

MAQUINAS DE VAPOR

UN POCO DE HISTORIA: La Primera máquina de Newcomen

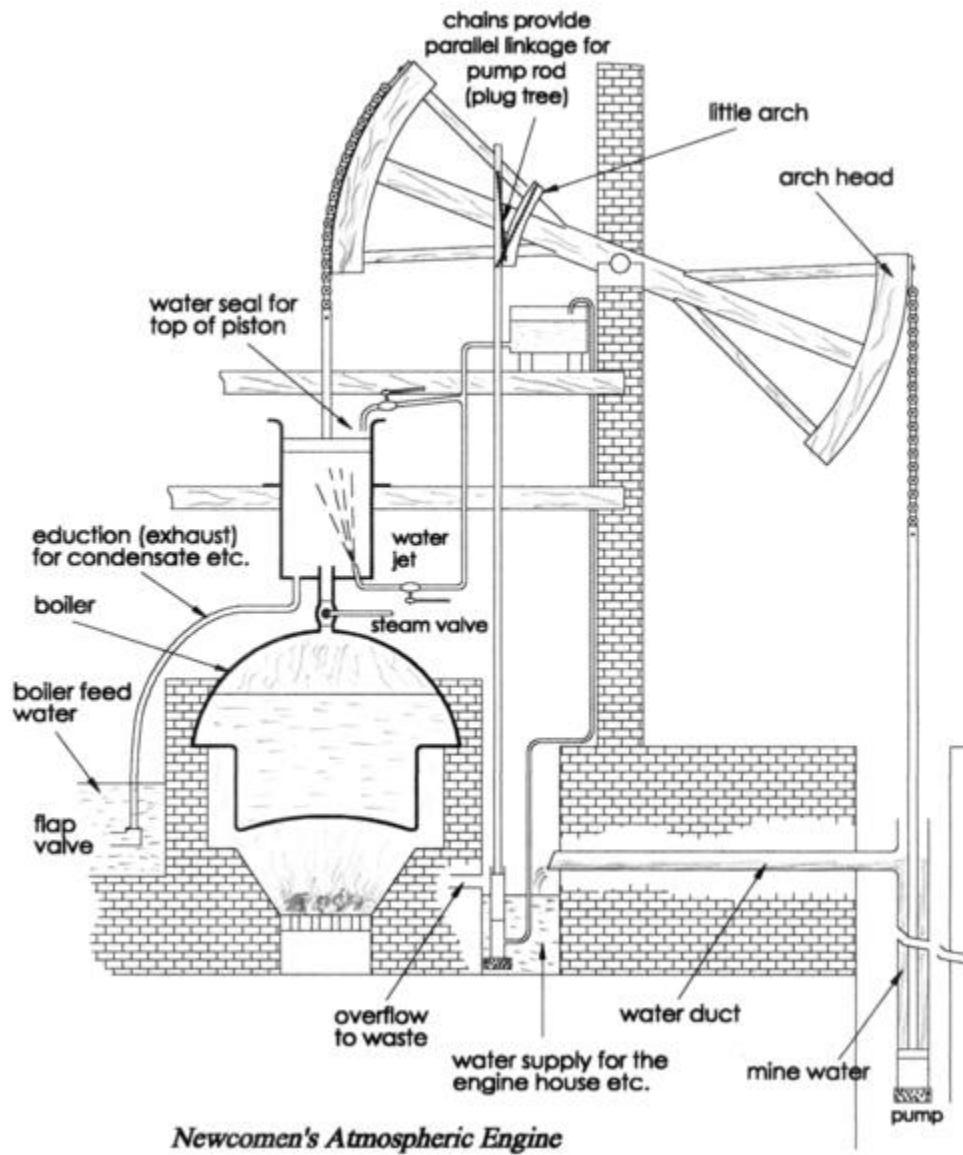
Cuando los conquistadores Británicos llegaron por primera vez a América cerca del siglo XVII, dejaron un país que todavía no se veía afectado por la Revolución Industrial. Ellos venían con una estrategia política y de crecimiento de su nacionalismo, la idea de poder desarrollar una economía creciente en tierras americanas.

Para ese entonces Inglaterra era el ejemplo a seguir de un imperio exitoso. Durante la primera mitad del siglo XVIII, los Británicos empezaron a cavar canales, extraer el carbón de las minas, mecanizar la industria textil, crear máquinas de vapor y en general desarrollaron una industria dominante del siglo en curso. En América, tomaba lugar algo similar, pero a menor escala.

Mecánicos y artesanos fundaron ellos mismos sus talleres donde desarrollaban o inventaban las demandas hechas por los gobiernos federales de mejores manufacturas y el mejoramiento del transporte, estos dos para lograr una balance integrado y una economía autosuficiente.

Una solución a todas estas demandas fue la invención de la máquina de vapor desarrollada por Thomas Newcomen, de la cual se desconocen los detalles. Newcomen estaba muy familiarizado con los problemas de agua en las minas por lo que para 1712, había trabajado en la combinación y proporción de una máquina de vapor la cual se puso en operación en Staffordshire. [29]

Esta nueva máquina había solucionado los problemas de agua en las minas, proporcionaba en cantidades necesarias el poder requerido para poner en operación las bombas de movimiento recíproco.



