor de presión. El huelgo entre estos deberá ser de: $0.012'' + 0.002''$ $- 0.000''$ diametralmente.</p>
<p>6</p> <p>Revisar sellos flotantes de cajas de agua de sello en lado libre y lado cople.</p>	<p>1. Desmontar tapa de la caja de agua de sellos.</p> <p>2. Extraer conjunto de sellos flotantes.</p> <p>3. Revisar e inspeccionar sellos.</p> <p>4. Montar conjunto de sellos flotantes.</p> <p>5. Montar tapa de la caja de agua de sellos.</p>
<p>7</p> <p>Armar bomba</p>	<p>1. Instalar patín y maniobra.</p> <p>2. Montar voluta al patín e introducir ésta al barril.</p> <p>3. Retirar patín y maniobra.</p> <p>4. Acoplar cubierta al barril.</p> <p>5. Apretar cubierta uniformemente, verificar con un calibrador de hojas, que el claro entre caras de la cubierta y barril sea de: $0.030'' + 0.010''$ $- 0.000''$</p> <p>6. Aplicar torque de 1250 kg f – m en forma uniforme. Verifique el apriete, realizando dos recorridos, tuerca a tuerca.</p>

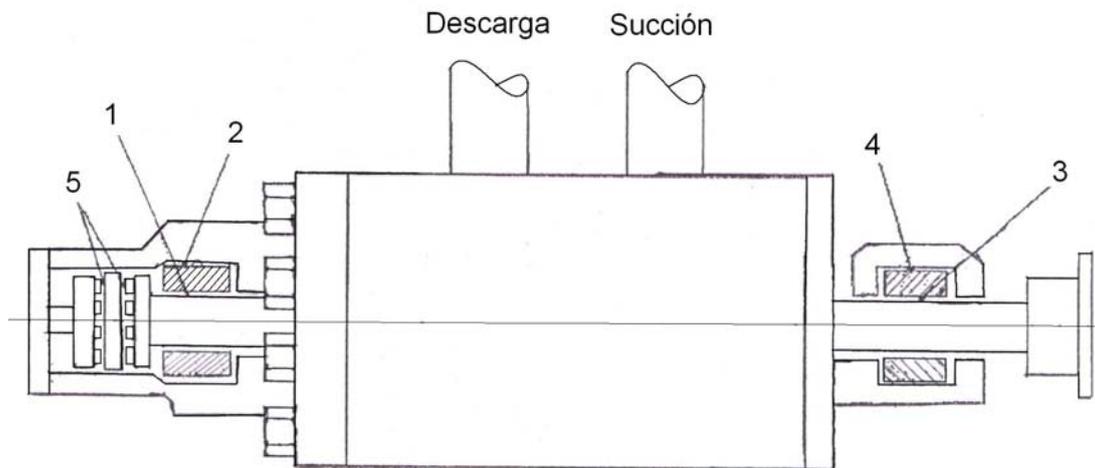
<p>8 Centrar rotor o eje rotativo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Montar soportes inferiores de la caja de chumaceras en lado libre y lado cople con sus respectivas guías, apretando moderadamente. 2. Retirar las guías del lado libre y lado cople y colocar tornillos gato en ambos soportes. 3. Colocar indicadores en posición horizontal y vertical en lado libre y lado cople. 4. Levantar el eje lado libre y luego lado cople, para verificar el huelgo total de los anillos de desgaste. 5. Montar chumaceras inferiores en ambos lados y verificar centrado del eje rotativo. 6. Verificar una vez centrado el eje rotativo su giro libre, previa lubricación del mismo. 7. Efectúe rimado en ambos lados, verificando que el contacto entre guías y contactos sea correcto. 8. Desmontar chumaceras y soportes inferiores para realizar limpieza. 9. Montar nuevamente soportes inferiores y chumaceras para verificar que las guías centren adecuadamente al eje rotativo. 10. Efectuar medición del desplazamiento axial total del eje con indicador de carátula.
<p>9 Efectuar montaje de caja de agua de sellos flotantes</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Montar caja de agua de sellos flotantes. 2. Montar tuerca de la manga del conjunto de agua de sellos 3. Montar la tapa de la caja de agua de sellos. 4. Montar tubería del dren de la tapa de agua de sellos.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Montar soporte inferior de la caja

<p>10 Obtener huelgos de chumaceras de carga</p>	<p>de chumaceras con sus respectivas guías.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Montar parte inferior de la chumacera de carga. 3. Colocar longitudinalmente el hilo de plomo de 0.5 mm. de diámetro sobre el muñon. 4. Colocar parte superior de la chumacera y encima de esta colocar hilo de plomo del mismo diámetro anterior. 5. Ensamblar tapa superior con sus respectivas guías, apretando uniformemente los tornillos. 6. Barrenar si es necesario, la parte superior de la chumacera para el alojamiento del termopar. 7. Retirar tapa y chumacera superior para medir los hilos de plomo, para determinarlos huelgos entre chumacera – muñon, mismo que deberá ser de: $0.006'' + 0.003'' - 0.000''$ y entre chumacera y tapa mismo que deberá ser de: $0.003'' + 0.001'' - 0.000''$.
<p>11 Calcular espesor del anillo localizador del rotor</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar caja de balancines lado interior en caja de chumacera lado libre. 2. Ensamblar anillo localizador de prueba, junto con el collar de empuje y apretar la tuerca del collar. 3. Colocar el indicador para medir el desplazamiento axial total del elemento rotativo, el cual deberá ser el mismo obtenido en el punto 10 de la actividad 8. 4. Desplazar totalmente el eje rotativo hacia el lado libre y colocar las

	<p>zapatillas del lado interno.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Poner en posición cero el indicador y desplazar totalmente el eje rotativo hacia el lado cople, la lectura deberá ser la mitad de la obtenida en el punto 3 de esta actividad. 6. Barrenar collar de empuje para seguro de la tuerca. 7. Desmontar partes de la caja de chumaceras y realizar limpieza.
<p>12 Realizar montaje final de caja de chumaceras lado libre.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introducir anillo deflector para aceite exterior. 2. Montar soporte exterior de la caja de chumaceras con sus respectivas guías. 3. Introducir anillo deflector para aceite interior. 4. Montar parte superior e inferior de la chumacera de carga radial. 5. Introducir plato retenedor interno y anillo localizador de rotor. 6. Introducir collar de empuje y tuerca del collar. 7. Montar caja de balancines y zapatas de la chumacera de empuje axial. 8. Montar anillo de control de aceite. 9. Introducir plato retenedor de aceite exterior. 10. Montar tapa superior de la caja de chumaceras con sus respectivas guías. 11. Montar tapa frontal de la caja de chumaceras.
<p>13 Realizar montaje final de caja de chumaceras lado cople</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introducir anillo deflector para aceite exterior. 2. Montar soporte exterior de la caja de chumaceras con sus respectivas guías. 3. Introducir anillo deflector para

	<p>aceite interior.</p> <ol style="list-style-type: none"> Montar parte superior e inferior de la chumacera de carga radial. Montar tapa superior de la caja de chumaceras con sus respectivas guías.
<p>14 Montar cople de la bomba</p>	<ol style="list-style-type: none"> Realizar limpieza en cople y en zona del eje rotativo. Verificar que el ajuste a contra presión entre cople y eje sea de: $0.001 + 0.0005''$ $- 0.000''$ Verificar que la cuña entre libremente entre el cuñero del eje y el cople. Precalentar el cople a una temperatura de $120^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}$ $- 0^{\circ}\text{C}$ Lubricar el eje e introducir el cople.
<p>15 Calcular huelgo axial de la chumacera de empuje</p>	<ol style="list-style-type: none"> Desplazar totalmente el elemento rotativo hacia el lado libre. Colocar el indicador con base magnética y ponerlo en posición cero. Desplazar totalmente el elemento rotativo hacia el lado cople y medir el huelgo axial, el cual deberá ser de: $0.012''$ $+ 0.002''$ $- 0.000''$ Corregir si es necesario, cambiando la junta de la tapa frontal de la caja de chumaceras lado libre. Acercar y apretar el anillo deflector para aceite exterior en ambos lados. Anotar datos obtenidos
	<ol style="list-style-type: none"> Efectuar limpieza en los apoyos

<p>16 Alinear bomba – variador de velocidad</p>	<p>del variador de velocidad.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Fijar el soporte para indicadores en el cople. 3. Fijarlos indicadores en posición axial y radial, dejándolas en posición cero. 4. Considerar la posición horizontal (izquierda – derecha) parado frente a la bomba. 5. La bomba deberá quedar alineada radialmente con respecto al variador como sigue: Desplazada $0.014'' + 0.002'' - 0.000''$ diametralmente hacia la izquierda y $0.014'' + 0.002'' - 0.000''$ diametralmente hacia arriba. La bomba deberá quedar alineada axialmente con respecto al variador con un error permisible de: $0.000'' +/- 0.001''$ 6. Verificar la separación entre ejes del variador y de la bomba la cual deberá ser de : 230 mm. 7. Anotar datos obtenidos.
<p>17 Acoplar bomba- variador de velocidad</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Montar y acoplar el espaciador con sus respectivos puntos de referencia. 2. Montar la guarda del acoplamiento.



1. Huelgo en chumacera lado libre
2. Apriete entre carcaza y chumacera
3. Huelgo en chumacera lado coquele
4. Apriete entre carcaza y chumacera
5. Huelgo en chumacera axial

Fig. 4.3 Esquema de la revisión de huelgos y desplazamiento axial en chumaceras

4.5 Alineación

Alinear dos máquinas que trabajan con sus flechas acopladas, es hacer colineales los ejes de rotación de las flechas en el plano del acoplamiento. Es decir, no se alinean coples, se alinean flechas. Los coples para efecto de alineación son simplemente las piezas de apoyo de los instrumentos de medición. La desalineación puede ser de tres clases:

1. *Desalineación radial*: desalineación radial se entiende por la distancia entre los ejes paralelos de dos flechas, medido radialmente.
2. *Desalineación axial o angular*: Es aquella que forman los ejes de dos máquinas convergiendo en el plano del acoplamiento y que se mide en la dirección axial entre las caras del coquele.
3. *Desalineación combinada*: Es la mezcla de los dos anteriores y es lo que comúnmente se encuentra en las máquinas.

La corrección de la desalineación se divide en dos partes:

- Cuantificar la desalineación radial y axial en milésimas de pulgada o en centésimas de milímetro.

- Calcular los movimientos necesarios en las máquinas y los cambios de calzas bajo sus bases o pedestales para corregir la desalineación encontrada.

