

BORIS KALMAR ALVARADO

UB3168SEE7725

MECHANICAL ENGINEERING

SEGUNDA FASE

HYDRAULIC MACHINES

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY

Honolulu, Hawaii

JULIO 2008

TABLA DE CONTENIDOS

HYDRAULIC MACHINES

1.	Introducción	Pág 3
2.	Clasificación de las máquinas hidráulicas	Pág 5
3.	Ecuación fundamental de las turbomáquinas	Pág 7
3.1	Limitaciones de la teoría Euleriana	Pág 9
3.2	Rendimiento de las turbomáquinas	Pág 10
4.	Clasificación de las turbomáquinas según la dirección del flujo en el rodete	Pág 11
5.	Turbomáquinas hidráulicas- bombas rotodinámicas	Pág 13
5.1	Clasificación de las bombas rotodinámicas	Pág 14
5.2	Elementos constitutivos	Pág 15
5.3	Donde empieza y donde termina la máquina secciones de entrada E y de salida S	Pág 16
5.4	Tipos de bombas	Pág 16
6.	Turbomáquinas hidráulicas - ventiladores	Pág 20
7.	Turbomáquinas hidráulicas: turbina	Pág 24
7.1	Elementos constitutivos	Pág 25
7.2	Clasificación según el grado de reacción	Pág 28
7.3	Motor de turbina (motor de reacción- máquina térmica)	Pág 31
8.	Conclusiones	Pág 32
9.	Recomendaciones	Pág 33
10.	Bibliografía	Pág 34

HIDRAULIC MACHINES

1. INTRODUCCION

Una máquina absorbe energía de una clase y restituye energía de otra clase (un motor eléctrico, por ejemplo, absorbe energía eléctrica y restituye energía mecánica) o de la misma clase pero transformada (una grúa o un torno, por ejemplo, absorben y restituyen energía mecánica).

Las máquinas se clasifican en grupos: máquinas de fluido, máquinas y herramientas, máquinas eléctricas, etc.

Las máquinas hidráulicas pertenecen a un grupo muy importante de máquinas que se llaman máquinas de fluido. Aunque rara es la máquina en que no intervienen uno o varios fluidos como refrigerantes, lubricantes; eso sólo no es suficiente para incluir dicha máquina en el grupo de máquinas de fluido.

Máquinas de fluido son aquellas máquinas en que el fluido, o bien proporciona la energía que absorbe la máquina (por ejemplo, el agua que se suministra a una turbina posee una energía preferentemente de presión, proveniente de la energía geodésica que poseía el embalse y que a su vez la turbina transforma la energía mecánica) o bien aquellas en que el fluido es el receptor de energía, al que la máquina restituye la energía mecánica absorbida.

En toda máquina de fluido hay un intercambio entre energía de fluido y energía mecánica (por ejemplo, el agua sale de una bomba con más presión que la tenía la entrada de la misma, por que la bomba ha restituido al agua la energía absorbida en el eje). Las máquinas de fluido revisten infinidad de formas y encuentran un sin fin de aplicaciones en la técnica basta ver que dentro de este grupo se hallan comprendidas máquinas tan diversas como la diminuta fresa neumática de un dentista, que gira a 500.000 rpm, y la gigantesca turbina de vapor de 1.200 MW; o como la bomba de membrana para combustible de un

automóvil y n cohete de combustible líquido. Las máquinas de fluido se clasifican en máquinas hidráulicas y máquinas térmicas.

Etimológicamente máquina hidráulica es una máquina de fluido en que el fluido es agua y no obstante la turbina de vapor funciona con agua y no es una máquina hidráulica, si no una máquina térmica. Por el contrario a pesar de que un ventilador no bombea agua, sino aire, el ventilador es una máquina hidráulica. Las bombas que bombean líquidos distintos al agua (gasolina, ácidos, etc.) también son máquinas hidráulicas. Aunque el líquido bombeado este caliente la máquina no es una máquina térmica, sino que seguirá siendo hidráulica. Aunque el nombre de máquina hidráulica, según lo dicho no sea apropiado, la clasificación misma de las máquinas de fluido en máquinas hidráulicas y térmicas es rigurosa y científica.

- Máquina hidráulica es aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente su densidad en su paso a través de la máquina, por lo cual en el diseño y estudio de la misma se hace la hipótesis de que $\rho = \text{cte}$.
- Máquina térmica es aquella en el fluido en su paso a través de la máquina varía sensiblemente de densidad y volumen específico, el cual en el diseño y estudio de la máquina ya no puede suponerse constante.

La compresibilidad e incompresibilidad del fluido que se traduce en la variación o invariancia de la densidad o volumen específico es fundamental en el diseño de una máquina.

- Todo cuerpo sólido, líquido o gas es compresible. Sin embargo, el diseño de una bomba, por ejemplo, se hace suponiendo que el líquido bombeado es incompresible o de densidad constante: la bomba es una máquina hidráulica. El diseño de un turborreactor, por el contrario, no puede hacerse sin tener en cuenta la variación del volumen específico del aire a través de la máquina: el turborreactor es un máquina térmica. En un compresor el fluido es un gas y un gas es muy compresible, y,

por tanto, su volumen específico varía grandemente. sin embargo, si el incremento de presión es pequeño (inferior a 100mbar) el diseño del compresor llevado a cabo con la hipótesis de que el volumen específico del gas es constante resulta con frecuencia satisfactorio. En este caso la máquina se llama ventilador: el ventilador es una máquina hidráulica. No obstante, si la relación de compresión es grande (superior a 100 mbar), no puede despreciarse la variación del volumen específico del gas a través de la máquina. En este caso la máquina se llama compresor: el compresor es una máquina térmica.

En esta asignatura debemos estudiar las máquinas de hidráulicas; y no las máquinas térmicas cuyo estudio pertenece a la termodinámica.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Para clasificar las máquinas hidráulicas se atiende el órgano principal de la máquina, o sea el órgano en que se intercambia la energía mecánica en energía de fluido o viceversa. Este órgano según los casos se llama rodete, émbolo o impulsor Figura1.



Ahora bien, la clasificación de las máquinas hidráulicas en rotativas y alternativas, según que el órgano intercambiador de energía esté provisto de movimiento de rotación o de movimiento alternativo tiene la ventaja de ser muy clara; pero suele preferirse la siguiente, que considera dos grupos también. Esta clasificación tiene la ventaja de que nos e basa en algo accidental como es el tipo de movimiento del émbolo o rodete, sino en el principio fundamental de funcionamiento, que es distinto en los dos grupos.

Las máquinas hidráulicas se clasifican en turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo.

