

TURBOMÁQUINAS

Breve Resumen de Apuntes Teóricos

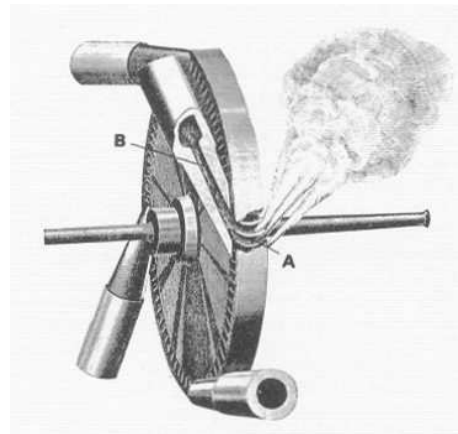


Ing. Javier A. Juárez
Cátedra Energética II
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán

Introducción

La “turbina de vapor” es el único motor primario rotativo que utiliza energía térmica y de presión contenida en el vapor de agua.

Tal **energía potencial**, producida en el generador de vapor, es convertida por la turbina, primero en energía cinética y luego en energía mecánica a expensas de una caída en la entalpía del vapor, función de la presión y de la temperatura del mismo.



Esta conversión se realiza mediante dos elementos esenciales, a saber:

- El estator o distribuidor (elemento fijo donde se montan las toberas), la energía potencial del vapor se transforma en energía cinética; y
- El rotor o rodete (elemento móvil), en donde esa energía cinética se transforma en energía mecánica, en base al principio de la variación de la cantidad de movimiento.

En síntesis, toda turbina es una máquina giratoria en la cual un fluido agente (en este caso el vapor de agua) sufre cambios de presión y de velocidad, en consecuencia variaciones en su cantidad de movimiento, que se traducen en fuerzas tangenciales, las que al actuar sobre un rotor producen el giro del eje motor.

Tipos de Turbinas

La magnitud y la manera como se producen esos cambios de presión y de temperatura determinan el tipo de turbina y el principio de su funcionamiento. Es decir, aun manteniéndose constante la diferencia de presión y de temperatura entre el “foco caliente” y el “foco frío” de la máquina, y en consecuencia constante el valor de la caída de entalpía, la conversión de esta energía cinética a medida que el vapor circula dentro de la turbina, varía según la manera como se van realizando los cambios de estado del vapor.

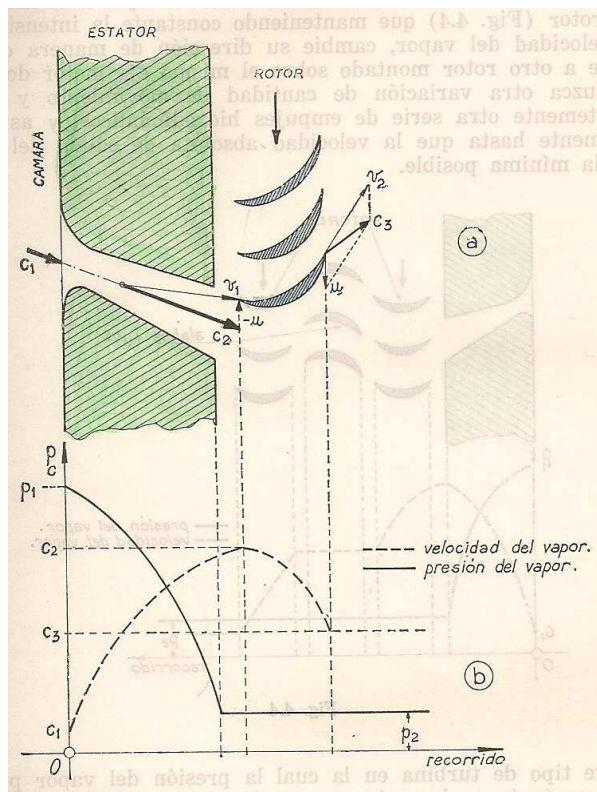
En primer lugar cuando la expansión del vapor se efectúa solamente en el distribuidor (toberas), y en consecuencia solo allí se efectúa toda la transformación de la caída de entalpía en energía cinética, se trata de una **“turbina de acción”**.