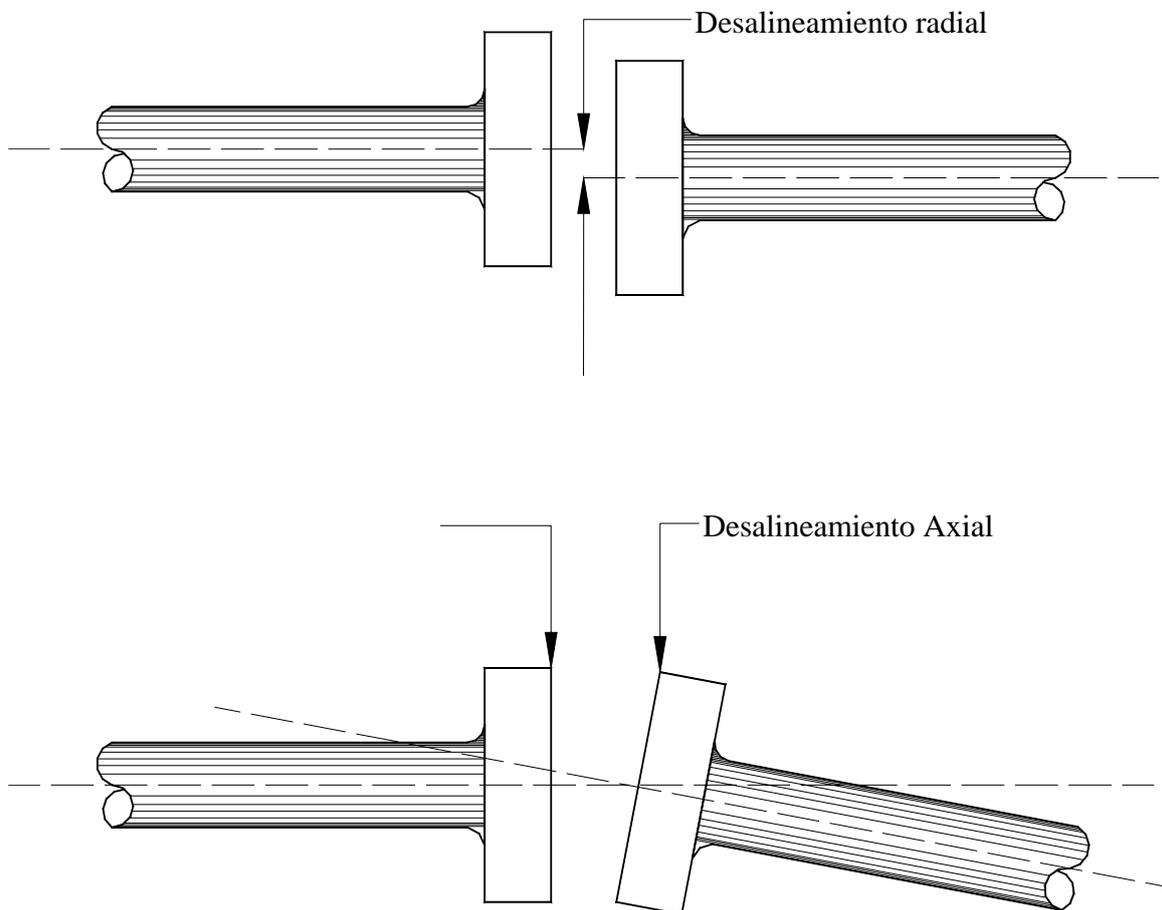


Fig. 4.4 Tipos de desalineación

4.5.1 Determinación de la desalineación en dos flechas desalineadas

Preliminares

- Hacer una marca coincidente en ambos coples, para indicar el punto de partida. Normalmente junto o en la marca se graba un cero y se denomina el cero del acoplamiento.
- Las lecturas se hacen para las posiciones diametralmente verticales y horizontales del cero del acoplamiento y en giros de las flechas de 90° en 90°.

- Las lecturas se tomarán después de girar las dos flechas y haber hecho coincidir las marcas de los coples.
- El giro de las flechas debe hacerse en la misma dirección de la rotación de la unidad.

Lecturas radiales.

Pueden tomarse con un calibrador de linternas y un tacón fijo en uno de los coples y proyectando en el otro. O un micrómetro indicador, fijo en uno de los coples y el botón detector apoyado en el otro. En la mayoría de los micrómetros indicadores cuando el botón detector se acerca al indicador, la lectura en la carátula es positiva y negativa cuando se aleja. La carátula es ajustable y puede ponerse la manecilla en cero para cualquier posición. Se requieren cuatro lecturas como se indica en la figura:

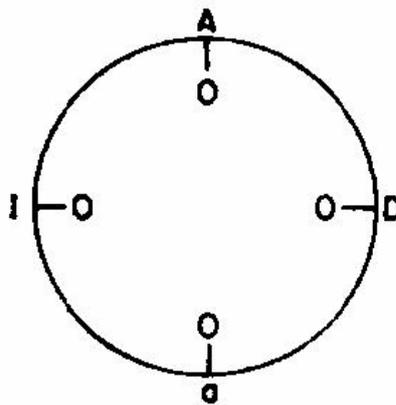


Fig. 4.5 Registro de lecturas en cuatro posiciones opuestas utilizando indicador de carátula; A) arriba, a) abajo, I) izquierda y D) derecha

- A- Lectura acoplamiento arriba
- a- Lectura acoplamiento abajo
- I- Lectura acoplamiento Izquierda
- D- Lectura acoplamiento derecha

Lecturas axiales o angulares.

Se toman en la dirección axial. Desde luego la desalineación axial puede ser vertical, horizontal y combinada como es lo más común. Las lecturas

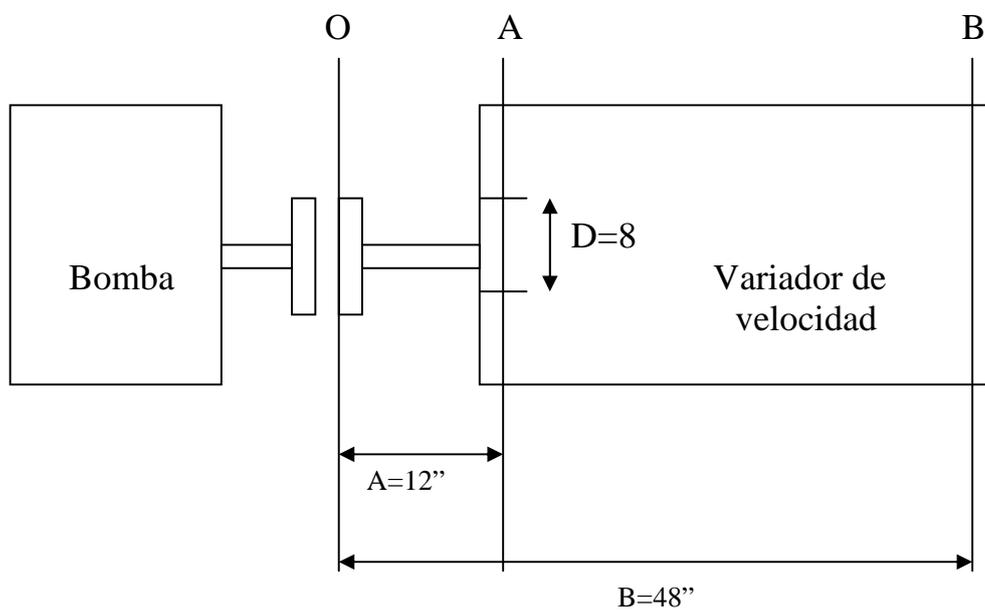
también se toman en las cuatro direcciones principales: arriba, abajo, izquierda y derecha del acoplamiento.

4.5.2 Corrección de la desalineación

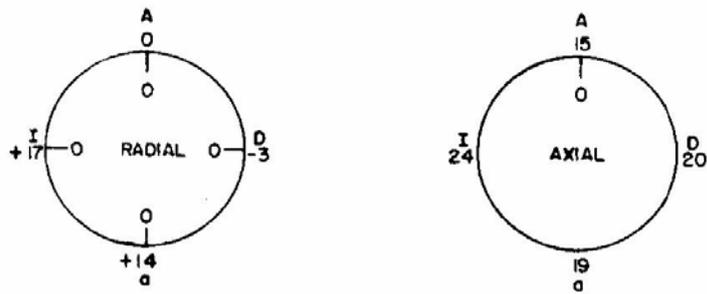
- Hacer un croquis indicando las distancias longitudinales desde el acoplamiento, hasta las partes de apoyo de las bases de la máquina que se va a mover.
- Con los valores de la desalineación encontrados, calcular *primero* las calzas necesarias para corregir la *desalineación axial horizontal más la desalineación radial horizontal*. La suma o resta de ellas (según lo indique la desalineación) será el total.
- Para corregir la *desalineación vertical* seguir los mismos pasos que en el horizontal anterior, con los valores verticales.

Ejemplo:

Se tiene el siguiente arreglo de bomba y variador de velocidad.



Se toman las correspondientes lecturas en milésimas de pulgada:



Existe desalineación radial y axial, y el reloj está fijo en el cople de la bomba. Las lecturas radiales indican mediante estos valores y los signos correspondientes (+/-) que el variador de velocidad se encuentra desplazado hacia la izquierda y hacia abajo, y se deberá mover a la derecha y hacia arriba para poder alinearlos.

Las lecturas axiales indican un desalineamiento axial, pues, el cople del variador de velocidad se encuentra más próximo al de la bomba en el lado izquierdo que en el derecho, y más próximo abajo que arriba.

En seguida se calcula la distancia que se ha de mover el variador de velocidad para corregir el desalineamiento axial mediante la fórmula:

$$\frac{(Error) \times (Distancia)}{DCople} = \text{Corrección del desalineamiento axial}$$

- Error = Diferencia entre las lecturas horizontales ó verticales (I – D ó a – A)
- Distancia = Distancia entre el punto de acoplamiento y las bases de apoyo de la máquina
- DCople = Diámetro del cople

Cálculo axial horizontal

Primeramente se obtiene la diferencia en las lecturas axiales horizontales

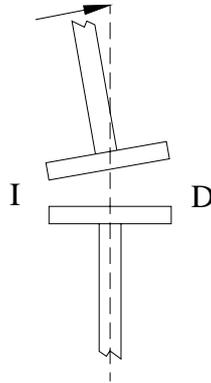
$$I - D = 24 - 20 = 4; \text{ Error} = 4 \text{ milésimas}$$

Según los datos obtenidos la distancia del cople a la primera base de apoyo es de 12 pulgadas y entre el cople y la segunda base de apoyo hay 48 pulgadas, entonces:

$$\frac{(Error) \times (Distancia)}{DCople}$$

$$\text{Apoyo A: } \frac{(4) \times (12)}{8} = 6 \text{ milésimas (mover a la derecha)}$$

$$\text{Apoyo B: } \frac{(4) \times (48)}{8} = 24 \text{ milésimas (mover a la derecha)}$$

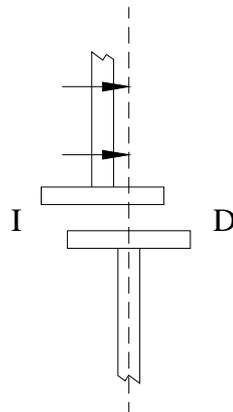


Desplazar el variador de velocidad hacia la derecha.