En las máquinas de desplazamiento positivo, también llamadas máquinas volumétricas, el órgano intercambiador de energía cede energía al fluido o el fluido a él en forma de energía de presión creada por variación de volumen. Los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido no juegan papel esencial alguno.

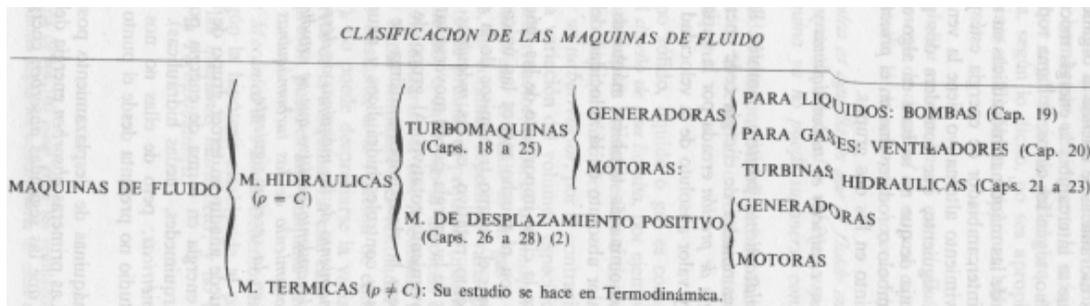
Al primer grupo pertenecen la clase importante de máquinas alternativas o de émbolo; pero estas no son ni mucho menos las únicas, así como en las turbomáquinas el órgano transmisor de la energía (rodete) se mueve siempre con movimiento rotativo, en las máquinas de desplazamiento positivo el órgano transmisor de la energía puede moverse tanto con movimiento alternativo como con movimiento rotativo. Al grupo de máquinas de desplazamiento positivo pertenece la clase importantísima de las máquinas empleadas en las transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos.

Las máquinas de desplazamiento positivo funcionan bajo el principio de desplazamiento positivo. El principio de funcionamiento de las turbomáquinas es la ecuación de Euler.

Podemos añadir un tercer grupo de máquinas hidráulicas, en que se intercambia energía en forma de energía potencial (elevadores de cangilones, tornillo de

Arquímedes, rueda hidráulica). Estas máquinas se denominan máquinas gravimétricas. De este grupo no nos ocuparemos ya que su estudio no presenta desde el punto de vista hidráulico mayor dificultad.

Las turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo se subdividen en motoras y generadoras. Las primeras absorben energía del fluido y restituyen energía mecánica; mientras que las segundas absorben energía mecánica y restituyen energía al fluido.



3. ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LAS TURBOMÁQUINAS

De esta ecuación fundamental se pueden deducir cuestiones básicas del diseño de muchas turbomáquinas pudiéndola escribir en otras formas más interesantes. Continuaremos deduciendo las fórmulas a partir de la ecuación general de las turbomáquinas motoras centrífugas y comenzaremos reescribiéndola así:

$$L = [u_3 c_3 \cos(\alpha_3) - u_0 c_0 \cos(\alpha_0)]$$

Donde L se conoce como labor o trabajo por unidad de masa que pasa por el rotor, también conocido como trabajo específico. Luego, si aplicamos el teorema del coseno al triangulo de velocidades obtendremos la siguiente expresión.

$$w^2 = c^2 + u^2 - 2cu \cdot \cos(\alpha)$$

$$cu \cdot \cos(\alpha) = \frac{c^2}{2} + \frac{u^2}{2} - \frac{w^2}{2}$$

Si sustituimos en la ecuación general obtendremos una expresión del trabajo específico únicamente en función de los cambios de velocidades:

$$L = \frac{c_3^2 - c_0^2}{2} + \frac{u_3^2 - u_0^2}{2} + \frac{w_0^2 - w_3^2}{2}$$



Turboreactor Rolls Royce

Ya con esta ecuación, para turbomáquinas centrífugas generadoras, podemos encontrar cosas interesantes, como por ejemplo que para un mayor suministro de energía al fluido de trabajo nos conviene que la velocidad a la salida sea mayor a la velocidad de entrada ($u_3 > u_0$), este es el hecho que determina que en las bombas y compresores centrífugos que la entrada del fluido sea por el centro del rotor y no al contrario.

Ahora escribamos la misma ecuación para máquinas motoras multiplicando por un signo menos:

$$L = \frac{c_0^2 - c_3^2}{2} + \frac{u_0^2 - u_3^2}{2} + \frac{w_3^2 - w_0^2}{2}$$

Aquí encontramos una situación análoga para las turbinas radiales, para mejorar el intercambio energético nos conviene que la velocidad periférica sea mayor en la entrada que en la salida, por eso en las turbinas radiales (y también semi-axiales como la Francis) el fluido de trabajo siempre entra por la parte exterior del rotor.

Ahora escribamos la primera ley de la termodinámica para turbomáquinas motoras en un proceso adiabático (obsérvese que L es definido positivo):

$$L = \Delta h + \frac{c_0^2}{2} - \frac{c_3^2}{2}$$

Podemos ver que al sustituir L el término relativo al cambio de la velocidad absoluta desaparece para expresar el salto entálpico como función del cambio de velocidad periférica más el cambio de velocidad relativa:

$$\Delta h = \frac{u_0^2 - u_3^2}{2} + \frac{w_3^2 - w_0^2}{2}$$

Más aún para las turbomáquinas generadoras axiales como $u_0 = u_3$ el salto entálpico sólo es función del cambio de velocidades relativas. Así, por ejemplo, existen turbinas de vapor axiales en las que no ocurre ningún cambio entálpico (Turbina Curtis) y es por esto que sus álabes tienen forma simétrica de media luna.

3.1 LIMITACIONES DE LA TEORÍA EULERIANA

La descripción dada arriba del intercambio energético dado en el paso del fluido de trabajo por el seno del rodete de la turbomáquina se conoce como teoría euleriana. Esta teoría resulta satisfactoria en muchos casos, en los cuales son válidas las suposiciones efectuadas para concluir la ecuación fundamental de las

turbomáquinas. Por otro lado cuando estas suposiciones no son verificadas no es posible obtener una descripción satisfactoria a partir de la teoría euleriana, y en cada caso se deben tomar las medidas competentes para realizar un diseño correcto.