En cambio en el caso hipotético de que dicha expansión se efectuare solamente en el rotor, se trataría de una **“turbina de reacción pura”**, (aún irrealizable en la práctica); y cuando la expansión del vapor se hace parte en el distribuidor (toberas) y parte en el rotor (caso más común) se tienen las **“turbinas de acción-reacción”** o simplemente **“turbinas de reacción”**.

Por otra parte, si toda la caída de entalpía se usa en una sola etapa, la energía cinética que adquiere el vapor imprimiría al rotor velocidades circunferenciales enormes, obligando a dotar a la máquina de desproporcionados reductores de velocidad (engranajes, etc.). para obviar este inconveniente se opta por establecer dos o más elementos fijos y móviles de manera de ir "escalonando" la velocidad o la presión del vapor. De esta manera se tienen:

- Turbinas con escalonamiento de presión, o de **Rateau**.
- Turbinas con escalonamiento de velocidad (a presión constante), o ruedas **Curtis**.

También se construyen turbinas mixtas, divididas en varias secciones, funcionando las secciones de alta y media presión como turbinas de acción, mientras que las secciones de baja presión actúan como turbinas de reacción.



En las "turbinas de acción", el vapor ingresa a una cámara (caja de toberas) y de ésta pasa a una serie de toberas tipo LAVAL, o a álabes guía en forma de toberas. En el primer caso la admisión del vapor es parcial y en el segundo caso se considera que es una admisión total. Pero en ambos casos toda la expansión del vapor se realiza dentro de las toberas o de los álabes guía, transformándose su energía calorífica en energía cinética, de manera que la pequeña velocidad **C₁** del vapor en la cámara, se incrementa hasta un valor **C₂** generalmente muy grande, y consecuentemente la presión desciende desde **p₁** hasta **p₂**.

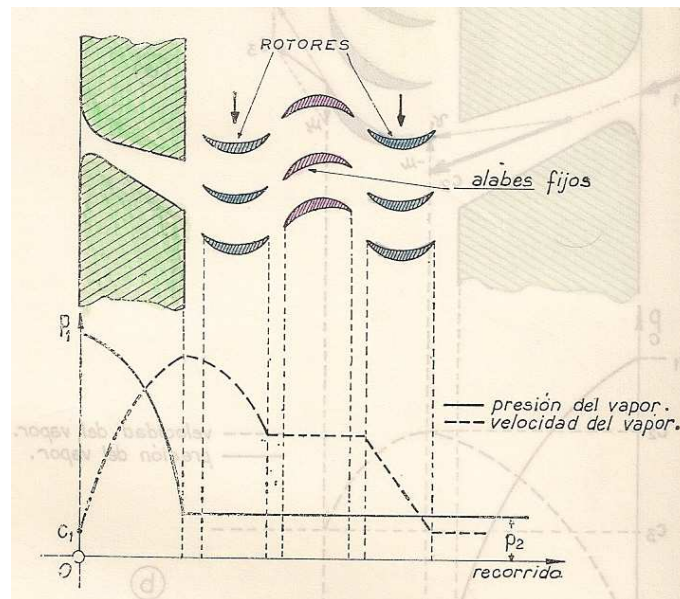
En los álabes del rotor no hay expansión, la presión del vapor se mantiene constante pero la velocidad varía (en dirección y/o magnitud) originándose una variación en la cantidad de movimiento que produce un empuje hidrodinámico sobre cada álabe del rotor, que lo hace girar.

Suponiendo que la velocidad absoluta de ingreso al rotor sea **C₂** y éste gire con velocidad tangencial u , la velocidad relativa de ingreso al rotor será **v₁**. Si la sección de pasaje entre dos álabes permanece constante, y se desprecian los rozamientos, la velocidad relativa del vapor a la salida del rotor será **v₂ ≈ v₁**, que compuesta con la velocidad tangencial u , da la velocidad absoluta del vapor a la salida del rotor, **C₃**, cuya magnitud y dirección dependerá de la forma de los álabes.

