

TURBINAS DE VAPOR – FORMAS BASICAS

1.- ETAPA DE ACCION

En la etapa de acción pura, con grado de reacción $\rho = 0$, el salto de entalpía $\Delta i_s' = \Delta i_s$, se transforma en energía cinética (velocidad C_1) en el canal directriz o tobera. En el enrejillado móvil la presión permanece constante con $\Delta i_s'' = 0$. Las secciones en el canal directriz disminuyen en el sentido del flujo de vapor y en el canal móvil permanecen iguales, por ser las velocidades relativas $\omega_1 = \omega_2$ (teóricamente), pues no hay aceleración del vapor que sufre una desviación desde el ángulo β_1 de entrada a β_2 de salida.

2.- ETAPA DE REACCION

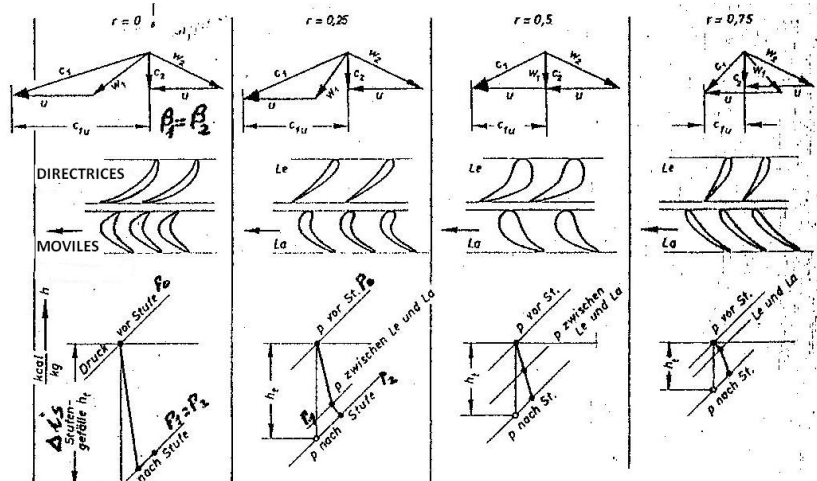
En la etapa de reacción, con ρ mayor que cero, una parte (o todo) del salto de entalpía, se transforma en energía cinética en el enrejillado móvil; las secciones y presiones disminuyen en el sentido del flujo y la velocidad relativa de salida es mayor que la de entrada.

3.- TRIANGULOS DE VELOCIDADES PARA DISTINTOS GRADOS DE REACCION

El triángulo de velocidades de salida muestra que al final de la transformación de energía, queda sobrando la velocidad absoluta C_2 y su correspondiente energía cinética, que se pierde y por lo tanto debe ser lo más pequeña posible. Se ve en el triángulo de velocidades que con otra repartición del Δi_s de la etapa entre el enrejillado fijo y el móvil (otro ρ), así como con otra elección de los ángulos de paletas, C_2 podría ser mayor o menor. O sea que la magnitud de las variables debe ser tal que C_2 sea tan pequeño como sea posible. Esto vale también en los casos en que C_2 sea utilizada como velocidad de entrada en una etapa siguiente.

Se consideran los 4 casos siguientes con $\rho = 0; 0,25; 0,50; 0,75$:

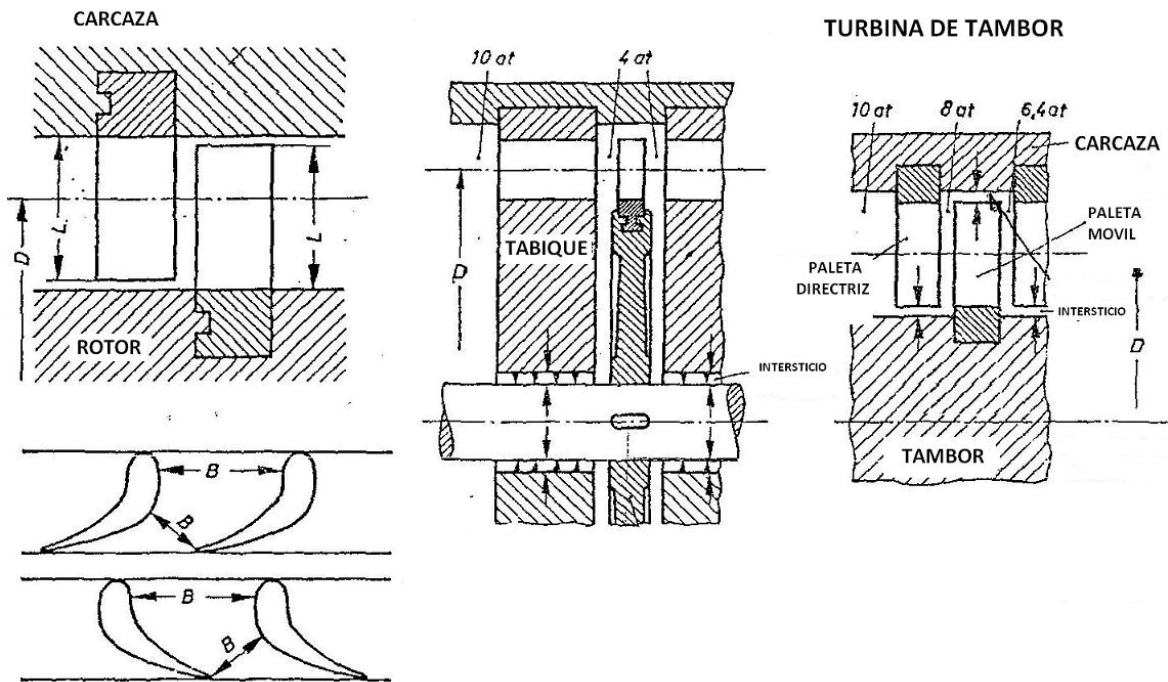
En los 4 casos se trata de que C_2 sea lo más pequeña posible y $\alpha_2 = 90^\circ$ (entonces $C_{2u} = 0$) y además se atiende la condición de $u = 200$ m/s admisible, por razones de resistencia a las fuerzas centrífugas. O sea que en los 4 casos, los triángulos de velocidades de salida son los mismos y la variación está en los triángulos de entrada. Veamos los resultados:



En el caso de acción pura ($\rho = 0$), el desvío del vapor ($\beta_1 - \beta_2$) en las paletas móviles, es mayor. Las magnitudes de las velocidades relativas son aproximadamente iguales y por lo tanto, también las secciones de entrada y salida.

A medida que aumenta el grado de reacción, es $\omega_2 > \omega_1$, $\beta_2 < \beta_1$; $f_2 < f_1$. La componente periférica C_{1u} es menor, por lo que el salto de entalpía de la etapa resulta también menor.

Para $\rho = 0,5$ los triángulos resultan congruentes, o sea $c_1 = \omega_2$; $c_2 = \omega_1$; $\alpha_1 = \beta_2$ y $\alpha_2 = \beta_1 \cong 90^\circ$. Las paletas toman la forma de perfil de ala de sustentación.



RESUMEN - TRABAJO DE LA ETAPA, SALTO DE LA ETAPA, NUMERO DE ETAPAS

Cuanto mayor sea el grado de reacción, menor será el trabajo periférico de la etapa: $L_u = u * (c_{1u} - c_{2u})$, por ser la velocidad c_1 menor, cuando el salto de entalpía de la etapa se reduce. Lógicamente se puede aumentar la potencia $N_u = m * L_u$, con un mayor consumo de vapor m (kg/s). Para un determinado salto total de entalpía en la turbina, el número de etapas será mayor, con mejor rendimiento y mayor costo de la turbina. La razón del mayor rendimiento se aclara con el siguiente razonamiento:

- con menor salto de entalpía en la etapa, la velocidad c_1 del vapor es menor y para un determinado n (r.p.m.) y una relación de velocidades u/c_1 óptima, resulta una velocidad periférica u (m/s) menor y un diámetro de la rueda también menor; para una sección anular de paso, definida por el caudal volumétrico (m³/s), será necesaria una mayor longitud de paletas y por consiguiente un rendimiento de la etapa mayor.

Las secciones de paso se calculan con la ecuación de continuidad: f (m²) = m (kg/s) * v (m³/kg) / c (m/s), para las paletas directrices y $m * v / w$ para las móviles.

La sección del canal se considera rectangular $f = b * l$ (ancho x longitud). La longitud de las paletas aumenta de etapa en etapa, debido al aumento del volumen de vapor con la progresiva expansión.

Cuanto más grande es el grado de reacción, menor es la desviación del vapor en el canal móvil y las paletas toman la forma de perfil de ala de sustentación.

TURBINAS DE CÁMARA Y DE TAMBOR:

En consideración a las pérdidas por intersticios, existen dos modos constructivos de las turbinas de múltiples etapas:

La Turbina de Cámara se construye con cámaras de presión constante entre dos tabiques fijos en la carcaza, que contienen las paletas directrices. En cada cámara existe un disco fijo al eje y que contiene las paletas móviles. Se usan con grados de reacción de 0 a 0,10. Por ser considerable la diferencia de presiones entre cada tabique, éste está solicitado a la flexión (que aumenta con el diámetro), por lo que tiene un espesor mayor. El disco que gira con las paletas está solicitado por fuerzas centrífugas, por lo que el cubo también requiere un espesor mayor. Por esto la etapa de acción tiene una mayor dimensión axial. Las pérdidas por intersticios se presentan en el espacio de sección anular, entre tabique y eje. En el intersticio entre paletas móviles y carcaza no hay pérdidas de vapor por ser la presión constante.

La Turbina de Tambor difiere de la anterior, en que las paletas directrices están fijas a la carcaza y las móviles fijas al rotor (con forma de tambor). Se construyen con un grado de reacción de 0,50. Por ser las diferencias de presiones menores que en el caso anterior, la longitud axial de la etapa resulta menor.

Para un mismo salto total de entalpía, la turbina de tambor tiene un mayor número de etapas que la de cámara; pero como en ésta los tabiques tienen mayor espesor, la longitud total del eje de ambas resulta aproximadamente igual.

En las turbinas de tambor se debe compensar el empuje axial con un émbolo compensador, lo que no es necesario en las turbinas de cámara.

En la turbinas de tambor las etapas tienen un grado de reacción de 0.50, de manera que los perfiles de las paletas directrices y móviles resultan similares, lo que facilita el cálculo y la construcción.