

$$\text{su valor medio extremo que es } \frac{(l_1 + l_2)r^2}{4l_1 l_3}$$

con lo que la igualdad anterior para a ser

$$y = \left[\frac{r(l_1 + l_2)}{l_1} - r \right] \cos(180^\circ + C + \gamma) - \frac{(l_1 + l_2)(l_1 - h)r}{l_1 l_3} \sin(C + \gamma) - \\ - \frac{K(l_1 + l_2)}{l_1} + \frac{l_3(l_1 + l_2)}{l_1} - \frac{(l_1 + l_2)(l_1 - h)^2}{2l_1 l_3} - \frac{(l_1 + l_2)r^2}{4l_1 l_3} \quad (20)$$

Para que los términos independientes del ángulo γ girado por el eje de la máquina sumen cero, K debe tomar el valor que se desprende de la ecuación

$$- \frac{K(l_1 + l_2)}{l_1} + \frac{l_3(l_1 + l_2)}{l_1} - \frac{(l_1 + l_2)(l_1 - h)^2}{2l_1 l_3} - \frac{(l_1 + l_2)r^2}{4l_1 l_3} = 0$$

o sea $K = l_3 - \frac{r^2}{4l_3} - \frac{(l_1 - h)^2}{2l_3}$ (21)

En consecuencia a esta condición (21) la ecuación (20) se reduce a

$$y = \left[\frac{r(l_1 + l_2)}{l_1} - r \right] \cos(180^\circ + C + \gamma) - \frac{(l_1 + l_2)(l_1 - h)r}{l_1 l_3} \sin(C + \gamma)$$

y puesto que $\cos(90^\circ + C + \gamma) = -\sin(C + \gamma)$

$$y = \left[\frac{r(l_1 + l_2)}{l_1} - r \right] \cos(180^\circ + C + \gamma) + \frac{(l_1 + l_2)(l_1 - h)r}{l_1 l_3} \cos(90^\circ + C + \gamma) \quad (22)$$

Observare ahora que de acuerdo con todo lo establecido y con la figura 16, esta y del primer miembro es la ordenada del punto P conductor de la distribución y por otro lado, según esta función (22) es también la suma de las proyecciones de dos vectores, uno de módulo $\frac{r(l_1 + l_2)}{l_1} - r$ y otro

de módulo $\frac{(l_1+l_2)(l_1-h)r}{l_1 l_3}$ y cuyos argumentos respectivos son $180^\circ + C + \varphi$ y $90^\circ + C + \varphi$ que como construimos la máquina con $C = 180^\circ$ se reducen a $360^\circ + \varphi$ y $270^\circ + \varphi$ y que en el punto muerto alto valen sólo 360° y 270° respectivamente.

El primer vector tiene el módulo constante, pero no el segundo que

para	$l_1 > h$	es positivo
para	$l_1 = h$	es nulo
y para	$l_1 < h$	es negativo

En el primer caso, los vectores (dibujados en la figura 17 en la posición de punto muerto alto de la máquina), toman la posición que se indica y que corresponden a cada uno de los dos sentidos de marcha y a la parada.

En resumen, cuando, como es corriente, $C = 180^\circ$ la ecuación del movimiento del punto T^1 es

$$y = \left[\frac{r(l_1 + l_2)}{l_1} - r \right] \cos(360^\circ + \varphi) + \frac{(l_1 + l_2)(l_1 - h)r}{l_1 l_3} \cos(270^\circ + \varphi) \quad (23)$$

Sin querer la posición de punto muerto, se observa claramente que al variar h , r varía de manera que su punto extremo se mueve perpendicularmente al eje de ordenadas; en consecuencia, la "curva característica" de este cambio de marchas es recta.

Para el establecimiento de uno de estos sistemas, como es el caso que ahora nos ocupa, se empieza por tomar

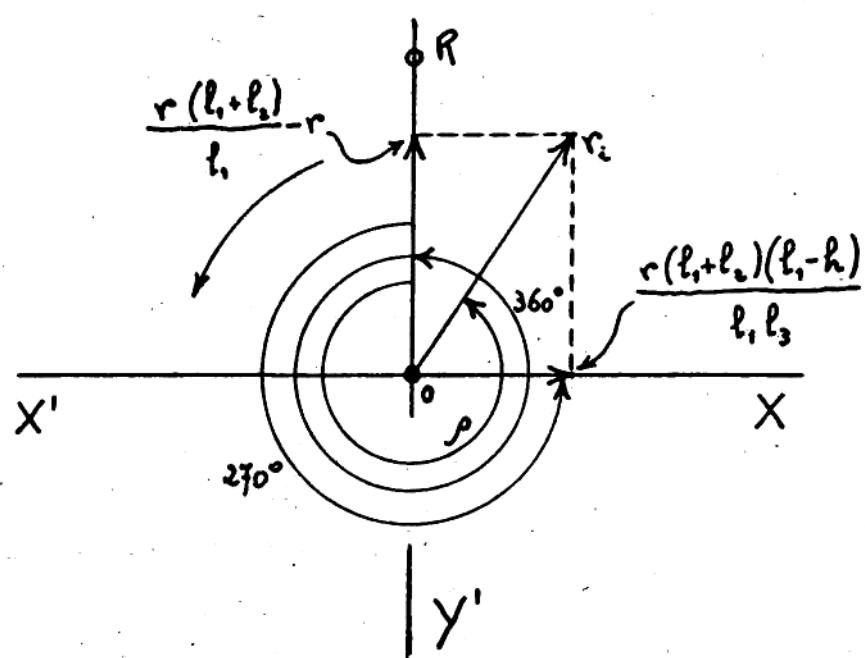
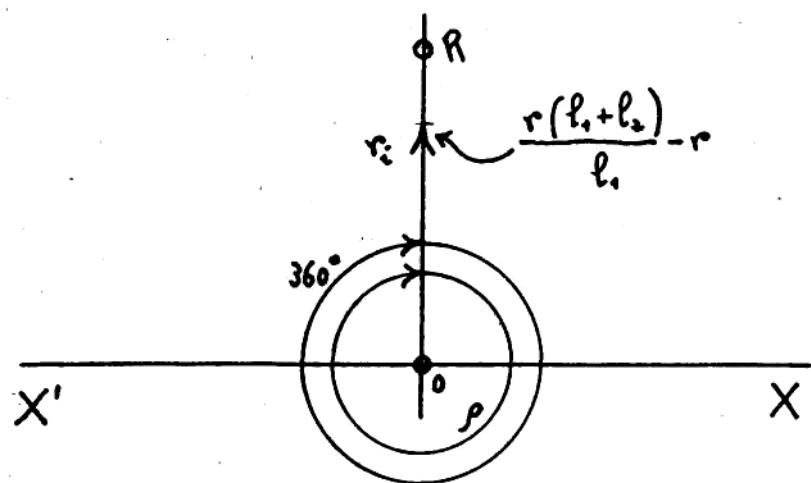
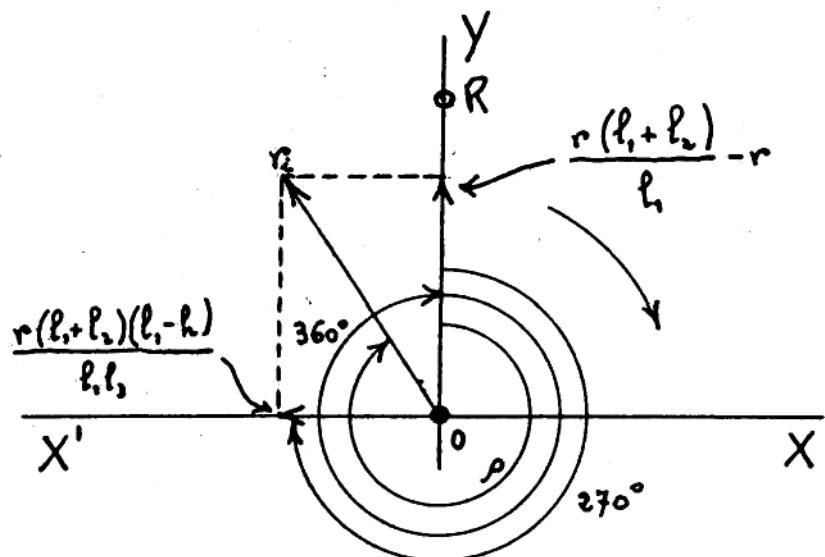


