

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**" CALCULO MATEMATICO Y TERMODINAMICO DE UNA TURBINA  
DE CONDENSACION Y DISEÑO DE LA FORMA DE SUS ALABES "**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de**

**INGENIERO MECANICO**

**PRESENTADO POR:**

**José Luis Monteverde Enríquez**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**1990**

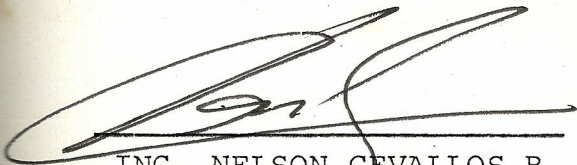
DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ".

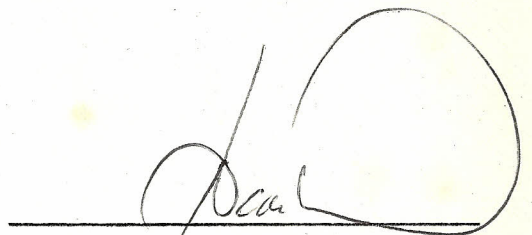
(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

---

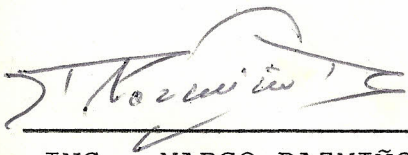
José Monteverde Enríquez



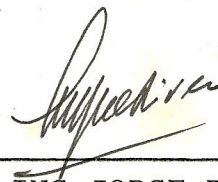
ING. NELSON CEVALLOS B  
DECANO DE LA FACULTAD



ING. RAUL LASCANO A  
DIRECTOR DE TESIS



ING. MARCO PAZMIÑO B  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING JORGE DUQUE R  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Raúl Lascano H., Director de Tesis, por la acertada conducción y colaboración para la culminación del tema.

Al Ing. Patricio André J., por la imprescindible ayuda prestada.

Al Ing. William Torres T., por la colaboración para con el tema.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos

A mis abuelos y tíos

A mis primos

## RESUMEN

La teoría de turbinas y el proceso que se desarrolla en ella se encuentran ampliamente difundido en los libros de Termodinámica.

El proceso teórico no es complejo, pero el proceso real introduce ciertos coeficientes y factores, propios del cálculo termodinámico que hacen el análisis tedioso, más aún si se desean obtener las condiciones reales de trabajo en todos los escalones de la turbina.

El presente trabajo facilita la evaluación, como una aproximación al cálculo definitivo, porque se realiza a un solo diámetro: el diámetro medio. Se enuncian los principios básicos de funcionamiento y se introducen, de acuerdo a gráficos experimentales y recomendaciones, los parámetros más importantes del diseño termodinámico.

Se da la pauta para la determinación del número de escalones necesarios y la distribución racional de los saltos térmicos en éstos.

Todo el análisis gira en base a un programa computacional que nos da los valores de velocidad y ángulos de flujo, al igual que las pérdidas de energía que se produzcan en el proceso. La eficiencia de cada etapa, así puede ser obtenida.

Todo se complementa con la determinación del perfil de

los álabes a partir de los ángulos de flujo resultantes.

Se hace el análisis de resultados y se dan las conclusiones debidas, se citan algunas soluciones a fin de prevenir la erosión de los alabes de baja presión.

Se aplica este proceso de evaluación a la Unidad a vapor #1 de la Central Térmica " Aníbal Santos ".

## INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN .....	1
INDICE GENERAL .....	3
INDICE DE FIGURAS .....	6
INDICE DE TABLAS .....	9
NOMENCLATURA .....	10
INTRODUCCION .....	14
I. TURBINAS DE CONDENSACION	
1.1 Principios fundamentales .....	16
1.2 Tipos de turbinas a vapor .....	20
1.3 Construcción típica de una turbina de condensación .....	23
1.3.1 Tipos de escalón .....	27
1.3.2 Corona de paletas .....	30
1.4 Funcionamiento de una turbina de vapor múltiple .....	38
1.5 Diagrama de regeneración de la central " Aníbal Santos " .....	41
1.5.1 Determinación de los parámetros termodi námicos ( Diagrama h-s ) .....	43
II. CALCULO DE LA TURBINA DE CONDENSACION	
2.1 Principios generales de diseños de turbi	

	nas .....	45
2.2	Ecuaciones principales de movimiento del fluido .....	52
2.3	Pérdidas de energía .....	53
2.4	Elección de las características del esca lón .....	64
2.5	Distribución de los saltos térmicos en los escalones .....	74
III. PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL CALCULO DE LOS ESCALONES		
3.1	Desarrollo del programa de cálculo .....	79
3.1.1	Cálculo de los escalones regulables .....	80
3.1.2	Cálculo de los escalones no regulables..	88
3.2	Construcción de los triángulos de veloci dad .....	94
3.3	Eficiencia del escalón, .....	95
IV. DETERMINACION DEL PERFIL DEL ALABE		
4.1	Método gráfico de obtención del perfil..	99
4.1.1	Obtención del perfil de un álabe de ac - ción .....	99
4.1.2	Obtención del perfil de un álabe de reac ción .....	102

4.2 Desarrollo de los perfiles ..... 105

V. RESULTADOS Y ANALISIS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 117  
APENDICES ..... 121  
BIBLIOGRAFIA ..... 169

.III

.VI

## INDICE DE FIGURAS

<u>No.</u>		<u>Pag.</u>
1.1	Corte longitudinal de la turbina de condensación de la Central Térmica "Aníbal Santos" ..	25
1.2	Gráficos de rendimiento vs. relación de velocidades para diferentes escalones .....	29
1.3	Características geométricas de un escalón de turbina .....	32
1.4	Corte longitudinal de un escalón de turbina.	37
1.5	Proceso de expansión del vapor en la turbina de vapor múltiple .....	39
1.6	Ciclo agua-vapor de la Central Térmica " Aníbal Santos " con sus componentes .....	42
1.7	Diagrama h - s de expansión del vapor en la turbina para la carga nominal .....	44
2.1	Coefficiente de velocidad para la corona de álabes fijos .....	56
2.2	Coefficiente de velocidad para la corona de álabes rotatorios .....	56

2.3	Coefficiente de corrección $K^*$ para el coeficiente de velocidad (para cuando $W_2 \neq 500$ m./seg).	57
2.4	Esquema del flujo en la holgura entre el disco y los diafragmas .....	58
2.5	Juntas laberínticas o sellos de vapor .....	60
2.6	Coefficiente de consumo para juntas de formas y dimensiones diferentes .....	62
2.7	Proceso real de expansión del escalón en el diagrama $h - s$ .....	63
2.8	Grado de reacción de los escalones no regulables en función de la relación $dm/l_2$ .....	67
2.9	Relación ( $u/C_{fic}$ ) en función del grado de reacción $R_m$ .....	68
2.10	Pérdidas de energía en una corona de acción y en los escalones de velocidad, en función de ( $u/C_{fic}$ ) .....	69
2.11	Sección transversal por la caja de válvulas y de paletas fijas .....	71

2.12	Perfiles de la corona de álabes rotatorios del último escalón .....	73
2.13	Diagrama auxiliar para determinar el número de escalones .....	75
2.14	Leyes de variación de los diámetros .....	78
4.1	Determinación del perfil de un álabe de acción ( Método gráfico ) .....	101
4.2	Determinación del perfil de un álabe de reacción ( Método de Slichkina y Kazandyana )...	104
5.1	Pérdidas de energía debidas al vapor a través de la turbina .....	113

## INDICE DE TABLAS

<u>No.</u>		<u>Pag.</u>
1.1	Algunos valores de recubrimientos y holguras recomendados para el escalón .....	37
5.1	Angulos y velocidades de flujo resultantes..	110
5.2	Pérdidas de energía en los escalones .....	112
5.3	Eficiencias de la turbina .....	114
5.4	Parámetros geométricos de los perfiles resultantes .....	115

### APENDICES

A.	Condensado de los programas de cálculo de los escalones y sus respectivas pérdidas.....	122
B.	Desarrollo de los perfiles de cada etapa ...	145
C.	Método de cálculo de la turbina a partir de perfiles normalizados .....	163

## NOMENCLATURA

a.e.	Holgura del escalón
A	Area de flujo
b	Cuerda del álabe
B	Ancho del álabe
C	Velocidad real absoluta del vapor
C <sub>fic</sub>	Velocidad ficticia del vapor
C <sub>t</sub>	Velocidad teórica absoluta del vapor
CAP	Cilindro de Alta Presión
CBP	Cilindro de Baja Presión
CMP	Cilindro de Media Presión
dm	Diámetro medio del escalón
dp	Diámetro periférico del escalón
dr	Diámetro de raíz del escalón
d <sub>yn</sub>	Diámetro al sello de vapor
e	Grado de parcialidad
E <sub>o</sub>	Energía disponible del escalón
F <sub>yn</sub>	Area de flujo a través de los sellos laberínticos
Go	Flujo de vapor real
Got	Flujo de vapor teórico
G <sub>yn</sub>	Flujo de vapor a través de los sellos laberínticos
ho	Caída isoentrópica del escalón
hocp	Salto térmico medio disponible en el escalón
hof	Caída térmica en la corona fija

hor	Caída térmica en la corona rotatoria
Ho	Caída térmica isoentrópica a través de la tur <u>b</u> bina
Hi	Caída térmica real a través de la turbina
HA.fijos	Altura de álabes fijos
HA.media	Altura promedio del escalón
HA.móvil	Altura de álabes móviles
K	Coefficiente politrópico de vapor
l	Altura de los álabes
$\bar{l}$	Altura relativa de los álabes
m	Coefficiente de flabelación
M	Número de Mach
n	Frecuencia de rotación
Nfricc-ap	Potencia pérdida por fricción y admisión par- cial
P	Presión del vapor
PBP	Parte de baja presión
PMP	Parte de media presión
qcal	Coefficiente de retorno de calor
rm	Radio medio del escalón
rp	Radio periférico del escalón
rr	Radio de raíz del escalón
R	Grado de reacción
Re	Número de Reynolds
Rm	Grado de reacción al diámetro medio

$R_p$	Grado de reacción al diámetro periférico
$R_r$	Grado de reacción al diámetro de raíz
$s$	Distancia entre los sellos
$t$	Paso del álabe
$\bar{t}$	Paso relativo al álabe
$u$	Velocidad de rotación de la etapa
$u/C_{fic}$	Relación de velocidades
$(u/C_{fic})_{opt}$	Relación de velocidad óptima
$V$	Volumen específico del vapor
$V.e.m.$	Volumen específico medio del vapor
$W$	Velocidad real relativa del álabe
$W_e$	Trabajo del escalón
$W_t$	Velocidad teórica relativa del álabe
$z$	Número de álabes
$z.a.$	Número de anillos del sello laberíntico
$\alpha$	Angulo de la velocidad absoluta del vapor
$\alpha_m$	Angulo de montaje del álabe
$\beta$	Angulo de la velocidad relativa del vapor
$\delta_e$	Holgura entre etapas del escalón
$\delta_{yn}$	Holgura del sello laberíntico
$\Delta s.t.$	Diferencia de saltos térmicos
$\Delta h_f$	Pérdidas de energía en la corona fija
$\Delta h_{fricc-ap}$	Pérdidas de energía por fricción a admisión parcial
$\Delta h_{fug.}$	Pérdidas por fugas (escapes) a través de los sellos

$\Delta h_r$	Pérdidas de energía en la corona rotatoria
$\Delta h_{v.s.}$	Pérdidas de energía por velocidad de salida
$\Delta 1.2$	Recubrimientos del álabe
$\epsilon$	Relación de presiones
$\epsilon_{max}$	Relación de presiones máxima
$\eta_{a.e.}$	Eficiencia absoluta del escalón
$\eta_{r.i.}$	Eficiencia relativa interna del escalón
$\theta$	Grado de flabelación del álabe
$\mu$	Coefficiente de consumo del vapor en el esca - lón
$\mu_{yn}$	Coefficiente de consumo del vapor a través de los sellos
$\nu$	Viscosidad
$\xi$	Coefficiente de pérdida de energía
$\pi$	Constante ( 3,1416 )
$\varphi$	Coefficiente de velocidad de los álabes fijos
$\Phi$	Coefficiente de fricción del vapor
$\chi_{v.s.}$	Coefficiente de aprovechamiento de la veloci- dad de salida
$\psi$	Coefficiente de velocidad de álabes móviles
$\psi'$	Coefficiente de velocidad corregido de los álabes móviles
$\omega$	Velocidad angular del escalón

## INTRODUCCION

La tendencia actual de la energética es la de salir de la dependencia de los recursos no renovables.

Se hace énfasis en que el consumo de energía proveniente del petróleo y sus derivados debe racionalizarse, y en países desarrollados se habla de tecnologías perfectamente desarrolladas en energía solar, térmica, eólica, etc.

Con este antecedente, sabemos que la producción de electricidad puede provenir de centrales hidroeléctricas, centrales térmicas y últimamente del aprovechamiento de mareas.

En países en vías de desarrollo se cuenta solo con las primeras alternativas. Mas aún la generación hidroeléctrica no cubre la demanda total en la mayoría de los casos. Así la generación normal o emergente a través de centrales térmicas en donde la turbina a vapor es su principal componente es un factor preponderante en el diario crecimiento de todo país.

Es ésta una de las razones por las que se han diseñado y desarrollado turbinas de gran capacidad y rendimiento, pues se debe obtener el mayor rendimiento de la instalación, y esto involucra el minimizar pérdidas en sus componentes.

Así la turbina a vapor debe responder a una serie de exigencias de tipo funcional y es por esto que se trabaja de

manera ardua en su optimización, pues como se dijo anteriormente muchas veces no se trabaja dentro de los parámetros originales, regimen de cálculo, sino que varían sus condiciones, esto hace que la turbina deba mantener su rendimiento aún fuera de su rango de trabajo normal.

Es por esto que la construcción de turbinas no ha disminuído, pues el sinnúmero de aplicaciones hace que cada día se produzcan turbinas más eficientes.

## CAPITULO I

### TURBINAS DE CONDENSACION

La idea de la turbina de vapor es de origen remoto. Es conocido que desde el año 120 A.C. Herón de Alejandría realizó el primer prototipo de turbina de reacción, siglos después Giovanni Branca construyó el primer prototipo de turbina de acción, luego muchos investigadores han contribuido al desarrollo de ésta, así su construcción y perfeccionamiento no puede atribuirse a una sola persona.

#### 1.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

La turbina de condensación es una máquina rotativa de flujo permanente, que aprovecha la energía térmica del vapor convirtiéndola primero en energía cinética y transformándola luego en energía mecánica de rotación en el eje de la turbina al expandirse éste.

La forma cómo se produce trabajo en una turbina es: primero, el fluido ingresa, se expande en una tobera o distribuidor, con lo cual la entalía se transforma en energía cinética, luego este chorro a gran velocidad pasa por las paletas o álabes de la turbina que están diseñados para variar la cantidad de movimiento de la corriente del fluido.

Dicho cambio produce una fuerza impulsora sobre los

álabes que en sí es la reacción dinámica de la rapidez o variación de la cantidad de movimiento del fluido.

Para todos los tipos de turbinas, el principio de la fuerza impulsora debida a la variación de la cantidad de movimiento puede explicarse con la ayuda de la ley de Newton,  $F_x = \dot{m} V_x$ .

Para un gasto de masa constante se tiene que la fuerza resultante,  $F_x$ , sobre el fluido en cierta dirección  $x$  es:

$$F_x = (\dot{m}/g) (c_{it} - v_{ix})$$

donde:

$F_x$  = fuerza ejercida sobre el fluido en la dirección  $x$

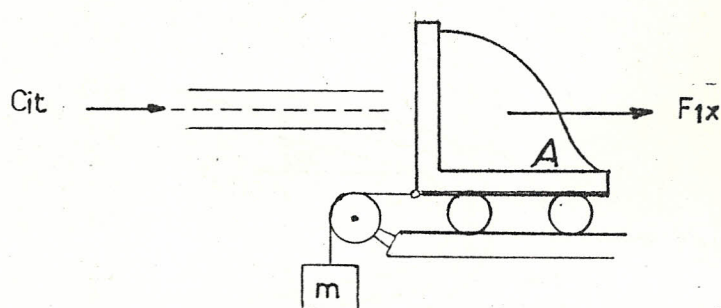
$\dot{m}$  = flujo de masa del vapor

$c_{it}$  = velocidad teórica del vapor a la entrada del distribuidor

$v_{ix} = C_2$  = velocidad del vapor después de experimentar un cambio en la dirección del flujo.