3.2 RENDIMIENTO DE LAS TURBOMÁQUINAS

En las turbomáquinas el concepto de rendimiento es de suma importancia. El rendimiento o eficiencia, puede verse como la razón existente entre los beneficios que pueden obtenerse idealmente de una máquina y aquellos que son obtenidos en la realidad. En otras palabras el rendimiento total de una turbomáquina se define como la razón entre la potencia restituida y la potencia absorbida:

$$\eta_{total} = \frac{\text{potencia restituida}}{\text{potencia absorbida}}$$

En las turbomáquinas motoras la potencia absorbida es toda aquella entregada por el fluido de trabajo en su paso por la máquina, y la potencia restituida es aquella que se encuentra en el eje del rotor. Al contrario ocurre en las turbomáquinas generadoras, ya que la potencia absorbida se encuentra en el eje del rotor, y la energía restituida es aquella que es entregada efectivamente al fluido de trabajo.

El discurso sobre el rendimiento utiliza ampliamente los conceptos de la termodinámica. La primera ley de la termodinámica nos indica que la potencia restituida jamás podrá ser mayor a la potencia absorbida, ya que esto implicaría la creación espontánea de energía. La segunda ley de la termodinámica nos dice que la potencia absorbida siempre será mayor que la potencia restituida, ya que la energía se suministra al fluido en un número finito de etapas (es un proceso irreversible). De esta forma podemos afirmar que:

$$\eta_{total} < 1$$

De esta manera, por ejemplo, para que un compresor axial entregue una cantidad $E_{entregada}$ (energía restituida por la máquina) de energía a un fluido, este deberá absorber una cantidad de energía $E_{absorbida}$ definitivamente mayor a la entregada efectivamente al fluido de trabajo. La diferencia entre la energía absorbida y la energía restituida se conoce con el nombre de pérdidas:

$$E_{absorbida} - E_{entregada} = E_{perdida}$$

Podemos escribir la misma relación para la potencia derivando respecto al tiempo:

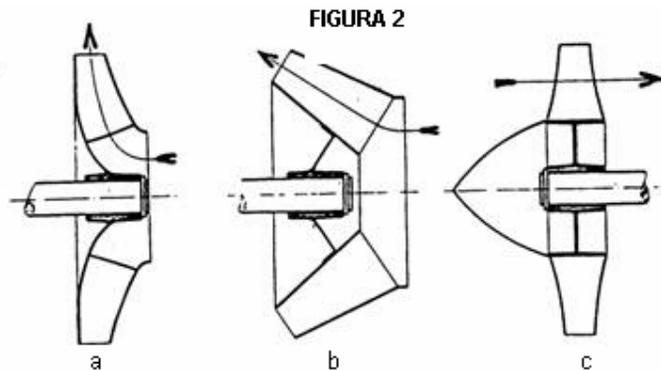
$$N_{absorbida} - N_{entregada} = N_{perdida}$$

La potencia perdida es aquella que resulta invertida en otros fenómenos distintos a aquellos deseados para los fines de la turbomáquina, que es entregar energía útil al fluido. Así la potencia perdida resulta en el calentamiento del fluido, vencer las fuerzas viscosas dentro del fluido, etc. Para simplificar el estudio de la eficiencia o rendimiento se clasifican diversos tipos de rendimiento, cada uno asociado a un fenómeno distinto de pérdida de energía.

4. CLASIFICACION DE LAS TURBOMÁQUINAS SEGÚN LA DIRECCION DEL FLUJO EN EL RODETE

En la figura 2 se representa con línea discontinua y una flecha la trayectoria de una partícula que atraviesa el rodete en los tres casos siguientes.

- Se presenta la trayectoria de una partícula en una máquina radial.
- Lo mismo en una máquina axial.
- Lo mismo en una máquina radio axial, llamada también de flujo mixto, o semi-axial.



En cualquier punto de de la trayectoria de una partícula se pueden dibujar tres ejes: r , u , a dirigidos según el radio, la tangente y el eje de la máquina:

- En la máquina radial la velocidad en ningún punto (del rodete) tiene componente axial (según el eje a); solo tiene dos componentes. Tangencial y radial.
- En la máquina axial la velocidad en ningún punto tiene componente radial (según el eje r); solo tiene dos componentes: axial y periférica en las máquinas axiales $u_1 = u_2$. El efecto de la fuerza centrífuga es nula, una bomba axial no es una bomba centrífuga.
- En la máquina radio axial la velocidad tiene las tres componentes según los tres ejes.
- En ninguna máquina falta la componente periférica, c_u , cuya variación a su paso por la máquina, según la ecuación de Euler, es esencial en la transmisión de la energía.

- Las turbinas Pelton, constituyen una clase especial, por que en ellas el flujo es meramente tangencial.
- Las turbinas de vapor de las centrales térmicas modernas son máquinas axiales.
- Las turbinas hidráulicas son rara vez radiales. Las turbinas hidráulicas mas frecuentes son las turbinas Francis, que son máquinas radio axiales.
- La bomba radial es una máquina muy frecuente; pero son también frecuentes las bombas axiales y semi axiales.

5. TURBOMÁQUINAS HIDRAULICAS- BOMBAS ROTODINAMICAS

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye el líquido que la atraviesa energía hidráulica. Las se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: cerveza, leche, etc; estas ultimas constituyen el grupo importante de las bombas sanitarias). También se emplean las bombas para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, fangos, desperdicios, etc. Las bombas se clasifican en:

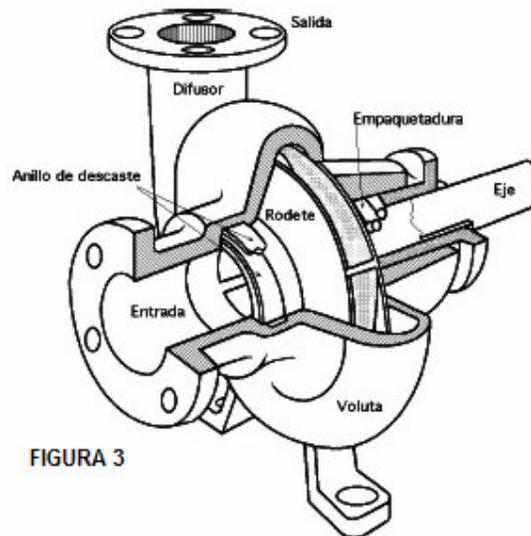
- Bomba roto dinámica. Todas y solo las bombas que son turbo máquinas pertenecen a este grupo, del cual nos ocuparemos en el presente capitulo, estas son siempre rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete, se denominan roto dinámicas por que su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía.

- Bombas de desplazamiento positivo. A este grupo pertenecen no solo las bombas alternativas, sino las rotativas llamadas roto estáticas por que son rotativas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía. Su funcionamiento de basa en el principio de desplazamiento positivo.