figura 17

del proyecto los valores r_i y ρ , es decir, los que allí se llamaban "cigüenel ficticio" y "ángulo de calaje"; después con auxilio de las figuras 17 y 18 y llamando y_0 y x_0 a los módulos de los vectores componentes de r_i obtenemos las ecuaciones que juntas con la que da el valor de K y que obtuvimos con anterioridad, constituyen el cuadro siguiente:

$$\tan \rho = \frac{x_0}{y_0} \quad (24)$$

$$r_i = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad (25)$$

$$y_0 = \frac{r(l_1 + l_2)}{l_1} - r \quad (26)$$

$$x_0 = -\frac{r(l_1 + l_2)(l_1 - h)}{l_1 l_3} \quad (27)$$

$$K = l_3 - \frac{r^2}{4l_3} - \frac{(l_1 - h)^2}{2l_3} \quad (28)$$

En la distribución que estamos calculando es $\rho = 360^\circ - 34^\circ$ o si se quiere $\rho = -34^\circ$, $r_i = 10$ cm. y, tomados al arbitrio, $l_1 = 30$ cm., $l_2 = 30$ cm. y $l_3 = 40$ cm.; por aplicación sucesiva de las cinco ecuaciones anteriores obtenemos sucesivamente:

$$\tan \rho = \tan -34^\circ = \frac{x_0}{y_0} = -0'6745$$

$$y_0 = -0'6745 y_0$$

$$r_i = 10 = \sqrt{(-0'6745 y_0)^2 + y_0^2}$$

$$10 = \sqrt{0'4550 y_0^2 + y_0^2}$$

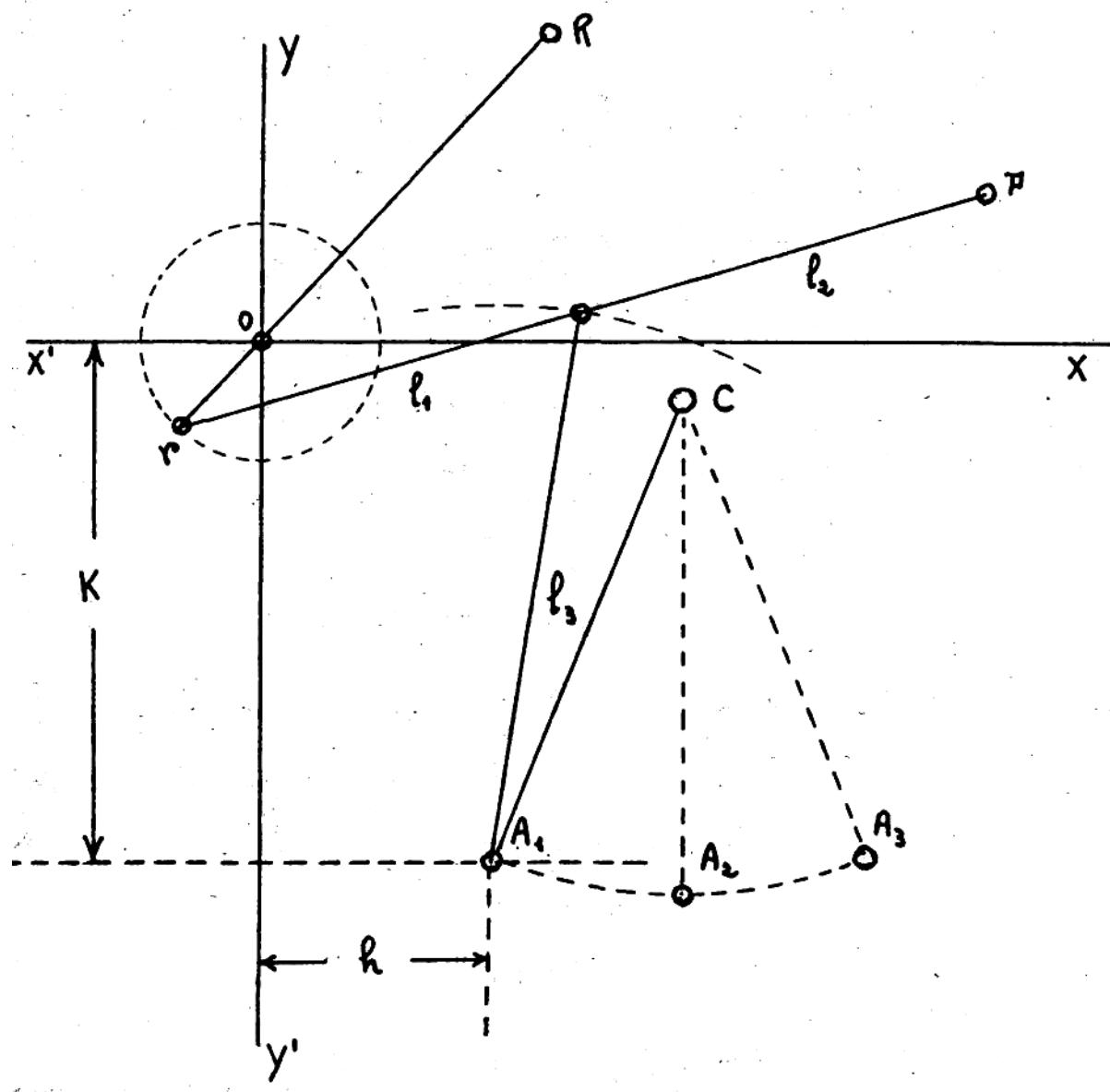


figura 18.