Ver Video Explicativo:

http://www.youtube.com/watch?v=YYqI_nC-NG4

La máquina de Newcomen tenía un rendimiento poco satisfactorio, debido a que el vapor se enfriaba en el propio cilindro. En 1764, James Watt, recibió dicha máquina para su reparación, para el verano de 1765 había hecho importantes modificaciones; hace que el vapor se condense en un recipiente especial, el condensador, que conecta con un tubo al cilindro al que es cerrado en ambos extremos. Así se podía mantener caliente el cilindro, ahorrándose una importante cantidad de combustible.

Con la implementación de esta máquina de vapor, creó un interés especial para los empresarios que llegaron a América cerca de 1776. Para ese tiempo, las colonias americanas se transformarían en una nueva nación. Esta también puede ser una razón por la cual James Watt es considerado el pionero de las máquinas de vapor, ya que las máquinas que fueron diseñadas posteriormente siguen el principio o una aplicación diferente a la hecha por Watt. [32]

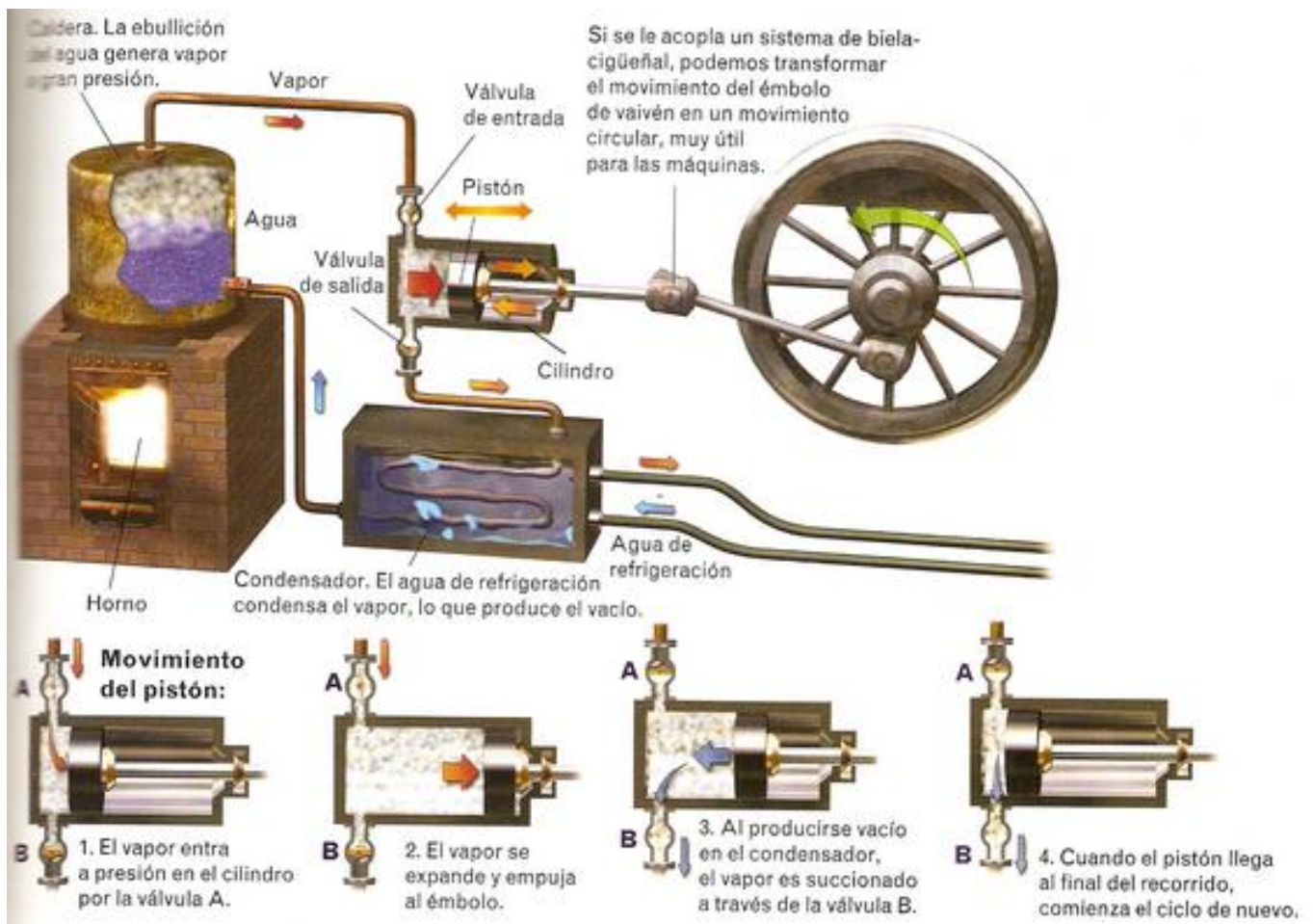
MAQUINA DE VAPOR DE WATT

Pero quien inventó la máquina de vapor que realmente revolucionó al mundo, fue el mecánico escocés James Watt. Quien mejoró notablemente, la máquina creada por Newcomen; en este diseño anterior, el agua se enfriaba en el mismo cilindro, por lo que su forma, no era del todo lo que se esperaba. El fue el que se considera el inventor de la primera máquina de vapor aunque realmente fue una máquina basada en la de Newcomen.