Las siguientes figuras muestran el principio de acción de una corriente de vapor en cuerpos de varias formas. Esto demuestra que la fuerza  $F_x$  ejercida

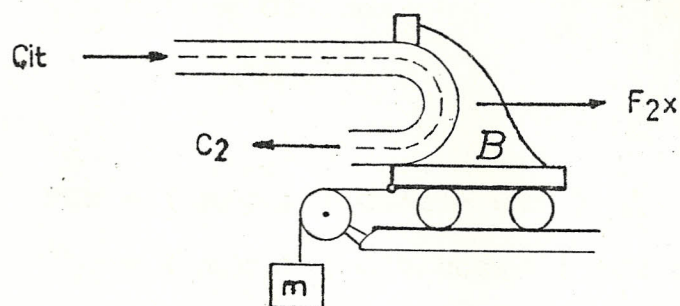
por el chorro de vapor, bajo condiciones similares de flujo, no va a ser la misma:



Vapor con velocidad inicial  $C_{1t}$  golpea el cuerpo A en dirección normal a la superficie que recibe el chorro, esto hace que el chorro se desvíe  $90^\circ$  con respecto a la dirección original, por tanto:

$$F_x = (m/g) (c_{1t} - 0)$$

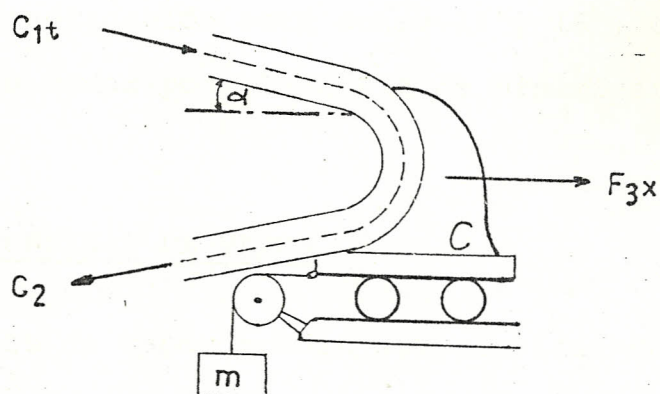
Caso b)



Despreciando pérdidas debido a la fricción en la superficie curva del álabe, tenemos que  $C_2 = C_{1t}$ . Entonces la fuerza ejercida en la dirección de la velocidad  $C_{1t}$  será:

$$\begin{aligned}
 F_{2x} &= (m/g) (C_{1t} - C_2) \\
 &= (m/g) (C_{1t} - (-C_{1t})) \\
 &= (m/g) (2C_{1t})
 \end{aligned}$$

Caso c)



Depreciando las fuerzas de fricción al igual que en los casos pasados, tenemos que:

$$C_{1't} = C_{1t} \cos \alpha$$

$$C_2' = C_2 \cos \alpha$$

así:

$$\begin{aligned}
 F_{3x} &= (m/g) (C_{1't} - C_2') \\
 &= (m/g) (C_{1t} \cos \alpha - (-C_2 \cos \alpha)) \\
 &= (m/g) (C_{1t} \cos \alpha + C_2 \cos \alpha)
 \end{aligned}$$

De las figuras arriba analizadas tenemos que en el caso b) es donde obtenemos el máximo valor de la fuerza ejercida, sin embargo, en el caso real de construcción de turbinas de vapor, guiar el flujo en la dirección

ción mostrada es imposible. Por lo tanto es el caso c), en el que el chorro de vapor es dirigido con cierto ángulo, en donde tenemos un significativo valor de esta fuerza y en la realidad, por lo general, este ángulo de inclinación está entre  $11^\circ$  y  $16^\circ$ , es decir, es hecho lo menor posible a fin de minimizar las pérdidas.

## 1.2 TIPOS DE TURBINAS DE VAPOR

Las turbinas de vapor pueden ser clasificadas dentro de diferentes categorías dependiendo de su construcción, la manera en que la caída térmica es aprovechada, las condiciones iniciales y finales del vapor y el uso industrial de las mismas; así:

- 1) De acuerdo al principio de acción del vapor:
  - a) Turbinas de acción, Laval, en las que todo el proceso de expansión del vapor y la aceleración del flujo que se debe a éste se opera en las toberas fijas.
  - b) Turbinas de reacción, Parson, en las que la expansión del vapor y la aceleración del flujo vinculada a éste se realiza tanto en los canales de las coronas de paletas fijas y

móviles.

- 2) De acuerdo al número de etapas de presión:
  - a) Turbinas de etapa simple, con una o más etapas de velocidad, usualmente de pequeña capacidad, son ampliamente usadas para mover compresores centrífugos, ventiladores y maquinaria similar.
  - b) Turbinas multietapas de acción y reacción, las cuales son construídas con amplio rango de capacidad, variando desde pequeñas hasta grandes.
- 3) De acuerdo a la dirección del flujo de vapor:
  - a) Turbinas axiales, en las cuales el vapor fluye en dirección paralela al eje de la turbina.
  - b) Turbinas radiales, en las cuales el vapor fluye en dirección perpendicular al eje de la turbina.
- 4) De acuerdo al número de cilindros:
  - a) Turbinas de un solo cilindro

- b) Turbinas de doble cilindro
- c) Turbinas de tres cilindros o más ( multicilíndricas )

Las turbinas multicilíndricas que tienen sus rotores montados en un único eje (tandém-compound ). Las turbinas con rotores acoplados a diferentes ejes, uno para cada cilindro, paralelos unos con respecto a otros son conocidas como turbinas multiaxiales ( cross-compound ).

5) De acuerdo al proceso de rechazo del calor:

- a) Turbinas de extracción, en las cuales una considerable proporción de vapor es extraído desde varios puntos de la turbina para usos industriales, el remanente continúa expandiéndose en la turbina.
- b) Turbinas regenerativas, en las cuales una pequeña proporción de vapor, a través de sangrados, es extraída de la turbina para propósitos de calentamiento del agua de alimentación al caldero.
- c) Turbinas de condensación, permiten que el va

por se expanda hasta la presión más baja posible antes de ser condensado.

- d) Turbinas de contrapresión, las cuales rechazan el vapor, luego que está completamente expandido, a una presión superior a la atmosférica.
- 6) De acuerdo al uso en la industria:
- a) Turbinas estacionarias con velocidades de rotación constante, utilizadas principalmente para manejar alternadores.
  - b) Turbinas estacionarias con velocidades de rotación variable, utilizadas para mover turboventiladores, bombas, circuladores de aire.
  - c) Turbinas no estacionarias con velocidades de rotación variable, utilizadas usualmente en vaporizadores, barcos y locomotoras.

### 1.3 CONSTRUCCION TIPICA DE UNA TURBINA DE CONDENSACION

Detallaremos aquí las principales partes y componentes de una turbina ayudándonos para esto con el corte longitudinal de la turbina de la central " Aníbal

Santos " de EMELEC de 33 MW ( 60 Hz ), representado en la Fig. 1-1.

La turbina está formada por una serie de etapas o escalones. Un escalón de turbina está compuesto de una serie de álabes fijos y una serie de álabes móviles. Las dos series de elementos actúan en forma conjunta sobre el flujo de vapor para hacer que trabaje el rotor.

Los álabes o paletas móviles están montados sobre discos, los cuales pueden ser forjados solidarios al árbol o bien fijados en él obteniéndose así un encaje apretado.

Entre los discos se hallan los diafragmas intermedios fijos, sobre los cuales están fijados los álabes directrices fijos, que dan la dirección adecuada al flujo para entrar en los canales formados por los álabes móviles.

Los álabes directrices del primer o en otros casos primero y segundo escalón, llamados escalones regulables, están fijados en cajas directrices soldadas al cuerpo de la turbina.

El extremo derecho del árbol está acoplado con el rotor

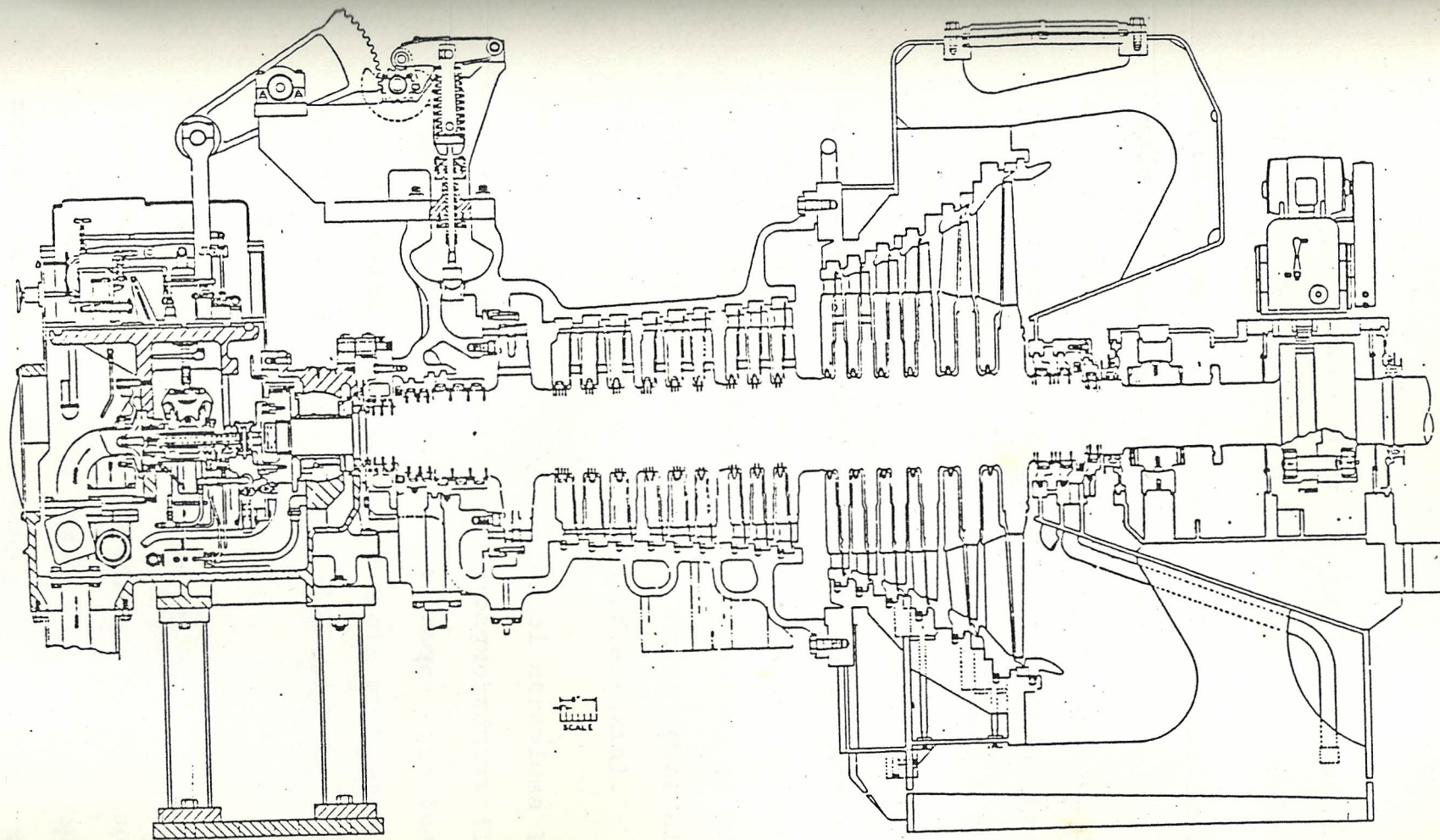


Fig. 1-1 CORTE LONGITUDINAL DE LA TURBINA DE CONDENSACION DE LA CENTRAL TERMICA " ANIBAL SANTOS "

tor del generador, mientras que la tubuladora de escape ( de vapor agotado ) se acopla al condensador.

En el cuerpo de la turbina existen tomas de vapor desde los escalones intermedios, estas son utilizadas para el calentamiento regenerativo del agua de alimentación suministrada al caldero. Todas las líneas para extracción de vapor están equipadas con válvulas cheque.

El árbol de la turbina se apoya en cojinetes que reciben la carga del motor. El cojinete delantero fija tanto la posición del rotor respecto al estator y recibe las cargas axiales que actúan sobre el rotor. Así el cojinete delantero es radial-axial.

En aquellas partes donde el árbol atraviesa la caja de la turbina se encuentran empaquetaduras (llamadas juntas terminales o sellos de vapor). La junta delantera evita fugas de vapor hacia el cuarto de máquinas mientras que la posterior evita la succión de aire atmosférico al condensador.

En el extremo delantero de la turbina, se encuentra la bomba de aceite centrífuga, que trabaja acoplada al eje de la turbina, la cual se utiliza en operación normal, se tienen dos bombas para los casos de emer-

gencia ( AC y DC ). Esta asegura el suministro de aceite a los órganos del sistema de regulación y a los cojinetes.

Las turbinas que accionan generadores de corriente eléctrica se calculan para funcionamiento a frecuencia de rotación constante. Esta se mantiene debido a la regulación automática.

El sistema está también equipado con un dispositivo sensor de pérdidas de vacío ( generalmente es un interruptor de presión ).

#### 1.3.1 TIPOS DE ESCALON

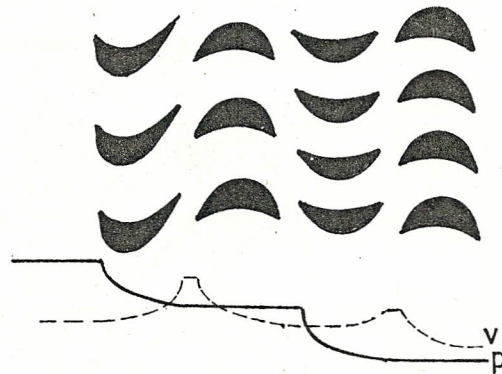
Los escalonamientos en la turbina tienen por objeto disminuir la velocidad del rodete conservando una velocidad en los álabes próxima al vapor óptimo con relación a la velocidad del chorro,  $( u/C_{fic} )$ , donde  $u$  es la velocidad tangencial del álabe y  $C_{fic}$  es la velocidad del vapor.

Existen dos tipos de escalonamiento: Rateau y Curtis

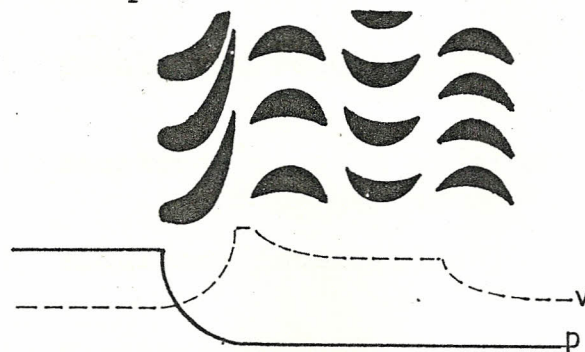
- 1) Escalonamiento Rateau: o escalonamiento de presión, lo que se hace es expandir parcialmente el vapor a través de varios escalones en la turbina, completándose así una considerable expan-

si3n de vapor; de este tipo pueden existir 15 y hasta 20 etapas en una turbina.