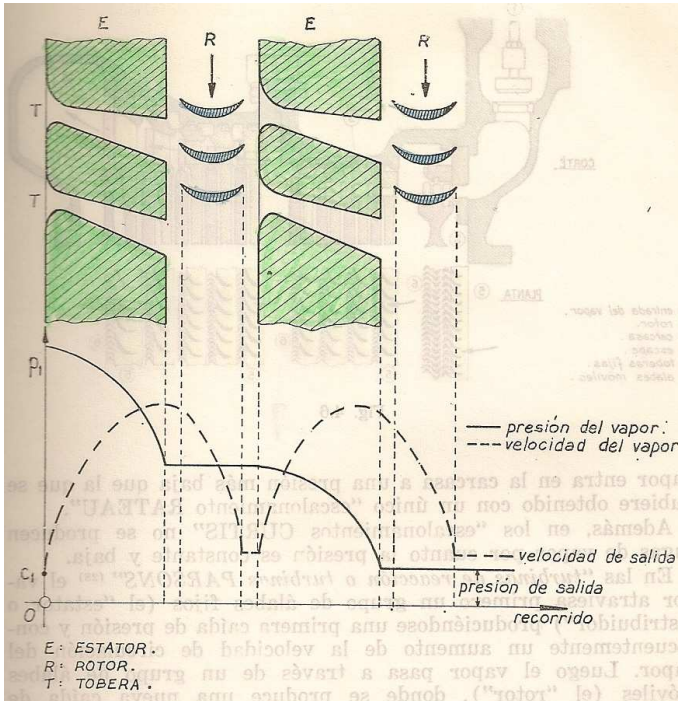
Para que la turbina sea eficiente es necesario que dicha velocidad C_3 , sea la menor posible, de modo de conseguir el máximo aprovechamiento de la energía cinética del vapor que ingresa al rotor.

Observando la figura anterior, se deduce que C_3 será tanto menor a medida que v_2 se dirija en sentido opuesto a la dirección de la velocidad tangencial U . pero aun así siempre resulta C_3 bastante mayor que C_1 , de modo que el vapor que sale del rotor hacia el condensador o hacia la atmosfera lleva aun una apreciable energía cinética que no es aprovechada por la turbina.

Esta energía cinética se la puede aprovechar introduciendo otro conjunto de toberas o alabes fijos a continuación del rotor, que manteniendo constante la intensidad de la velocidad del vapor, cambie su dirección de manera que ingrese a otro rotor montado sobre el mismo eje motor donde se produzca otra variación de cantidad de movimiento y consecuentemente otra serie de empujes hidrodinámicos, y así sucesivamente hasta que la velocidad absoluta de salida del vapor sea la mínima posible.



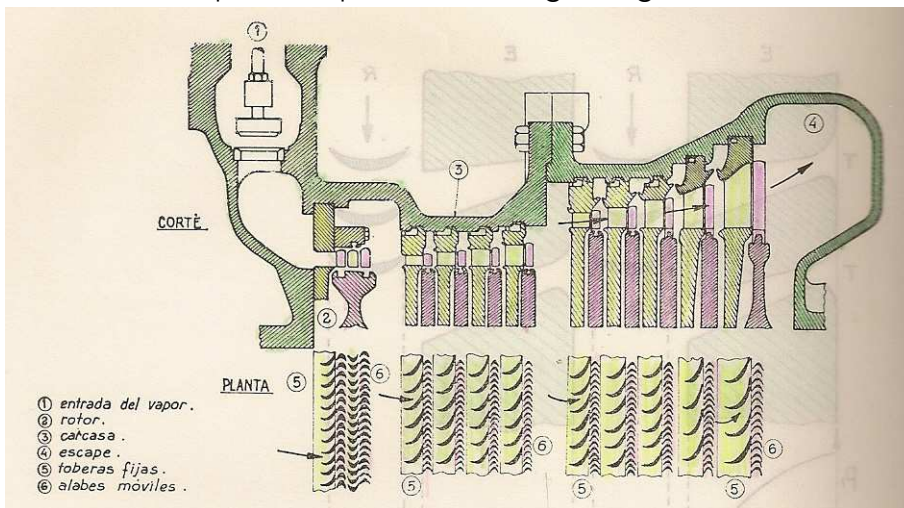
Este tipo de turbinas en la cual la presión del vapor permanece constante en los rotores y en las toberas o alabes fijos, y en cambio, la velocidad absoluta va decreciendo dentro de los rotores, se la denomina de **“escalonamiento de velocidad o de CURTIS”**.