Es así, como la máquina de vapor de Watt, hace que el vapor se condense en un recipiente especial, el condensador. Este condensador era conectado a un tubo externo con forma cilíndrica, al cual se le tapaba ambos extremos. Usando este mecanismo, la máquina de Watt, lograba que el cilindro siempre se mantuviera caliente, con lo cual, el ahorro de la energía proporcionada por la leña o el carbón, era muy superior a lo logrado por la máquina de Newcomen. Con ello, se evitaba la pérdida de calor, lo cual hacía que la performance de la máquina de Newcomen, no fuera la deseada. Más bien, la presentaba como una máquina rudimentaria y artesanal.

a) Primer diseño de máquina de Vapor : Simple Efecto

La primera máquina de vapor que inventó Watt, vio la luz en 1774. Gracias a la ayuda económica de Matthew Boulton. Ambos crearon una firma, para explotar la patente de la máquina de vapor recién creada. Como hemos podido apreciar, podemos señalar a James Watt como quien inventó la máquina de vapor que todos conocemos, sin desconocer todos los diseños y esfuerzos del pasado.



CICLO TERMODINÁMICO RANKINE

El funcionamiento de la máquina de vapor queda fundamentado termodinámicamente por el ciclo Rankine.

Los diversos ciclos que estudiaremos de modo genérico serán:

✚ **Ciclo de Rankine:** primer ciclo cerrado, incluye condensador, pero no incluye Sobrecalentamiento de vapor.

El ciclo de Rankine es conceptualmente muy parecido al anterior. La gran diferencia es que se introduce el condensador. Este tiene por efecto bajar la temperatura de fuente fría y mejorar la

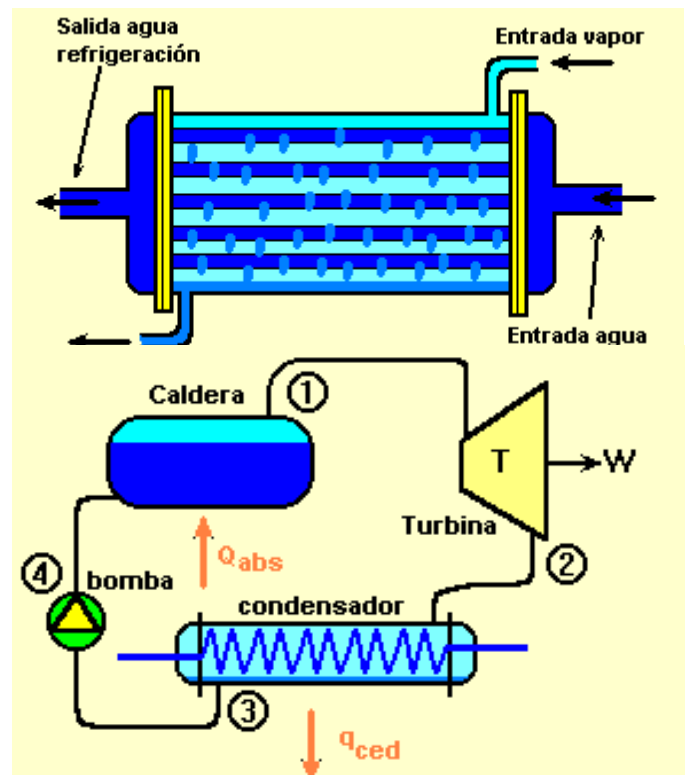
Eficiencia del ciclo. El efecto es doble:

- * Desde el punto de vista termodinámico, Bajamos la temperatura de la fuente fría, Mejorando por lo tanto la eficiencia del ciclo.

- * Desde el punto de vista mecánico, la Presión en el condensador es muy inferior a La atmosférica, lo que hace que la maquina Opere con un salto de presiones mayor, lo que aumenta la cantidad de trabajo recuperable por unidad de masa de vapor.

La principal diferencia entre un ciclo de vapor abierto y uno de Rankine es el condensador. En la practica el condensador baja la presión contra la cual descarga el expansor. Esto permite mejorar el rendimiento del ciclo, pues aumenta la diferencia de presiones entre las cuales opera la maquina. Es un ciclo muy empleado en maquinas simples y cuando la temperatura de fuente caliente está limitada.

La bomba recolecta condensado a baja presión y temperatura. Típicamente una presión menor a la atmosférica, estado (3) y comprime el agua hasta la presión de la caldera (4). Este condensado a menor temperatura de la temperatura de saturación en la caldera es inyectada a la caldera. En la caldera primero se calienta, alcanzando la saturación y luego se inicia la ebullición del líquido. En (1) se extrae el vapor de la caldera y luego se conduce el vapor al expansor. En este ejemplo el expansor es una turbina. Allí se expande, recuperando trabajo, en la turbina, hasta la presión asociada a la temperatura de condensación (2). El vapor que descarga la maquina entra al condensador donde se convierte en agua al entrar en contacto con las paredes de tubos que están refrigerados en su interior (típicamente por agua). El condensado se recolecta al fondo del condensador, donde se extrae (3) prácticamente como liquido saturado. Allí la bomba comprime el condensado y se repite el ciclo.