Cálculo radial horizontal

Sólo se obtiene la mitad de la diferencia de las lecturas radiales horizontales (I – D).

$$\frac{I - D}{2} = \frac{17 - (-3)}{2} = 10 \text{ milésimas (mover a la derecha)}$$



Desplazar el variador de velocidad hacia la derecha

Se suman los resultados del cálculo axial horizontal y radial horizontal para realizar el movimiento horizontal en una sola operación.

$$\text{Base de apoyo A: } 6 + 10 = 16 \text{ milésimas (mover a la derecha)}$$

Base de apoyo B: $24 + 10 = 34$ milésimas (mover a la derecha)

Cálculo axial vertical

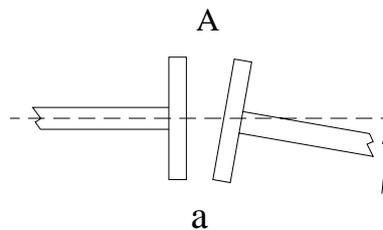
Primeramente se obtiene la diferencia en las lecturas axiales verticales.

$$a - A = 19 - 15 = 4; \text{ Error} = 4 \text{ milésimas}$$

$$\frac{(\text{Error}) \times (\text{Distancia})}{DCople}$$

$$\text{Apoyo A: } \frac{(4) \times (12)}{8} = 6 \text{ milésimas (mover hacia arriba)}$$

$$\text{Apoyo B: } \frac{(4) \times (48)}{8} = 24 \text{ milésimas (mover hacia arriba)}$$

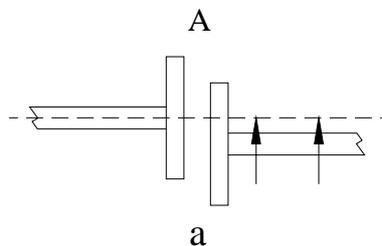


Desplazar el variador de velocidad hacia arriba

Cálculo radial vertical

Se obtiene calculando la mitad de la diferencia de las lecturas radiales verticales ($a - A$).

$$\frac{a - A}{2} = \frac{14 - 0}{2} = 7 \text{ milésimas (mover hacia arriba)}$$



Desplazar el variador de velocidad hacia arriba

Se suman los resultados del cálculo axial vertical y radial vertical para realizar el movimiento vertical en una sola operación

Base de apoyo A: $6 + 7 = 13$ milésimas (mover hacia arriba)

Base de apoyo B: $24 + 7 = 31$ milésimas (mover hacia arriba)

Apéndice

Tablas de vapor de agua

Propiedades termodinámicas del agua (unidades SI)
 Agua saturada: tabla de temperatura (unidades SI)

Temp. °C <i>T</i>	Presión kPa, MPa <i>P</i>	Volumen específico, m ³ /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg K		
		Líquido saturado <i>v_f</i>	Vapor saturado <i>v_g</i>	Líquido saturado <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Vapor saturado <i>u_g</i>	Líquido saturado <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Vapor saturado <i>h_g</i>	Líquido saturado <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Vapor saturado <i>s_g</i>	
0.01	0.6113	0.001000	206.132	0.00	2375.3	2375.3	0.00	2501.3	2501.3	0.0000	9.1562	9.1562	
5	0.8721	0.001000	147.118	20.97	2361.3	2382.2	20.98	2489.6	2510.5	0.0761	8.9496	9.0257	
10	1.2276	0.001000	106.377	41.99	2347.2	2389.2	41.99	2477.7	2519.7	0.1510	8.7498	8.9007	
15	1.7051	0.001001	77.925	62.98	2333.1	2396.0	62.98	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7813	
20	2.3385	0.001002	57.790	83.94	2319.0	2402.9	83.94	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6671	
25	3.1691	0.001003	43.359	104.86	2304.9	2409.8	104.87	2442.3	2547.2	0.3673	8.1905	8.5579	
30	4.2461	0.001004	32.893	125.77	2290.8	2416.6	125.77	2430.5	2556.2	0.4369	8.0164	8.4533	
35	5.6280	0.001006	25.216	146.65	2276.7	2423.4	146.66	2418.6	2565.3	0.5052	7.8478	8.3530	
40	7.3837	0.001008	19.523	167.53	2262.6	2430.1	167.54	2406.7	2574.3	0.5724	7.6845	8.2569	
45	9.5934	0.001010	15.258	188.41	2248.4	2436.8	188.42	2394.8	2583.2	0.6386	7.5261	8.1647	
50	12.350	0.001012	12.032	209.30	2234.2	2443.5	209.31	2382.7	2592.1	0.7037	7.3725	8.0762	
55	15.758	0.001015	9.568	230.19	2219.9	2450.1	230.20	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9912	
60	19.941	0.001017	7.671	251.09	2205.5	2456.6	251.11	2358.5	2609.6	0.8311	7.0784	7.9095	
65	25.033	0.001020	6.197	272.00	2191.1	2463.1	272.03	2346.2	2618.2	0.8934	6.9375	7.8309	
70	31.188	0.001023	5.042	292.93	2176.6	2469.5	292.96	2333.8	2626.8	0.9548	6.8004	7.7552	
75	38.578	0.001026	4.131	313.87	2162.0	2475.9	313.91	2321.4	2635.3	1.0154	6.6670	7.6824	
80	47.390	0.001029	3.407	334.84	2147.4	2482.2	334.88	2308.8	2643.7	1.0752	6.5369	7.6121	
85	57.834	0.001032	2.828	355.82	2132.6	2488.4	355.88	2296.0	2651.9	1.1342	6.4102	7.5444	
90	70.139	0.001036	2.361	376.82	2117.7	2494.5	376.90	2283.2	2660.1	1.1924	6.2866	7.4790	
95	84.554	0.001040	1.982	397.86	2102.7	2500.6	397.94	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4158	
100	101.325	0.001044	1.6729	418.91	2087.6	2506.5	419.02	2257.0	2676.0	1.3068	6.0480	7.3548	

(Continuación) *Propiedades termodinámicas del agua (unidades SI)*
Agua saturada: tabla de temperatura (unidades SI)

Temp. °C <i>T</i>	Presión Mpa <i>P</i>	Volumen específico, m ³ /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg K		
		Líquido saturado <i>v_f</i>	Vapor saturado <i>v_g</i>	Líquido saturado <i>v_f</i>	Líquido saturado <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Vapor saturado <i>u_g</i>	Líquido saturado <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Vapor saturado <i>h_g</i>	Líquido saturado <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Vapor saturado <i>s_g</i>
105	0.12082	0.001047	1.4194	440.00	2072.3	2512.3	2243.7	2683.8	1.3629	5.9328	7.2958		
110	0.14328	0.001052	1.2102	461.12	2057.0	2518.1	2230.2	2691.5	1.4184	5.8202	7.2386		
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.28	2041.4	2523.7	2216.5	2699.0	1.4733	5.7100	7.1832		
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.48	2025.8	2529.2	2202.6	2706.3	1.5275	5.6020	7.1295		
125	0.2321	0.001065	0.77059	524.72	2009.9	2534.6	2188.5	2713.5	1.5812	5.4962	7.0774		
130	0.2701	0.001070	0.66850	546.00	1993.9	2539.9	2174.2	2720.5	1.6343	5.3925	7.0269		
135	0.3130	0.001075	0.58217	567.34	1977.7	2545.0	2159.6	2727.3	1.6869	5.2907	6.9777		
140	0.3613	0.001080	0.50885	588.72	1961.3	2550.0	2144.8	2733.9	1.7390	5.1908	6.9298		
145	0.4154	0.001085	0.44632	610.16	1944.7	2554.9	2129.6	2740.3	1.7906	5.0926	6.8832		
150	0.4759	0.001090	0.39278	631.66	1927.9	2559.5	2114.3	2746.4	1.8417	4.9960	6.8378		
155	0.5431	0.001096	0.34676	653.23	1910.8	2564.0	2098.6	2752.4	1.8924	4.9010	6.7934		
160	0.6178	0.001102	0.30706	674.85	1893.5	2568.4	2082.6	2758.1	1.9426	4.8075	6.7501		
165	0.7005	0.001108	0.27269	696.55	1876.0	2572.5	2066.2	2763.5	1.9924	4.7153	6.7078		
170	0.7917	0.001114	0.24283	718.31	1858.1	2576.5	2049.5	2768.7	2.0418	4.6244	6.6663		
175	0.8920	0.001121	0.21680	740.16	1840.0	2580.2	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256		
180	1.0022	0.001127	0.19405	762.08	1821.6	2583.7	2015.0	2778.2	2.1395	4.4461	6.5857		
185	1.1227	0.001134	0.17409	784.08	1802.9	2587.0	1997.1	2782.4	2.1878	4.3586	6.5464		
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.17	1783.8	2590.0	1978.8	2786.4	2.2358	4.2720	6.5078		
195	1.3978	0.001149	0.14105	828.36	1764.4	2592.8	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4697		
200	1.5538	0.001156	0.12736	850.64	1744.7	2595.3	1940.7	2793.2	2.3308	4.1014	6.4322		
205	1.7230	0.001164	0.11521	873.02	1724.5	2597.5	1921.0	2796.0	2.3779	4.0172	6.3951		
210	1.9063	0.001173	0.10441	895.51	1703.9	2599.4	1900.7	2798.5	2.4247	3.9337	6.3584		
215	2.1042	0.001181	0.09479	918.12	1682.9	2601.1	1879.9	2800.5	2.4713	3.8507	6.3221		
220	2.3178	0.001190	0.08619	940.85	1661.5	2602.3	1858.5	2802.1	2.5177	3.7683	6.2860		