En cambio, si después de salir del primer rotor, al vapor se lo conduce a otra serie de toberas o alabes fijos donde se produzca una segunda expansión del vapor y consecuentemente otra transformación de la energía calorífica en energía cinética, se recupera la velocidad de circulación del vapor, mientras que la presión va decayendo escalonadamente, tal como se puede apreciar en la figura.

Este tipo de turbina en la cual la presión del vapor va descendiendo por sucesivos escalones se denomina de **“escalonamiento de presiones o de RATEAU”**.

La “turbina CURTIS” es mas económica por cuanto requiere menos escalonamientos, pero la “turbina RATEAU” es mas eficiente por que los escalonamientos de presión son de rendimiento mas elevado. De manera que en la actualidad se opta por reunir ambos tipos de turbinas en una sola máquina, tal como se puede apreciar en la figura siguiente:



La figura representa una turbina de vapor con diez escalonamientos de presión, de los cuales el primero tiene dos escalonamientos de velocidad y los nueve restantes solo tienen un escalonamiento de velocidad cada uno.

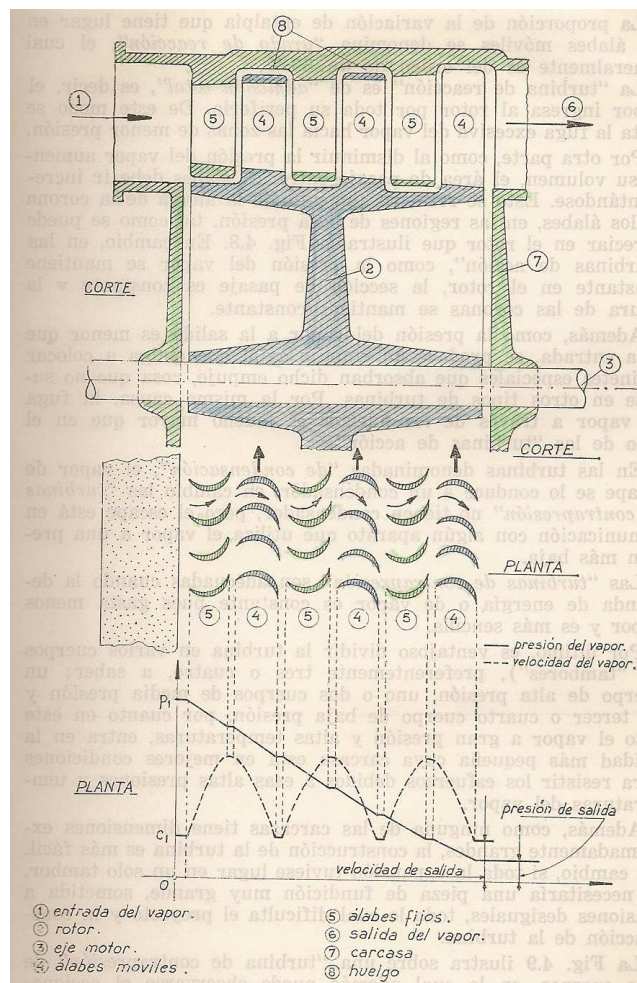
Esta turbina tiene la ventaja de que en el primer escalonamiento se produce una gran caída de presión, de manera que el vapor entra a la carcasa a una presión más baja que la que se hubiera obtenido con un único

escalonamiento RATEAU. Además en los escalonamientos CURTIS, no se producen fugas de vapor por cuanto la presión es constante y baja.

En las "turbinas de reacción o turbinas PARSONS", el vapor atraviesa primero un grupo de álabes fijos (el "estator o distribuidor") produciéndose una primera caída de presión y consecuentemente un aumento de la velocidad de circulación del vapor. Luego el vapor pasa a través de un grupo de álabes móviles (el "rotor"), donde se produce una nueva caída de presión y un aumento de la velocidad relativa. Es decir, en este tipo de turbina hay una importante caída de presión al pasar el vapor a través de los álabes del rotor, los que vienen así a actuar tanto como toberas que transforman la energía calorífica del vapor en energía cinética, como elementos para la transformación de la energía cinética del vapor en trabajo mecánico.