$$10 = 1'30\ 62 \text{ y.}$$

$$y_0 = 8'2905$$

$$x_0 = -5'5919$$

$$8'2905 = \frac{r(30+30)}{30} - r$$

$$r = 8'2905 \text{ cm.}$$

$$h = \frac{l_1 l_3 y_0 + r(l_1 + l_2)l_1}{r(l_1 + l_2)}$$

$$h = \frac{-30 \times 40 \times 5'5919 + 8'2905 \times 60 \times 30}{8'2905 \times 60}$$

$$h = 16'5101 \text{ cm.}$$

$$K = 40 - \frac{8'2905^2}{4 \times 40} - \frac{(30 - 16'5101)^2}{2 \times 40}$$

$$K = 37'2957 \text{ cm.}$$

Observe que K y h son las coordenadas del punto de suspensión A y que la diferencia $l_1 - h$ vale $13'4899$; si hacemos $l_1 - h = 0$ resultan res.

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$\gamma \quad K = 39'5704 \text{ cm.}$$

$$\text{y si hacemos } l_1 - h = -13'4899 \text{ cm.}$$

$$\text{entonces } h = 43'4899 \text{ cm.}$$

$$\text{y } K = 37'2957 \text{ cm.}$$

Estos tres pares de coordenadas determinan (figura 18) las tres posiciones A_1 , A_2 y A_3 del punto de suspensión y estas tres posiciones a su vez determinan el centro C del trago que permite pasar de una a otra y a las intermedias para la

obtención de las marchas avante, atrás y reducidas.

Para la determinación de la válvula distribuidora del cilindro de baja, que debe admitir por las aristas exteriores, corresponde seguir el mismo proceso que para el cilindro de alta ya que la única diferencia está en el valor numérico de los datos.

La turbina que ha de montarse en el escape de la máquina alternativa, de acuerdo con los antecedentes dados en este capítulo habrá de tener las siguientes características:
 $W = 843 \text{ C.V.}$, $n = 3000 \text{ rev/min.}$, $P_1 = 1 \text{ Kg/cm}^2$, $\varphi = 85\%$,
 $P_2 = 0'05 \text{ Kg/cm}^2$, $\Delta i = 78 \text{ cal/kg.}$ y $F = 6835 \text{ Kg/hora}$.

A fin de hacer inteligible cuanto sigue y puesto que no existe una nomenclatura universal, damos las definiciones siguientes:

Los elementos constituyentes de las turbinas son de cuatro clases, a saber:

- 1) Que transforman energía térmica en cinética.
 - 2) Que transforman energía cinética en trabajo.
 - 3) Que transforman energía térmica en cinética y cinética en trabajo.
 - 4) Que no transforman energía, sólo cambian la dirección del vapor.
- Las llamamos respectivamente toberas, paletas, tobero-paletas y directrices.

En su forma actual las turbinas de acción constan de coronas de toberas, de paletas y aún de directrices; las turbinas de reacción constan únicamente de coronas de tobero-paletas;

las turbinas de acción-reacción constan de coronas de toberas y de coronas de tobero-paletas.

Si consideramos una sección de turbina de acción constituida por una corona de toberas y una de paletas y una turbina de acción-reacción constituida por una corona de toberas y una de tobero-paletas y en ambas secciones se tiene un salto térmico de Q calorías, éste será el que corresponde a la corona de toberas de la turbina de acción, mientras que en la de acción-reacción será sólo de $Q/2$, en ambas coronas

Las velocidades debidas a los saltos térmicos serán respectivamente

$$V_a = \sqrt{2g \cdot 427 Q}$$

$$V_{ar} = \sqrt{2g \cdot 427 \cdot \frac{Q}{2}}$$

Entonces de acuerdo con el concepto de coeficiente de reducción de velocidad que suele valer

$$\varphi = 0'94$$

para toberas y tobero-paletas y

$$\varphi = 0'90$$

para paletas y directrices,

las pérdidas por kilogramos de vapor en las coronas de toberas valdrán respectivamente

$$\Delta a = \frac{1}{2g} (1 - 0'94^2) (\sqrt{2g \cdot 427 \cdot Q})^2$$

$$\Delta_{ar} = \frac{1}{2g} (1 - 0'94^2) (\sqrt{2g \cdot 427 \cdot \frac{Q}{2}})^2$$

de donde $\Delta a = 0'1164 \times 427 Q$

$$\Delta_{ar} = 0'0582 \times 427 Q$$

En paletas, suponiendo el caso ideal de ser nula el ángulo de inclinación de la tobera y nula la velocidad residual, el vapor atravesía la paleta a la velocidad (ideal) mitad de la descargada por la tobera y se tiene que

$$\Delta_a' = \frac{1}{2g} (1 - 0.90^2) \left(\frac{\sqrt{2g \cdot 427Q}}{2} \right)^2$$

$$\Delta_a' = 0.0475 \times 427 Q$$

En las toberas-paletas se tiene la misma pérdida que en su corona de toberas y por consiguiente

$$\Delta_{tar}' = 0.0582 \times 427 Q$$

La pérdida total en la sección es pues para la turbina de acción

$$\Delta_{ta} = 0.1639 \times 427 Q$$

y para la de acción-reacción

$$\Delta_{tar} = 0.1164 \times 427 Q$$

Esta pérdida es pues menor en la turbina de acción-reacción; ocurre también que su construcción es más sencilla y el peso menor, pero no pueden aplicarse a las altas presiones por causa de las fugas entre rotor y estator; en cambio son muy buenas para turbinas de escape, que es en la forma en que vamos a utilizarla.