Temp. °C <i>T</i>	Presión Mpa <i>P</i>	Volumen específico, m ³ /kg				Energía interna, kJ/kg				Entalpía, kJ/kg				Entropía, kJ/kg K			
		Líquido saturado		Vapor saturado	Líquido saturado		Evap.	Vapor saturado	Líquido saturado		Evap.	Vapor saturado	Líquido saturado		Evap.	Vapor saturado	
		<i>v_f</i>	<i>v_g</i>	<i>u_f</i>	<i>u_g</i>	<i>u_{fg}</i>	<i>u_g</i>	<i>h_f</i>	<i>h_g</i>	<i>h_{fg}</i>	<i>h_g</i>	<i>s_f</i>	<i>s_g</i>	<i>s_f</i>	<i>s_g</i>		
225	2.5477	0.001199*	0.07849	963.72	1639.6	2603.3	1836.5	2803.3	2.5639	3.6863	6.2502						
230	2.7949	0.001209	0.07158	986.72	1617.2	2603.9	1813.8	2803.9	2.6099	3.6047	6.2146						
235	3.0601	0.001219	0.06536	1009.88	1594.2	2604.1	1790.5	2804.1	2.6557	3.5233	6.1791						
240	3.3442	0.001229	0.05976	1033.19	1570.8	2603.9	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1436						
245	3.6482	0.001240	0.05470	1056.69	1546.7	2603.4	1741.7	2802.9	2.7471	3.3612	6.1083						
250	3.9730	0.001251	0.05013	1080.37	1522.0	2602.4	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.0729						
255	4.3195	0.001263	0.04598	1104.26	1496.7	2600.9	1689.8	2799.5	2.8382	3.1992	6.0374						
260	4.6886	0.001276	0.04220	1128.37	1470.6	2599.0	1662.5	2796.9	2.8837	3.1181	6.0018						
265	5.0813	0.001289	0.03877	1152.72	1443.9	2596.6	1634.3	2793.6	2.9293	3.0368	5.9661						
270	5.4987	0.001302	0.03564	1177.33	1416.3	2593.7	1605.2	2789.7	2.9750	2.9551	5.9301						
275	5.9418	0.001317	0.03279	1202.23	1387.9	2590.2	1574.9	2785.0	3.0208	2.8730	5.8937						
280	6.4117	0.001332	0.03017	1227.43	1358.7	2586.1	1543.6	2779.5	3.0667	2.7903	5.8570						
285	6.9094	0.001348	0.02777	1252.98	1328.4	2581.4	1511.0	2773.3	3.1129	2.7069	5.8198						
290	7.4360	0.001366	0.02557	1278.89	1297.1	2576.0	1477.1	2766.1	3.1593	2.6227	5.7821						
295	7.9928	0.001384	0.02354	1305.21	1264.7	2569.9	1441.8	2758.0	3.2061	2.5375	5.7436						
300	8.5810	0.001404	0.02167	1331.97	1231.0	2563.0	1404.9	2748.9	3.2533	2.4511	5.7044						
305	9.2018	0.001425	0.01995	1359.22	1195.9	2555.2	1366.4	2738.7	3.3009	2.3633	5.6642						
310	9.8566	0.001447	0.01835	1387.03	1159.4	2546.4	1326.0	2727.3	3.3492	2.2737	5.6229						
315	10.547	0.001472	0.01687	1415.44	1121.1	2536.6	1283.5	2714.4	3.3981	2.1821	5.5803						
320	11.274	0.001499	0.01549	1444.55	1080.9	2525.5	1238.6	2700.1	3.4479	2.0882	5.5361						
330	12.845	0.001561	0.012996	1505.24	993.7	2498.9	1140.6	2665.8	3.5506	1.8909	5.4416						
340	14.586	0.001638	0.010797	1570.26	894.3	2464.5	1027.9	2622.0	3.6593	1.6763	5.3356						
350	16.514	0.001740	0.008813	1641.81	776.6	2418.4	893.4	2563.9	3.7776	1.4336	5.2111						
360	18.651	0.001892	0.006945	1725.19	626.3	2351.5	720.5	2481.0	3.9146	1.1379	5.0525						
370	21.028	0.002213	0.004926	1843.84	384.7	2228.5	441.8	2332.1	4.1104	0.6868	4.7972						
374.14	22.089	0.003155	0.003155	2029.58	0	2029.6	0	2099.3	4.4297	0	4.4297						

Agua saturada: tabla de presión (unidades SI)

Presión kPa <i>P</i>	Temp. °C <i>T</i>	Volumen específico, m ³ /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg K		
		Líquido saturado <i>v_f</i>	Vapor saturado <i>v_g</i>	Vapor saturado <i>v_{fg}</i>	Líquido saturado <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Vapor saturado <i>u_g</i>	Líquido saturado <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Vapor saturado <i>h_g</i>	Líquido saturado <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Vapor saturado <i>s_g</i>
0.6113	0.01	0.001000	206.132		0	2375.3	2375.3	0.00	2501.3	2501.3	0	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.208		29.29	2355.7	2385.0	29.29	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.980		54.70	2338.6	2393.3	54.70	2470.6	2525.3	0.1956	8.6322	8.8278
2.0	17.50	0.001001	67.004		73.47	2326.0	2399.5	73.47	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7236
2.5	21.08	0.001002	54.254		88.47	2315.9	2404.4	88.47	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6431
3.0	24.08	0.001003	45.665		101.03	2307.5	2408.5	101.03	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5775
4.0	28.96	0.001004	34.800		121.44	2293.7	2415.2	121.44	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.193		137.79	2282.7	2420.5	137.79	2423.7	2561.4	0.4763	7.9187	8.3950
7.5	40.29	0.001008	19.238		168.76	2261.7	2430.5	168.77	2406.0	2574.8	0.5763	7.6751	8.2514
10.0	45.81	0.001010	14.674		191.79	2246.1	2437.9	191.81	2392.8	2584.6	0.6492	7.5010	8.1501
15.0	53.97	0.001014	10.022		225.90	2222.8	2448.7	225.91	2373.1	2599.1	0.7548	7.2536	8.0084
20.0	60.06	0.001017	7.649		251.35	2205.4	2456.7	251.38	2358.3	2609.7	0.8319	7.0766	7.9085
25.0	64.97	0.001020	6.204		271.88	2191.2	2463.1	271.90	2346.3	2618.2	0.8930	6.9383	7.8313
30.0	69.10	0.001022	5.229		289.18	2179.2	2468.4	289.21	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40.0	75.87	0.001026	3.993		317.51	2159.5	2477.0	317.55	2319.2	2636.7	1.0258	6.6441	7.6700
50.0	81.33	0.001030	3.240		340.42	2143.4	2483.8	340.47	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75.0	91.77	0.001037	2.217		384.29	2112.4	2496.7	384.36	2278.6	2663.0	1.2129	6.2434	7.4563
MPa													
0.100	99.62	0.001043	1.6940		417.33	2088.7	2506.1	417.44	2258.0	2675.5	1.3025	6.0568	7.3593
0.125	105.99	0.001048	1.3749		444.16	2069.3	2513.5	444.30	2241.1	2685.3	1.3739	5.9104	7.2843
0.150	111.37	0.001053	1.1593		466.92	2052.7	2519.6	467.08	2226.5	2693.5	1.4335	5.7897	7.2232
0.175	116.06	0.001057	1.0036		486.78	2038.1	2524.9	486.97	2213.6	2700.5	1.4848	5.6868	7.1717
0.200	120.23	0.001061	0.8857		504.47	2025.0	2529.5	504.68	2202.0	2706.6	1.5300	5.5970	7.1271
0.225	124.00	0.001064	0.7933		520.45	2013.1	2533.6	520.69	2191.3	2712.0	1.5705	5.5173	7.0878
0.250	127.43	0.001067	0.7187		535.08	2002.1	2537.2	535.34	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0526

Presión MPa <i>P</i>	Temp. °C <i>T</i>	Volumen específico, m ³ /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg K		
		Líquido saturado <i>v_f</i>	Vapor saturado <i>v_g</i>	Vapor saturado <i>v_{fg}</i>	Líquido saturado <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Vapor saturado <i>u_g</i>	Líquido saturado <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Vapor saturado <i>h_g</i>	Líquido saturado <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Vapor saturado <i>s_g</i>
0.275	130.60	0.001070	0.6573	548.57	1992.0	2540.5	548.87	2172.4	2721.3	1.6407	5.3801	7.0208	
0.300	133.55	0.001073	0.6058	561.13	1982.4	2543.6	561.45	2163.9	2725.3	1.6717	5.3201	6.9918	
0.325	136.30	0.001076	0.5620	572.88	1973.5	2546.3	573.23	2155.8	2729.0	1.7005	5.2646	6.9651	
0.350	138.88	0.001079	0.5243	583.93	1965.0	2548.9	584.31	2148.1	2732.4	1.7274	5.2130	6.9404	
0.375	141.32	0.001081	0.4914	594.38	1956.9	2551.3	594.79	2140.8	2735.6	1.7527	5.1647	6.9174	
0.40	143.63	0.001084	0.4625	604.29	1949.3	2553.6	604.73	2133.8	2738.5	1.7766	5.1193	6.8958	
0.45	147.93	0.001088	0.4140	622.75	1934.9	2557.6	623.24	2120.7	2743.9	1.8206	5.0359	6.8565	
0.50	151.86	0.001093	0.3749	639.66	1921.6	2561.2	640.21	2108.5	2748.7	1.8606	4.9606	6.8212	
0.55	155.48	0.001097	0.3427	655.30	1909.2	2564.5	655.91	2097.0	2752.9	1.8972	4.8920	6.7892	
0.60	158.85	0.001101	0.3157	669.88	1897.5	2567.4	670.54	2086.3	2756.8	1.9311	4.8289	6.7600	
0.65	162.01	0.001104	0.2927	683.55	1886.5	2570.1	684.26	2076.0	2760.3	1.9627	4.7704	6.7330	
0.70	164.97	0.001108	0.2729	696.43	1876.1	2572.5	697.20	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.7080	
0.75	167.77	0.001111	0.2556	708.62	1866.1	2574.7	709.45	2057.0	2766.4	2.0199	4.6647	6.6846	
0.80	170.43	0.001115	0.2404	720.20	1856.6	2576.8	721.10	2048.0	2769.1	2.0461	4.6166	6.6627	
0.85	172.96	0.001118	0.2270	731.25	1847.4	2578.7	732.20	2039.4	2771.6	2.0709	4.5711	6.6421	
0.90	175.38	0.001121	0.2150	741.81	1838.7	2580.5	742.82	2031.1	2773.9	2.0946	4.5280	6.6225	
0.95	177.69	0.001124	0.2042	751.94	1830.2	2582.1	753.00	2023.1	2776.1	2.1171	4.4869	6.6040	
1.00	179.91	0.001127	0.19444	761.67	1822.0	2583.6	762.79	2015.3	2778.1	2.1386	4.4478	6.5864	
1.10	184.09	0.001133	0.17753	780.08	1806.3	2586.4	781.32	2000.4	2781.7	2.1791	4.3744	6.5535	
1.20	187.99	0.001139	0.16333	797.27	1791.6	2588.8	798.64	1986.2	2784.8	2.2165	4.3067	6.5233	
1.30	191.64	0.001144	0.15125	813.42	1777.5	2590.9	814.91	1972.7	2787.6	2.2514	4.2438	6.4953	
1.40	195.07	0.001149	0.14084	828.68	1764.1	2592.8	830.29	1959.7	2790.0	2.2842	4.1850	6.4692	
1.50	198.32	0.001154	0.13177	843.14	1751.3	2594.5	844.87	1947.3	2792.1	2.3150	4.1298	6.4448	
1.75	205.76	0.001166	0.11349	876.44	1721.4	2597.8	878.48	1918.0	2796.4	2.3851	4.0044	6.3895	
2.00	212.42	0.001177	0.09963	906.42	1693.8	2600.3	908.77	1890.7	2799.5	2.4473	3.8935	6.3408	
2.25	218.45	0.001187	0.08875	933.81	1668.2	2602.0	936.48	1865.2	2801.7	2.5034	3.7938	6.2971	

(Continuación) Agua saturada: tabla de presión (unidades SI)