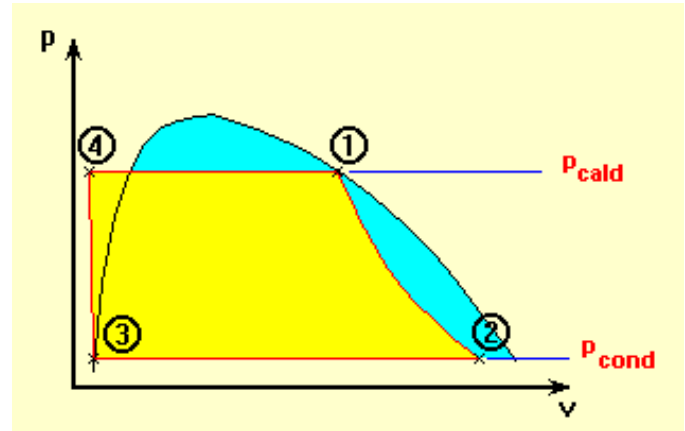


En diagrama p-V, en (1) la caldera entrega vapor saturado, el que se transporta a la turbina. Allí el vapor se expande entre la presión de la caldera y la presión del condensador, produciendo el trabajo W. La turbina

descarga el vapor en el estado (2). Este es vapor es admitido al condensador. Aquí se condensa a presión y temperatura constante, evolución (2)-(3), y del condensador se extrae liquido condensado en el estado (3). Luego la bomba aumenta la presión del condensado

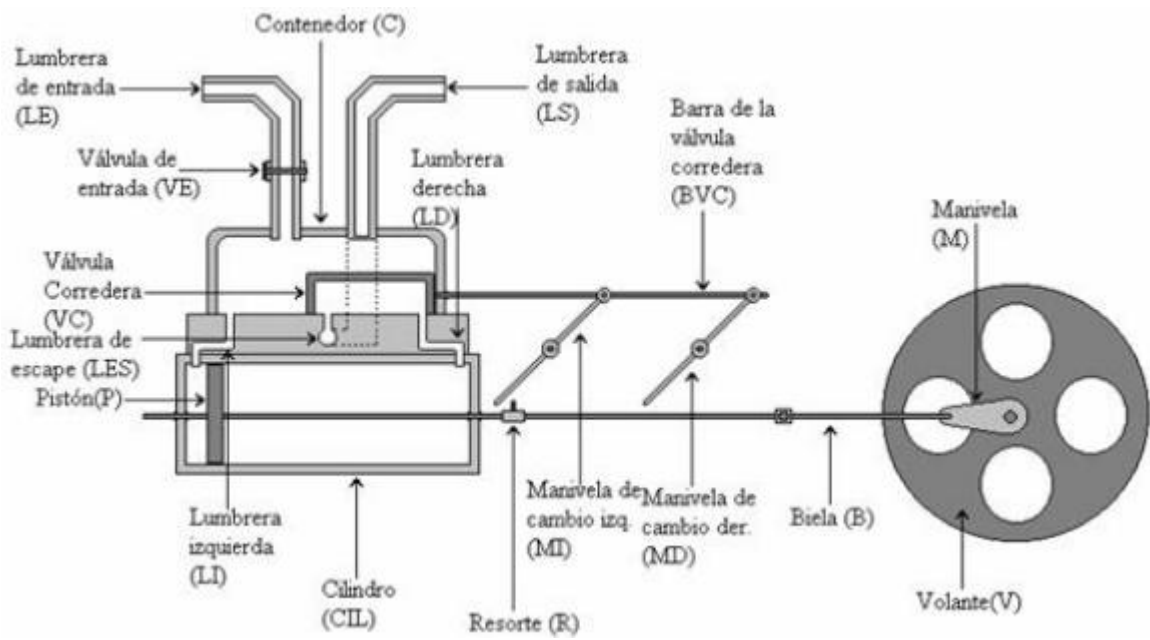
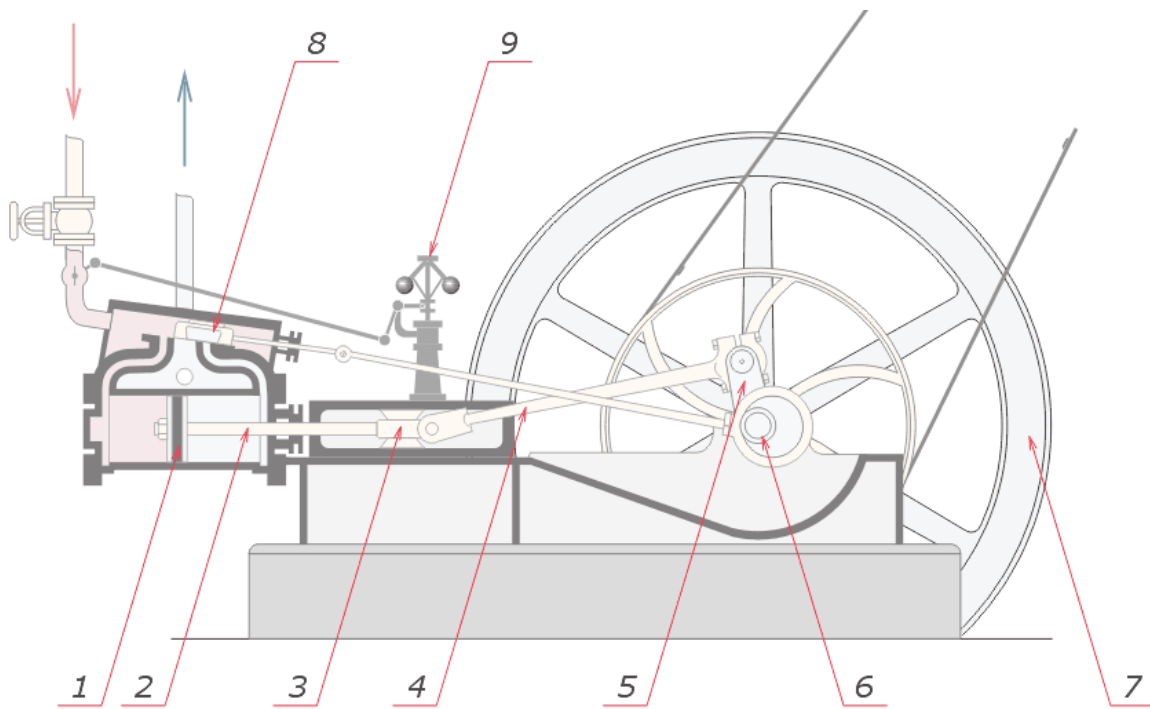
de p_{cond} a p_{cald} , evolución (3)-(4) y reinyecta el condensado en la caldera. Por lo tanto la maquina opera entre la presión p_{cald} y p_{cond} , las que tienen asociadas la temperatura de ebullición del vapor en la caldera y la temperatura de condensación del agua en el condensador. Esta última presión es inferior a la presión atmosférica.