Procede ahora considerar el grado de reacción más conveniente entendiendo por tal la relación entre el salto térmico en la corona de toberas-paletas y el total en la sección, o sea

$$g_r = \frac{\Delta_r}{\Delta}$$

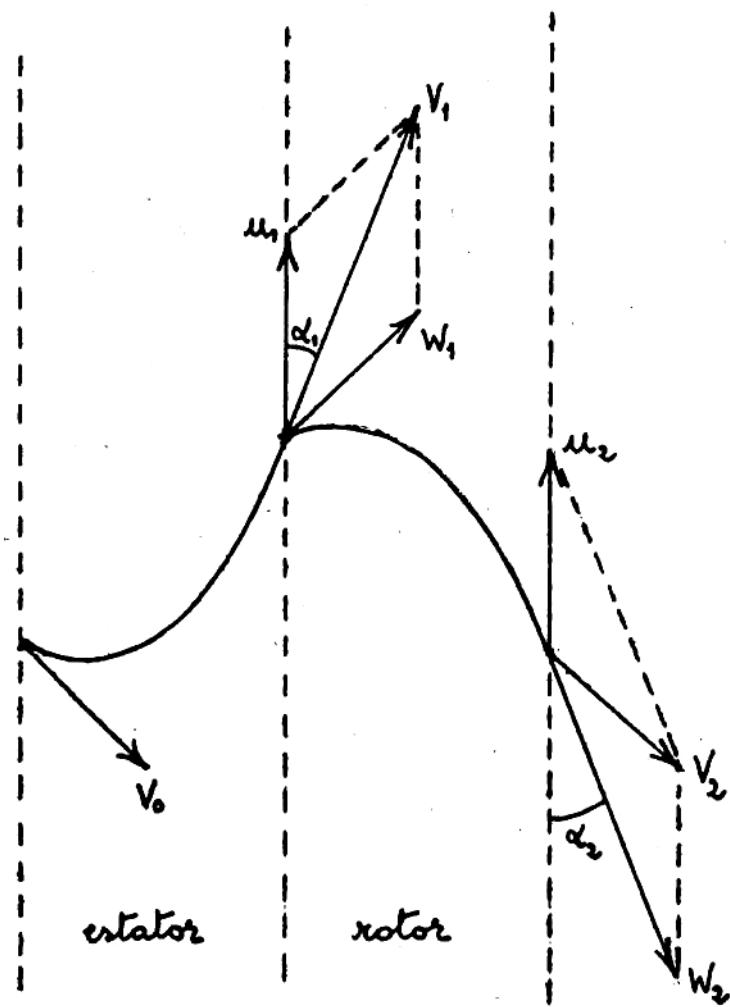


figura 19

Para ello es necesario considerar los tres casos posibles por medio de sus paralelogramos o triángulos de velocidades.

En el caso de la figura 19 se observa que se verifica

$$u_1 < V_1 \cos \alpha_1$$

$$u_2 < W_2 \cos \alpha_2$$

y

en el caso de la figura 20

$$u_1 = V_1 \cos \alpha_1$$

$$u_2 = W_2 \cos \alpha_2$$

y en el caso de la figura 21

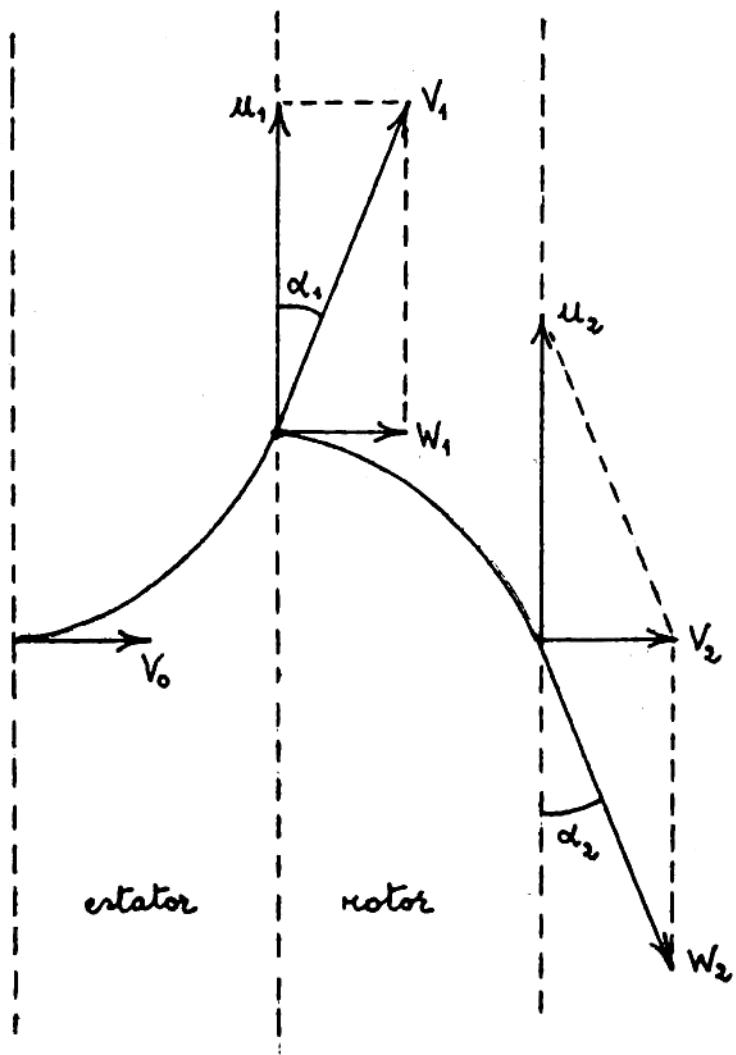


figura 20

$$u_1 > V_1 \cos \alpha_1$$

$$u_2 > V_2 \cos \alpha_2$$

En el primer caso se tiene una velocidad de salida V_2 que no es mínima, lo cual está bien si este vapor pasa directamente, y correctamente orientado, a la tolbera siguiente y está mal si este vapor va a perderse en el escape; la ventaja de la disposición está en que, para la velocidad periférica dada del rotor que es primordial, se tiene una velocidad de descarga de tolberas y de tolbera-paletas grande con lo que el salto