En otras palabras, el espacio entre los álabes del rotor ya no es constante como en el caso de la "turbina de acción", sino que varía como en las toberas, disminuyendo la presión y aumentando la velocidad relativa del vapor en el sentido de la circulación.

En el esquema se representa una "turbina PARSONS" con tres escalonamientos, donde se puede apreciar el descenso continuo de la presión del vapor tanto en los álabes fijos como en los álabes móviles.



Otras consideraciones

La proporción de la variación de entalpía que tiene lugar en los álabes móviles, se denomina "*grado de reacción*", el cual generalmente es del orden del 50%.

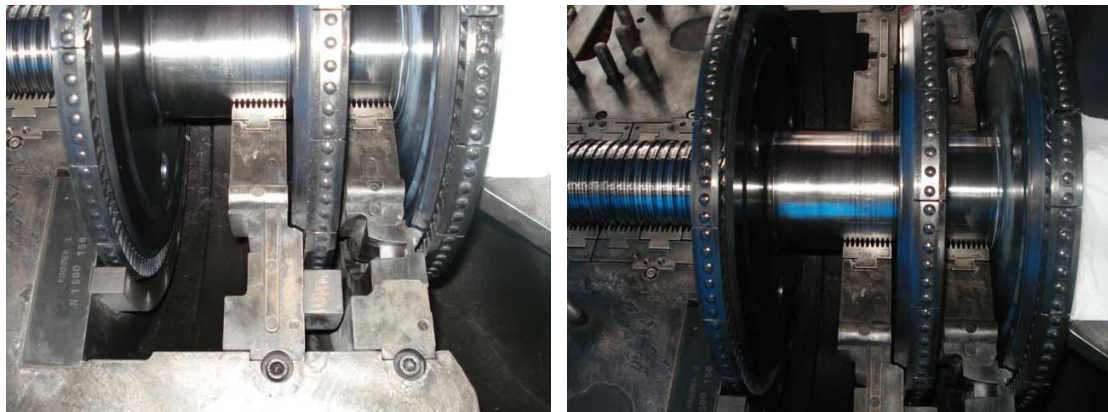
La "turbina de reacción" es "*de admisión total*", es decir, el vapor ingresa al rotor por toda su periferia. De este modo se evita la fuga excesiva del vapor a las zonas de menor presión.

Por otra parte, como al disminuir la presión del vapor aumenta su volumen, el área de pasaje entre los álabes debe ir incrementándose. Esto se resuelve incrementando la altura de la corona de los álabes, en las regiones de baja presión, tal como se puede apreciar en el rotor que se ilustra a continuación.





En cambio en la "turbinas de acción", como la presión del vapor se mantiene constante en el rotor, la sección de pasaje es constante y la altura de las coronas se mantiene constante.



Además como la presión del vapor a la salida es menor que a la entrada, se produce un empuje axial que obliga a colocar cojinetes especiales que absorban dicho empuje, cosa que no sucede en otros tipos de turbinas. Por la misma causa, la fuga de vapor a través de los huecos es mucho mayor que en el caso de las "turbinas de acción".

En las turbinas denominadas "**de condensación**", el vapor de escape se lo conduce a un condensador, en cambio las "**turbinas de contrapresión**" no tienen condensador, pero el escape esta en comunicación con algún aparato que utiliza el vapor a una presión mas baja.

Las “turbinas de contrapresión” son adecuadas cuando la demanda de energía o de vapor es constante pues gasta menos vapor y es más sencilla.

Por último, es ventajoso dividir la turbina en varios cuerpos o “tambores”, preferentemente tres o cuatro, a saber:

- Un cuerpo de alta presión,
- Uno o dos cuerpos de media presión,
- Y un tercer o cuarto cuerpo de baja presión,

por cuanto en este caso el vapor a gran presión y altas temperaturas, entra en la unidad más pequeña cuya carcasa está en mejores condiciones para resistir los esfuerzos debidos a esas altas presiones y temperaturas del vapor.

Además, como ninguna de las carcasas tiene dimensiones extremadamente grandes, la construcción de la turbina es más fácil. En cambio, si toda la expansión tuviese lugar en un solo tambor, se necesitaría una pieza de fundición muy grande, sometida a tensiones desiguales, todo lo cual dificulta el proyecto y la construcción de la turbina.