Comparemos este ciclo de Rankine con su Ciclo de Carnot. Este ciclo tendrá como temperatura inferior (de fuente fría) la temperatura del condensador (normalmente ligeramente superior a la ambiente) y como superior (de fuente caliente) la de la caldera (T_{max}). Las areas amarillas indican el mismo area aproximadamente que en Carnot. En este caso vemos que la principal irreversibilidad termodinámica ocurre por la inyección de agua por debajo de la saturación a la caldera. Esto hace que el ciclo de Rankine se acerca mucho al ciclo de Carnot.



b) Segundo diseño de máquina de Vapor : Doble Efecto

En 1781 desarrolló su segunda versión de la máquina de vapor, de doble efecto; agregándose la corredera de apertura y cierre de válvulas en 1782, y la mejora del mecanismo biela-manivela para convertir movimiento rectilíneo alternativo en rotatorio en 1783, con lo que la máquina adquirió niveles de practicidad y confiabilidad que la hicieron servir de base motriz para máquinas textiles (Richard Arkwright) y otros dispositivos mas avanzados. La de Newcomen no había tenido difusión por tener muy bajo rendimiento.



En la siguiente dirección encontraremos una versión de animación de la Maquina de doble efecto de Watt:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steam_engine_in_action.gif#mediaviewer/File:Steam_engine_in_action.gif

La unidad que eligió fue el “Caballo de Fuerza” (Horse Power en inglés), y el motivo fue de lo más prosaico. En aquel entonces, en las minas de carbón en Inglaterra se utilizaban caballos para extraer el agua que por filtración las iban inundando (su primer aplicación). Si una mina se inundaba dejaba de ser rentable su explotación y se abandonaba, de ahí la importancia de usar esos caballos para mantener la extracción constante del agua.

Para poder vender sus máquinas a los ingenieros de minas, Watt midió el trabajo que realizaba un caballo típico durante un período grande de tiempo y luego calibró sus máquinas de acuerdo con ello. Así, podía decirle a su clientela “a cuantos caballos reemplazaría su máquina”.

APLICACIONES

Las aplicaciones van desde maquinaria de industria para mover distintos tipos de equipamientos, como ser bombas de agua, telares, etc; hasta usarse para el transporte en los ferrocarriles y barcos y también se han fabricado tractores para trabajar en agricultura.

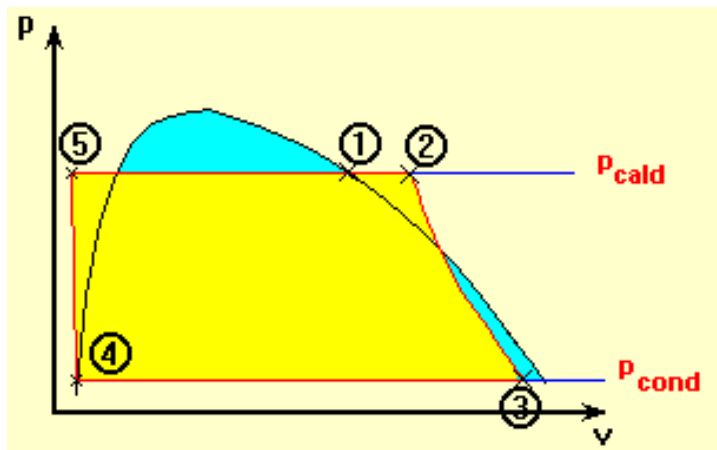
LAS MAQUINAS DE VAPOR MODERNAS

Las modernas máquinas de vapor utilizadas en la generación de energía eléctrica no son ya de embolo o desplazamiento positivo como las descritas, sino que son turbomáquinas, es decir, atravesadas por un flujo continuo de vapor. En la actualidad la máquina de vapor alternativa es un motor muy poco usado salvo para servicios auxiliares, ya que se ha visto desplazado especialmente por el motor eléctrico en la maquinaria industrial y por el motor de combustión interna en el transporte.