5.1 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS ROTODINAMICAS

- Según la dirección del flujo: bombas de flujo radial, de flujo axial y de flujo radio axial.
- Según la posición del eje: bombas de eje horizontal, de eje vertical y de eje inclinado.
- Según la presión engendrada: bombas de baja presión, de media presión y de alta presión.
- Según el número de flujos en la bomba: se simple aspiración o de un flujo y de doble aspiración, o de dos flujos.
- Según el número de rodetes: de un escalonamiento o de varios escalonamientos.

5.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS



En la figura 3, se muestra una bomba radial de eje horizontal en la cual pueden verse los elementos siguientes.

- Rodete, este gira solidario con el eje de la máquina y consta de un cierto número de álabes que imparten energía al fluido en forma de energía cinética y energía de presión.
- Corona directriz o corona de albes fijos, que recoge el líquido del rodete y transforma la energía cinética comunicada por el rodete en energía de presión, ya que la sección de paso aumenta en esta corona en la dirección del flujo. Esta corona directriz no existe en todas las bombas; por que encarece su construcción; aunque hace a la bomba más eficiente.
- Caja espiral o voluta, esta transforma la energía dinámica en energía de presión, y recoge además con pérdidas mínimas de energía el fluido que sale del rodete, conduciéndolo hasta la tubería de salida o tubería de impulsión.
- Tubo difusor troncocónico, realiza una tercera etapa de difusión o sea de transformación de energía dinámica en energía de presión.
- Entrada o succión, por esta parte de la bomba ingresan los fluidos al interior de la bomba, para la transmisión de energía mecánica en el.
- Salida o descarga, por esta parte de la bomba salen los fluidos residuales del pues de su paso, por el impulsor o la voluta.
- Empaquetadura, la bomba cuenta en su eje y la carcasa del grupo con una serie de empaques para evitar la pérdida de energía, o escape exterior de fluidos.

- Anillo de desgaste, es colocado para evitar el roce del rodete con otros componentes de la bomba, este también protege al rodete del desgaste excesivo producido por los sólidos disueltos que se encuentran en los fluidos, se cambia en todos los mantenimientos.

5.3 DONDE EMPIEZA Y DONDE TERMINA LA MÁQUINA SECCIONES DE ENTRADA E Y DE SALIDA S

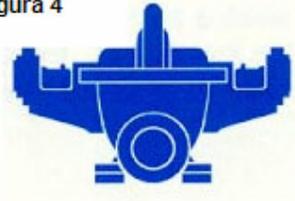
Normalmente la sección de entrada de una bomba se toma antes de la brida de conexión del tubo de aspiración, sección *E* figura 3. La sección de salida se toma después de la brida de conexión del tubo de impulsión, sección *S*. La bomba empieza en la sección *E* y termina en la sección *S*, todas las pérdidas de energía que tienen lugar entre las secciones *E* y *S*, son imputables a la bomba y disminuyen el rendimiento de la bomba; pero las pérdidas que tienen lugar antes de la sección *E*, (en el tubo de aspiración) y después de la sección *S*, (en el tubo de impulsión) son imputables a la instalación y disminuyen el rendimiento de la instalación (no el de la bomba).

5.4 TIPOS DE BOMBAS

En la explotación de las máquinas pueden surgir pleitos entre la casa explotadora y la constructora sobre mal funcionamiento, bajo rendimiento e incumplimiento de garantías. El constructor es responsable de cuanto sucede entre las secciones *E* y *S*, y el instalador de cuanto sucede antes y después de dichas secciones.

- Bomba de carcasa seccionada, la figura 4. nos muestra una de estas bombas construida por la casa Sulzer. Esta bomba está dividida por un plano axial horizontal. Las tuberías de aspiración y descarga, así como el conducto de conexión entre el primero y el segundo escalonamiento se encuentran en la parte inferior de la carcasa.

figura 4



- Bomba monobloc, la figura 5. si bomba anterior es muy popular por su accesibilidad, ésta también lo es en grupos pequeños por formar un grupo compacto con un solo apoyo para el motor eléctrico y la bomba.

Figura. 5



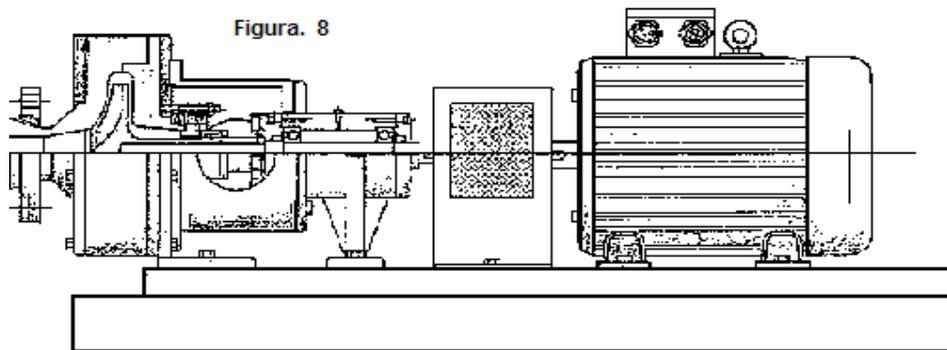
- Bomba de doble aspiración, como la presentada en la figura 6. Esta bomba es semiaxial o de flujo mixto y resulta adecuada para grandes caudales, lo que se consigue gracias a la doble aspiración sin aumentar mucho las dimensiones de la máquina.



- Bomba axial, la figura 7. muestra una bomba de riego, esta suministra un caudal de unos 600 l/s. El rodete tiene forma de hélice y es adecuada para grandes caudales y pequeñas alturas de elevación.



- Bomba horizontal de múltiples escalonamientos. La bomba de múltiples escalonamientos como la que nos muestra la figura 8. a diferencia de las dos anteriores esta es más adecuada para pequeños caudales y grandes alturas efectivas. Las bombas de alimentación de calderas se construyen para presiones por encima de 300 bares. En este campo de aplicación las bombas roto dinámicas has desplazado modernamente casi por completo a las bombas de émbolo.



- Bombas de pozo profundo. Son análogas a las anteriores y se instalan en el interior del pozo, y a veces sumergidas. El motor eléctrico de accionamiento se instala fuera del pozo, pudiendo tener el eje varios metros de longitud, con apoyos de trecho en trecho en cojinetes intermedios como lo muestra la figura 9.



- Grupo moto-bomba sumergible, estos grupos, como el de la figura 10, gracias a los modernos progresos en la técnica de los aislamientos, se instalan totalmente sumergidas, sin excluir el motor eléctrico. Estas bombas permiten la extracción de agua sin la construcción del pozo ancho convencional, pues basta una perforación de diámetro suficiente para introducir la bomba.