El comportamiento de la presi3n y la velocidad en una etapa Rateau se muestra a continuaci3n:



- 2) Escalonamiento Curtis: o escalonamiento de velocidad, en este se produce una gran ca3da de presi3n en las toberas, luego de lo cual la presi3n permanece constante ( si no hay fricci3n hasta la salida ). Se aprovecha la velocidad resultante del vapor en tantos grupos de 3labes como sean necesarios. A continuaci3n se muestra el comportamiento de la presi3n y la velocidad en este tipo de escal3n:



Como dijimos anteriormente, la eficiencia de escalón depende de la relación de velocidad ( $u/C_{fic}$ ). Relaciones típicas de diseño para diferentes etapas en función de la eficiencia son dadas a continuación:

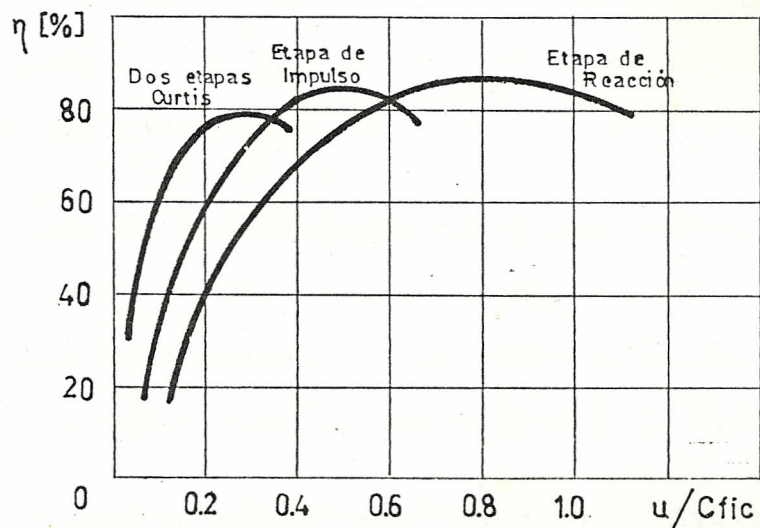


Fig. 1-2 Gráficos de rendimiento vs. relación de velocidades ( $u/C_{fic}$ ) para diferentes escalones. ( Ref. 2 )

Los escalonamientos en las turbinas se pueden clasificar en:

- a) Escalón de regulación
- b) Escalones de alta presión
- c) Escalones intermedios
- d) Escalones de baja presión (que funcionan en

vacío en las turbinas de condensación ).

### 1.3.2 CORONA DE PALETAS

Dijimos ya que el escalón de la turbina está formado por la corona de álabes fijos y álabes móviles. En cada corona, se encuentran dispuestos los álabes a igual distancia uno de otro y bajo el mismo ángulo. Las coronas son circulares.

La corona de álabes puede ser geométricamente descrita a partir de dos planos: longitudinal y cilíndrico. Las características geométricas de la corona varían, en ambos planos, con respecto al diámetro.

En el plano longitudinal, las características geométricas relevantes son: diámetros ( raíz, medio y periférico ), altura del álabe a la entrada y a la salida. El desarrollo de la sección longitudinal se denomina corona de paletas.

Con el corte cilíndrico, las características geométricas más importantes del álabe son: cuerda,  $b$ , espesor de borde de entrada y de escape, ángulo de montaje,  $\alpha_m$ ; ángulo de entrada,  $\alpha_o$ ; ángulo de escape efectivo,  $\alpha_e$ . El desarrollo de la sección cilíndrica se denomina corona de perfiles.

Los perfiles cuyo número es  $z$ , se colocan unos con respecto a otros a una distancia de paso  $t = 2 \pi r/z$ . Ver Fig. 1-3.

Las características que se refieren a la entrada de la corona de paletas fijas, se indican con el índice 0; a la salida de la corona de paletas fijas y a la entrada de la de paletas móviles con el índice 1; y a la salida de la corona de paletas móviles con el índice 2.

Las velocidades absolutas del flujo en las paletas fijas se designan con la letra  $C$ ; y los ángulos con la letra  $\alpha$ ; para el movimiento relativo del flujo ( en las paletas móviles ), las velocidades se designan con la letra  $W$ , y los ángulos con la letra  $\beta$ .

En los canales geoméricamente semejantes; cuando los parámetros de entrada y salida son iguales, el carácter del flujo se mantiene aproximadamente constante y no depende de las características absolutas de la corona de paletas; así las características determinantes de la forma del canal se denominan parámetros geoméricos relativos.

Para la corona de paletas estos son: altura relativa  $\bar{l} = l/b$ ; flabelación relativa,  $l/d = l/\theta$ .

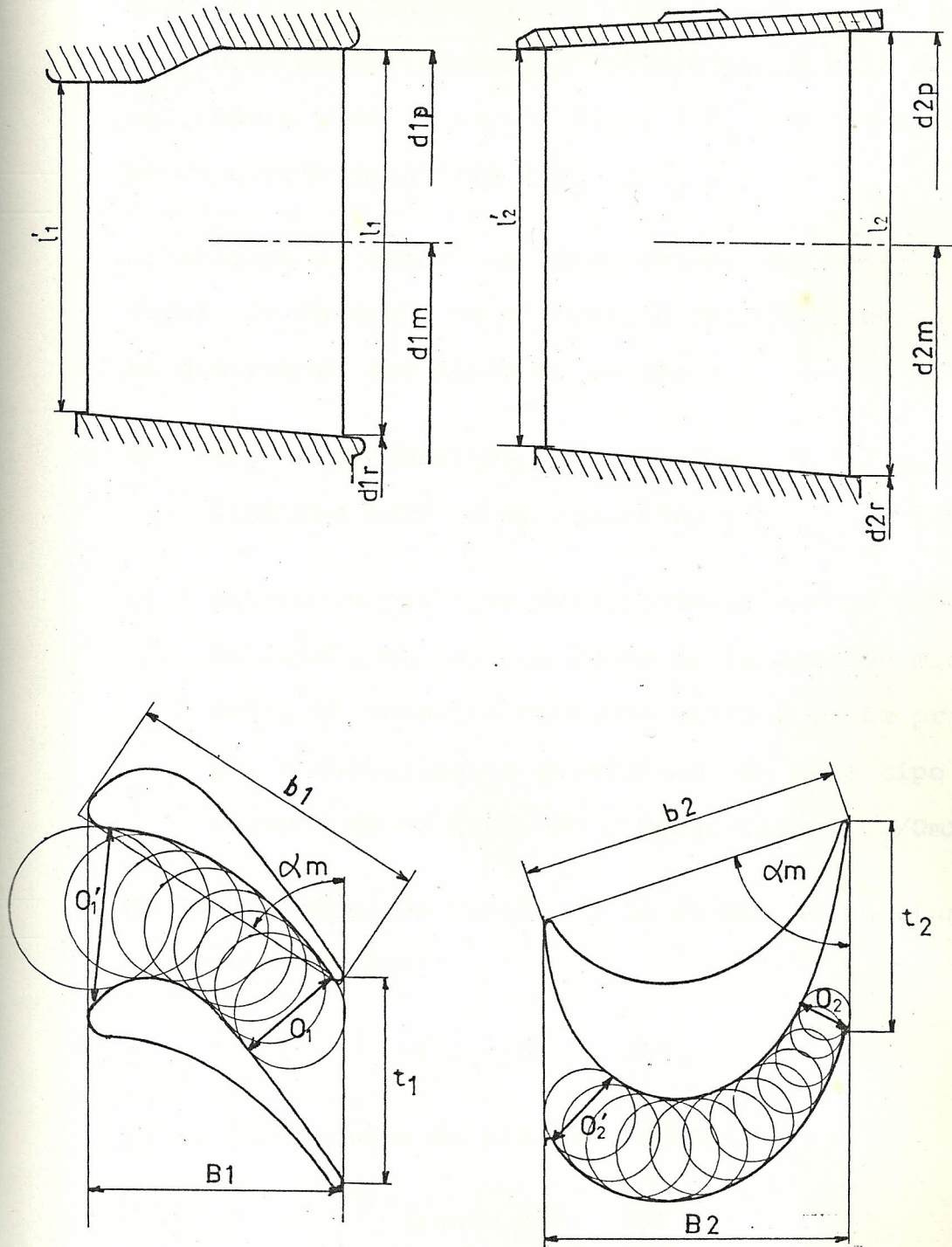


Fig.1-3 Características geométricas de un escalón de turbina

Para la corona de perfiles: paso relativo,  $\bar{t} = t/b$  ;  
 ángulo de escape efectivo,  $\alpha_{1e}$ ; convergencia del ca-  
 nal, tanto para la corona fija,  $(O_1' / O_1)$ ; como pa-  
 ra la corona rotatoria  $(O_2' / O_2)$ .

De acuerdo al grado de convergencia del canal y del  
 cambio de su ancho en el sentido del flujo de vapor,  
 se distinguen dos tipos de coronas:

- a) Corona de perfiles convergentes  $(O_1' / O_1) > 1$ ,  
 llamadas toberas de reacción, y
- b) Corona de perfiles divergentes, llamadas toberas  
 de Laval, en las que luego de la sección mínima  
 $O_{mín}$ , el canal se ensancha hasta  $O_1$ . La princi-  
 pal característica geométrica de este tipo de  
 coronas es el grado de divergencias  $(O_1 / O_{mín})$

En las turbinas de vapor, en la corona de paletas fi-  
 jas, generalmente:

$$\alpha_{1e} = 8^\circ - 25^\circ$$

y, en las coronas de paletas móviles:

$$\beta_{2e} = 10^\circ - 35^\circ$$

AREA DE ESCAPE DE LA CORONA

Por la teoría de flujo compresible, las propiedades en un punto, en el caso del gas ideal, se pueden relacionar con condiciones apropiadas de referencia ( parámetros de estancamiento ) mediante funciones del número de Mach local. Estas relaciones ya están tabuladas.

En el caso del vapor éstas no están tabuladas y la obtención del área de salida de la tobera es una consecuencia del principio de conservación de la masa.

De todos modos el tipo de ecuación a utilizarse depende de la relación (  $p/p_0$  ) ( Ref. 5 )

Tanto para los escalones regulables como para los no regulables estas ecuaciones son:

a)  $p_1/p_0 > 0,546$ , es decir  $M < 1$

$$A = \frac{G_0 \cdot V_1 t}{\mu_1 C_1 t} \quad ( m^2 ) \quad ( 1-1 )$$

b)  $p_1/p_0 \leq 0,546$ , es decir  $M \geq 1$

$$A = \frac{G_0}{205 \mu_1 \sqrt{\frac{p_0}{v_0}}} \quad ( m^2 ) \quad ( 1-2 )$$

ALTURA DE LOS ALABES

Conocidas las áreas de escape de las coronas, la altura de los álabes se determina de la siguiente manera

de la Fig. 1-3 :  $A_i = Z_i \int_{r_r}^{r_p} O_i dr_i$

intregrado la expresión:  $F1 = Z_1 O_1 l_1$

de la Fig. 1-3 vemos que:  $\text{Sen } \alpha_1 = \frac{O_1}{t_1}$

Entonces:  $A_1 = Z_1 \text{ Sen } \alpha_1 t_1 l_1$

$$= \frac{\pi d_1}{t_1} \text{ Sen } \alpha_1 t_1 l_1$$

$$A_1 = \pi d_1 \text{ Sen } \alpha_1 l_1$$

$$l_1 = \frac{A_1}{\pi d_1 \text{ Sen } \alpha_1} \quad (m) \quad (1-3)$$

En los primeros escalones no regulables a fin de asegurar la altura suficiente de las coronas de álabes fijos y móviles, por lo general se tiene que:

$$\alpha_1 = 11^\circ - 16^\circ \text{ escalones de acción}$$

$$\alpha_1 = 14^\circ - 25^\circ \text{ escalones de reacción}$$

Se debe tener en cuenta también que el limitar el diámetro del escalón,  $d_m$ , implica una disminución del salto térmico transformado, aumentando entonces el número de escalones y encareciendo el costo de fabricación de la turbina:

$$h_o = \frac{1}{2} \left[ \frac{\pi d n}{u/C_{fic}} \right]^2 \quad (\text{Ref.4}) \quad (1-4)$$

Con parámetros iniciales altos, las alturas de los álabes resultan pequeñas, lo que obliga a emplear en los primeros escalones no regulables la admisión parcial de vapor o elegir un salto térmico en el escalón de regulación a fin de que en los escalones no regulables haya menor presión y mayor volumen específico.

Por esto, en turbinas de pequeña potencia resulta a veces indispensable inclusive realizar admisión parcial en los primeros escalones no regulables ( sólo turbinas de acción ).

Además de la altura de los álabes dada por la ecuación ( 1-3 ) para la corona rotatoria, se aconseja que:

$$l_2 = l_1 + \Delta_1 + \Delta_2$$

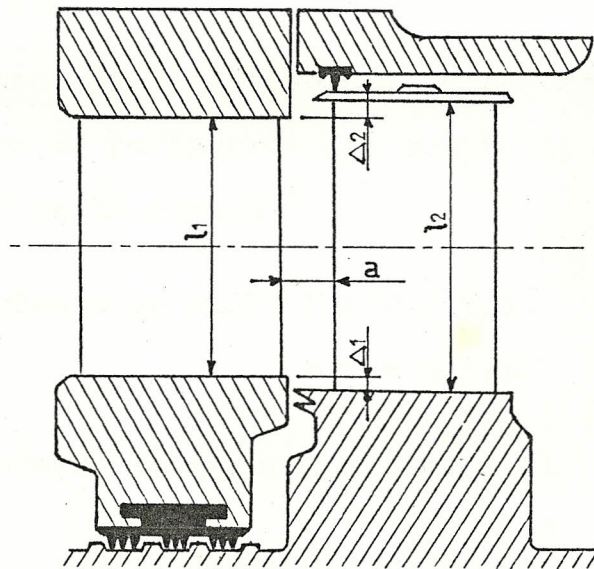


Fig. 1-4 Corte longitudinal de un escalón de turbina

Donde  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $a$  y  $\delta$  son obtenidos de la tabla siguiente:

ALTURA DEL ALA BE FIJO (mm)	RECUBRIMIENTO (mm)		HOLGURAS (mm)	
	$\Delta_1$	$\Delta_2$	a.e	$\delta.e$
$\leq 35$	1	2	4	1
35 - 55	1	2 - 2,5	4 - 4,5	1 - 1,3
55 - 75	1,5 - 2	2,5 - 3	4,5 - 5	1,3 - 1,5
75 - 150	2 - 2,5	3 - 3,5	5 - 5,5	1,5 - 2
150 - 300	2,5 - 3	3,5 - 4	5,5 - 6	2 - 2,5
300 - 400	5 - 6	6,5 - 7,5	5,5 - 6	2 - 2,5
400 - 625	7 - 8	7 - 8	6,5 - 7	3 - 3,5
$\geq 625$	9 - 10	9 - 10	7 - 10	3,5 - 6

TABLA I.1 Algunos valores de recubrimientos y holguras recomendados para el escalón ( Ref.5 )

Las características aerodinámicas se determinan en función de parámetros del régimen y parámetros geométricos de la corona:

$$\begin{aligned} \text{a) Número de Mach: } M_{1t} &= C_{1t}/a_1 & ; a_1 &= \sqrt{k p_1 v_{1t}} \\ M_{2t} &= W_{2t}/a_2 & ; a_2 &= \sqrt{k p_2 v_{2t}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Número de Reynolds: } Re_1 &= b_1 C_{1t} / \nu_1 \\ Re_2 &= b_2 C_{2t} / \nu_2 \end{aligned}$$

#### 1.4 FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA DE VAPOR MÚLTIPLE

En una turbina de vapor múltiple, el salto térmico disponible completo, desde el estado inicial del vapor hasta la presión de escape, se distribuye entre los sucesivos escalones de la turbina, de modo que cada uno de estos transforma sólo una parte del salto térmico total que le corresponde a toda la turbina.