El rendimiento de las máquinas de vapor es pobre, del orden del 30%, principalmente por las pérdidas que se producen en el escape.

✚ **Ciclo de Rankine con sobrecalentamiento:** Se introduce la sobre calefacción de vapor.

Ya vimos en el punto anterior que un ciclo de Rankine es termodinamicamente muy similar a su ciclo de Carnot correspondiente. Sin embargo tiene algunos defectos de importancia: * En primer lugar, el vapor que tiende a salir de la máquina (o expansor) es en un 20% o más líquido. Cuando se trata de máquinas alternativas (cilindro-pistón), este es un inconveniente no muy grave, pero cuando se trata de máquinas rotativas (turbinas) en que el vapor fluye a través de los elementos a alta velocidad, esto causa desgaste y erosión en las piezas fijas y móviles.

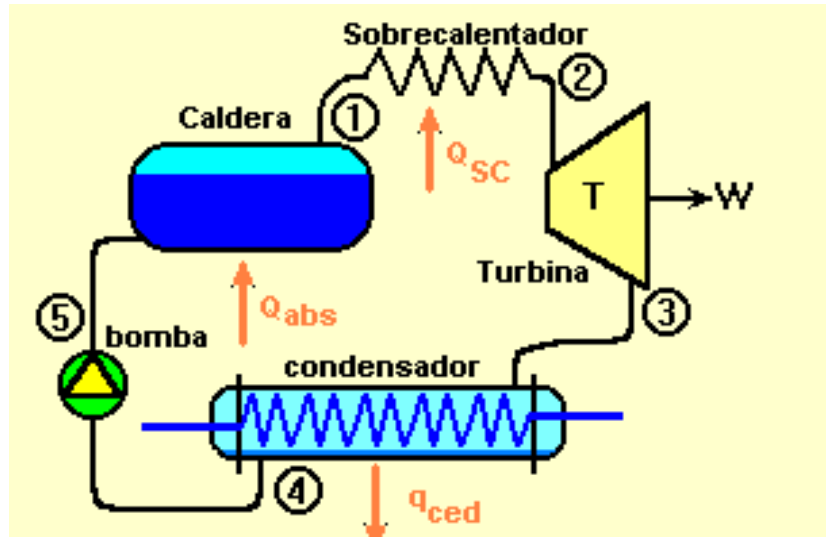


* El segundo inconveniente, menos aparente, pero mucho más importante desde el punto de vista termodinámico, tiene que ver con las irreversibilidades termodinámicas. Estas siempre existen, pero si yo uso un combustible (llama) como fuente de calor, el efecto puede ser muy grave.

* Un tercer inconveniente de los ciclos de Rankine es que a medida que la presión en la caldera sube (lo cual implica mayor temperatura de fuente caliente), el vapor después de la expansión sale con más agua.

La solución a ambos problemas implica introducir un sobrecalentamiento del vapor. Es decir, el vapor se saca de la caldera y se sigue calentando (aumentando su temperatura) a presión constante.

La bomba recolecta condensado a baja presión y temperatura. Típicamente una presión menor a la Atmosférica, estado (4) y comprime el agua hasta la presión de la caldera (5). Este condensado a menor temperatura de la temperatura de saturación en la caldera es inyectada a la caldera. En la caldera primero se calienta, alcanzando la saturación y luego se inicia la ebullición del líquido. En (1) se extrae el vapor de la caldera y luego se conduce el vapor al sobrecalentado. Este elemento es un intercambiador de calor (similar a un serpentín) al que se le entrega calor a alta temperatura. Por lo tanto el vapor se calienta (aumentando su temperatura) hasta salir como vapor sobrecalentado en el estado (2). El vapor que sale del sobrecalentador se lleva al expansor o turbina. Allí se expande, recuperando trabajo, en la turbina, hasta la presión asociada a la temperatura de condensación (3). El vapor que descarga la maquina entra al condensador donde se convierte en agua al entrar en contacto con las paredes de tubos que están refrigerados en su interior (Típicamente por agua). El condensado se recolecta al fondo del condensador, donde se extrae (4) prácticamente como líquido saturado. Allí la bomba comprime el condensado y se repite el ciclo.



En diagrama p-V, el ciclo se describe como sigue en (1) la caldera entrega vapor saturado. Luego se tiene el proceso (1)-(2) en que el vapor se sobrecalentado a presión constante.

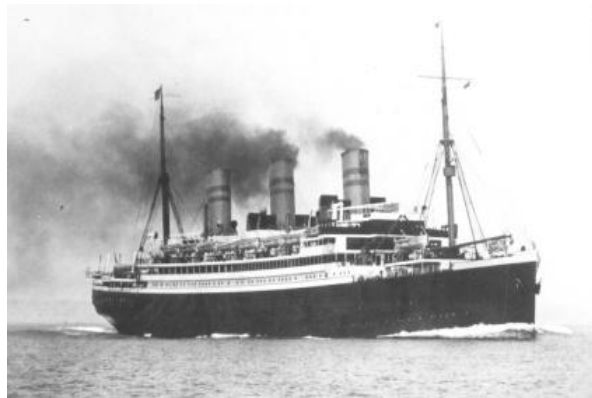
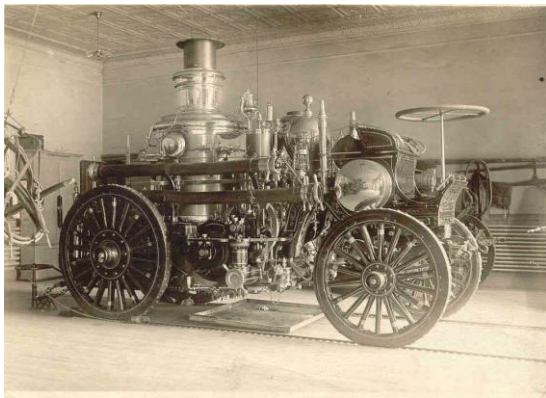
Sale en el estado (2) y allí entra a la turbina. Allí el vapor se expande entre la presión de la caldera y la presión del condensador [proceso (2)-(3)], produciendo el trabajo W. La turbina descarga el vapor en el estado (3). Este es vapor mas seco que en el ciclo de Rankine, es admitido al condensador.