Figura. 10

6. TURBOMÁQUINAS HIDRAULICAS: VENTILADORES

Un ventilador esencialmente es una bomba de gas en vez de líquido. Por el tanto Ventilador es una turbomáquina hidráulica generadora para gases.

Los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, La compresibilidad puede o no afectar el diseño de la máquina y repercutir o no en la aplicabilidad de las fórmulas desarrolladas para las bombas a los ventiladores, según que la variación de la densidad y por tanto de volumen específico, sea o no importante. Si el gas puede considerarse prácticamente incompresible a su paso por la máquina, la teoría y funcionamiento de la bomba de gas será idéntica a la de la bomba de líquido, esto sucede cuando el incremento de presiones ΔP (=PRESIÓN A LA SALIDA- PRESIÓN A LA ENTRADA EN LA MÁQUINA) es pequeña.

Si el gas no puede considerarse incompresible, las fórmulas desarrolladas para las bombas no serán aplicables a los ventiladores. Si el gas puede considerarse compresible, la máquina se llama turbocompresor. La línea de separación entre el ventilador y compresor es convencional, antiguamente se decía que si $\Delta P \leq 1.000$ mm de columna de agua, el efecto de la compresibilidad podría despreciarse y la máquina era un ventilador. Este limite sigue siendo valido para los ventiladores industriales de poca calidad, en que no se busca un rendimiento grande, sino un precio reducido; pero al crecer las potencias de los ventiladores con el desarrollo de las técnicas de ventilación, refrigeración y aire acondicionado, en los ventiladores de calidad dicho límite hay que establecerlo más bajo. Convencionalmente podemos establecer.

Máquinas de poca calidad $\Delta P \leq 100$ mbar, ventilador
 $\Delta P \geq 100$ mbar, turbocompresor.

Máquinas de alta calidad $\Delta P \leq 30$ mbar, ventilador
 $\Delta P \geq 30$ mbar, turbocompresor.



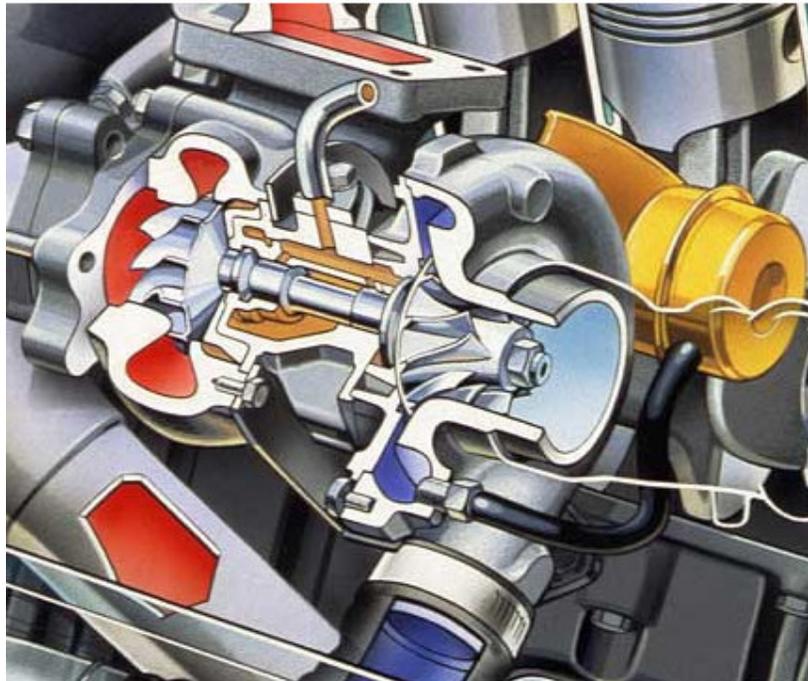
Ventilador es la turbomáquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse.

Compresor es la turbomáquina, análoga a la anterior, pero que comunica al gas un incrementote presión tal que el influjo de la compresibilidad no puede despreciarse. En resumen:

- En el cálculo y funcionamiento del ventilador el gas supone incompresible.
- En el cálculo y funcionamiento del compresor el gas se supone compresible.
- El ventilador es una máquina hidráulica.
- El compresor es una máquina térmica.
- El ventilador nunca se refrigera por que al ser la compresión pequeña(teóricamente despreciable), el gas no se calienta.
- El compresor con mucha frecuencia es refrigerado.



Ventilador de baja presión



Turbocompresor

Para ventilación de las salas de trabajo y reuniones, así como de minas, túneles y barcos; para exhaustación de humos, aire con alto contenido de polvo, para el secado en procesos industriales; para la refrigeración y acondicionamiento de aire; se necesitan grandes caudales de aire; pero con frecuencia las presiones son relativamente pequeñas. Por tanto, las máquinas para este tipo de servicio muchas veces calculan como ventiladores (máquinas hidráulicas) sin tener en cuenta la compresibilidad del gas y por tanto sin tener en cuenta la variación de densidad y volumen específico. Por el contrario en la acerías y altos hornos se requieren presiones mucho mayores, de 2 a 4 bar, para vencer la resistencia al flujo a través de las conducciones, toberas, etc, por tanto, las máquinas para este tipo de servicio se calculan como compresores (máquinas térmicas), teniendo en cuenta la compresibilidad del gas, y por tanto teniendo en cuenta la variación de densidad y volumen específico.

7. TURBOMÁQUINAS HIDRAULICAS: TURBINAS

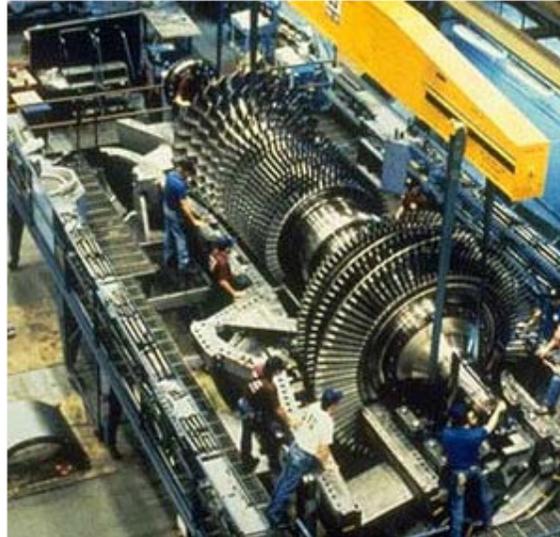
La turbina hidráulica es una máquina motora, y por tanto esencialmente es una bomba roto dinámica que trabaja a la inversa, así como una bomba absorbe energía mecánica y restituye energía al fluido, una turbina absorbe energía del fluido y restituye energía mecánica, teóricamente, suministrando energía hidráulica a la máquina, e invirtiendo el flujo, una bomba podría trabajar como Urbina. Prácticamente, el rendimiento sería muy bajo y a veces nulo, exceptuando las máquinas especialmente diseñadas para trabajar como bomba y como turbina, como es caso de la máquina doble bomba-turbina de las centrales de bombeo de entrepeñas unión madrileña.



