

## TURBINA DE VAPOR

Máquina motriz que transforma parte de la energía térmica del vapor en trabajo mecánico.

Se emplean para el accionamiento de generadores eléctricos, molinos, ventiladores, bombas centrífugas, bombas de vacío, compresores, hélices de barcos y otros.

Con las turbinas a condensación de las centrales termoeléctricas (convencionales, termonucleares y con ciclos combinados de turbinas a gas y vapor) se genera aproximadamente el 80% de la energía eléctrica mundial, con unidades de 30 a 2000 MW de potencia.

Las turbinas industriales (de contrapresión y/o con extracciones de vapor para procesos de calefacción) constituyen el grupo más numeroso, pero no representan la mayor potencia instalada; con potencias de 100 a 100.000 KW.

## RESEÑA HISTORICA

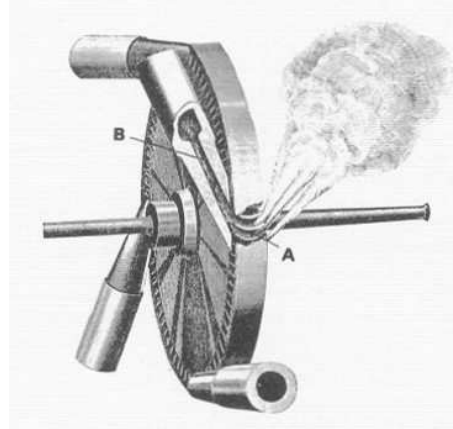
La referencia más antigua es **la esfera giratoria de Herón de Alejandría**, 120 años antes de Cristo (Fig. 1 del libro de Stodola), accionada por la reacción del vapor al expandirse en las toberas de la misma. Con este principio se construyen las **TURBINAS DE TAMBOR** (de reacción); ver esquema en lámina TV 32.



En el año 1629, el italiano **De Branca** intentó mover una rueda con paletas por medio de vapor expandido en una tobera (Fig. 2). Este es el principio de acción, con que funcionan las **TURBINAS DE CAMARA**; ver lámina TV 32.

De 1784 a 1880 se registraron 134 patentes inglesas (una de James Watt). La historia de las turbinas de vapor propiamente dichas se inicia a fines del siglo XIX con **DE LAVAL** y **PARSONS** que aprovechan los conocimientos en termodinámica brindados por Carnot, Clausius, Clapeyron y otros.

**Año 1883: Carl Gustav de Laval** construye una turbina de acción con una tobera y una rueda de acción, para mover una centrífuga de leche (Fig. 3 del libro de Stodola), con elevada velocidad periférica (26.000 rpm, 450 m/s y 294 mm de diámetro de la rueda), árbol elástico y un ingenioso sistema de fijación de las paletas a la rueda.



**Año 1884: Charles Parsons** construye una turbina de reacción de dos cuerpos con 15 etapas en serie cada uno (Fig. 4), con menor salto de entalpía por etapa y mejor rendimiento; diámetro de las ruedas 74 mm, 17.000 rpm, 10 CV, para accionar un dínamo.

**Año 1892:** Se construye la primera turbina de condensación de 1.000 KW.

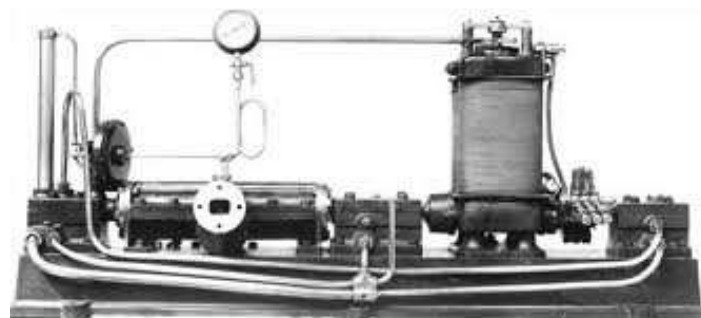
**Año 1894:** primera turbina para barco, 2.000 CV, con tres hélices y salto de entalpía repartido en tres cuerpos o carcasas.

**Turbina de acción Curtis:** rueda de acción con dos o tres escalones de velocidad (coronas de álabes móviles a presión constante) para disminuir la velocidad periférica con un salto de entalpía grande.

**Turbina Rateau:** con varias etapas de presión (acción) en serie.

**Año 1925:** Stodola establece las bases científicas que permiten construir las turbinas de gran potencia y elevadas presiones y temperaturas con los generadores eléctricos refrigerados por hidrógeno. En la actualidad se llega a presiones de 150 a 235 bar y temperaturas de 540 °C, con consumos de calor de 1800 a 2000 kcal/kwh que corresponden a rendimientos térmicos de la central de 47 a 43 %.