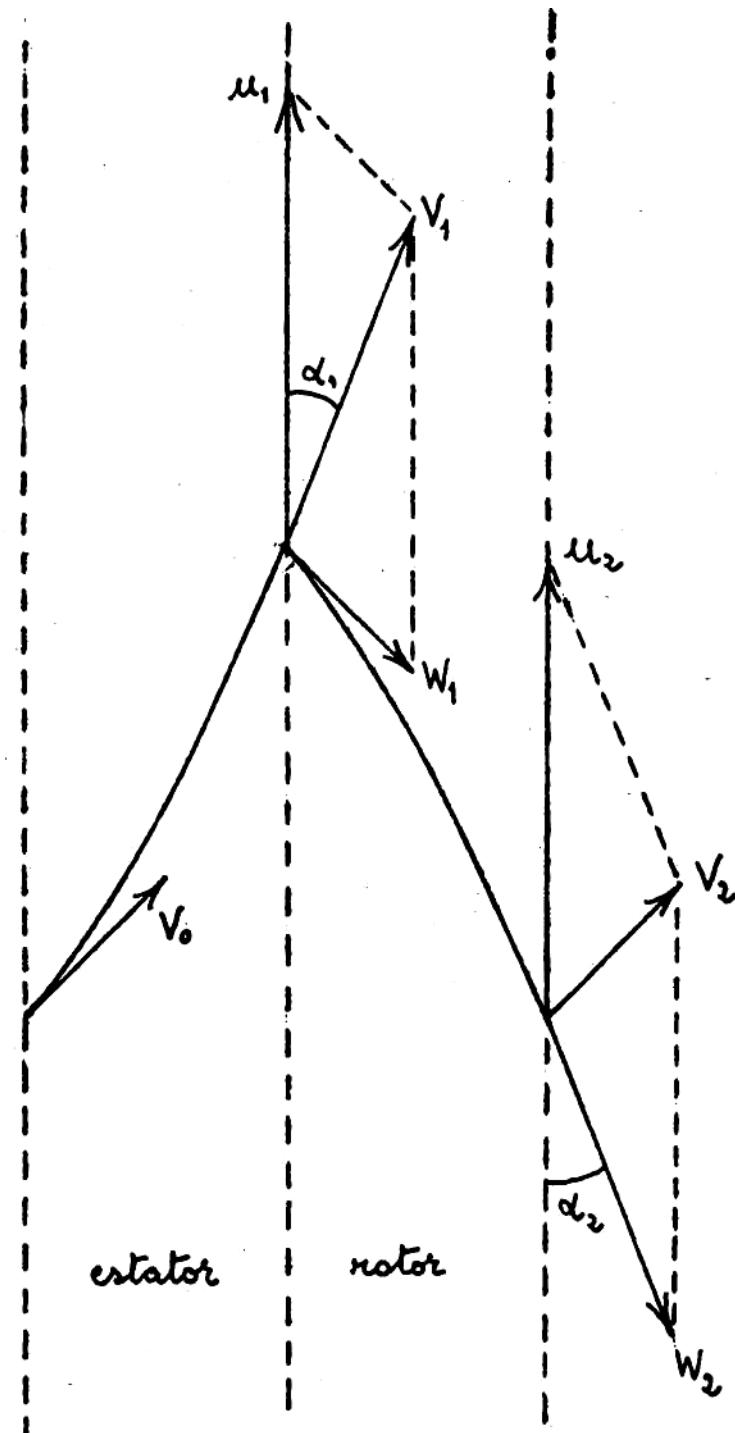


figura 21

térmico también lo es y se reduce el número de secciones de la turbina.

En el segundo caso la velocidad de salida es mínima con lo que mínima es también la pérdida de energía cinética en el escape; dada la velocidad periférica del rotor el salto térmico tiene ahora un valor único y, por

lo tanto, no discutible.

En el tercer caso el salto térmico es demasiado pequeño respecto a la velocidad periférica del rotor, la velocidad de salida no es mínima y, aparte ciertos inconvenientes en lo que se refiere a la forma de los elementos de las coronas, significa un mayor número de secciones y por lo tanto una mala utilización de los materiales.

Después de las consideraciones pertinentes es general aceptar, según convenga, los casos primero o segundo, rechazando el tercero.

En consecuencia deberá verificarse (figuras 19 y 20) que para el triángulo de entrada

$$V_1 \cos \alpha \geq u$$

y para el de salida $W_2 \cos \alpha \geq u$

en el bien entendido de que como ocurre en las turbinas de este tipo es

$$u_1 = u_2 = u$$

y

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

Intituyendo V_1 y W_2 por sus valores respectivos se obtiene sucesivamente

$$\varphi \sqrt{2gE \cdot \Delta i_e + V_0^2} \cdot \cos \alpha \geq u$$

$$\varphi \sqrt{2gE \cdot \Delta i_p + W_1^2} \cdot \cos \alpha \geq u$$

$$(2gE \cdot \Delta i_e + V_0^2) \varphi^2 \cos^2 \alpha \geq u^2$$

$$(2gE \cdot \Delta i_p + W_1^2) \varphi^2 \cos^2 \alpha \geq u^2$$

$$V_{te}^2 + V_0^2 \cong \frac{u^2}{\varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$V_{tr}^2 + W_i^2 \cong \frac{u^2}{\varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{V_{te}^2}{V_t^2} + \frac{V_0^2}{V_t^2} \cong \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{V_{tr}^2}{V_t^2} + \frac{W_i^2}{V_t^2} \cong \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{V_t^2 - V_{tr}^2}{V_t^2} + \frac{V_0^2}{V_t^2} \cong \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{V_{tr}^2}{V_t^2} + \frac{W_i^2}{V_t^2} \cong \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$1 - g_r + \frac{V_0^2}{V_t^2} \cong \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

$$g_r + \frac{W_i^2}{V_t^2} \cong \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

De estas dos expresiones se deduce la limitación

$$\frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha} - \frac{W_i^2}{V_t^2} \leq g_r \leq 1 + \frac{V_0^2}{V_t^2} - \frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha} \quad (29)$$

la cual nos dice entre que valores puede variar el grado de reacción sin caer en la forma defectuosa de la figura 21

Los datos para todas estas cuestiones son siempre u, α, φ y V_t ; entonces la limitación (29) puede hacerse lo más estricta, asignando a W_i y V_0 los valores mínimos que

pueden tener y que dadas las condiciones puecas de este estudio son para ambos $u \cdot \tan \alpha$, independientemente, decimos, de V_t ; observarse que en tal caso el límite inferior se hace más alto y el límite superior mínimo; también puede considerarse una limitación más amplia dando a W_1 y a V_0 los valores mayores razonables y practicables y que no pasan del doble de los mínimos y valen por lo tanto $2 u \cdot \tan \alpha$.

Si los miembros primero y tercero de la limitación (39) fueran iguales se transformaría en una triple igualdad, con un grado de reacción fijo y se tendría

$$\frac{u^2}{V_t^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha} - \frac{W_1^2}{V_t^2} = 1 + \frac{V_0^2}{V_t^2} - \frac{u^2}{V_1^2 \varphi^2 \cos^2 \alpha}$$

de donde $\frac{2u^2}{\varphi^2 \cos^2 \alpha} = V_t^2 + V_0^2 + W_1^2$

Si darse esta condición los triángulos de entrada y de salida además de iguales son rectángulos; en efecto, de esta igualdad se deduce que

$$2u^2 = \varphi^2 \left(\frac{V_t^2}{2} + V_0^2 \right) \cos^2 \alpha + \varphi^2 \left(\frac{V_t^2}{2} + W_1^2 \right) \cos^2 \alpha$$

$$2u^2 = \varphi^2 V_1^2 \cos^2 \alpha + \varphi^2 W_2^2 \cos^2 \alpha$$

pero siendo iguales los dos triángulos

$$2u^2 = 2 \varphi^2 V_1^2 \cos^2 \alpha$$

$$u = \varphi V_1 \cos \alpha$$

igualdad perteneciente a un triángulo rectángulo.

El estudio de la turbina ideal, sin rozamientos, tiene el doble interés de presentar el "desideratum" al que

han de dirigirse los esfuerzos del constructor y de establecer un término de comparación con la turbina real correspondiente.