En los escalones de alta y media presión, de la turbina de acción, generalmente, se admite que el grado de reacción no sea alto. En los escalones de baja presión, la reacción aumenta. ( Ref. 4 )

En el diagrama h-s está representado el proceso de expansión del vapor en la turbina de vapor múltiple. ( Fig. 1-5 )

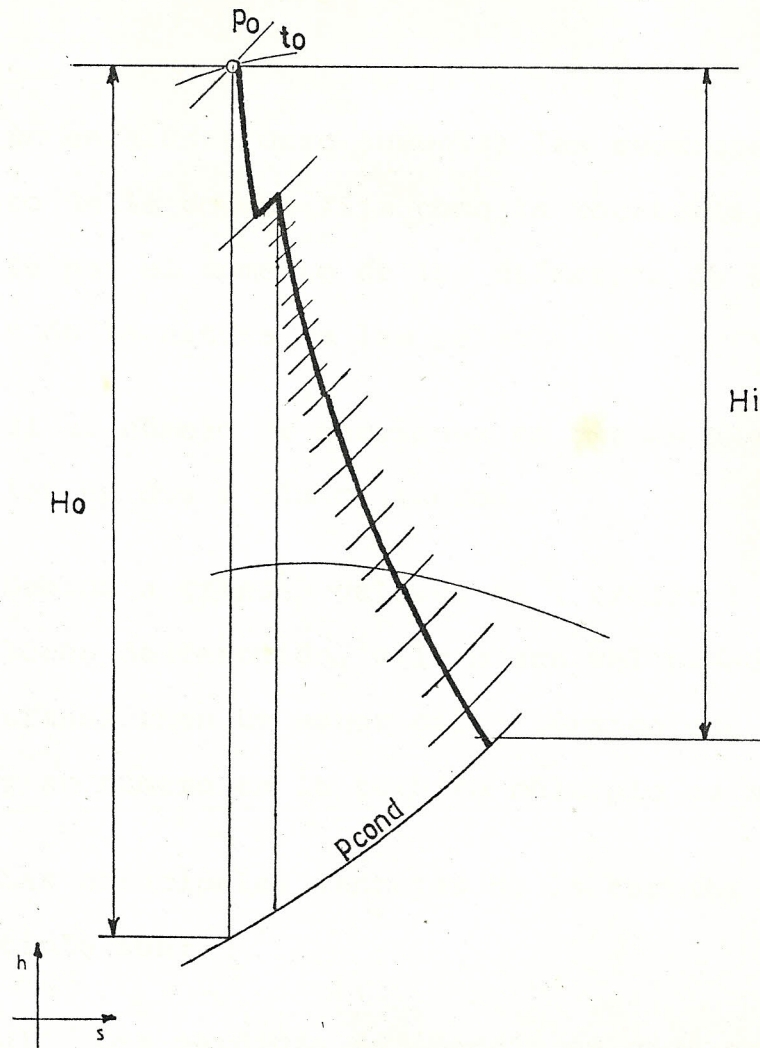


Fig. 1-5 Proceso de expansión del vapor en la turbina de vapor múltiple.

El salto total se compone de procesos sucesivos que se operan en diferentes escalones, con la particularidad de que el estado final del escalón precedente es el inicial para el siguiente.

A medida que se expande el vapor, su presión disminuye y el volumen específico crece. Para asegurar los volúmenes de vapor cada vez mayores, es necesario de

un escalón a otro aumentar las secciones de paso, tanto de la corona fija como la rotatoria, principalmente por el aumento de los diámetros de los escalones y de la altura de las paletas.

Si el número de escalones es grande hay que disponerlos en dos o más cilindros.

Debido a grandes valores de  $(u/C_{fic})_{\text{ópt}}$ , los escalones de reacción, a la misma velocidad periférica  $u$  transforman un menor salto térmico que los de acción y su número en la turbina múltiple es mayor.

Las principales ventajas de la turbina de vapor múltiple son:

- a) Las pérdidas de energía en cada escalón de la turbina aumentan la temperatura del vapor delante del escalón siguiente, debido a lo cual el salto térmico disponible para cierto escalón es algo superior al correspondiente entre las mismas isóbaras en la línea isoentrópica.
- b) El logro de parcialidad completa y una altura suficiente de los álabes de los escalones no regulables, permite elevar el rendimiento de la turbina.

- c) En la turbina múltiple se pueden efectuar tomas de vapor para el calentamiento regenerativo del agua de alimentación, lo que permite aumentar el rendimiento del ciclo.

#### 1.5 DIAGRAMA DE REGENERACION DE LA CENTRAL ANIBAL SANTOS

La central térmica " Ing. Aníbal Santos " de EMELEC, está situada en los terrenos del Salitral, consta de una unidad de generación a vapor ( 33 MW. ) y seis a gas ( 5 de 21 MW. y 1 de 28 MW ).

Los equipos que componen el ciclo patrón para producir energía son:

CALDERO	:	Tipo	Acuotubular
		Capacidad	160.000 Kg/hr
		Presión de trabajo	60.8 Kg/cm <sup>2</sup>
		Temperatura del vapor	483 °C
TURBINA	:	Tipo	Acción - Reacción
		Carga nominal	33.000 KW
		Velocidad de regimen	3.600 RPM
		Número de extracciones	4
CONDENSADOR	:	Tipo	Deareador
		Area de transferencia	27.500 ft <sup>2</sup>
		Número de tubos	4.380

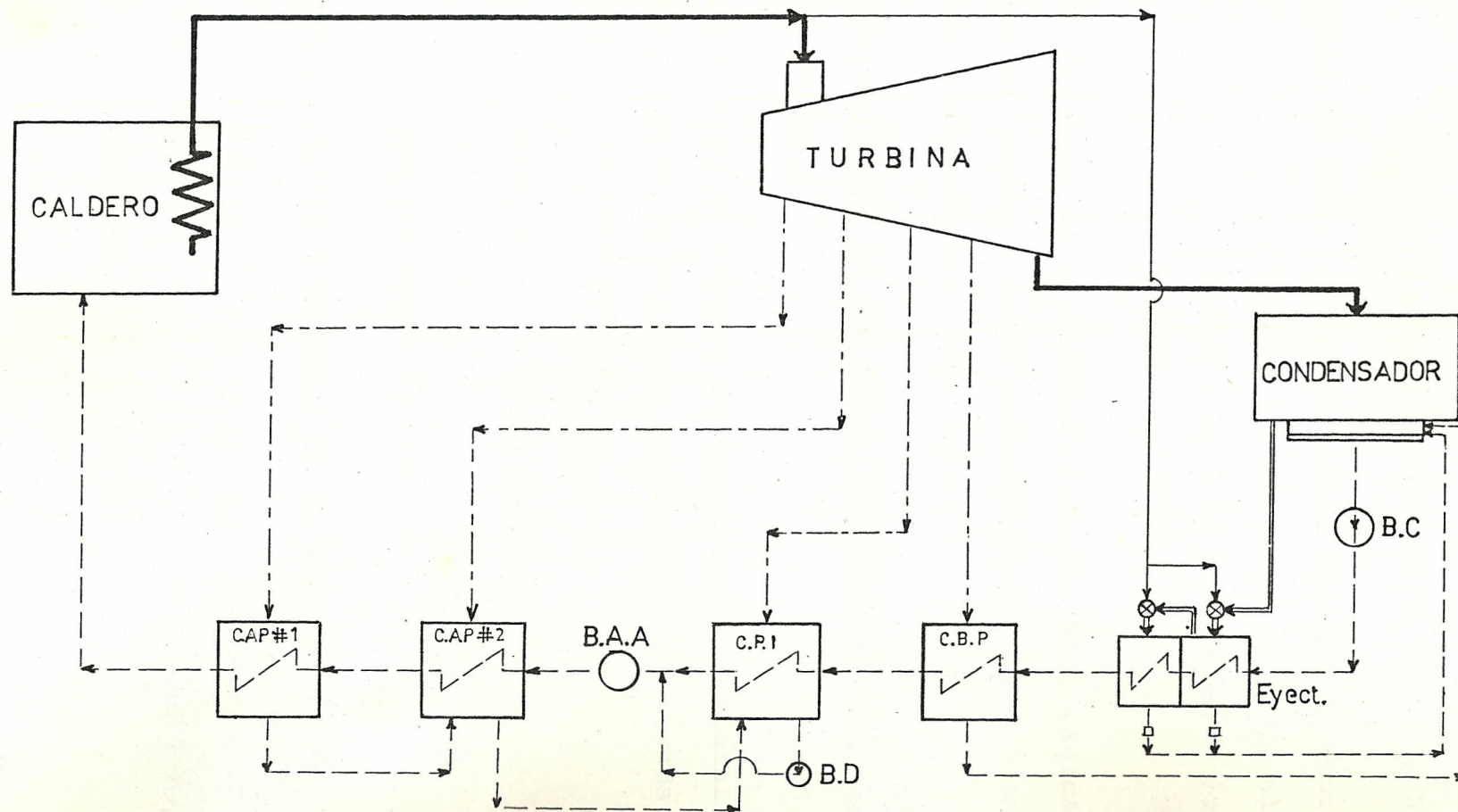


FIG. 1-6 CICLO AGUA-VAPOR DE LA CENTRAL TERMICA " ANIBAL SANTOS " CON SUS COMPONENTES

Presión de operación 2.58" Hg

OTROS EQUIPOS: Calentadores de agua de alimentación bombas ( condensado, agua de alimentación, agua de enfriamiento ), sistemas de eyectores.

El diagrama de la central está compuesto básicamente por los equipos antes nombrados, que juntos forman el ciclo agua-vapor. Fig. 1-6.

#### 1.5.1 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS TERMODINAMICOS ( DIAGRAMA H-S )

De acuerdo al balance de energía de la central para la carga de 33 MW., las condiciones de entrada del vapor a la turbina son:

Presión = 60.80 Kg/cm<sup>2</sup>

$h = 3379 \text{ KJ/Kg}$

Temperatura = 483 °C

Las condiciones al final de la expansión son:

Presión = 2.20" Hg

$h = 2306.1 \text{ KJ/Kg}$

Temperatura = 78 °C

Esto quiere decir que el salto térmico total disponible es:

$$h = h_0 - h_{\text{cond}} = 1072,90 \text{ KJ/Kg}$$

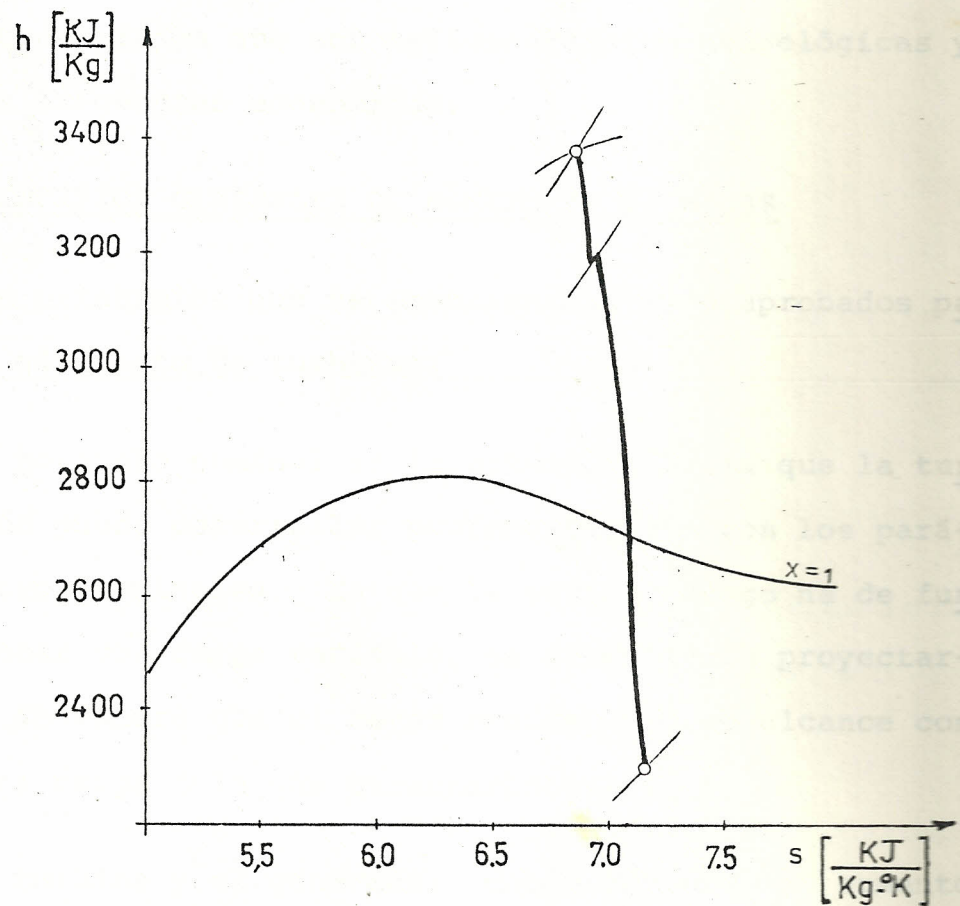


Fig. 1-7 Diagrama h-s de expansión del vapor en la turbina para la carga nominal

## CAPITULO II

### CALCULO DE LA TURBINA DE CONDENSACION

Para calcular y proyectar un turbogrupo, se deben citar condiciones o asunciones iniciales admisibles, mientras que en otros casos hay que aceptarlas en base a experiencias de turbinas construídas que son suficientemente tecnológicas y satisfacen exigencias económicas.

#### 2.1 PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO DE TURBINAS

Los principios que se enuncian han sido aprobados para el diseño de turbinas.

La potencia nominal es la potencia máxima que la turbina puede desarrollar prolongadamente con los parámetros nominales. Ya que la turbina luego ha de funcionar con carga variable, es conveniente proyectarla de manera que el mayor rendimiento se alcance con esta carga ( la más característica )

La turbina y el generador deben admitir un aumento de potencia por encima de la nominal. La frecuencia de rotación es considerada como una magnitud dada.

En muchos casos las condiciones de diseño de la turbina hace que esta tenga un gran número de escalones. Al aumentar los escalones la distancia entre ellos crece tanto que los rotores resultan excesivamente

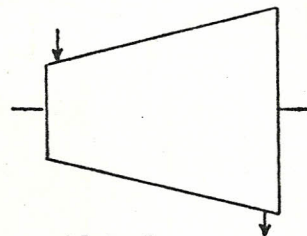
flexibles y tienen una frecuencia crítica demasiado baja, por esta razón las turbinas de condensación frecuentemente tienen varios cilindros ( teniéndose presente que una turbina de muchos cilindros resulta costosa ).

### CILINDROS

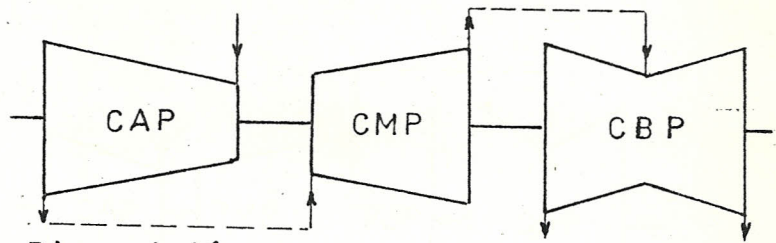
Las turbinas de condensación de mediana y baja potencia (  $\text{pot} \leq 70 \text{ MW}$  ) poseen un cilindro. Las turbinas de hasta 150 MW pueden poseer también un cilindro si se proyectan como máquinas de semipico. Como regla, las turbinas de un cilindro se acoplan con el generador eléctrico del lado de la salida del vapor.

Los rotores de los cilindros se unen entre sí, al igual que el rotor de la turbina con el generador, por medio de acoplamientos.