**Actualmente, con el ciclo combinado de las turbinas de gas y de vapor, se logran rendimientos térmicos de 50 a 60 %.**



## **CLASIFICACION DE LAS TURBINAS DE VAPOR**

Antiguamente, desde la construcción de las primeras turbinas de vapor a fines del siglo pasado, por de Laval, Parsons, Rateau y otros, se llamaron según el principio de funcionamiento como **turbinas de acción** (con grado de reacción igual a cero ) y **de reacción** ( con grado de reacción igual a 0,5 ). Se define el **grado de reacción** de una etapa como la relación entre el salto isoentrópico de entalpía en el empaquetado móvil sobre el salto de entalpía de la etapa.

En la actualidad se clasifican las turbinas desde el punto de vista constructivo en dos grandes grupos:

- **Turbinas de Cámara** (o de presión constante) con un grado de reacción de cero a 0,20 (Ver fig. C de Lámina TV 32)
- **Turbinas de Tambor** con grado de reacción igual a 0,5 (Ver fig. D de TV 32).

También existen **turbinas radiales** (menos del uno por ciento) con flujo de vapor perpendicular al eje y con grado de reacción de 0,5 y 1,0 (Ljungström).

En cuanto se refiere a la utilización de las turbinas de vapor, se clasifican en:

**Turbinas Convencionales:** Son las turbinas empleadas en las centrales térmicas para la generación de energía eléctrica. Con éstas y las de las centrales nucleares se genera aproximadamente el 80% de la energía eléctrica en el mundo. Son de condensación, de una o más carcazas (o cuerpos) como turbinas de cámara o de tambor. Trabajan con vapor sobrecalentado y con recalentamiento simple o doble. Gama de potencias:

- de un solo eje: de 30 a 850 MW (y más),  $n = 3000$  y  $3600$  r.p.m.
- de dos ejes: hasta 1600 MW (2000),  $n = 1500$  (1800) y  $3000$  (3600) r.p.m.

En los países fríos estas turbinas proveen vapor para la calefacción doméstica, lo que significa un aporte para disminuir la contaminación ambiental que causarían las estufas individuales. También tienen extracciones de vapor para el precalentamiento regenerativo del agua de alimentación de calderas

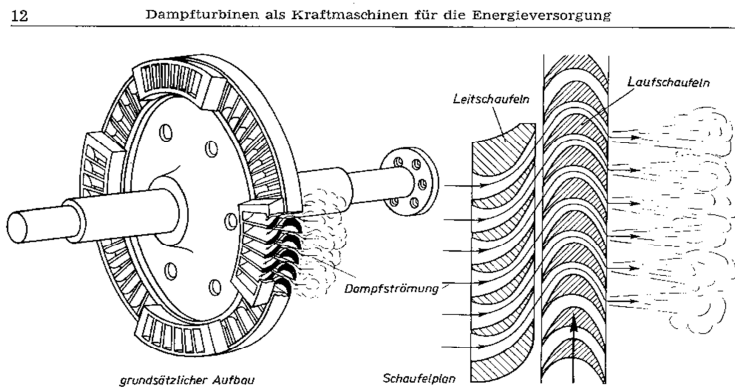
**Turbinas para Centrales Nucleares:** Son de diseño similar a las convencionales, pero con vapor saturado y un recalentamiento intermedio. Potencias hasta 1300 MW, con un solo eje y de  $n = 1500$  ó  $1800$  r.p.m. (raras veces de  $3000$  ó  $3600$ ).

**Turbinas Industriales:** Son las turbinas empleadas en accionamientos industriales de generadores eléctricos, molinos, bombas centrífugas, ventiladores, compresores, bombas de vacío y para suministrar vapor para los procesos de calefacción (calentadores, evaporadores, tachos de cocimiento, digestores, etc.), sustituyendo a válvulas reductoras de presión que destruyen exergía. En cantidad representan el grupo más numeroso, pero no el de mayor potencia instalada.

- Gama de potencia: 100 a 100.000 KW,
- Un solo eje de  $n = 3000$  a  $20.000$  r.p.m.,
- Una sola carcaza,
- De contrapresión, de condensación y con extracciones de vapor,
- De cámara y de tambor con pocas etapas y Ruedas Curtis (una etapa de presión con escalonamiento de velocidades);
- Para vapor sobrecalentado sin recalentamiento intermedio.