Vamos pues a considerar, en primer lugar, la turbina de acción-reacción sin rozamientos; los triángulos de entrada y de salida de toda corona móvil son los de la figura 22; el caudal

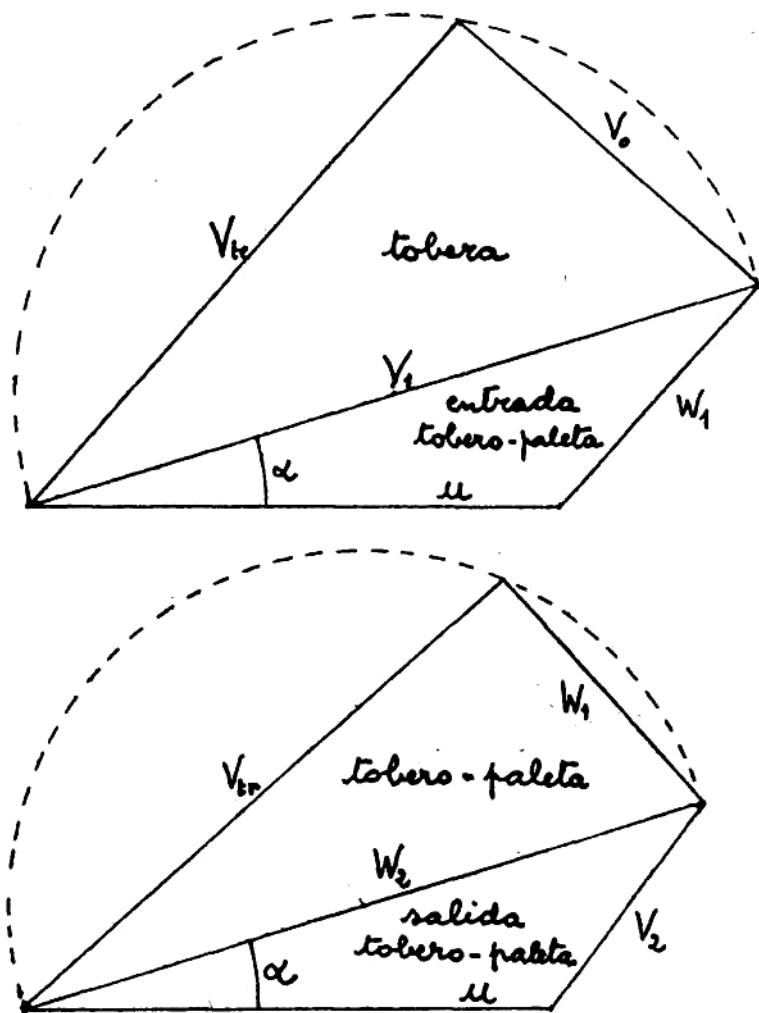


figura 22

de vapor, su peso específico, las velocidades correspondientes y las secciones han de verificar en cada caso la ecuación de continuidad; así, para un caudal de F Kg/hora, se verifica:

Entrada tobera

$$F = S_0 \cdot V_0 \cdot F_{e0}$$

salida tobera

$$F = S_1 \cdot V_1 \cdot F_{e1}$$

$$\text{entrada turbina-paleta} \quad F = S_1 \cdot W_1 \cdot P_{e1}$$

$$\text{salida turbina-paleta} \quad F = S_2 \cdot W_2 \cdot P_{e2}$$

Es de la mayor importancia que el caudal de vapor y las reacciones de foso, que son elementos forzados, armonicen con las velocidades y pesos específicos que concurren fuera de lo contrario y de acuerdo siempre con

$$F = S V P_e$$

si V disminuye P_e debe aumentar produciéndose una compresión intempestiva a costa de la energía cinética, mientras que si V aumenta P_e debe disminuir produciéndose una laminación con la consiguiente pérdida de rendimiento.

El caso de estas turbinas es complejo por causa de los infinitos grados de reacción que en buena ley pueden adoptarse y que conducen a la desigualdad de los dos triángulos y de los elementos del estator y del rotor.

Nosotros nos reducimos al caso más frecuente y que nos parece el más acorregible, de grado de reacción mitad ya que entonces siendo los dos triángulos iguales, las dos coronas correspondientes del estator y del rotor no son iguales por causa de la variación del peso específico del vapor, que es pequeña, pero si casi iguales y que se construyen iguales, por lo menos en reacción, extendiéndose a veces la igualdad a varios pares de coronas lo cual ya no nos parece tan correcto.

Adoptamos además la constancia de la velocidad periférica media para todas las coronas del rotor, lo cual facilita toda claridad de trabajos y consideraciones y disminuye la oblicuidad del vapor en el plano axial, ya que no en el tan-

genial, que producen resbalamientos centrífugos del vapor atribuidos erróneamente a fuerzas centrífugas que no son tales.

Fijado el grado de reacción (en nuestro caso en 0'5) los datos necesarios y suficientes son la velocidad lineal v_t , el ángulo α y el salto térmico Δ_t o velocidad térmica V_t en la sección, es decir, en el conjunto formado por una corona de toberas y la correspondiente de tubos-paletas.

Observese ahora que si se conocieran las velocidades iniciales V_0 y W_0 los triángulos estarían determinados; a este fin observemos que V_0 y W_0 no pueden ser desiguales; en efecto, consideremos (figura 23) los triángulos correspondientes a cuatro coronas sucesivas y siendo $V_0 \neq W_0$ supongamos que V_0 es mayor que W_0 ; entonces entre estos triángulos y los que forman serie con ellos se establece la concatenación siguiente:

$$\text{Hipótesis: } V_0 > W_0$$

$$\text{Como } V_1 = \sqrt{2gE \cdot \Delta_{te} + V_0^2}$$

$$\text{y } W_2 = \sqrt{2g \cdot E \cdot \Delta_{tr} + W_1^2}$$

$$\text{resulta así } V_1 > W_2$$

y por lo tanto y sobre los triángulos a que pertenecen

$$W_1 > V_2$$

$$\text{y por consiguiente } V_0 > W_1 > V_2$$

Sobre el tercer triángulo es

$$V_3 = \sqrt{2gE \cdot \Delta_{te} + V_2^2}$$

$$\text{En consecuencia } W_2 > V_3$$

y por lo tanto y sobre los triángulos a que pertenecen

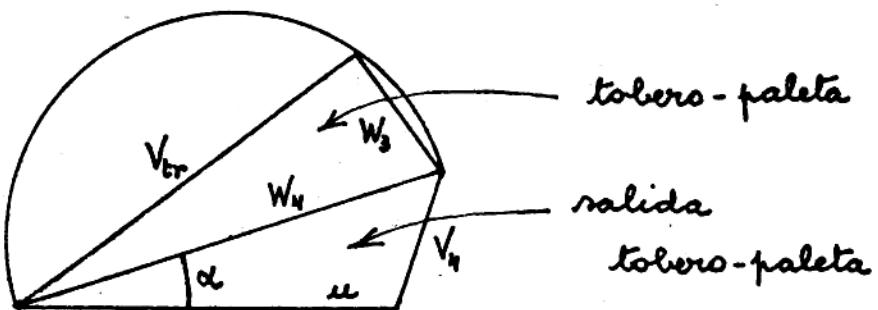
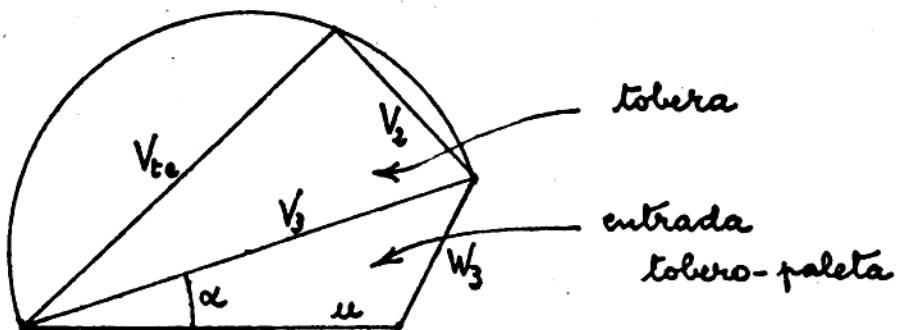
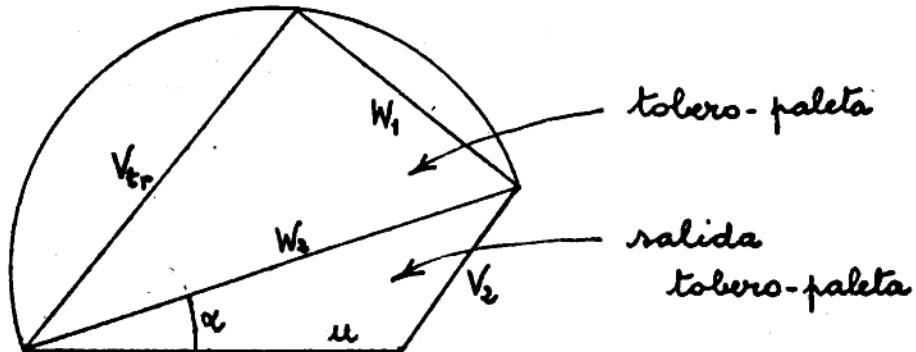
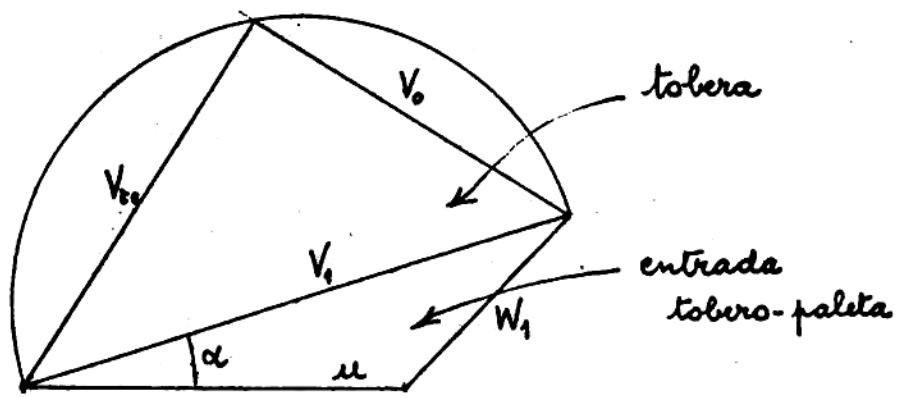


figura 23

$$V_2 > W_3$$

Sobre el cuarto triángulo es

$$W_4 = \sqrt{2gE \cdot \Delta_{tr} + W_3^2}$$

En consecuencia $V_3 > W_4$
y por lo tanto y sobre los triángulos a que pertenecen
 $W_3 > V_4$

En conjunto se tiene pues que

$$V_0 > W_1 > V_2 > W_3 > V_4 > \dots$$

Si se hubiera partido de la hipótesis

$$V_0 < W_1$$

el resultado habría sido

$$V_0 < W_1 < V_2 < W_3 < V_4 < \dots$$

Vemos pues que suponer $V_0 \neq W_1$ conduce a la contradicción de triángulos desiguales correspondiendo a elementos de medida iguales; por lo tanto, a partir de los datos u, α y V_{te} , que dejan a los triángulos indeterminados, se debe introducir la condición $V_0 = W_1$ que los hace determinados. El problema puede resolverse gráfica o numéricamente; el procedimiento gráfico lo establecemos aplicando los conceptos de potencia de un punto respecto a un círculo, de eje radical y de centro radical, de la siguiente manera: Supongamos trazados (figura 24) u, α y la semirrecta OB ; se traza el círculo O con radio OA igual a V_{te} y se considera el punto C como un círculo degenerado por causa de la reducción a cero de su radio; se trazan, con radios arbitrarios, los círculos auxiliares O_1 y O_2 de tal manera que corten al O pasando por C ; la tangente EII al círculo O , en C es el eje radical del círculo O_1 y del círculo degenerado C puesto que desde cualquier punto de