Aquí se condensa a presión y temperatura constante, evolución (3)-(4), y del condensador se extrae liquido condensado, en el estado (4). Luego la bomba aumenta la presión del condensado de p_{cond} a p_{cald} , evolución (4)-(5) y reinyecta el condensado en la caldera.

En resumen, podemos afirmar:

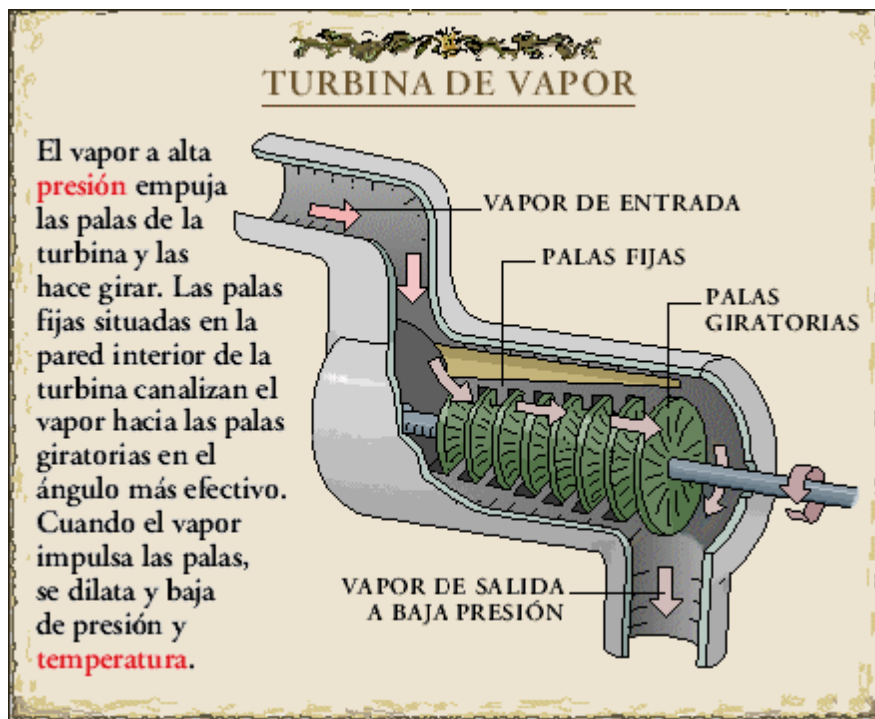
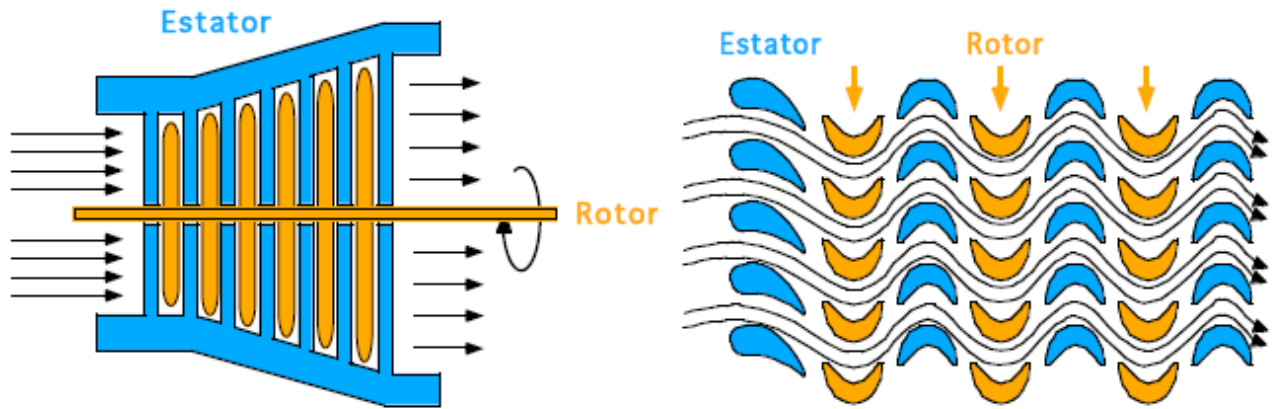
- ✓ Siempre, de ser posible, conviene utilizar un condensador.
- ✓ Si la temperatura de la fuente caliente está limitada (es decir es bastante inferior a la Temperatura crítica del agua), en general conviene utilizar un ciclo de Rankine.
- ✓ El ciclo de Rankine con sobrecalentado conviene cuando tenemos fuente caliente de alta temperatura y necesitamos que el vapor salga más seco de la máquina.
- ✓ Con las condiciones en caldera y condensador iguales, el rendimiento de un ciclo con sobrecalentado será superior a uno de Rankine sin sobrecalentador.