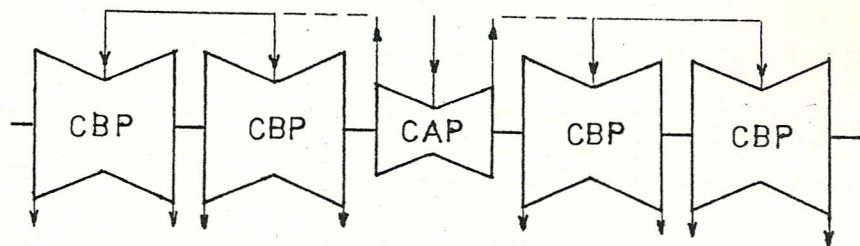
Los siguientes gráficos muestran algunas disposiciones de los cilindros en una instalación de turbinas:



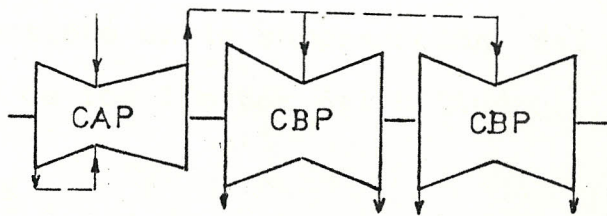
a) Turbina de un cilindro



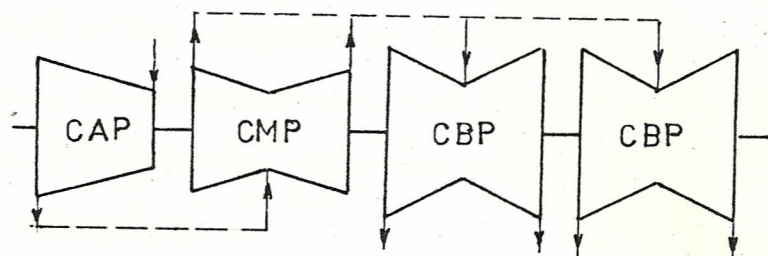
b) Disposición consecutiva de cilindros



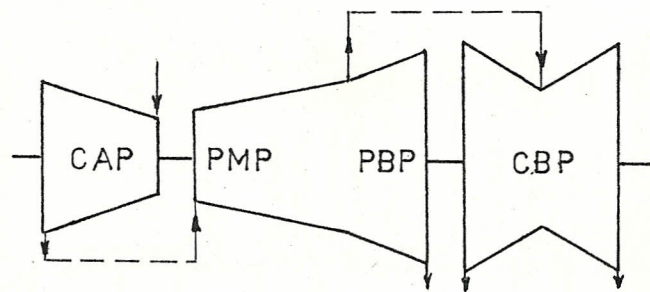
c) CAP en parte media de la instalación



d) Suministro de vapor en la parte media del CAP



e) CMP de dos flujos



f) Número impar de flujos en la PMP

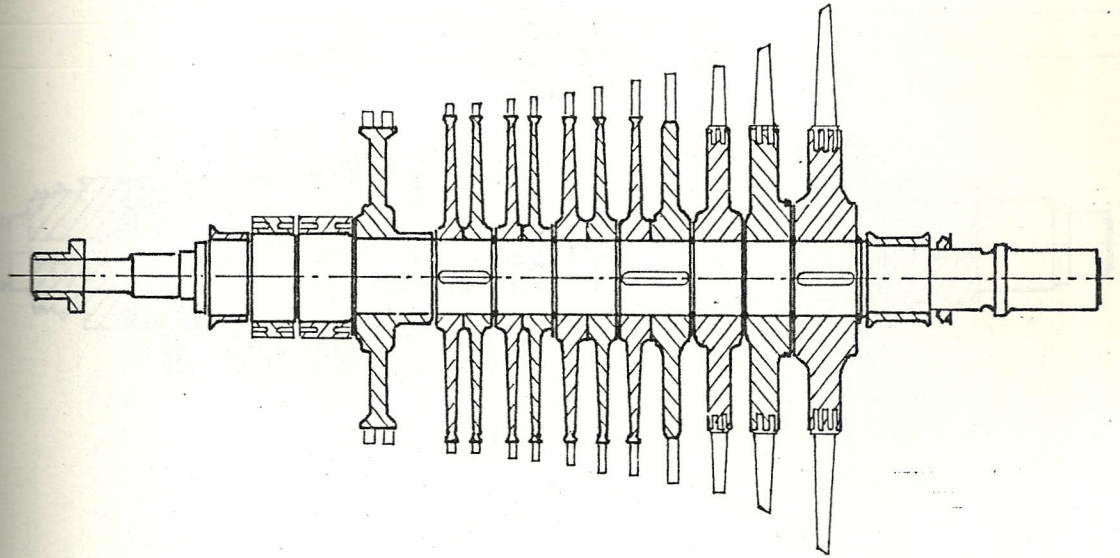
La dirección de los flujos de vapor en la turbina de cilindros múltiples se determina por varios factores: disminución de esfuerzos en el cojinete, reducción de desplazamientos axiales, disminución de deformaciones térmicas, etc.

La ventaja del suministro de vapor por la parte media consiste en la compensación del esfuerzo axial dentro de los límites del cilindro.

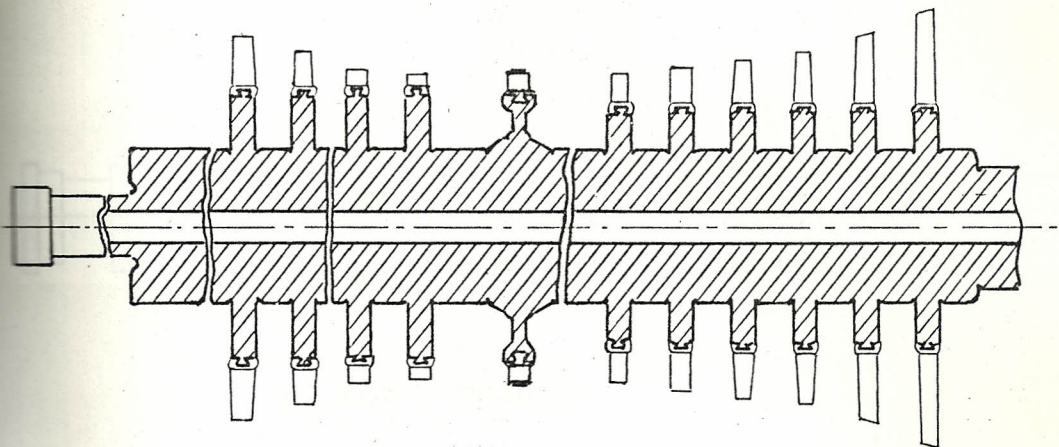
### ROTORES

Los rotores de la turbina pueden ser de discos y de tambor. Los primeros tienen aplicación en turbinas de acción y los segundos en las de reacción. En ambos casos el diámetro exterior del rotor, sin álabes puede ser constante, aumentar siendo generalmente cónico o disminuir.

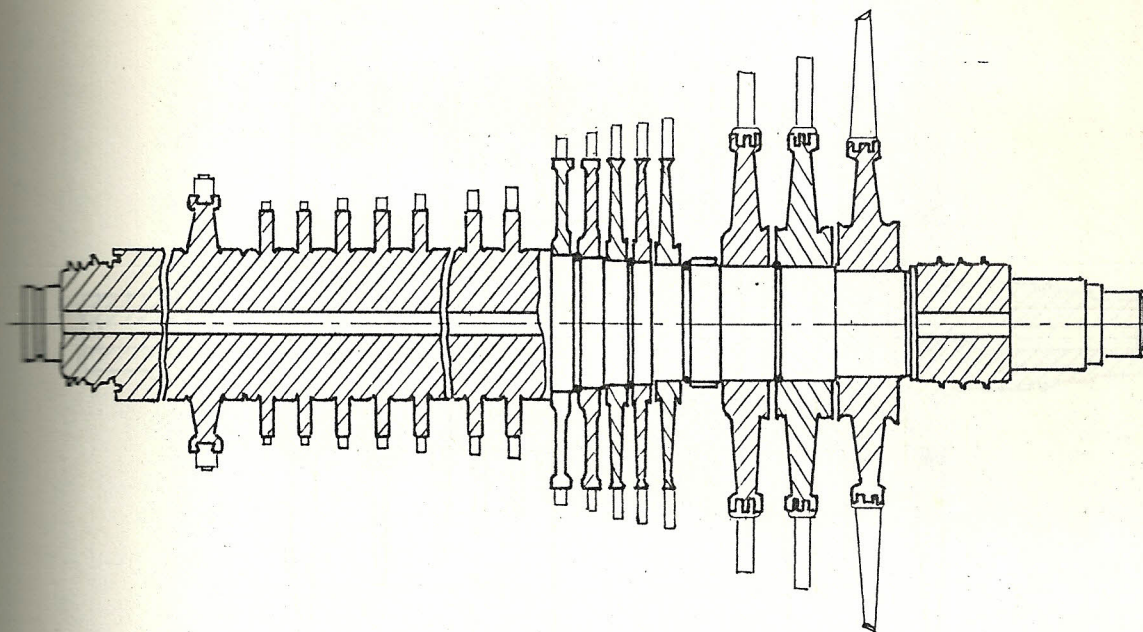
Desde el punto de vista de la construcción, el rotor puede fabricarse:



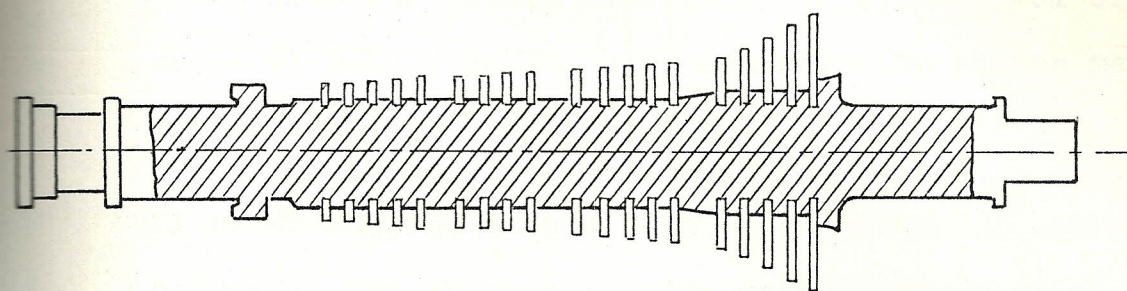
a) Rotor de discos encajados



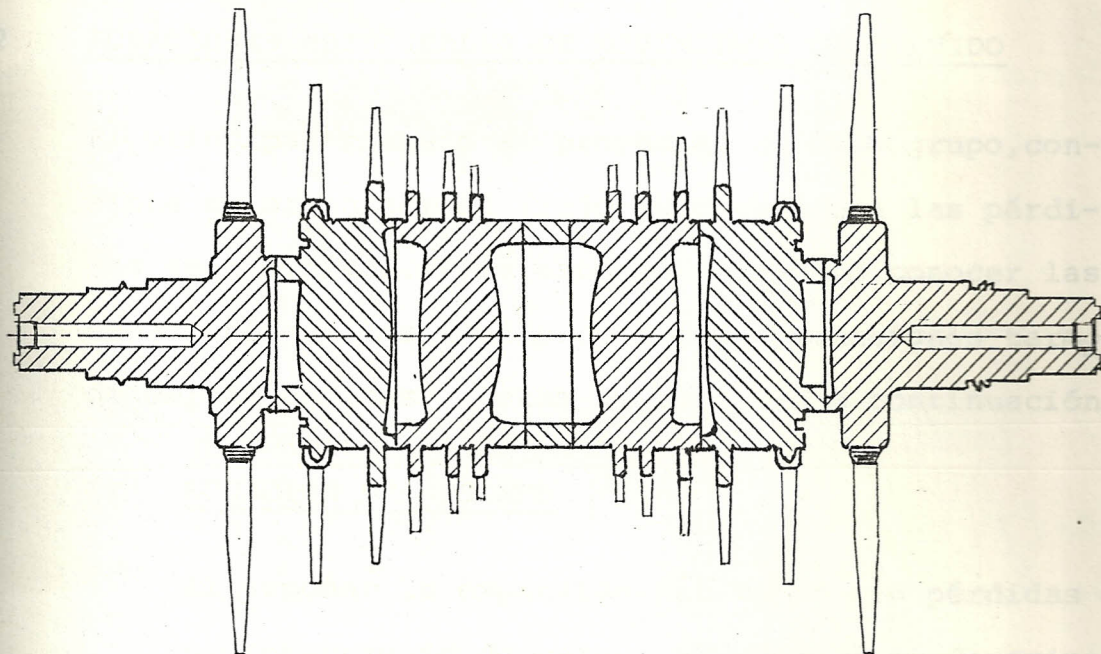
b) Rotor de discos forjados de una pieza



c) Rotor de discos de tipo combinado



d) Rotor soldado



e) Rotor de tambor

El rotor de discos encajados es el más sencillo por su diseño y fabricación pero las elevadas temperaturas del tambor pueden debilitar los ajustes del disco en el árbol; debido a su construcción tienen mayor rigidez.

El rotor forjado de una sola pieza carece de estos defectos, mas su construcción es complicada y larga.

Los rotores soldados, que constan de discos soldados por la periferia, han encontrado amplia difusión en los CBP de las turbinas.

## 2.2 ECUACIONES PRINCIPALES DE MOVIMIENTO DEL FLUIDO

El principal trabajo al proyectar un turbogruppo, consiste en organizar el flujo de manera que las pérdidas sean mínimas. Para esto es necesario conocer las ecuaciones de los fluidos y algunas ecuaciones termodinámicas básicas. Estas se enuncian a continuación:

### 1) ECUACION DE ESTADO

Al suponer la expansión del vapor sin pérdidas ni intercambio de calor, el proceso se denomina isoentrópico y se debe cumplir:

$$( p v^k ) = \text{cte} \quad ( 2-1 )$$

donde,  $k = 1.30$  para vapor recalentado

$k = 1,135$  para vapor saturado seco

### 2) ECUACION DE CONTINUIDAD

Esta ecuación es consecuencia del principio de conservación de la masa, en su forma más sencilla nos dice que:

$$G = A * c * v \quad ( 2-2 )$$

### 3) ECUACION DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Se deriva de la segunda ley de Newton: el total de

Las fuerzas que actúan simultáneamente sobre cada álabe son iguales que la causada por la razón de flujo de masa:

$$F_x = \dot{m} (V_{1x} - V_{2x}) (1 - \cos \alpha) \quad (2-3)$$

#### 4) ECUACION DE LA CONSERVACION DE LA ENERGIA

Expresa la igualdad de todas las sumas de todos los tipos de energía que recibe y entrega el sistema:

$$h_0 + \frac{C_0^2}{2} + q_0 = h_1 = \frac{C_1^2}{2} + W \quad (2-4)$$

### 2.3 PERDIDAS DE ENERGIA

En el escalón de la turbina, el trabajo de expansión del vapor se transforma en energía cinética de flujo y luego en energía mecánica.

En el proceso real, debido a las pérdidas, la expansión en el escalón se realiza a entropía creciente.

A diferencia del proceso isoentrópico, para el proceso real hay que tener en cuenta los coeficientes de pérdidas.

La ecuación de la energía para el flujo real sin in-

tercambio con el ambiente será:

$$\frac{c_1^2}{2} + h_1 = \frac{c_0^2}{2} + h_0$$

para el proceso isoentrópico:

$$\frac{c_{1t}^2}{2} + h_{1t} = \frac{c_0^2}{2} + h_0$$

La diferencia de energía cinética entre el proceso teórico y real será:

$$\frac{c_{1t}^2}{2} - \frac{c_1^2}{2} = h_1 - h_{1t} = \Delta h_f$$

Dividiendo para  $c_{1t}^2/2$  :

$$\frac{\frac{\Delta h_f}{2}}{\frac{c_{1t}^2}{2}} = 1 - \left( \frac{c_1}{c_{1t}} \right)^2 = \zeta_f \quad (2-5)$$

Siendo esta última igualdad el coeficiente de pérdida de energía (  $\zeta_f$  )

Las pérdidas relacionadas con el flujo de vapor se dividen principalmente en dos componentes:

a) PERDIDAS POR PERFIL

Se determinan al contornear, el vapor, la coro

na de perfiles de largo infinito, es decir aquellas en que  $l \gg b$ . Esta pérdida toma en cuenta fenómenos de desprendimiento de capa límite, remolinos y rozamiento. ( Ref. 4 )

b) PERDIDAS TERMINALES

Se determinan al contornear el flujo álabes de altura finita en los cuales el flujo tiene carácter especial. Aquí se toman en cuenta fenómenos de viscosidad y gradientes de presión debidos a la curvatura del canal. ( Ref. 4 )

El cálculo de la turbina sin tomar en cuenta las pérdidas de energía reducirá la eficiencia de la máquina y no se alcanzaría la potencia deseada.