Embalse y central de bombeo entrepeñas

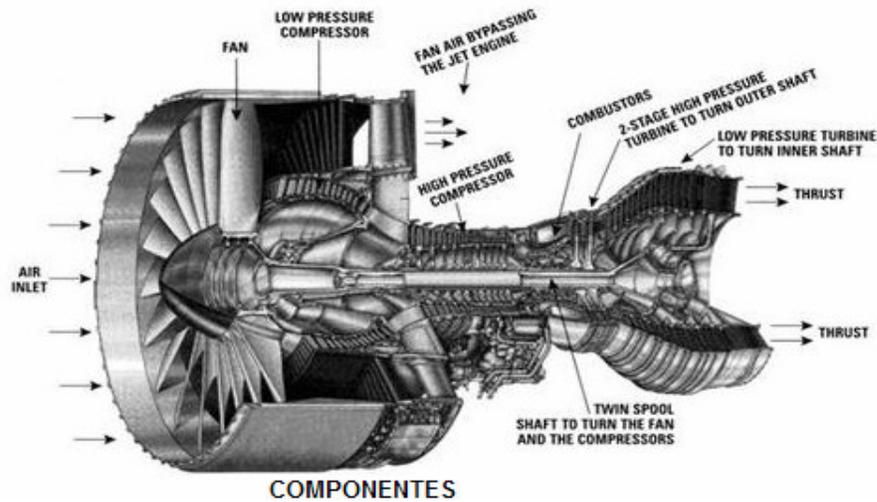
7.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Los elementos constitutivos de una turbina son análogos a los de una bomba; pero dispuestos en orden inverso:

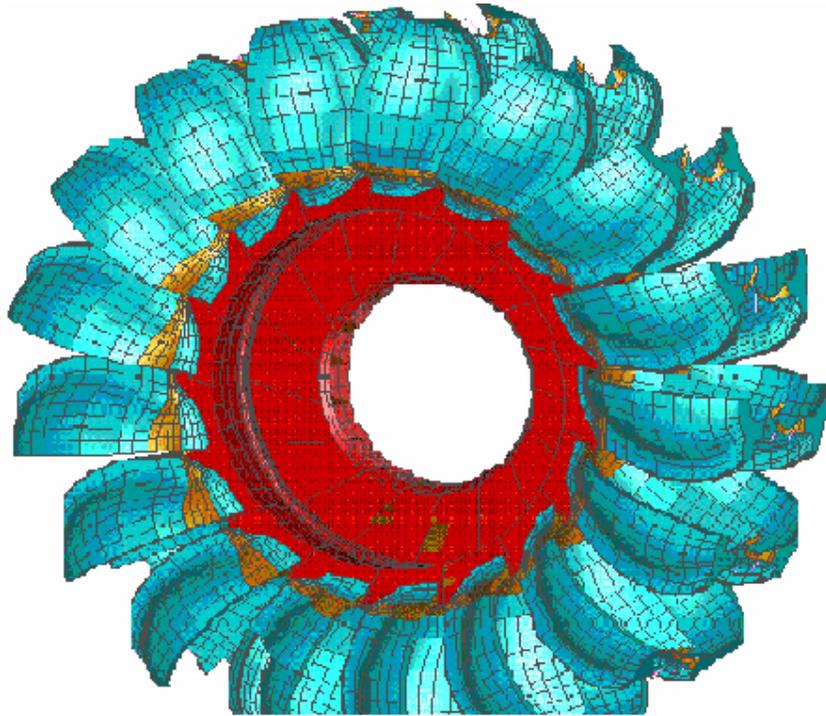


TURBINA DE GAS

- Canal de llegada. (lamina libre) o tubería forzada (flujo a presión, n.1). corresponde a la tubería de impulsión en una bomba. Al final de la tubería forzada se instala una válvula (compuerta, mariposa, bola), que no aparece en la figura y detrás de la válvula de entrada en la tubería.
- Caja espiral. transforma presión en velocidad; en una bomba, velocidad en presión.

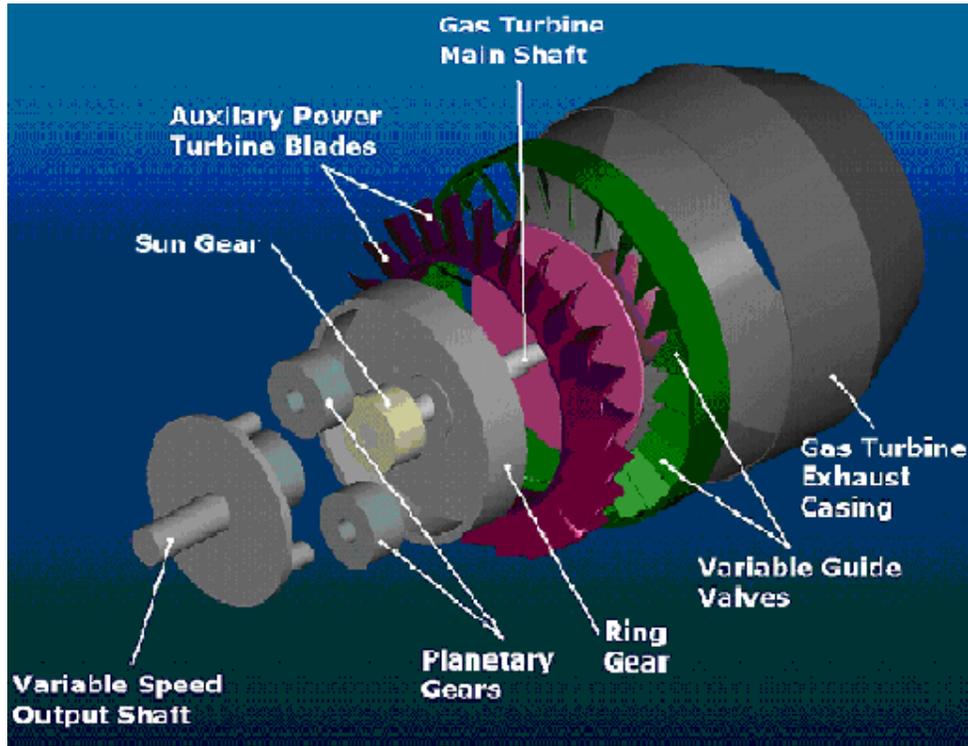


- Distribuidor. Corresponde a la corona directriz en una bomba; pero en una turbina transforma presión en velocidad y actúa como tobera; en una bomba; por el contrario, actúa como difusor.
- Rodete. A las bombas centrífugas con flujo en el rodete hacia el exterior corresponde el tipo de turbinas centrípetas, con flujo en rodete hacia el interior.