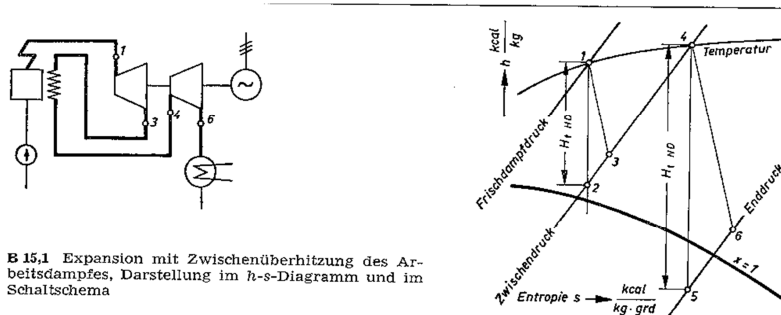
**Turbinas para Barcos:** Son las turbinas para accionar las hélices y generadores eléctricos de los barcos, de 15.000 a 150.000 KW (250.000). Son de condensación de dos cuerpos con reductores, para vapor sobrecalentado con un recalentamiento intermedio; turbinas de cámara (acción) y siempre de dos ejes,  $n = 3000$  a  $8000$  r.p.m.

Los engranajes reductores a  $n = 85$  a  $120$  r.p.m. de la hélice son de construcción limitada por la potencia, hasta  $35.000$  KW ( $60.000$  KW excepcionalmente), por lo que los grandes barcos de pasajeros, de carga o de guerra tienen una planta de turbinas con dos a cuatro hélices.



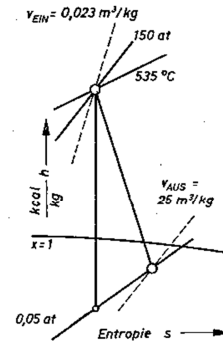
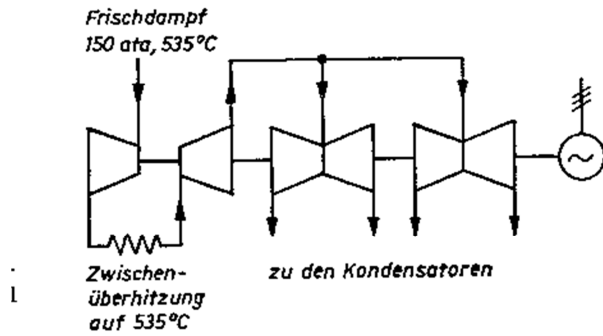
B 12,1 Wirkungsweise einer Strömungsmaschine

**Etapa de acción de turbina de vapor: Paletas directrices (fijas) y móviles**



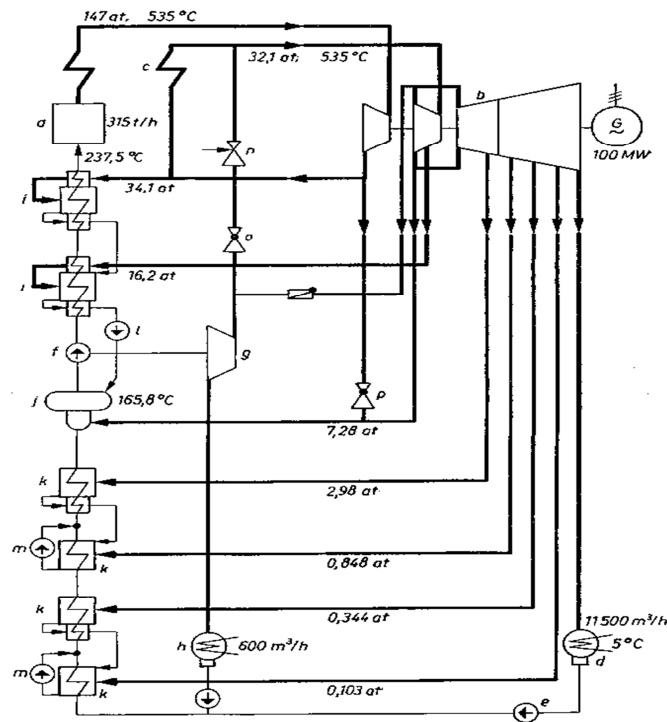
B 15,1 Expansion mit Zwischenüberhitzung des Arbeitsdampfes, Darstellung im  $h$ - $s$ -Diagramm und im Schaltschema

**Expansión del vapor en una TV de condensación con cuerpos de alta y baja presión y recalentamiento intermedio**



B 18.1 Expansion im  $h$ - $s$ -Diagramm mit grünen Volumenlinien, Beispiel

TV de condensación con dos cuerpos de baja presión de doble flujo; expansión en el diagrama  $i$ - $s$



Esquema de la instalación de vapor de una central termoeléctrica:

- a) Generador de vapor.
- b) Turbina de vapor y generador eléctrico.
- c) Recalentamiento intermedio.
- d) Condensador principal.
- e) Bomba de condensado.
- f) Bomba de alimentación de la caldera
- g) Turbina de accionamiento de la bomba de alimentación.
- h) Condensador
- i) Pre calentador de alta presión.
- j) Desgasificador con depósito.
- k) Pre calentador de baja presión.
- l) Bomba de condensado para el pre calentador de alta presión.
- m) Bomba de condensado para el pre calentador de baja presión.
- n) Estación reductora de alta presión.
- o) Estación reductora de presión.
- p) Estación reductora para el desgasificador.