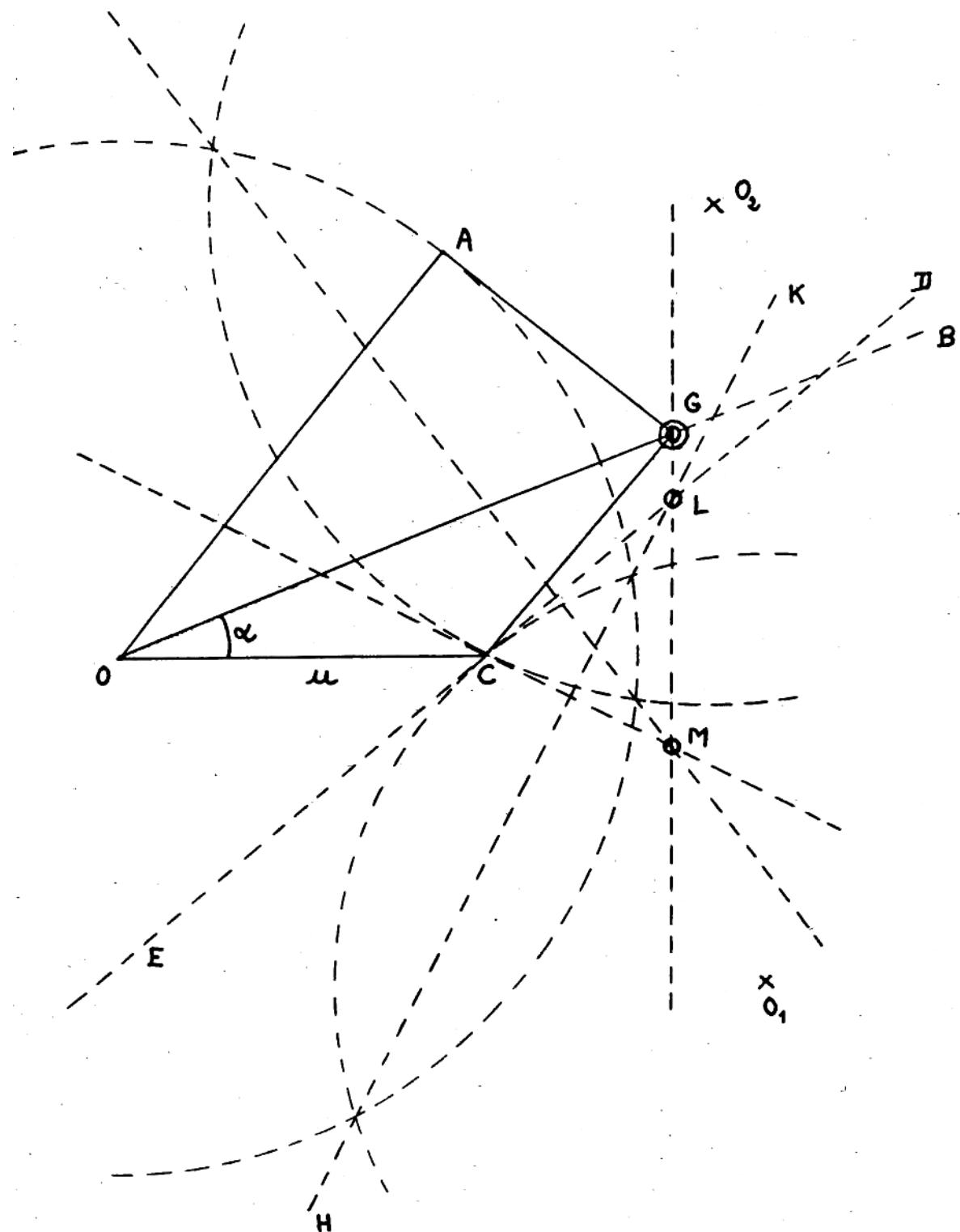


figura 24

ella el cuadrado de la distancia a C es la potencia respecto a C y respecto a O₁; la recta HK es evidentemente el eje radical de los círculos O₂ y O₁; por lo tanto el punto L es el centro radical de O, O₁ y C y en consecuencia se halla situado sobre el eje radical de O₂ y C. Analógicamente, el punto M es el centro radical de O, O₂ y C y en consecuencia se halla situado sobre el eje radical de O₁ y C. La recta ML es pues el eje radical del círculo O y del círculo degenerado C. Si en la intersección de este eje con la recta OB consideramos el punto G, observamos que

$$\overline{AG}^2 = \overline{GC}^2$$

por tratarse de las potencias de dos círculos tomadas desde un punto de su eje radical

Los segmentos AG = GC completan los triángulos térmicos y de velocidades que no dan sucesiones crecientes o decrecientes, sino que se repiten.

Para la determinación analítica de los mismos triángulos partimos de la figura 22 (parte inferior); se verifica que

$$V_2^2 = W_2^2 + u^2 - 2 W_2 u \cos \alpha$$

y que $V_{tr}^2 + W_1^2 = W_2^2$

de donde $V_2^2 = V_{tr}^2 + W_1^2 + u^2 - 2 W_2 u \cos \alpha$

Si como se pretende $V_2 = W_1$

quedá sólo $0 = V_{tr}^2 + u^2 - 2 W_2 u \cos \alpha$

y finalmente $W_2 = \frac{V_{tr}^2 + u^2}{2 u \cos \alpha}$

Este valor W_2 juntó con los datos u, α y V_{tr} , permite completar el triángulo térmico y el de velocidades.

El vapor a su paso por los elementos de la turbina sufre un complejo de pérdidas (rodamientos, fugas, torbellinos, etc.,...) que se traducen en una disminución de la energía cinética y que se toman en cuenta por medio de los llamados "coeficiente de reducción de velocidad".

De estos coeficientes distinguimos dos que representamos por φ y ψ respectivamente; corresponde el primero a los elementos en que el vapor sufre expansión (tuberías y tubo-paletas); corresponde el segundo a los elementos en que el vapor no sufre expansión (paletas y directrices).

De este modo, si la velocidad ideal, sin pérdidas, a la salida de un elemento es V y la real V' , se verifica que

$$V' = \varphi V$$

de manera que la pérdida de velocidad vale

$$\Delta V = V - V' = V - \varphi V = (1 - \varphi) V$$

Análogamente, la pérdida de energía es

$$\Delta e = \frac{V^2}{2g} - \frac{V'^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} - \frac{(\varphi V)^2}{2g} = (1 - \varphi^2) \frac{V^2}{2g}$$

Expresiones de la misma forma se obtienen para el coeficiente ψ en los casos pertinentes.

A lo largo de los conductos que son los elementos de turbinas, tienen lugar, como es natural, pérdidas de carga que para un desplazamiento elemental del fluido, vienen dadas por la ecuación de Blasius según la cual

$$d\tau = \zeta \frac{dl}{I} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (30)$$

$$\gamma = \varphi \cdot \frac{l}{I_m} \cdot \frac{V_0^2 + V_i^2}{2 \times 2g} \quad (31)$$

En el caso ideal, es decir, sin pérdidas, si i_0 es la entalpía a la entrada de la turbina, i_1 a la salida, $\frac{V_0^2}{2g}$ la energía cinética a la entrada y $\frac{V_i^2}{2g}$ a la salida, se verifica que

$$i_0 + \frac{V_0^2}{2g} = i_1 + \frac{V_i^2}{2g} \quad (32)$$

En el caso real se tiene una pérdida de energía cinética que viene dada por la ecuación (31) y que de acuerdo con la ley de Grashof se incorpora a la entalpía

Si tomamos en cuenta esta pérdida pero ignoramos su incorporación a la entalpía, obtendremos una relación entre las entalpías ideales y las energías cinéticas reales.

Esta relación es

$$i_0 + \frac{V_0^2}{2g} - \varphi \frac{l}{I_m} \cdot \frac{V_0^2 + V_{ri}^2}{2 \times 2g} = i_1 + \frac{V_i^2}{2g}$$

De esta igualdad deducimos sucesivamente

$$i_0 + \frac{V_0^2}{2g} - \varphi \frac{l}{I_m} \cdot \frac{V_0^2}{2 \times 2g} - \varphi \frac{l}{I_m} \cdot \frac{V_{ri}^2}{2 \times 2g} = i_1 + \frac{V_i^2}{2g}$$