Rodete turbina Pelton de eje vertical

- Tubo de aspiración. Corresponde a la tubería de aspiración de una bomba. En una turbina es el órgano de desagüe, pero se llama tubo de aspiración por que crea una aspiración o depresión a la salida de l rodete; mientras que en las bombas constituye la tubería de admisión, y crea también una depresión a la entrada del rodete. Las turbinas de acción, carecen de tubo de aspiración: en ellas el agua sale del rodete directamente al canal de salida.



MONTAJE DE UNA TURBIAN AUXILIAR

7.2 CLASIFICACION SEGÚN EL GRADO DE REACCION

Las turbinas hidráulicas según el grado de reacción, se clasifican en dos grupos. Turbinas de acción y turbinas de reacción.

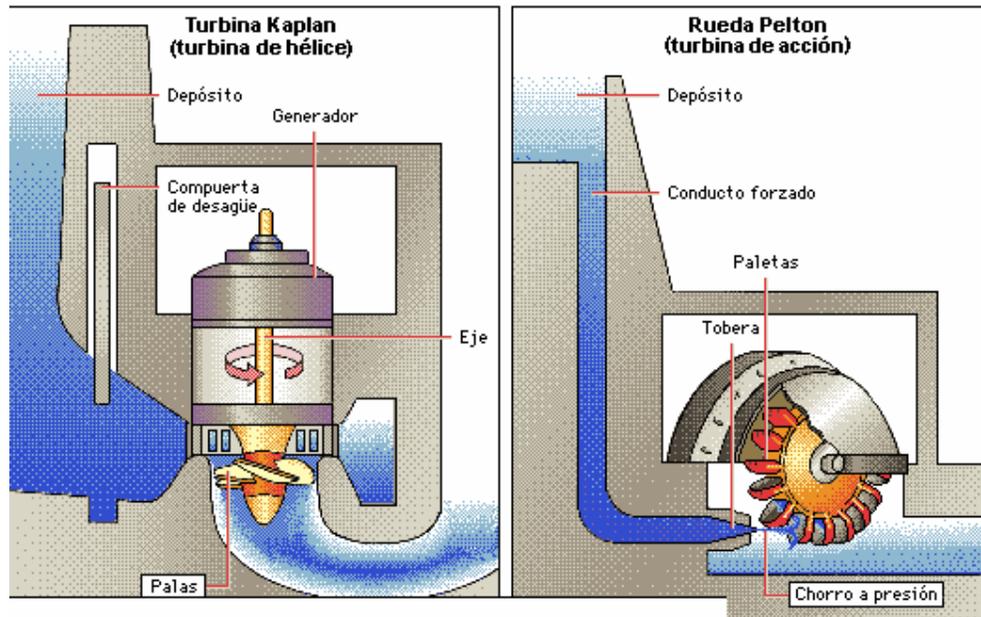
Esta clasificación se funda en el concepto de grado de reacción, si el grado de reacción es cero, la turbina se llama de acción, si el grado de reacción es distinto de cero, la turbina se llama de reacción.

El grado de reacción de una bomba se mide así.

$$\epsilon_B = \frac{\text{altura de presión comunicada por el rodete}}{\text{altura total comunicada por el rodete}}$$

Análogamente, el grado de reacción de una turbina; ϵ_T se define así:

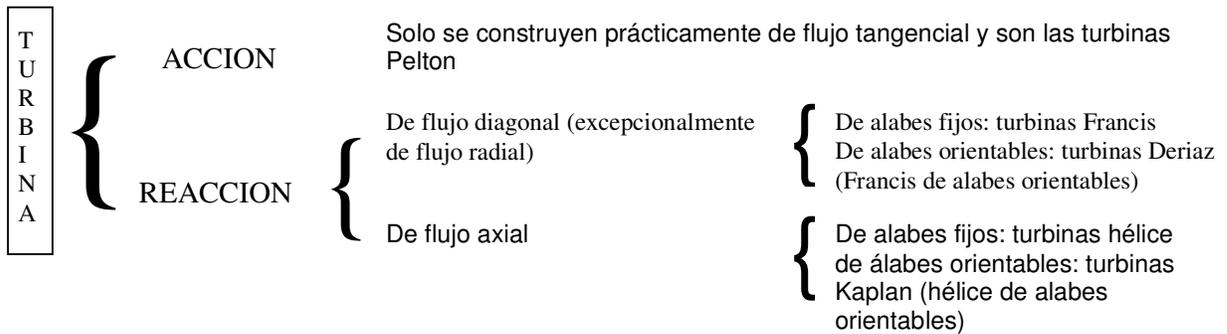
$$\epsilon_T = \frac{\text{altura de presión absorbida por el rodete}}{\text{altura total absorbida por el rodete}}$$



Las turbinas de acción son de admisión parcial

Las turbinas de reacción son de admisión total

Antes de 1900 las turbinas hidráulicas más empleadas fueron las de Fourneyron, Jonval y Fontaine. Su rendimiento era bajo, sobre todo a cargas reducidas y su velocidad pequeña, a comienzo de siglo se empleó mucho en Europa las turbinas Girard y la centrípeta de acción, en la actualidad prácticamente las únicas turbinas que se construyeron son las que figuran en el cuadro siguiente:



Las alturas de salto neto explotadas por las turbinas que se construyen en la actualidad, así como los tamaños y potencias de las turbinas actuales oscilan entre amplios límites, según puede verse en la siguiente tabla.

SALTOS TAMAÑOS Y POTENCIAS DE LOS TIPOS ACTUALES DE TURBINA

Tipo de turbina	Axiales (Kaplan) reaccion	Diagonales (Francis) reaccion	Accion (Pelton)
Salto neto, H (m)	2-70	2-500	40-1,700
Φ exterior del rodete (M)	1,0-10,5	0,35-7,65	0,36-5,2
Potencia en el eje (MW)	Hasta 250	Hasta 750	Hasta 400

Según el cuadro anterior, en la actualidad se construyen cinco tipos de turbinas: Pelton, Francis, Déraiz, Hélice y Kaplan. A éstas hay que añadir las bombas-turbinas reversibles de los grupos binarios de las centrales de acumulación por bombeo, La turbina Pelton es de acción y las otras cuatro de reacción.