El coeficiente de pérdida de energía se encuentra íntimamente ligado con el coeficiente de velocidad, y es en base a este último que se obtienen los parámetros reales de vapor así como las pérdidas de energía del escalón.

El coeficiente de velocidad del vapor se obtiene de gráficos que son el resultado de experiencias en laboratorios de perfiles con caracterís

ticas geométricas predeterminadas o en base a parámetros del vapor.

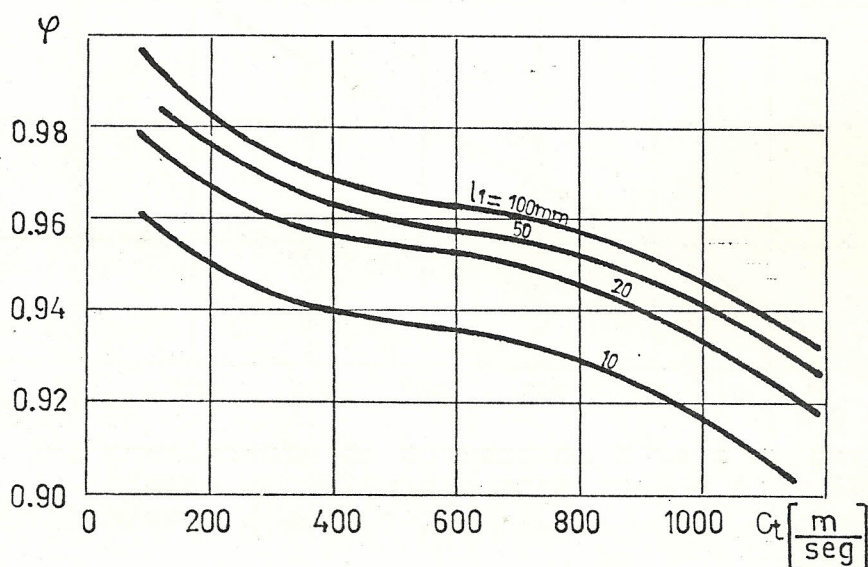


Fig. 2-1 Coeficiente de velocidad para la corona de álabes fijos ( Ref. 5 )

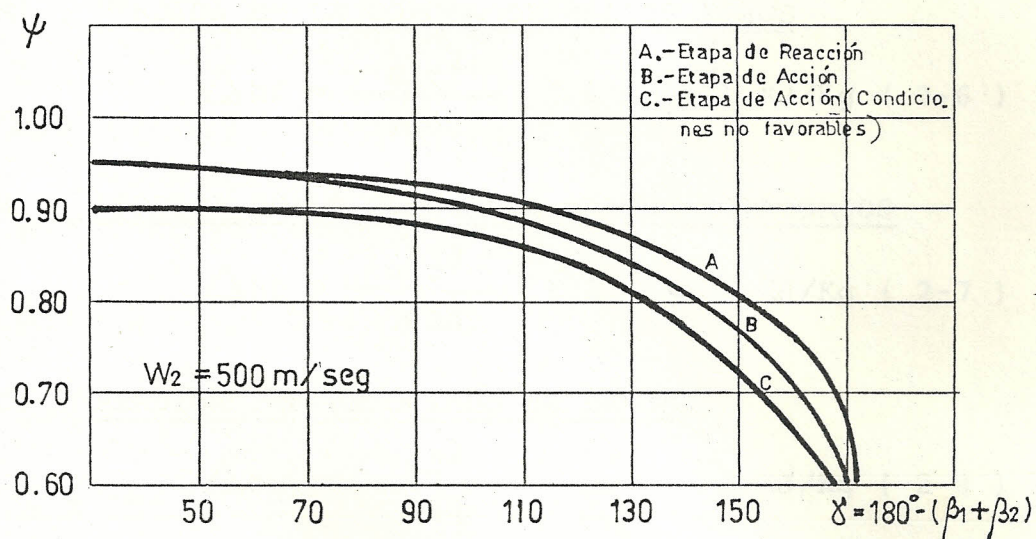


Fig. 2-2 Coeficiente de velocidad para la corona de álabes ( rotatorios ) ( Ref. 5 )

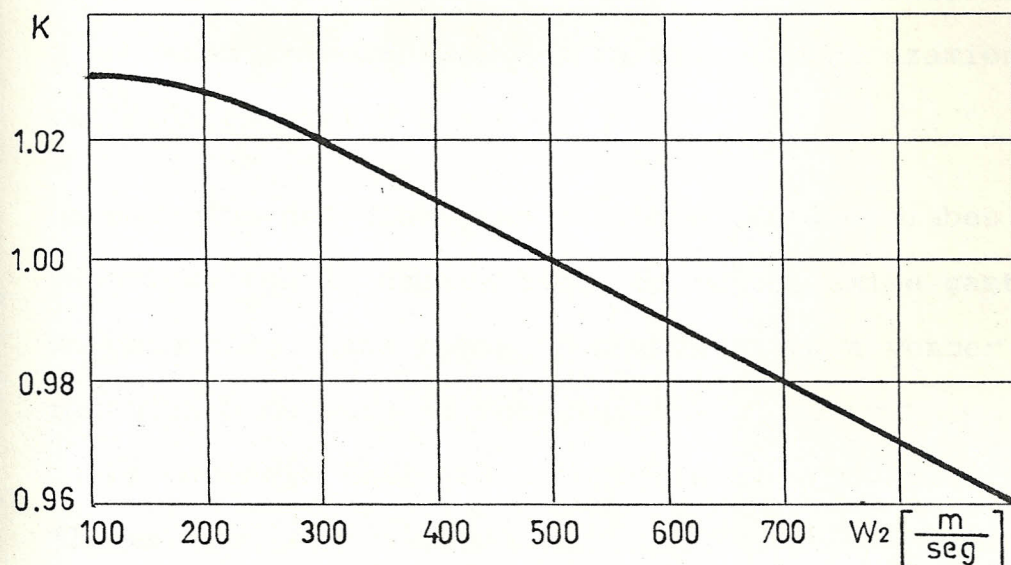


Fig. 2-3 Coeficiente de corrección  $K^*$  para el coeficiente de velocidad para cuando  $W \neq 500$  m/sec. ( Ref. 5 )

Así las principales pérdidas, debidas al flujo de vapor, en el escalón son:

A) PERDIDA EN LA CORONA DE ALABES FIJOS

$$\Delta h_f = \frac{c_1 t^2}{2000} (1 - \varphi^2) \text{ KJ/Kg ( 2-6 )}$$

B) PERDIDA EN LA CORONA DE ALABES ROTATORIOS

$$\Delta h_r = \frac{w_2 t^2}{2000} (1 - \psi^2) \text{ KJ/Kg ( 2-7 )}$$

C) PERDIDA POR VELOCIDAD DE SALIDA

$$\Delta h_{v.s} = \frac{c_2^2}{2000} \text{ KJ/Kg ( 2-8 )}$$

Las pérdidas que no se relacionan directamente con el

flujo de vapor reciben el nombre de complementarias y se deben principalmente a la fricción o rozamiento admisión parcial y fugas.

La rotación del disco, en el que están los álabes rotatorios, con la cámara llena de vapor, exige gastos de potencia. Esta potencia necesaria para vencer el rozamiento durante la rotación del disco forma parte de la potencia útil que desarrolla el vapor en los álabes.

El vapor que llena la cámara, además de girar en torno al eje de la turbina adquiere un movimiento turbulento en la sección meridiana ( Fig. 2-4 )

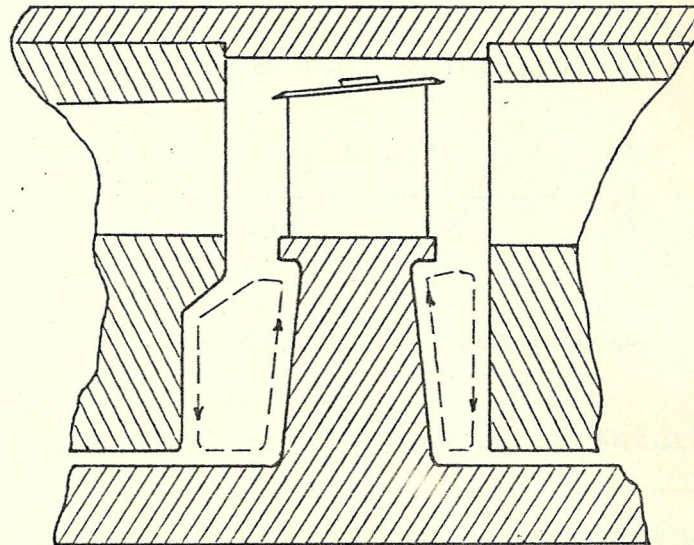


Fig. 2-4 Esquema del flujo en la holgura entre el disco y los diafragmas.

Si la admisión del vapor es parcial ( $e < 1$ ), los canales entre los álabes rotatorios al girar, alternativamente se llenan unos con el chorro de vapor y otros recorren el espacio ( $1 - e$ ) sin recibir vapor en este caso el disco con los álabes rotatorios funciona como un ventilador que arrastra y desplaza el vapor que llena la cámara del escalón, lo que significa un gasto de energía. ( Ref. 5 )

Estas dos pérdidas se resumen en la ecuación (2-10) y dependen de las dimensiones del escalón y las condiciones del vapor en él. ( Ref. 5 )

$$\Delta h_{\text{fricc} - \text{a.p.}} = \frac{N_{\text{fricc} - \text{a.p.}}}{G_o} \text{ (KJ/Kg)} \quad (2-9)$$

$$N_{\text{fricc} - \text{a.p.}} = \Phi \left[ 1,07 \text{ dm}^2 + 0,61 (1-e) \text{ dm } l_2^{1.5} \right] \\ * \frac{U^3}{100} * \frac{1}{V_m} \text{ ( KW )} \quad (2-10)$$

donde  $\Phi = 1$  para vapor recalentado

$\Phi = 1.1 - 1.2$  para vapor saturado

$\Phi = 1.2 - 1.3$  para vapor húmedo

Además del flujo principal de vapor que pasa por las coronas de álabes fijos y rotatorios, en el escalón

se producen fugas de vapor que reducen su rendimiento. Para disminuir éstas se utilizan sellos o juntas de laberinto ( Fig. 2-5 )

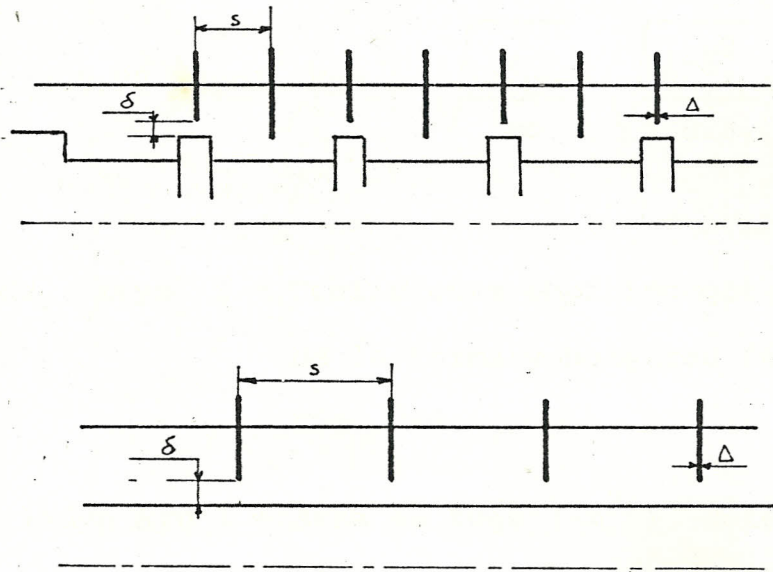


Fig. 2-5 Juntas laberínticas o sellos de vapor

La energía que se pierde a través del sello interior se determina por la siguiente ecuación: ( Ref. 5 )

$$\Delta h_{\text{fug.}} = \frac{G_{\text{yn 1}}}{G_o} ( h_o' - h_i' ) \quad ( \text{KJ/Kg} ) \quad ( 2-11 )$$

donde  $G_{\text{yn 1}}$  = flujo de vapor a través de los sellos de vapor ( kg/sec )

$h_o'$  = entalpía del vapor a través del escalón ( KJ/Kg )

$h_i'$  = entalpía del vapor en la corona rotator

ria ( KJ/Kg )

El flujo de vapor Gyn 1 puede ser calculado por la siguiente fórmula: ( Ref. 5 ).

$$Gyn\ 1 = 0,99 \mu_{yn1} F_{yn\ 1} \sqrt{\frac{10^4 p_o}{v_o}} \sqrt{\frac{1-\epsilon_1^2}{Z.a.s.}} \text{ (Kg/sec)}$$

( 2-12 )

donde  $\mu_{yn\ 1}$  = Coeficiente empírico que depende de la forma y holguras del sello.  
Fig. 2-6

$F_{yn\ 1} = d_{yn} \zeta_{yn\ 1}$  = Area de fuga (  $m^2$  ), donde  $d_{yn}$  es el diámetro hasta el sello de vapor.

$p_o$  = Presión del vapor antes de entrar al escalón ( bar )

$v_o$  = Volumen específico del vapor antes de entrar al escalón (  $m^3/Kg$  )

$\epsilon_1$  = Relación de presiones  $p_1/p_o$

Z.a.s. = Número de anillos del sello

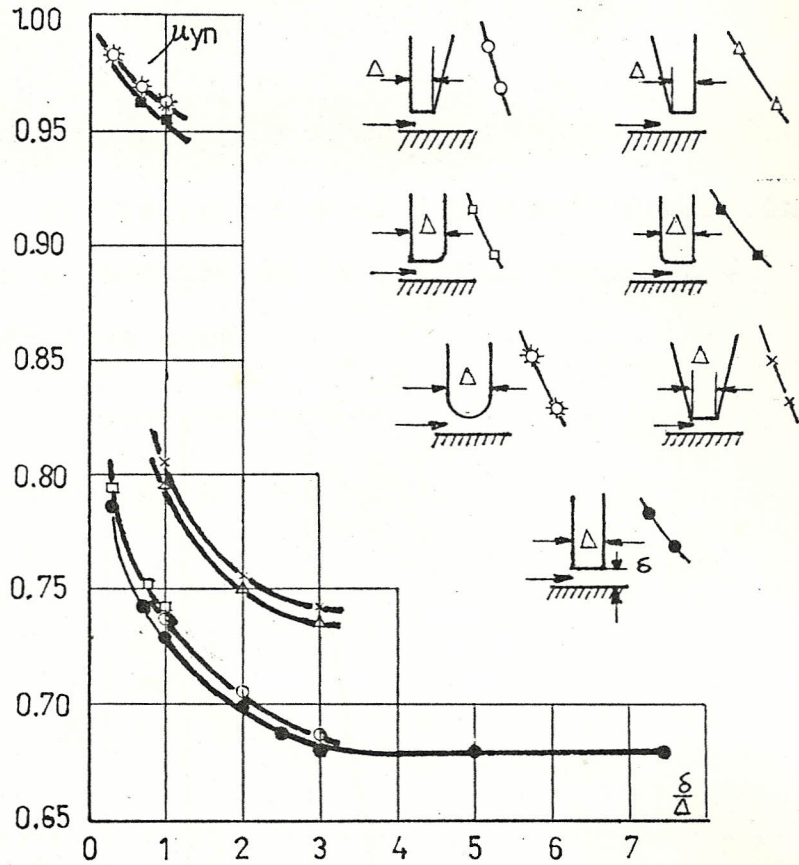


Fig. 2-6 Coeficiente de consumo para juntas de formas y dimensiones diferentes ( Ref. 9)

La energía que pierde a través del sello periférico se determina por la misma ecuación ( 2-11 ) con la única diferencia de que al calcular el flujo  $G_{yn 2}$  , que escapa por la periferia el área de fuga es  $F_{yn 2} ( d+12 )^2$  y además la incidencia del grado de reacción en la etapa. Esto es: ( Ref. 5 )

$$G_{yn 2} = 0,99 \mu_{yn 2} F_{yn 2} \sqrt{\frac{10^4 p_o}{v_o}} \sqrt{\frac{1-\epsilon_1^2}{Z.a.s.}} \sqrt{\frac{R}{1-Rm}} \quad ( 2-13 )$$

donde los factores son los ya explicados para la fórm

mula ( 2-12 ).