Presión MPa <i>P</i>	Temp. °C <i>T</i>	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg		Entalpía, kJ/kg		Entropía, kJ/kg K				
		Líquido saturado <i>v_f</i>	Vapor saturado <i>v_g</i>	Líquido saturado <i>u_f</i>	Vapor saturado <i>u_g</i>	Líquido saturado <i>h_f</i>	Vapor saturado <i>h_g</i>	Líquido saturado <i>s_f</i>	Vapor saturado <i>s_g</i>			
2.50	223.99	0.001197	0.07998	959.09	1644.0	2603.1	2603.1	1841.0	2803.1	2.5546	3.7028	6.2574
2.75	229.12	0.001207	0.07275	982.65	1621.2	2603.8	2603.9	1817.9	2803.9	2.6018	3.6190	6.2208
3.00	233.90	0.001216	0.06668	1004.76	1599.3	2604.1	2604.1	1795.7	2804.1	2.6456	3.5412	6.1869
3.25	238.38	0.001226	0.06152	1025.62	1578.4	2604.0	2604.0	1774.4	2804.0	2.6866	3.4685	6.1551
3.50	242.60	0.001235	0.05707	1045.41	1558.3	2603.7	2603.7	1753.7	2803.4	2.7252	3.4000	6.1252
4.0	250.40	0.001252	0.049778	1082.28	1520.0	2602.3	2602.3	1714.1	2801.4	2.7963	3.2737	6.0700
5.0	263.99	0.001286	0.039441	1147.78	1449.3	2597.1	2597.1	1640.1	2794.3	2.9201	3.0532	5.9733
6.0	275.64	0.001319	0.032440	1205.41	1384.3	2589.7	2589.7	1571.0	2784.3	3.0266	2.8625	5.8891
7.0	285.88	0.001351	0.027370	1257.51	1323.0	2580.5	2580.5	1505.1	2772.1	3.1210	2.6922	5.8132
8.0	295.06	0.001384	0.023518	1305.54	1264.3	2569.8	2569.8	1441.3	2757.9	3.2067	2.5365	5.7431
9.0	303.40	0.001418	0.020484	1350.47	1207.3	2557.8	2557.8	1378.9	2742.1	3.2857	2.3915	5.6771
10.0	311.06	0.001452	0.018026	1393.00	1151.4	2544.4	2544.4	1317.1	2724.7	3.3595	2.2545	5.6140
11.0	318.15	0.001489	0.015987	1433.68	1096.1	2529.7	2529.7	1255.5	2705.6	3.4294	2.1233	5.5527
12.0	324.75	0.001527	0.014263	1472.92	1040.8	2513.7	2513.7	1193.6	2684.8	3.4961	1.9962	5.4923
13.0	330.93	0.001567	0.012780	1511.09	985.0	2496.1	2496.1	1130.8	2662.2	3.5604	1.8718	5.4323
14.0	336.75	0.001611	0.011485	1548.53	928.2	2476.8	2476.8	1066.5	2637.5	3.6231	1.7485	5.3716
15.0	342.24	0.001658	0.010338	1585.58	869.8	2455.4	2455.4	1000.0	2610.5	3.6847	1.6250	5.3097
16.0	347.43	0.001711	0.009306	1622.63	809.1	2431.7	2431.7	930.6	2580.6	3.7460	1.4995	5.2454
17.0	352.37	0.001770	0.008365	1660.16	744.8	2405.0	2405.0	856.9	2547.2	3.8078	1.3698	5.1776
18.0	357.06	0.001840	0.007490	1698.86	675.4	2374.3	2374.3	777.1	2509.1	3.8713	1.2330	5.1044
19.0	361.54	0.001924	0.006657	1739.87	598.2	2338.1	2338.1	688.1	2464.5	3.9387	1.0841	5.0227
20.0	365.81	0.002035	0.005834	1785.47	507.6	2293.1	2293.1	583.6	2409.7	4.0137	0.9132	4.9269
21.0	369.89	0.002206	0.004953	1841.97	388.7	2230.7	2230.7	446.4	2334.7	4.1073	0.6942	4.8015
22.0	373.80	0.002808	0.003526	1973.16	108.2	2081.4	2081.4	124.0	2159.0	4.3307	0.1917	4.5224
22.09	374.14	0.003155	0.003155	2029.58	0	2029.6	2029.6	0	2099.3	4.4297	0	4.4297

(Continuación) Vapor de agua sobrecalentado (unidades SI)

T	P = 200 kPa (120.23)				P = 300 kPa (133.55)				P = 400 kPa (143.63)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
900	2.70643	3854.5	4395.8	9.4565	1.80406	3854.2	4395.4	9.2691	1.35288	3853.9	4395.1	9.1361
1000	2.93740	4052.5	4640.0	9.6563	1.95812	4052.3	4639.7	9.4689	1.46847	4052.0	4639.4	9.3360
1100	3.16834	4257.0	4890.7	9.8458	2.11214	4256.8	4890.4	9.6585	1.58404	4256.5	4890.1	9.5255
1200	3.39927	4467.5	5147.3	10.0262	2.26614	4467.2	5147.1	9.8389	1.69958	4467.0	5146.8	9.7059
1300	3.63018	4683.2	5409.3	10.1982	2.42013	4683.0	5409.0	10.0109	1.81511	4682.8	5408.8	9.8780
P = 500 kPa (151.86)												
Sat.	0.37489	2561.2	2748.7	6.8212	0.31567	2567.4	2756.8	6.7600	0.24043	2576.8	2769.1	6.6627
200	0.42492	2642.9	2855.4	7.0592	0.35202	2638.9	2850.1	6.9665	0.26080	2630.6	2839.2	6.8158
250	0.47436	2723.5	2960.7	7.2708	0.39383	2720.9	2957.2	7.1816	0.29314	2715.5	2950.0	7.0384
300	0.52256	2802.9	3064.2	7.4598	0.43437	2801.0	3061.6	7.3723	0.32411	2797.1	3056.4	7.2327
350	0.57012	2882.6	3167.6	7.6328	0.47424	2881.1	3165.7	7.5463	0.35439	2878.2	3161.7	7.4088
400	0.61728	2963.2	3271.8	7.7937	0.51372	2962.0	3270.2	7.7078	0.38426	2959.7	3267.1	7.5715
500	0.71093	3128.4	3483.8	8.0872	0.59199	3127.6	3482.7	8.0020	0.44331	3125.9	3480.6	7.8672
600	0.80406	3299.6	3701.7	8.3521	0.66974	3299.1	3700.9	8.2673	0.50184	3297.9	3699.4	8.1332
700	0.89691	3477.5	3926.0	8.5952	0.74720	3477.1	3925.4	8.5107	0.56007	3476.2	3924.3	8.3770
800	0.98959	3662.2	4157.0	8.8211	0.82450	3661.8	4156.5	8.7367	0.61813	3661.1	4155.7	8.6033
900	1.08217	3853.6	4394.7	9.0329	0.90169	3853.3	4394.4	8.9485	0.67610	3852.8	4393.6	8.8153
1000	1.17469	4051.8	4639.1	9.2328	0.97883	4051.5	4638.8	9.1484	0.73401	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.26718	4256.3	4889.9	9.4224	1.05594	4256.1	4889.6	9.3381	0.79188	4255.6	4889.1	9.2049
1200	1.35964	4466.8	5146.6	9.6028	1.13302	4466.5	5146.3	9.5185	0.84974	4466.1	5145.8	9.3854
1300	1.45210	4682.5	5408.6	9.7749	1.21009	4682.3	5408.3	9.6906	0.90758	4681.8	5407.9	9.5575
P = 600 kPa (158.85)												
Sat.	0.37489	2561.2	2748.7	6.8212	0.31567	2567.4	2756.8	6.7600	0.24043	2576.8	2769.1	6.6627
200	0.42492	2642.9	2855.4	7.0592	0.35202	2638.9	2850.1	6.9665	0.26080	2630.6	2839.2	6.8158
250	0.47436	2723.5	2960.7	7.2708	0.39383	2720.9	2957.2	7.1816	0.29314	2715.5	2950.0	7.0384
300	0.52256	2802.9	3064.2	7.4598	0.43437	2801.0	3061.6	7.3723	0.32411	2797.1	3056.4	7.2327
350	0.57012	2882.6	3167.6	7.6328	0.47424	2881.1	3165.7	7.5463	0.35439	2878.2	3161.7	7.4088
400	0.61728	2963.2	3271.8	7.7937	0.51372	2962.0	3270.2	7.7078	0.38426	2959.7	3267.1	7.5715
500	0.71093	3128.4	3483.8	8.0872	0.59199	3127.6	3482.7	8.0020	0.44331	3125.9	3480.6	7.8672
600	0.80406	3299.6	3701.7	8.3521	0.66974	3299.1	3700.9	8.2673	0.50184	3297.9	3699.4	8.1332
700	0.89691	3477.5	3926.0	8.5952	0.74720	3477.1	3925.4	8.5107	0.56007	3476.2	3924.3	8.3770
800	0.98959	3662.2	4157.0	8.8211	0.82450	3661.8	4156.5	8.7367	0.61813	3661.1	4155.7	8.6033
900	1.08217	3853.6	4394.7	9.0329	0.90169	3853.3	4394.4	8.9485	0.67610	3852.8	4393.6	8.8153
1000	1.17469	4051.8	4639.1	9.2328	0.97883	4051.5	4638.8	9.1484	0.73401	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.26718	4256.3	4889.9	9.4224	1.05594	4256.1	4889.6	9.3381	0.79188	4255.6	4889.1	9.2049
1200	1.35964	4466.8	5146.6	9.6028	1.13302	4466.5	5146.3	9.5185	0.84974	4466.1	5145.8	9.3854
1300	1.45210	4682.5	5408.6	9.7749	1.21009	4682.3	5408.3	9.6906	0.90758	4681.8	5407.9	9.5575
P = 800 kPa (170.43)												
Sat.	0.37489	2561.2	2748.7	6.8212	0.31567	2567.4	2756.8	6.7600	0.24043	2576.8	2769.1	6.6627
200	0.42492	2642.9	2855.4	7.0592	0.35202	2638.9	2850.1	6.9665	0.26080	2630.6	2839.2	6.8158
250	0.47436	2723.5	2960.7	7.2708	0.39383	2720.9	2957.2	7.1816	0.29314	2715.5	2950.0	7.0384
300	0.52256	2802.9	3064.2	7.4598	0.43437	2801.0	3061.6	7.3723	0.32411	2797.1	3056.4	7.2327
350	0.57012	2882.6	3167.6	7.6328	0.47424	2881.1	3165.7	7.5463	0.35439	2878.2	3161.7	7.4088
400	0.61728	2963.2	3271.8	7.7937	0.51372	2962.0	3270.2	7.7078	0.38426	2959.7	3267.1	7.5715
500	0.71093	3128.4	3483.8	8.0872	0.59199	3127.6	3482.7	8.0020	0.44331	3125.9	3480.6	7.8672
600	0.80406	3299.6	3701.7	8.3521	0.66974	3299.1	3700.9	8.2673	0.50184	3297.9	3699.4	8.1332
700	0.89691	3477.5	3926.0	8.5952	0.74720	3477.1	3925.4	8.5107	0.56007	3476.2	3924.3	8.3770
800	0.98959	3662.2	4157.0	8.8211	0.82450	3661.8	4156.5	8.7367	0.61813	3661.1	4155.7	8.6033
900	1.08217	3853.6	4394.7	9.0329	0.90169	3853.3	4394.4	8.9485	0.67610	3852.8	4393.6	8.8153
1000	1.17469	4051.8	4639.1	9.2328	0.97883	4051.5	4638.8	9.1484	0.73401	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.26718	4256.3	4889.9	9.4224	1.05594	4256.1	4889.6	9.3381	0.79188	4255.6	4889.1	9.2049
1200	1.35964	4466.8	5146.6	9.6028	1.13302	4466.5	5146.3	9.5185	0.84974	4466.1	5145.8	9.3854
1300	1.45210	4682.5	5408.6	9.7749	1.21009	4682.3	5408.3	9.6906	0.90758	4681.8	5407.9	9.5575
P = 1,00 MPa (179.91)												
Sat.	0.19444	2583.6	2778.1	6.5864	0.16333	2588.8	2784.8	6.5233	0.14084	2592.8	2790.0	6.4692
200	0.20596	2621.9	2827.9	6.6939	0.16930	2612.7	2815.9	6.5898	0.14302	2603.1	2803.3	6.4975
250	0.23268	2709.9	2942.6	6.9246	0.19235	2704.2	2935.0	6.8293	0.16350	2698.3	2927.2	6.7467
300	0.25794	2793.2	3051.2	7.1228	0.21382	2789.2	3045.8	7.0316	0.18228	2785.2	3040.4	6.9533
350	0.28247	2875.2	3157.7	7.3010	0.23452	2872.2	3153.6	7.2120	0.20026	2869.1	3149.5	7.1359
400	0.30659	2957.3	3263.9	7.4650	0.25480	2954.9	3260.7	7.3773	0.21780	2952.5	3257.4	7.3025
500	0.35411	3124.3	3478.4	7.7621	0.29463	3122.7	3476.3	7.6758	0.25215	3121.1	3474.1	7.6026
P = 1,20 MPa (187.99)												
Sat.	0.19444	2583.6	2778.1	6.5864	0.16333	2588.8	2784.8	6.5233	0.14084	2592.8	2790.0	6.4692
200	0.20596	2621.9	2827.9	6.6939	0.16930	2612.7	2815.9	6.5898	0.14302	2603.1	2803.3	6.4975
250	0.23268	2709.9	2942.6	6.9246	0.19235	2704.2	2935.0	6.8293	0.16350	2698.3	2927.2	6.7467
300	0.25794	2793.2	3051.2	7.1228	0.21382	2789.2	3045.8	7.0316	0.18228	2785.2	3040.4	6.9533
350	0.28247	2875.2	3157.7	7.3010	0.23452	2872.2	3153.6	7.2120	0.20026	2869.1	3149.5	7.1359
400	0.30659	2957.3	3263.9	7.4650	0.25480	2954.9	3260.7	7.3773	0.21780	2952.5	3257.4	7.3025
500	0.35411	3124.3	3478.4	7.7621	0.29463	3122.7	3476.3	7.6758	0.25215	3121.1	3474.1	7.6026
P = 1,40 MPa (195.07)												
Sat.	0.19444	2583.6	2778.1	6.5864	0.16333	2588.8	2784.8	6.5233	0.14084	2592.8	2790.0	6.4692
200	0.20596	2621.9	2827.9	6.6939	0.16930	2612.7	2815.9	6.5898	0.14302	2603.1	2803.3	6.4975
250	0.23268	2709.9	2942.6	6.9246	0.19235	2704.2	2935.0	6.8293	0.16350	2698.3	2927.2	6.7467
300	0.25794	2793.2	3051.2	7.1228	0.21382	2789.2	3045.8	7.0316	0.18228	2785.2	3040.4	6.9533
350	0.28247	2875.2	3157.7	7.3010	0.23452	2872.2	3153.6	7.2120	0.20026	2869.1	3149.5	7.1359
400	0.30659	2957.3	3263.9	7.4650	0.25480	2954.9	3260.7	7.3773	0.21780	2952.5	3257.4	7.3025
500	0.35411	3124.3	3478.4	7.7621	0.29463	3122.7	3476.3	7.6758	0.25215	3121.1	3474.1	7.6026