APLICACIONES DE LA MAQUINA DE VAPOR



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE TURBINA DE VAPOR

Los álabes del estator dirigen los chorros de vapor sobre las paletas del rotor impulsándolas y generando así su rotación. Para extraer una parte apreciable de la energía del vapor hacen falta muchos rotores en serie.

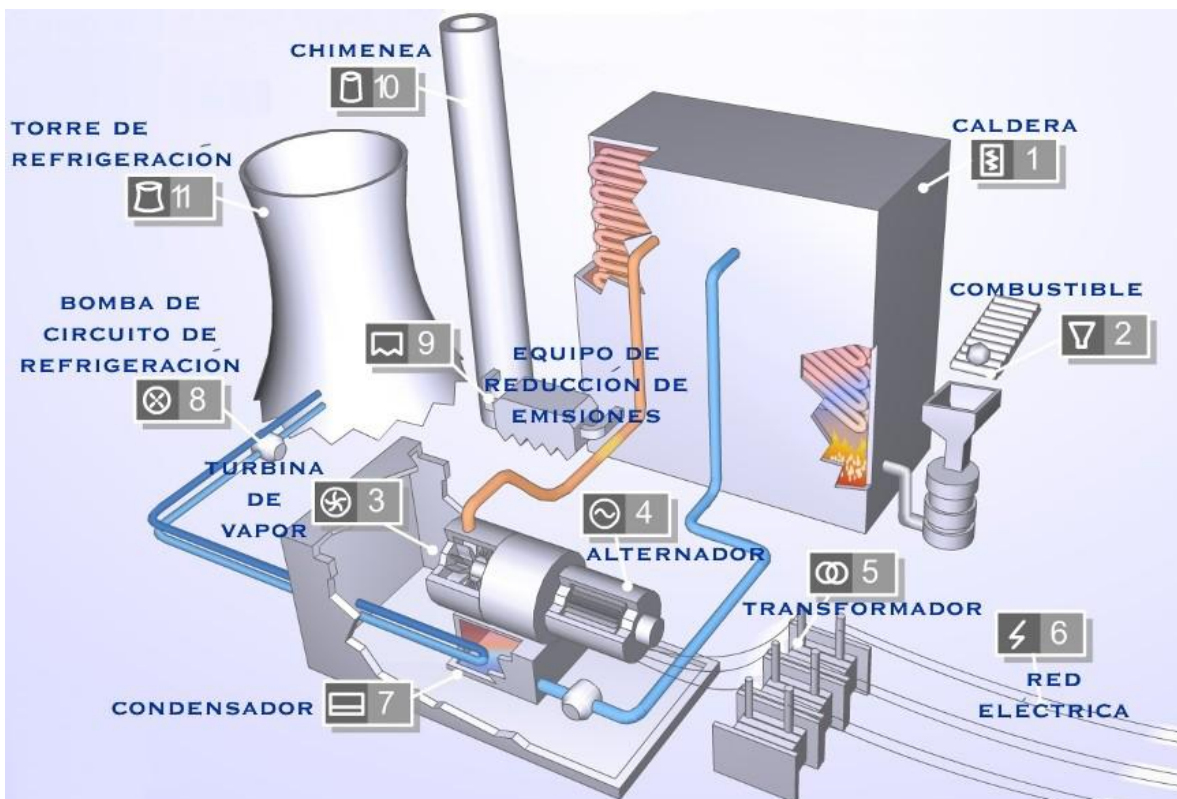


Actualmente, forman parte de instalaciones marinas y submarinas o centrales térmicas de gran potencia. En los campos de la automoción y de la aviación no se emplea, principalmente por el peso del generador de vapor que suele ser una caldera.

La turbina está formada por una corona de conductos fijos al carter (deposito estanco con tapa que protege el motor) denominados toberas, donde se expande el vapor con lo que aumenta su

energía cinética a expensas de la energía térmica que poseen. La corriente aumenta su velocidad y disminuye su temperatura y presión, a la vez que estos conductos guían a la corriente de manera que incida tangencialmente sobre otra corona formada por una especie de palas, denominadas alabes, móviles que van empotrados en un disco montado sobre el árbol de la maquina, el conjunto de alabes y disco. Estos alabes absorben la energía cinética de la corriente que es la que se aprovecha para el movimiento de la maquina. Su fundamento termodinámico queda descrito en el ciclo de Rankine. Su ventaja es que carece de cilindro y de órganos de transformación de movimiento, se aumenta el rendimiento.

Una de las actuales aplicaciones de este ciclo está destinada a la generación de Energía Eléctrica. Un ejemplo de esto se puede observar en la figura siguiente.



Consignas Importantes:

- ✓ Es importante que el alumno entienda como funciona esta planta de generación de energía eléctrica, tanto en su aspecto termodinámico como Eléctrico.
- ✓ Desde el punto de vista eléctrico: función que cumple el generador, cuál sería la tensión normal de generación y qué función cumplen los transformadores en ella.
- ✓ Se sugiere indagar en otras fuentes de datos, como ser páginas confiables, videos explicativos, etc; que ayuden a comprender los temas.