La naturaleza provee los saltos hidráulicos con potencias muy variadas y una misma potencia con combinaciones múltiples de Q y H (H -salto neto). Por tanto aquí como en las bombas, el rodete de las turbinas hidráulicas va cambiando insensiblemente de forma para adaptarse a las diferentes condiciones de servicio.

Por tanto aquí como en las bombas, la clasificación más precisa de las turbinas hidráulicas es una clasificación numérica, que se hace asignando a toda familia de turbinas geoméricamente semejantes un número, a saber, el NUMERO ESPECIFICO DE REVOLUCIONES, n_s .

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{P}}{h \cdot \sqrt[4]{h}} \quad r.p.m.$$

7.3 MOTOR DE TURBINA (Motor de reacción- máquina térmica)

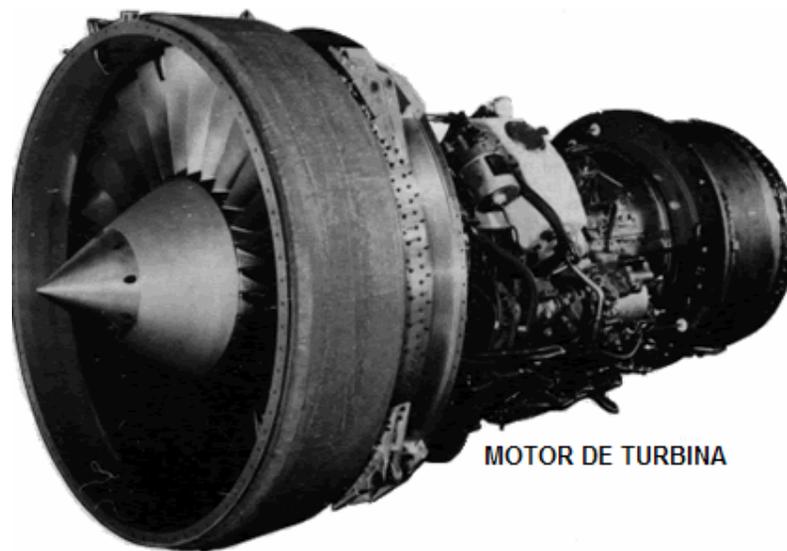
Aunque en su diseño y aplicaciones es muy complicado y esta considerado como una máquina térmica, el motor de turbina es increíblemente sencillo en su operación. La propulsión de una turbina está explicada de manera muy simple por la tercera ley de Newton:

“Por cada acción, habrá una reacción directamente opuesta y de la misma intensidad”.



En el caso de un avión a reacción, los gases de escape que generan sus turbinas, son los que impulsan a esa aeronave hacia delante con la misma intensidad que la de los gases que escapan hacia atrás.

El principio es sencillo, pero como logra la turbina generar esa cantidad de empuje? Recuerda que el aire, al ser gas, es comprimible τ que a su vez al que marlo, expande, o sea, puedes comprimir por ejemplo: una porción de aire a la mitad de su volumen, y al quemar ese aire comprimido vas a obtener una gigantesca expansión de gases (energía térmica), que al dirigirlas por una tobera de gases para su posterior aceleración, la convertes en energía de movimiento o Cinética, y así logras empujar el avión hacia delante. Este tipo de energía se mide en estos motores en: Libras de empuje



MOTOR DE TURBINA

8. CONCLUSIONES

Las diferentes máquinas hidráulicas utilizadas en las plantas de la industria de procesos químicos, aeronáuticos, navales, etc, suelen ser complejos, construidos con precisión y costosos, por esta razón su uso, selección y mantenimiento debe ser cuidadoso, es decir la operación incorrecta de alguno de estos equipos, puede ocasionar serios daños a las personas, las instalaciones, la tendencia en la industria es construir plantas cada vez mas grandes, con equipos de un solo componente, mas grande y mas confiable. La confiabilidad de la máquina hidráulica o equipo rotatorio siempre se debe definir en términos de la duración esperada de la planta, el proceso y el tiempo de amortización requerido para producir utilidades a los propietarios, muchas plantas de la industria tienen unas duraciones mas cortas de lo esperado algunas veces inferiores a 5 años, por todas estas variables se hace necesario conocer estos equipos, tener idea del proceso donde trabajaran, para poder adquirir los equipos mas indicados, las máquinas hidráulicas son fundamentales en el desarrollo de las actividades, del

día a día de todas las personas del mundo, algunas son mas complejas otras como las aplicaciones para el hogar pueden llegar a ser mas sencillas.

9. RECOMENDACIONES

La selección adecuada de bombas, compresores, turbinas, para cualquier aplicación, entre la multitud de estilos, tipos y tamaños puede ser difícil para cualquier persona, usuario e incluso ingeniero, o contratista de construcción, el mejor método es hacer investigaciones preliminares, llegar a decisiones básicas y selecciones preliminares y analizar la aplicación con el fabricante o representa o proveedor del equipo.

Para la mejor comprensión de esta asignatura se requieren conocimientos de mecánica de fluidos, y ojala algo de experiencia de tiempo real sobre la máquina, (hand-son), el estudio particular de los distintos tipos de turbinas y bombas hidráulicas es imprescindible, la correcta comprensión de la teoría general de las máquinas hidráulicas, se vera reflejada en la solución posterior de problemas, esta materia en particular es una de la que mas disfrute desarrollando, ya que a lo largo de mi vida profesional y técnica, eh tenido la oportunidad de ver estos equipos en acción, realmente es impresionante lo que el hombre puede llegar a desarrollar cuando se lo propone, invito a las personas a las cuales les interese este tema y quieran profundizar un poco mas sus conocimientos teóricos, a revisar la bibliografía, es una muy pero muy buena fuente de datos de mi biblioteca personal, estos textos son los mas utilizados en el mundo, claro esta existen otros muy buenos, pero recomiendo estos por que los conozco los he leído, y en verdad tienen aplicaciones practicas en el desarrollo de la materia técnica.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Hernández, Krahe. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.
- Zamora, Parra. Teoría de máquinas hidráulicas.
- Mataix, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.
- Dixon, S. L. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery.
- Greene W. Richard. Compresores, selección uso y mantenimiento.
- McNaughton, Kenneth, Bombas selección uso y mantenimiento.