T	P = 1.00 MPa (179.91)					P = 1.20 MPa (187.99)					P = 1.40 MPa (195.07)				
	v	u	h	s	s	v	u	h	s	s	v	u	h	s	s
600	0.40109	3296.8	3697.9	8.0289	0.33393	3295.6	3696.3	7.9454	0.28596	3294.4	3694.8	7.8710			
700	0.44779	3475.4	3923.1	8.2731	0.37294	3474.5	3922.0	8.1881	0.31947	3473.6	3920.9	8.1160			
800	0.49432	3660.5	4154.8	8.4996	0.41177	3659.8	4153.9	8.4149	0.35281	3659.1	4153.0	8.3431			
900	0.54075	3852.2	4392.9	8.7118	0.45051	3851.6	4392.2	8.6272	0.38606	3851.0	4391.5	8.5555			
1000	0.58712	4050.5	4637.6	8.9119	0.48919	4050.0	4637.0	8.8274	0.41924	4049.5	4636.4	8.7558			
1100	0.63345	4255.1	4888.5	9.1016	0.52783	4254.6	4888.0	9.0171	0.45239	4254.1	4887.5	8.9456			
1200	0.67977	4465.6	5145.4	9.2821	0.56646	4465.1	5144.9	9.1977	0.48552	4464.6	5144.4	9.1262			
1300	0.72608	4681.3	5407.4	9.4542	0.60507	4680.9	5406.9	9.3698	0.51864	4680.4	5406.5	9.2983			
	P = 1.60 MPa (201.40)					P = 1.80 MPa (207.15)					P = 2.00 MPa (212.42)				
Sat.	0.12380	2595.9	2794.0	6.4217	0.11042	2598.4	2797.1	6.3793	0.09963	2600.3	2799.5	6.3408			
225	0.13287	2644.6	2857.2	6.5518	0.11673	2636.6	2846.7	6.4807	0.10377	2628.3	2835.8	6.4146			
250	0.14184	2692.3	2919.2	6.6732	0.12497	2686.0	2911.0	6.6066	0.11144	2679.6	2902.5	6.5452			
300	0.15862	2781.0	3034.8	6.8844	0.14021	2776.8	3029.2	6.8226	0.12547	2772.6	3023.5	6.7663			
350	0.17456	2866.0	3145.4	7.0693	0.15457	2862.9	3141.2	7.0099	0.13857	2859.8	3137.0	6.9562			
400	0.19005	2950.1	3254.2	7.2373	0.16847	2947.7	3250.9	7.1793	0.15120	2945.2	3247.6	7.1270			
500	0.22029	3119.5	3471.9	7.5389	0.19550	3117.8	3469.7	7.4824	0.17568	3116.2	3467.6	7.4316			
600	0.24998	3293.3	3693.2	7.8080	0.22199	3292.1	3691.7	7.7523	0.19960	3290.9	3690.1	7.7023			
700	0.27937	3472.7	3919.7	8.0535	0.24818	3471.9	3918.6	7.9983	0.22323	3471.0	3917.5	7.9487			
800	0.30859	3658.4	4152.1	8.2808	0.27420	3657.7	4151.3	8.2258	0.24668	3657.0	4150.4	8.1766			
900	0.33772	3850.5	4390.8	8.4934	0.30012	3849.9	4390.1	8.4386	0.27004	3849.3	4389.4	8.3895			
1000	0.36678	4049.0	4635.8	8.6938	0.32598	4048.4	4635.2	8.6390	0.29333	4047.9	4634.6	8.5900			
1100	0.39581	4253.7	4887.0	8.8837	0.35180	4253.2	4886.4	8.8290	0.31659	4252.7	4885.9	8.7800			
1200	0.42482	4464.2	5143.9	9.0642	0.37761	4463.7	5143.4	9.0096	0.33984	4463.2	5142.9	8.9606			
1300	0.45382	4679.9	5406.0	9.2364	0.40340	4679.4	5405.6	9.1817	0.36306	4679.0	5405.1	9.1328			
	P = 2.50 MPa (223.99)					P = 3.00 MPa (233.90)					P = 3.50 MPa (242.60)				
Sat.	0.07998	2603.1	2803.1	6.2574	0.06668	2604.1	2804.1	6.1869	0.05707	2603.7	2803.4	6.1252			
225	0.08027	2605.6	2806.3	6.2638	—	—	—	—	—	—	—	—			
250	0.08700	2662.5	2880.1	6.4084	0.07058	2644.0	2855.8	6.2871	0.05873	2623.7	2829.2	6.1748			
300	0.09890	2761.6	3008.8	6.6437	0.08114	2750.0	2993.5	6.5389	0.06842	2738.0	2977.5	6.4460			
350	0.10976	2851.8	3126.2	6.8402	0.09053	2843.7	3115.3	6.7427	0.07678	2835.3	3104.0	6.6578			
400	0.12010	2939.0	3239.3	7.0147	0.09936	2932.7	3230.8	6.9211	0.08453	2926.4	3222.2	6.8404			
450	0.13014	3025.4	3350.8	7.1745	0.10787	3020.4	3344.0	7.0833	0.09196	3015.3	3337.2	7.0051			
500	0.13998	3112.1	3462.0	7.3233	0.11619	3107.9	3456.5	7.2337	0.09918	3103.7	3450.9	7.1571			
600	0.15930	3288.0	3686.2	7.5960	0.13243	3285.0	3682.3	7.5084	0.11354	3282.1	3678.4	7.4338			
700	0.17832	3468.8	3914.6	7.8435	0.14838	3466.6	3911.7	7.7571	0.12699	3464.4	3908.8	7.6837			