En el diagrama h-s el proceso de expansión del vapor en el escalón de la turbina, teniendo en cuenta las pérdidas será:

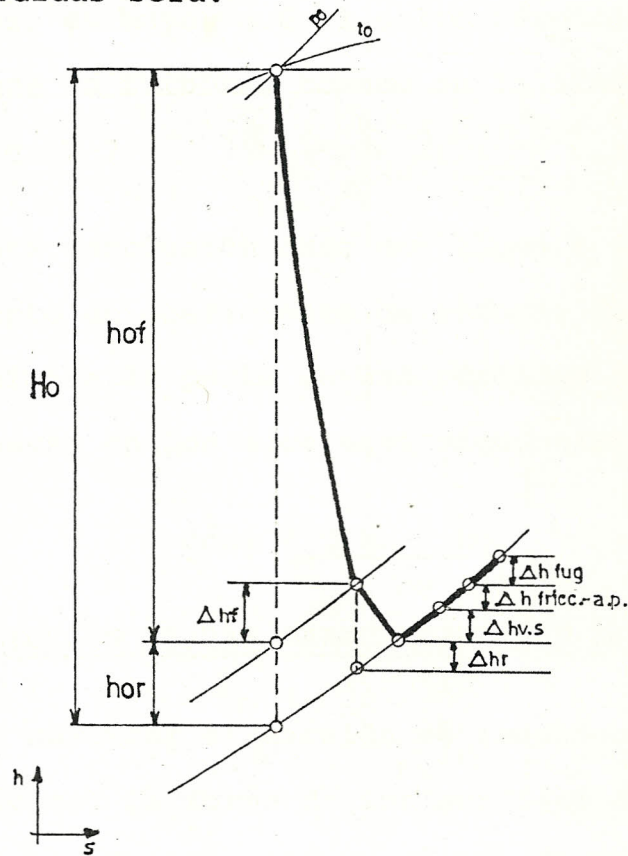


Fig. 2-7 Proceso real de expansión del escalón en el diagrama h-s

La pérdida de energía en cada escalón de la turbina, hace aumentar la temperatura del vapor delante de los escalones siguientes debido a lo cual el salto térmico real disponible para algún escalón intermedio es algo superior al salto térmico entre las mis-

mas isóbaras en la línea isoentrópica.

Como resultado, la suma de los saltos térmicos disponibles en la turbina múltiple que funciona con pérdidas, es mayor que el salto térmico disponible para toda la turbina, tomado en la línea isoentrópica. Ver Fig. 2-7

Esta conclusión dada nos lleva a introducir el concepto de coeficiente de retorno de calor, el cual determina la parte de las pérdidas que puede aprovecharse en los escalones siguientes de la turbina:

$$q_{cal} = \frac{\sum h_o - H_o}{H_o} \quad (2-14)$$

#### 2.4 ELECCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL ESCALON

Al calcular el escalón se requiere elegir sus dimensiones, la forma de los perfiles de las coronas fijas y móviles, altura de los álabes, número de perfiles, etc.

Para cualquier escalón el cálculo por el diámetro medio se cumple como primera aproximación y como el definitivo para escalones con características  $d/l > 10-15$ .

Al calcular el escalón se deben considerar como da -

das las siguientes magnitudes:

- a) Flujo de vapor  $G$ , y sus parámetros iniciales  $p_0$  y  $t_0$ .
- b) Frecuencia de rotación

Algunos parámetros deben elegirse en base a consideraciones previas y recomendaciones:

- a) Grado de reacción,  $R$
- b) Relación de velocidades,  $u/C_{fic}$

Otros deben calcularse sólo para cierto tipo de escalón, tal es el caso del grado óptimo de parcialidad.

Desde el punto de vista del diseño, los escalones axiales se pueden clasificar en tres grupos:

- a) Escalones de regulación ( acción )
- b) Escalones no regulables de acción
- c) Escalones no regulables de reacción

#### GRADO DE REACCION

El grado de reacción es la relación del salto térmico en la corona de álabes rotatorios a el salto térmico total del escalón:

$$R = \text{hor} / H_o = \frac{\text{hor}}{h_{of} + \text{hor}} \quad ( 2-15 )$$

El escalón de regulación en muchas turbinas es de acción, esto es el grado de reacción es bajo (a fin de disminuir las pérdidas complementarias) (Ref. 4)

Los escalones de acción se proyectan con  $R$  0,05-0,25. Si por algunas causas el escalón se proyecta con la llamada admisión parcial, el grado de reacción de tal escalón se elegirá pequeño:  $R = 0,02 - 0,06$  (Ref.4)

Los escalones de reacción se proyectan para una  $R = 0,25 - 0,70$ . (Ref. 4)

Al elegir el grado de reacción se debe tomar en cuenta que al aumentar  $R$  mejora el contorneo en la corona de álabes rotatorios, pero disminuye la magnitud óptima del salto térmico disponible, razón por la cual crece el número de escalones:

$$\left( \frac{u}{C_{fic}} \right)_{\text{opt}} = \frac{\cos \alpha_1}{2 \sqrt{1-R}} \quad ( \text{Ref. 4} )$$

$$h_o = 1/2 \left( \pi d n / u/C_{fic} \right)^2$$

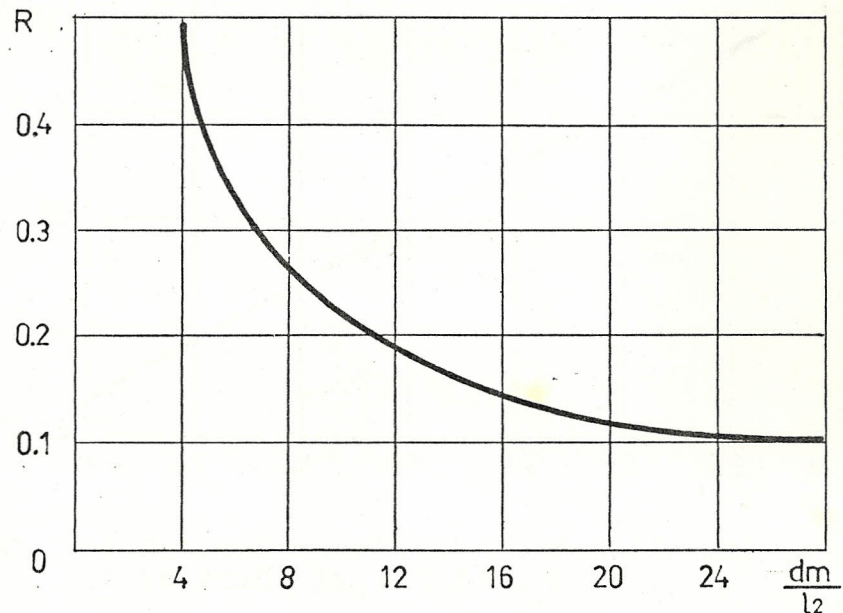


Fig. 2-8 Grado de reacción de los escalones no regulables en función de la relación  $\frac{dm}{l_2}$  ( Ref. 5 )

Así mismo al aumentar el grado de reacción, aumenta el esfuerzo que actúa sobre los álabes y el disco en dirección axial. ( Ref. 4 )

#### RELACION DE VELOCIDADES $u/C_{fic}$

Habíamos mencionado ya la relación  $u/C_{fic}$  como un parámetro de diseño característico de cada tipo de escalón, pero es en función del grado de reacción que se determina la relación óptima de velocidades,  $u/C_{fic}$  que caracteriza a su vez el máximo rendimiento relativo de los álabes.

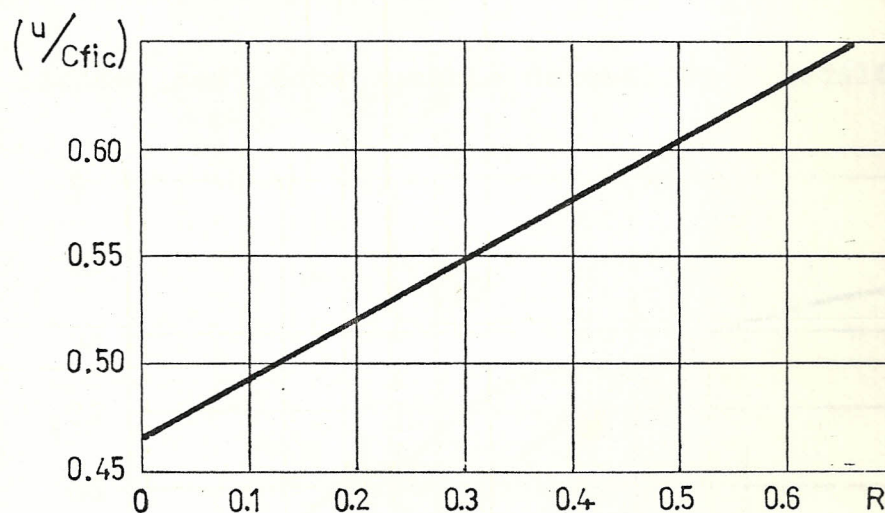


Fig. 2-9 Relación  $(u/C_{fic})$  en función del grado de reacción  $R_m$  ( Ref. 5 )

Como se mostrará en el siguiente gráfico, para el escalón de velocidad de una corona se eligen relaciones de velocidad:

$$u/C_{fic} = 0,46 - 0,48$$

Para el escalón de velocidad de coronas, con grado de parcialidad aproximado de 0,4 a 0,7, se toman relaciones de velocidad:

$$u/C_{fic} = 0,22 - 0,27$$

Para los escalones con un grado de reacción  $R=0,10 - 0,12$  se recomienda:  $u/C_{fic} = 0,24 - 0,30$ .

Las disminuciones de las pérdidas complementarias y el aumento del grado de reacción, hacen elevar dicha re

lación, así, ésta aumenta de escalón a escalón.

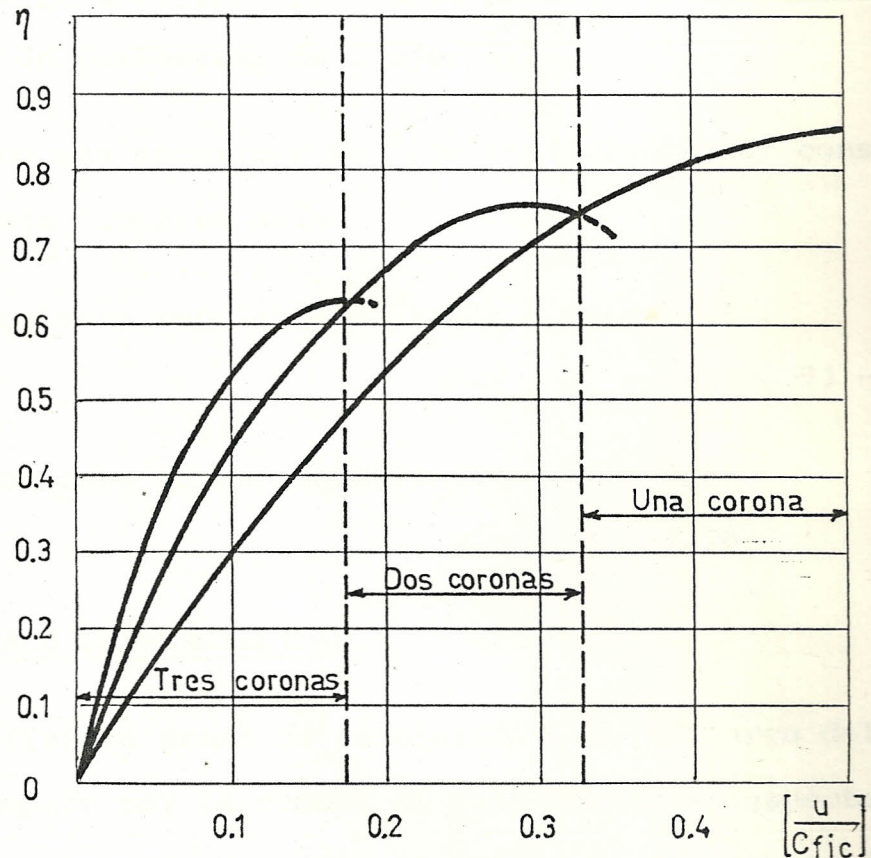


Fig.2-10 Pérdidas de energía en una corona de acción y en los escalones de velocidad, en función de  $u/C_{fic}$  ( Ref. 11 )

#### COEFICIENTE DE CONSUMO

La presencia de capa límite, irregularidad en los campos de velocidad y flujos secundarios, hacen que el consumo real difiera del teórico. Esta diferencia se tiene en cuenta en el coeficiente de consumo (Ref.4)

$$\mu = G_o / G_{ot}$$

Los coeficientes de consumo, al igual que las pérdidas de energía, dependen de parámetros geométricos como de parámetros de flujo.

Como una aproximación, los coeficientes de consumo pueden tomarse así:

$$\begin{aligned} \text{Escalones regulables} & : \mu_1 = 0,96 - 0,98 \\ & \mu_2 = \mu_1' = \mu_2' = 0,93 - 0,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Escalones no regulables:} & \mu_1 = 0,96 - 0,98 \\ & \mu_2 = 0,95 - 0,96 \end{aligned}$$

#### GRADO DE PARCIALIDAD

Definimos grado de parcialidad,  $e$ , el largo del arco ocupado por la corona de paletas fijas respecto a toda la periferia, esto implica que el vapor en la parte fija no pasa por toda la circunferencia de la corona:

$$e = zt / \pi d \quad ( 2-16 )$$

$$e = G_0 v_{1t} / \pi d m C_{1t} l_1 \sin \alpha_1 \quad ( 2-17 )$$

La admisión parcial de vapor ( $e < 1$ ) se lleva a cabo en el escalón de regulación y en los primeros escalones no regulables en turbinas de pequeña potencia.

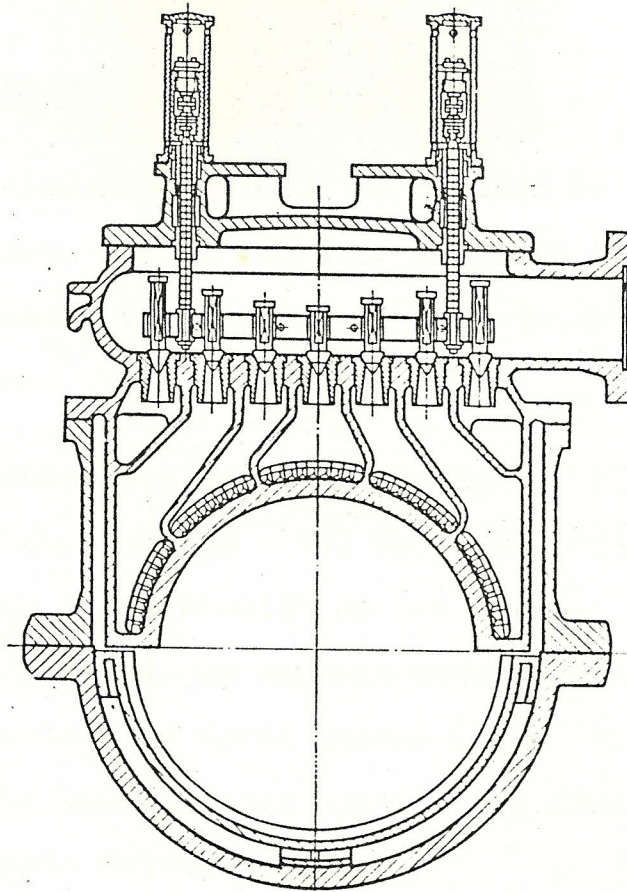


Fig. 2-11 Sección transversal por la caja de válvulas y de paletas fijas.

La disposición de las cajas de álabes fijos en varios segmentos a través de la circunferencia, se debe a la necesidad de asegurar el calentamiento uniforme de la turbina.

En la turbina de reacción no se puede utilizar la admisión parcial de vapor.