(Continuación) Vapor de agua sobrecalentado (unidades SI)													
T	P = 2.50 MPa (223.99)				P = 3.00 MPa (233.90)				P = 3.50 MPa (242.60)				
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s	
800	0.19716	3655.3	4148.2	8.0720	0.16414	3653.6	4146.0	7.9862	0.14056	3651.8	4143.8	7.9135	
900	0.21590	3847.9	4387.6	8.2853	0.17980	3846.5	4385.9	8.1999	0.15402	3845.0	4384.1	8.1275	
1000	0.23458	4046.7	4633.1	8.4860	0.19541	4045.4	4631.6	8.4009	0.16743	4044.1	4630.1	8.3288	
1100	0.25322	4251.5	4884.6	8.6761	0.21098	4250.3	4883.3	8.5911	0.18080	4249.1	4881.9	8.5191	
1200	0.27185	4462.1	5141.7	8.8569	0.22652	4460.9	5140.5	8.7719	0.19415	4459.8	5139.3	8.7000	
1300	0.29046	4677.8	5404.0	9.0291	0.24206	4676.6	5402.8	8.9442	0.20749	4675.5	5401.7	8.8723	
P = 4.00 MPa (250.40)													
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0700	0.04406	2600.0	2798.3	6.0198	0.03944	2597.1	2794.3	5.9733	
275	0.05457	2667.9	2886.2	6.2284	0.04730	2650.3	2863.1	6.1401	0.04141	2631.2	2838.3	6.0543	
300	0.05884	2725.3	2960.7	6.3614	0.05135	2712.0	2943.1	6.2827	0.04532	2697.9	2924.5	6.2083	
350	0.06645	2826.6	3092.4	6.5820	0.05840	2817.8	3080.6	6.5130	0.05194	2808.7	3068.4	6.4492	
400	0.07341	2919.9	3213.5	6.7689	0.06475	2913.3	3204.7	6.7046	0.05781	2906.6	3195.6	6.6458	
450	0.08003	3010.1	3330.2	6.9362	0.07074	3004.9	3323.2	6.8745	0.06330	2999.6	3316.1	6.8185	
500	0.08643	3099.5	3445.2	7.0900	0.07651	3095.2	3439.5	7.0300	0.06857	3090.9	3433.8	6.9758	
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.08765	3276.0	3670.5	7.3109	0.07869	3273.0	3666.5	7.2588	
700	0.11095	3462.1	3905.9	7.6198	0.09847	3459.9	3903.0	7.5631	0.08849	3457.7	3900.1	7.5122	
800	0.12287	3650.1	4141.6	7.8502	0.10911	3648.4	4139.4	7.7942	0.09811	3646.6	4137.2	7.7440	
900	0.13469	3843.6	4382.3	8.0647	0.11965	3842.1	4380.6	8.0091	0.10762	3840.7	4378.8	7.9593	
1000	0.14645	4042.9	4628.7	8.2661	0.13013	4041.6	4627.2	8.2108	0.11707	4040.3	4625.7	8.1612	
1100	0.15817	4248.0	4880.6	8.4566	0.14056	4246.8	4879.3	8.4014	0.12648	4245.6	4878.0	8.3519	
1200	0.16987	4458.6	5138.1	8.6376	0.15098	4457.4	5136.9	8.5824	0.13587	4456.3	5135.7	8.5330	
1300	0.18156	4674.3	5400.5	8.8099	0.16139	4673.1	5399.4	8.7548	0.14526	4672.0	5398.2	8.7055	
P = 6.00 MPa (275.64)													
Sat.	0.03244	2589.7	2784.3	5.8891	0.02737	2580.5	2772.1	5.8132	0.02352	2569.8	2757.9	5.7431	
300	0.03616	2667.2	2884.2	6.0673	0.02947	2632.1	2838.4	5.9304	0.02426	2590.9	2785.0	5.7905	
350	0.04223	2789.6	3043.0	6.3334	0.03524	2769.3	3016.0	6.2282	0.02995	2747.7	2987.3	6.1300	
400	0.04739	2892.8	3177.2	6.5407	0.03993	2878.6	3158.1	6.4477	0.03432	2863.8	3138.3	6.3633	
450	0.05214	2988.9	3301.8	6.7192	0.04416	2977.9	3287.0	6.6326	0.03817	2966.7	3272.0	6.5550	
500	0.05665	3082.2	3422.1	6.8802	0.04814	3073.3	3410.3	6.7974	0.04175	3064.3	3398.3	6.7239	
P = 7.00 MPa (285.88)													
Sat.	0.02737	2580.5	2772.1	5.8132	0.02352	2569.8	2757.9	5.7431	0.02035	2559.1	2747.7	5.6800	
300	0.03016	2667.2	2884.2	6.0673	0.02547	2632.1	2838.4	5.9304	0.02246	2590.9	2785.0	5.7905	
350	0.03623	2789.6	3043.0	6.3334	0.03124	2769.3	3016.0	6.2282	0.02795	2747.7	2987.3	6.1300	
400	0.04139	2892.8	3177.2	6.5407	0.03593	2878.6	3158.1	6.4477	0.03242	2863.8	3138.3	6.3633	
450	0.04614	2988.9	3301.8	6.7192	0.04016	2977.9	3287.0	6.6326	0.03617	2966.7	3272.0	6.5550	
500	0.05065	3082.2	3422.1	6.8802	0.04414	3073.3	3410.3	6.7974	0.04175	3064.3	3398.3	6.7239	

T	P = 6.00 MPa (275.64)				P = 7.00 MPa (285.88)				P = 8.00 MPa (295.06)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
550	0.06101	3174.6	3540.6	7.0287	0.05195	3167.2	3530.9	6.9486	0.04516	3159.8	3521.0	6.8778
600	0.06525	3266.9	3658.4	7.1676	0.05565	3260.7	3650.3	7.0894	0.04845	3254.4	3642.0	7.0205
700	0.07352	3453.2	3894.3	7.4234	0.06283	3448.6	3888.4	7.3476	0.05481	3444.0	3882.5	7.2812
800	0.08160	3643.1	4132.7	7.6566	0.06981	3639.6	4128.3	7.5822	0.06097	3636.1	4123.8	7.5173
900	0.08958	3837.8	4375.3	7.8727	0.07669	3835.0	4371.8	7.7991	0.06702	3832.1	4368.3	7.7350
1000	0.09749	4037.8	4622.7	8.0751	0.08350	4035.3	4619.8	8.0020	0.07301	4032.8	4616.9	7.9384
1100	0.10536	4243.3	4875.4	8.2661	0.09027	4240.9	4872.8	8.1933	0.07896	4238.6	4870.3	8.1299
1200	0.11321	4454.0	5133.3	8.4473	0.09703	4451.7	5130.9	8.3747	0.08489	4449.4	5128.5	8.3115
1300	0.12106	4669.6	5396.0	8.6199	0.10377	4667.3	5393.7	8.5472	0.09080	4665.0	5391.5	8.4842
	P = 10.00 MPa (311.06)											
Sat.	0.02048	2557.8	2742.1	5.6771	0.01803	2544.4	2724.7	5.6140	0.01350	2505.1	2673.8	5.4623
325	0.02327	2646.5	2855.9	5.8711	0.01986	2610.4	2809.0	5.7568	—	—	—	—
350	0.02580	2724.4	2956.5	6.0361	0.02242	2699.2	2923.4	5.9442	0.01613	2624.6	2826.2	5.7117
400	0.02993	2848.4	3117.8	6.2853	0.02641	2832.4	3096.5	6.2119	0.02000	2789.3	3039.3	6.0416
450	0.03350	2955.1	3256.6	6.4843	0.02975	2943.3	3240.8	6.4189	0.02299	2912.4	3199.8	6.2718
500	0.03677	3055.1	3386.1	6.6575	0.03279	3045.8	3373.6	6.5965	0.02560	3021.7	3341.7	6.4617
550	0.03987	3152.2	3511.0	6.8141	0.03564	3144.5	3500.9	6.7561	0.02801	3124.9	3475.1	6.6289
600	0.04285	3248.1	3633.7	6.9588	0.03837	3241.7	3625.3	6.9028	0.03029	3225.4	3604.0	6.7810
650	0.04574	3343.7	3755.3	7.0943	0.04101	3338.2	3748.3	7.0397	0.03248	3324.4	3730.4	6.9218
700	0.04857	3439.4	3876.5	7.2221	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687	0.03460	3422.9	3855.4	7.0536
800	0.05409	3632.5	4119.4	7.4597	0.04859	3629.0	4114.9	7.4077	0.03869	3620.0	4103.7	7.2965
900	0.05950	3829.2	4364.7	7.6782	0.05349	3826.3	4361.2	7.6272	0.04267	3819.1	4352.5	7.5181
1000	0.06485	4030.3	4613.9	7.8821	0.05832	4027.8	4611.0	7.8315	0.04658	4021.6	4603.8	7.7237
1100	0.07016	4236.3	4867.7	8.0739	0.06312	4234.0	4865.1	8.0236	0.05045	4228.2	4858.8	7.9165
1200	0.07544	4447.2	5126.2	8.2556	0.06789	4444.9	5123.8	8.2054	0.05430	4439.3	5118.0	8.0987
1300	0.08072	4662.7	5389.2	8.4283	0.07265	4660.4	5387.0	8.3783	0.05813	4654.8	5381.4	8.2717
	P = 15 MPa (342.24)											
Sat.	0.01038	2455.4	2610.5	5.3097	0.0079204	2390.2	2528.8	5.1418	0.0058342	2293.1	2409.7	4.9269
350	0.01470	2520.4	2692.4	5.4420	—	—	—	—	—	—	—	—
400	0.015649	2740.7	2975.4	5.8810	0.012477	2685.0	2902.8	5.7212	0.0099423	2619.2	2818.1	5.5539
450	0.018446	2879.5	3156.2	6.1403	0.0151740	2844.2	3109.7	6.0182	0.0126953	2806.2	3060.1	5.9016
500	0.020800	2996.5	3308.5	6.3442	0.0173585	2970.3	3274.0	6.2382	0.0147683	2942.8	3238.2	6.1400
550	0.022927	3104.7	3448.6	6.5198	0.0192877	3083.8	3421.4	6.4229	0.0165553	3062.3	3393.5	6.3347
600	0.024911	3208.6	3582.3	6.6775	0.0210640	3191.5	3500.1	6.5866	0.0181781	3174.0	3537.6	6.5048
650	0.026797	3310.4	3712.3	6.8223	0.0227372	3296.0	3693.9	6.7356	0.0196929	3281.5	3675.3	6.6582

(Continuación) Vapor de agua sobrecalentado (unidades SI)

T	P = 15 MPa (342.24)					P = 17.5 MPa (354.75)					P = 20 MPa (365.81)				
	v	u	h	s	s	v	u	h	s	s	v	u	h	s	s
700	.028612	3410.9	3840.1	6.9572	.0243365	3398.8	3824.7	6.8736	.0211311	3386.5	3809.1	6.7993			
800	.032096	3611.0	4092.4	7.2040	.0273849	3601.9	4081.1	7.1245	.0238532	3592.7	4069.8	7.0544			
900	.035457	3811.9	4343.8	7.4279	.0303071	3804.7	4335.1	7.3507	.0264463	3797.4	4326.4	7.2830			
1000	.038748	4015.4	4596.6	7.6347	.0331580	4009.3	4589.5	7.5588	.0289666	4003.1	4582.5	7.4925			
1100	.042001	4222.6	4852.6	7.8282	.0359695	4216.9	4846.4	7.7530	.0314471	4211.3	4840.2	7.6874			
1200	.045233	4433.8	5112.3	8.0108	.0387605	4428.3	5106.6	7.9359	.0339071	4422.8	5101.0	7.8706			
1300	.048455	4649.1	5375.9	8.1839	.0415417	4643.5	5370.5	8.1093	.0363574	4638.0	5365.1	8.0441			
	P = 25 MPa					P = 30 MPa					P = 35 MPa				
375	.001973	1798.6	1847.9	4.0319	.001789	1737.8	1791.4	3.9303	.001700	1702.9	1762.4	3.8721			
400	.006004	2430.1	2580.2	5.1418	.002790	2067.3	2151.0	4.4728	.002100	1914.0	1987.5	4.2124			
425	.007882	2609.2	2806.3	5.4722	.005304	2455.1	2614.2	5.1503	.003428	2253.4	2373.4	4.7747			
450	.009162	2720.7	2949.7	5.6743	.006735	2619.3	2821.4	5.4423	.004962	2498.7	2672.4	5.1962			
500	.011124	2884.3	3162.4	5.9592	.008679	2820.7	3081.0	5.7904	.006927	2751.9	2994.3	5.6281			
550	.012724	3017.5	3335.6	6.1764	.010168	2970.3	3275.4	6.0342	.008345	2920.9	3213.0	5.9025			
600	.014138	3137.9	3491.4	6.3602	.011446	3100.5	3443.9	6.2330	.009527	3062.0	3395.5	6.1178			
650	.015433	3251.6	3637.5	6.5229	.012596	3221.0	3598.9	6.4057	.010575	3189.8	3559.9	6.3010			
700	.016647	3361.4	3777.6	6.6707	.013661	3335.8	3745.7	6.5606	.011533	3309.9	3713.5	6.4631			
800	.018913	3574.3	4047.1	6.9345	.015623	3555.6	4024.3	6.8332	.013278	3536.8	4001.5	6.7450			
900	.021045	3783.0	4309.1	7.1679	.017448	3768.5	4291.9	7.0717	.014883	3754.0	4274.9	6.9886			
1000	.023102	3990.9	4568.5	7.3801	.019196	3978.8	4554.7	7.2867	.016410	3966.7	4541.1	7.2063			
1100	.025119	4200.2	4828.2	7.5765	.020903	4189.2	4816.3	7.4845	.017895	4178.3	4804.6	7.4056			
1200	.027115	4412.0	5089.9	7.7604	.022589	4401.3	5079.0	7.6691	.019360	4390.7	5068.4	7.5910			
1300	.029101	4626.9	5354.4	7.9342	.024266	4616.0	5344.0	7.8432	.020815	4605.1	5333.6	7.7652			
	P = 40 MPa					P = 50 MPa					P = 60 MPa				
375	.0016406	1677.1	1742.7	3.8289	.0015593	1638.6	1716.5	3.7638	.0015027	1609.3	1699.5	3.7140			
400	.0019077	1854.5	1930.8	4.1134	.0017309	1788.0	1874.6	4.0030	.0016335	1745.3	1843.4	3.9317			
425	.0025319	2096.8	2198.1	4.5028	.0020071	1959.6	2060.0	4.2733	.0018165	1892.7	2001.7	4.1625			
450	.0036931	2365.1	2512.8	4.9459	.0024862	2159.6	2283.9	4.5883	.0020850	2053.9	2179.0	4.4119			
500	.0056225	2678.4	2903.3	5.4699	.0038924	2525.5	2720.1	5.1725	.0029557	2390.5	2567.9	4.9320			

<i>Agua líquida comprimida (unidades SI)</i>												
<i>T</i>	<i>P = 5.00 MPa (263.99)</i>				<i>P = 10.00 MPa (311.06)</i>				<i>P = 15.00 MPa (342.24)</i>			
	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
600	.0080943	3022.6	3346.4	6.0113	.0061123	2942.0	3247.6	5.8177	.0048345	2861.1	3151.2	5.6451
650	.0090636	3158.0	3520.6	6.2054	.0069657	3093.6	3441.8	6.0342	.0055953	3028.8	3364.6	5.8829
700	.0099415	3283.6	3681.3	6.3750	.0077274	3230.5	3616.9	6.2189	.0062719	3177.3	3553.6	6.0824
800	.0115228	3517.9	3978.8	6.6662	.0090761	3479.8	3933.6	6.5290	.0074588	3441.6	3889.1	6.4110
900	.0129626	3739.4	4257.9	6.9150	.0102831	3710.3	4224.4	6.7882	.0085083	3681.0	4191.5	6.6805
1000	.0143238	3954.6	4527.6	7.1356	.0114113	3930.5	4501.1	7.0146	.0094800	3906.4	4475.2	6.9126
1100	.0156426	4167.4	4793.1	7.3364	.0124966	4145.7	4770.6	7.2183	.0104091	4124.1	4748.6	7.1194
1200	.0169403	4380.1	5057.7	7.5224	.0135606	4359.1	5037.2	7.4058	.0113167	4338.2	5017.2	7.3082
1300	.0182292	4594.3	5323.5	7.6969	.0146159	4572.8	5303.6	7.5807	.0122155	4551.4	5284.3	7.4837

<i>Compressed Liquid Water (SI Units)</i>												
<i>T</i>	<i>P = 5.00 MPa (263.99)</i>				<i>P = 10.00 MPa (311.06)</i>				<i>P = 15.00 MPa (342.24)</i>			
	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	.0012859	1147.78	1154.21	2.9201	.0014524	1393.00	1407.53	3.3595	.0016581	1585.58	1610.45	3.6847
0	.0009977	0.03	5.02	0.0001	.0009952	0.10	10.05	0.0003	.0009928	0.15	15.04	0.0004
20	.0009995	83.64	88.64	0.2955	.0009972	83.35	93.32	0.2945	.0009950	83.05	97.97	0.2934
40	.0010056	166.93	171.95	0.5705	.0010034	166.33	176.36	0.5685	.0010013	165.73	180.75	0.5665
60	.0010149	250.21	255.28	0.8284	.0010127	249.34	259.47	0.8258	.0010105	248.49	263.65	0.8231
80	.0010268	333.69	338.83	1.0719	.0010245	332.56	342.81	1.0687	.0010222	331.46	346.79	1.0655
100	.0010410	417.50	422.71	1.3030	.0010385	416.09	426.48	1.2992	.0010361	414.72	430.26	1.2954
120	.0010576	501.79	507.07	1.5232	.0010549	500.07	510.61	1.5188	.0010522	498.39	514.17	1.5144
140	.0010768	586.74	592.13	1.7342	.0010737	584.67	595.40	1.7291	.0010707	582.64	598.70	1.7241
160	.0010988	672.61	678.10	1.9374	.0010953	670.11	681.07	1.9316	.0010918	667.69	684.07	1.9259
180	.0011240	759.62	765.24	2.1341	.0011199	756.63	767.83	2.1274	.0011159	753.74	770.48	2.1209
200	.0011530	848.08	853.85	2.3254	.0011480	844.49	855.97	2.3178	.0011433	841.04	858.18	2.3103
220	.0011866	938.43	944.36	2.5128	.0011805	934.07	945.88	2.5038	.0011748	929.89	947.52	2.4952
240	.0012264	1031.34	1037.47	2.6978	.0012187	1025.94	1038.13	2.6872	.0012114	1020.82	1038.99	2.6770

(Continuación) Agua líquida comprimida (unidades SI)

T	P = 5.00 MPa (263.99)					P = 10.00 MPa (311.06)					P = 15.00 MPa (342.24)				
	v	u	h	s		v	u	h	s		v	u	h	s	
260	.0012748	1127.92	1134.30	2.8829		.0012645	1121.03	1133.68	2.8698		.0012550	1114.59	1133.41	2.8575	
280						.0013216	1220.90	1234.11	3.0547		.0013084	1212.47	1232.09	3.0392	
300						.0013972	1328.34	1342.31	3.2468		.0013770	1316.58	1337.23	3.2259	
320											.0014724	1431.05	1453.13	3.4246	
340											.0016311	1567.42	1591.88	3.6545	
P = 20 MPa (365.81)															
Sat.	.0020353	1785.47	1826.18	4.0137											
0	.0009904	0.20	20.00	0.0004		.0009856	0.25	29.82	0.0001		.0009766	0.20	49.03	-0.0014	
20	.0009928	82.75	102.61	0.2922		.0009886	82.16	111.82	0.2898		.0009804	80.98	130.00	0.2847	
40	.0009992	165.15	185.14	0.5646		.0009951	164.01	193.87	0.5606		.0009872	161.84	211.20	0.5526	
60	.0010084	247.66	267.82	0.8205		.0010042	246.03	276.16	0.8153		.0009962	242.96	292.77	0.8051	
80	.0010199	330.38	350.78	1.0623		.0010156	328.28	358.75	1.0561		.0010073	324.32	374.68	1.0439	
100	.0010337	413.37	434.04	1.2917		.0010290	410.76	441.63	1.2844		.0010201	405.86	456.87	1.2703	
120	.0010496	496.75	517.74	1.5101		.0010445	493.58	524.91	1.5017		.0010348	487.63	539.37	1.4857	
140	.0010678	580.67	602.03	1.7192		.0010621	576.86	608.73	1.7097		.0010515	569.76	622.33	1.6915	
160	.0010885	665.34	687.11	1.9203		.0010821	660.81	693.27	1.9095		.0010703	652.39	705.91	1.8890	
180	.0011120	750.94	773.18	2.1146		.0011047	745.57	778.71	2.1024		.0010912	735.68	790.24	2.0793	
200	.0011387	837.70	860.47	2.3031		.0011302	831.34	865.24	2.2892		.0011146	819.73	875.46	2.2634	
220	.0011693	925.89	949.27	2.4869		.0011590	918.32	953.09	2.4710		.0011408	904.67	961.71	2.4419	
240	.0012046	1015.94	1040.04	2.6673		.0011920	1006.84	1042.60	2.6489		.0011702	990.69	1049.20	2.6158	
260	.0012462	1108.53	1133.45	2.8459		.0012303	1097.38	1134.29	2.8242		.0012034	1078.06	1138.23	2.7860	
280	.0012965	1204.69	1230.62	3.0248		.0012755	1190.69	1228.96	2.9985		.0012415	1167.19	1229.26	2.9536	
300	.0013596	1306.10	1333.29	3.2071		.0013304	1287.89	1327.80	3.1740		.0012860	1258.66	1322.95	3.1200	
320	.0014437	1415.66	1444.53	3.3978		.0013997	1390.64	1432.63	3.3538		.0013388	1353.23	1420.17	3.2867	
340	.0015683	1539.64	1571.01	3.6074		.0014919	1501.71	1546.47	3.5425		.0014032	1451.91	1522.07	3.4556	
360	.0018226	1702.78	1739.23	3.8770		.0016265	1626.57	1675.36	3.7492		.0014838	1555.97	1630.16	3.6290	
380	—	—	—	—		.0018691	1781.35	1837.43	4.0010		.0015883	1667.13	1746.54	3.8100	

Conclusiones

Se ha descrito el papel que juega una bomba de agua de alimentación en un ciclo de vapor.

Así, como también, se dio a conocer lo que es una bomba de agua de alimentación con sus componentes internos y su equipo auxiliar.

Se ha demostrado que es importante vigilar el buen funcionamiento diario de la bomba para asegurar que el desgaste de los componentes se reduzca a niveles muy bajos y evitar costos elevados en reparaciones y un número mayor de paros.

En este trabajo se muestran las actividades que engloba el mantenimiento preventivo de la máquina y se cumple el objetivo de ponerlo al alcance de estudiantes y profesores de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

De esta forma este trabajo contribuye a mejorar la comprensión de quien lo consulte, en torno al funcionamiento de una central termoeléctrica y más concretamente para comprender la aplicación práctica del ciclo Rankine.

Bibliografía

- **Van Wylen**
“Fundamentos de Termodinámica”
Segunda edición
Limusa Wiley
- **Kenneth Wark – Donald E. Richards**
“Termodinámica”
Sexta edición
McGraw Hill
- **Claudio Mataix**
“Turbomáquinas térmicas”
Dossat
- **Hicks, Tyler G.**
“Bombas. Su selección y aplicación”
Compañía Editorial Continental S. A.
México
- **Karassik, Igor J.**
“Bombas Centrífugas. Selección, operación y mantenimiento”
Compañía Editorial Continental S. A.
México
- **Ing. Viejo Zubicaray, Manuel**
“Bombas. Teoría, diseño y aplicaciones”
Segunda Edición
Editorial Limusa
- **Gerencia de generación y transmisión central**
“Bombas”
Escuela Celaya
1ra. Edición Diciembre 1985
- **Byron Jackson**
“Introducción al conocimiento y correcta aplicación de las bombas centrífugas”
México D.F. 1988
- **Ing. Patiño Medina, Jorge A.**
“Procedimiento para mantenimiento general a bombas de agua de alimentación, unidades 3 y 4”
Gerencia regional de producción central C. T. Francisco Pérez Ríos
Febrero 2000
- **Ing. Guerrero Villalobos, Guillermo**
Ing. Puente Gómez, Jorge
“Prontuario”
C. T. Tula Francisco Pérez Ríos