### ESCALON

La elección del tipo de escalón de regulación se determina por la magnitud del salto térmico calculado, que a su vez depende de los parámetros de entrada del vapor.

Parámetros altos (  $p \approx 85 \text{ Kg/cm}^2$  ) con saltos térmicos de hasta 80 - 150 KJ/Kg se transforman en un escalón de regulación de una corona; para saltos térmicos mayores se emplean escalones regulables de dos coronas, es decir cuanto mayor es el salto térmico transformado, tanto mayor es el número de coronas del escalón de velocidad.

Un considerable salto térmico y el empleo de un escalón de velocidad de dos coronas permiten simplificar el diseño de la turbina.

De la Fig. 2-10 se desprende que el empleo de escalones de velocidad hace aumentar el rendimiento de la turbina sólo a valores bajos de  $u/C_{fic}$ .

Algo importante que se debe tener en cuenta es que el cálculo de los escalones en que  $\theta = \frac{d}{l} > 10 - 15$  se realiza basado en la constancia de los parámetros del vapor por la altura del álabe. En aquellos escalo -

nes en que  $\theta = \frac{d}{1} < 10$  el grado de reacción varía, en función de la altura de tal modo que los parámetros del vapor varían de igual manera. Así el cálculo de los últimos escalones reviste una gran importancia ya que deben encontrarse las características del álabe en los tres diámetros.

De acuerdo a las siguientes fórmulas empíricas el grado de reacción para las secciones periféricas y de raíz puede ser encontrado:

$$\frac{1 - R_p}{1 - R_m} = \left( \frac{r_p}{r_m} \right)^{-m} \quad (2-18)$$

$$\frac{1 - R_r}{1 - R_m} = \left( \frac{r_r}{r_m} \right)^{-m} \quad (2-19)$$

donde aproximadamente  $m = 1.8$

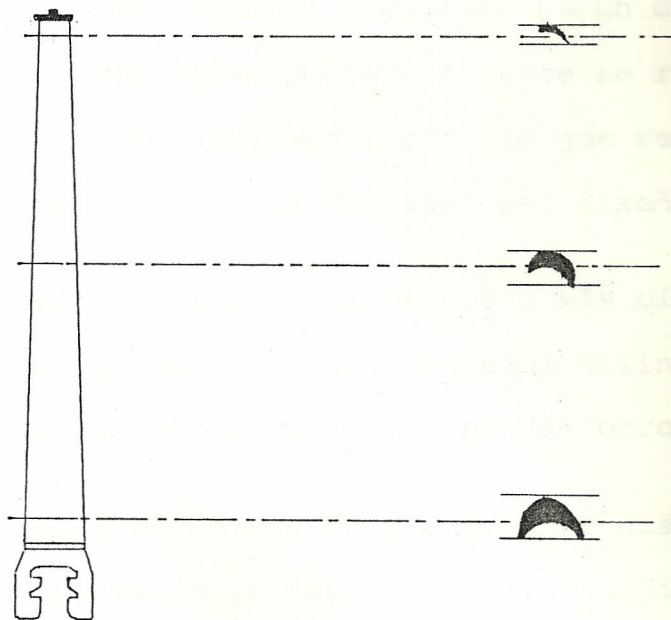


Fig.2-12 Perfiles de la corona de álabes rotatorios del último escalón

## 2.5 DISTRIBUCION DE LOS SALTOS TERMICOS EN LOS ESCALONES

Antes de pasar al cálculo detallado de cada escalón, es necesario determinar el número de escalones y distribuir racionalmente los saltos térmicos entre éstos.

En dependencia de cuan rentable será la turbina debemos decir que con el aumento del número de escalones al proyectarla, la turbina alcanza mayor rendimiento. Sin embargo, esto encarece el costo de fabricación. Si se busca sencillez en el diseño se preferirá un número limitado de escalones a fin de ubicarlos en un solo cilindro.

El paso de un grupo de escalones de un diámetro, a un grupo de otro diámetro, generalmente se relaciona con la toma regenerativa de vapor, lo que resulta conveniente desde el punto de vista del diseño.

En el caso de la turbina de dos o más cilindros, los diámetros en los escalones en cada cilindro pueden elegirse independientemente uno del otro.

Para hallar el número de escalones y distribuir el salto térmico entre éstos se traza un diagrama, donde el eje de las abscisas se toma un segmento arbitra -

rio  $a$  y en las ordenadas extremas se marcan los diámetros del primero y último escalón,  $d_1$  y  $d_z$ . Los puntos 1 y  $z$  se unen por una línea suave cóncava que corresponde al carácter de la variación de los contornos de la parte fija de la turbina y en cierto grado al cambio de volumen específico  $v_t$ .

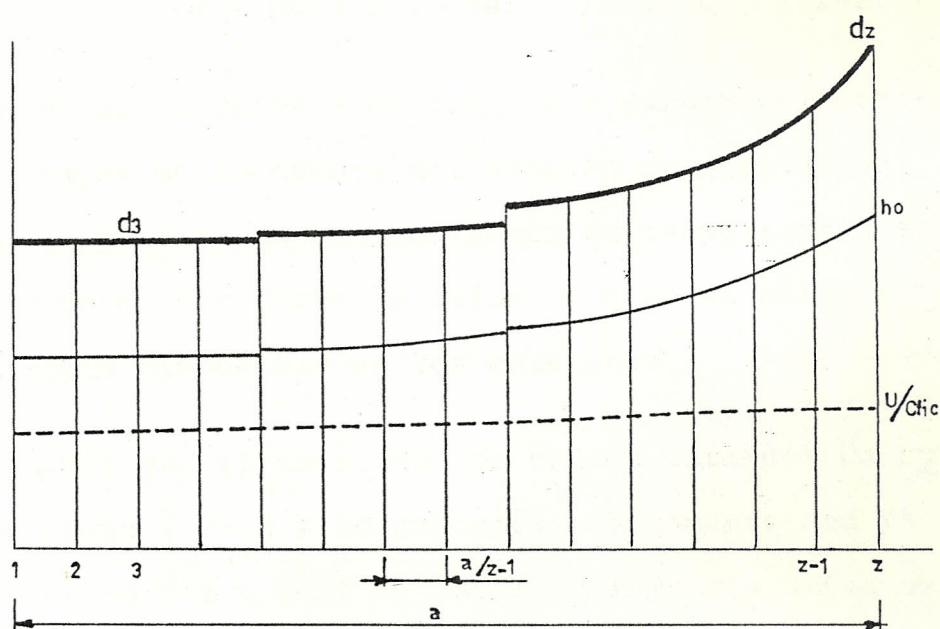


Fig. 2-13 Diagrama auxiliar para determinar el número de escalones.

En la misma base se traza la línea  $u/C_{fic}$  que se supone realizar al construir la turbina. Frecuentemente para el grupo de los primeros escalones se toma constante la magnitud  $u/C_{fic}$ .

El salto térmico disponible del escalón puede hallarse del modo siguiente:

$$\begin{aligned}
 h_o &= 1/2 C_o^2 = (\pi d n)^2 / 2 \cdot 10^3 \cdot 60^2 \cdot (u/C_{fic})^2 \\
 &= 17,765 (d / u/C_{fic})^2 \quad (2-20)
 \end{aligned}$$

El número de escalones necesarios en la turbina puede ser calculado por la fórmula. ( Ref. 5 )

$$z = H_o ( 1 + q_{cal} ) / h_{ocp} \quad (2-21)$$

donde  $H_o$  es la caída isoentrópica a partir del estado de vapor en la cámara del escalón de regulación hasta la presión en la tubuladora de escape;  $q_{cal}$ , el coeficiente de retorno de calor, y  $h_{ocp}$  el salto térmico medio disponible en los escalones.

Es posible que el total de los saltos térmicos calculados según ( 2-18 ) no coincida exactamente con la magnitud  $H_o ( 1 + q_{cal} )$ . Si la diferencia entre esta magnitud y  $H_o$  es  $\Delta_{cal}$ , de modo que:  $h_o + \Delta_{cal} = H_o ( 1 + q_{cal} )$ , se divide entre  $z$  escalones y se corrige la caída térmica para cada escalón.

Esta distribución aproximada basada en la evaluación de la parte fija, permite el posterior cálculo detallado de los escalones.

La distancia entre escalones en el diagrama anterior se ha tomado igual, pero en la realidad esta difiere y depende de características de construcción y resis

tencia de los escalones.

En el grupo de los primeros escalones no regulables, donde los saltos térmicos no son grandes, los volúmenes de vapor crecen insignificanmente de escalón a escalón, de manera que los diámetros de éstos permanecen casi constantes, igual que las relaciones  $u/C_{fic}$  admitidas para ellos. Las alturas de las paletas varían casi en proporción al volumen específico del vapor.

Si el diámetro del primer escalón es de  $(1) = d_r(1) + l_1$ , el diámetro medio del último escalón será  $d(z) = d_r(z) + l_z$ ; mayor que el primero a expensas del aumento de la altura.

En la práctica se emplean tres leyes de variación de  $d_r$ :

- 1) Constancia del diámetro de raíz ( ————— )
- 2) Disminución del diámetro de raíz por el flujo de vapor ( ----- )
- 3) Aumento del diámetro de raíz por el flujo de vapor ( — — — )

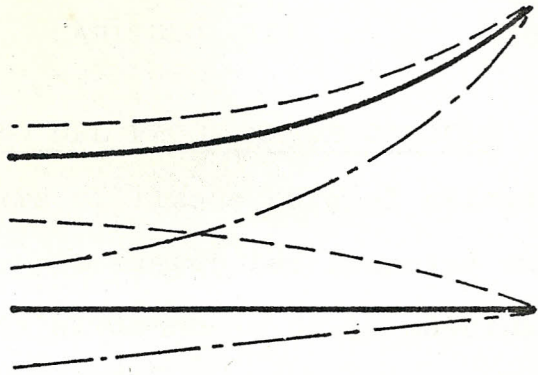


Fig. 2-14 Leyes de variación de los diámetros

## CAPITULO III

### 3.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CALCULO

El programa utilizado para el cálculo está escrito en Basic. Se llevan las fórmulas de transformación de energía al lenguaje de la máquina. Los parámetros de diseño se introducen con el formato adecuado.

El programa de pérdidas pide valores fáciles de medir o proyectar, así mismo se pueden hacer aproximaciones sobre las holguras de los sellos y número de ellos.

Se tiene un archivo de datos desde el cual se toman los parámetros del vapor de cada escalón, pudiendo variarse éste en caso de evaluar otra turbina.

Los programas condensados se encuentran en el Apéndice A.

3.1.1 CALCULO DE LOS ESCALONES REGULABLES

## CALCULO DEL ESCALON DE REGULACION

## INGRESO DE DATOS GENERALES

Diámetro medio ( 0.00): 0.68 mt

Flujo de Vapor (000.00): 36.22 Kg/seg

Altura de Alabes fijos (0.000): 0.024 mt

Altura de Alabes Móviles (0.000): 0.030 mt

« R » REINGRESAR « Enter » CONTINUAR

Velocidad de rotacion, U = 165.88 m/seg

INGRESE RELACION DE VELOCIDADES (u/Cfic) = 0.23

Cfic = U / (u/Cfic) = 721.20 m/seg

H0 = ((Cfic)^2)/2000 = 260.07 KJ/Kg

ELIJA EL NUMERO DE CORONAS DEL ESCALON , N = 2

« R » REINGRESAR « Enter » CONTINUAR

INGRESE COEFICIENTES DE REACCION ( Rn ) :

R 2 0.02

R 3 0.03

R 4 0.05

LOS SALTOS TERMICOS DEL ESCALON SON :

H<sub>0</sub> 1 ( KJ/Kg ) = 234.06  
 H<sub>0</sub> 2 ( KJ/Kg ) = 5.20  
 H<sub>0</sub> 3 ( KJ/Kg ) = 7.80  
 H<sub>0</sub> 4 ( KJ/Kg ) = 13.00

PARAMETROS DEL VAPOR EN EL ESCALON

---

FMTD = 000.00	FMTD = 0000.00
P <sub>0</sub> : 60.80 kg/cm <sup>2</sup>	h <sub>0</sub> : 3379.00 KJ/Kg
P <sub>1</sub> : 28.12 kg/cm <sup>2</sup>	h <sub>1</sub> : 3144.93 KJ/Kg
P <sub>2</sub> : 27.21 kg/cm <sup>2</sup>	h <sub>2</sub> : 3139.73 KJ/Kg
FMTD = 000.000	FMTD = 000.00
V <sub>0</sub> : 0.056 m <sup>3</sup> /Kg	T <sub>0</sub> : 483.00 °C
V <sub>1</sub> : 0.098 m <sup>3</sup> /Kg	T <sub>1</sub> : 370.00 °C
V <sub>2</sub> : 0.100 m <sup>3</sup> /Kg	T <sub>2</sub> : 360.00 °C

«R» REINGRESAR «Esc» RETORNAR «Enter» CONTINUAR

---

PARAMETROS DEL VAPOR EN EL ESCALON

---

FMTD = 000.00	FMTD = 0000.00
P <sub>0</sub> : 27.21 kg/cm <sup>2</sup>	h <sub>0</sub> : 3139.73 KJ/Kg
P <sub>1</sub> : 26.27 kg/cm <sup>2</sup>	h <sub>1</sub> : 3131.93 KJ/Kg
P <sub>2</sub> : 25.80 kg/cm <sup>2</sup>	h <sub>2</sub> : 3118.93 KJ/Kg
FMTD = 000.000	FMTD = 000.00
V <sub>0</sub> : 0.100 m <sup>3</sup> /Kg	T <sub>0</sub> : 360.00 °C
V <sub>1</sub> : 0.102 m <sup>3</sup> /Kg	T <sub>1</sub> : 353.00 °C
V <sub>2</sub> : 0.103 m <sup>3</sup> /Kg	T <sub>2</sub> : 336.00 °C

«R» REINGRESAR «Esc» RETORNAR «Enter» CONTINUAR

---

CALCULO DEL PRIMER ESCALON REGULABLE  
CALCULO DE LA ETAPA FIJA

- a) VELOCIDAD TEORICA ABSOLUTA DE SALIDA  
 $C_{1t} = \sqrt{2000 * H_{of}(1)} = 684.19 \text{ m/seg}$
- b) OBTENCION DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD  
 de la Fig. 2-1, con  $C_{1t}$  y  $H_{A.fijos}$   
 ingrese el coeficiente de velocidad,  $\psi = 0.950$
- c) VELOCIDAD REAL ABSOLUTA DE SALIDA  
 $C_1 = C_{1t} * \psi = 649.98 \text{ m/seg}$   
 Relacion de presion,  $\epsilon_1 = 0.463$   
 $RelPresMax, \epsilon_{max} = 0.546$
- d) AREA DE SALIDA ( $A_1$ ) =  $0.00558 \text{ m}^2$
- e) INGRESE VALOR DE ANGULO DE ESCAPE  
 $\alpha_1 \Rightarrow 11.00$
- f) GRADO DE PARCIALIDAD  
 $e = (G_o * V_1(I)) / (0.97 * \pi * d_m * H_{A.fijos} * C_{1t} * \sin \alpha_1) = 0.42$
- g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA  
 $\alpha_1 = \arcsin(A_1 / (\pi * d_m * e * H_{A.fijos})) = 11.49^\circ$
- h) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA  
 $W_1 = \sqrt{(C_1)^2 + (U)^2 - 2 * C_1 * U * \cos \alpha_1} = 488.55 \text{ m/seg}$
- i) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA  
 $\beta_1 = \arcsin(C_1 * \sin \alpha_1) / W_1 = 15.37^\circ$

## CALCULO DE LA ETAPA ROTATORIA

a) VELOCIDAD RELATIVA TEORICA DE SALIDA

$$W_{2t} = \text{SOR}((2000 * \text{Hor}(2)) + (W_1)^2) = 499.08 \text{ m/seg}$$

$$\text{Relacion de Presion, } \epsilon_2 = 0.968$$

$$\text{RelPresMax, } \epsilon_{\text{max}} = 0.546$$

b) AREA DE SALIDA (A2) = 0.00757 m<sup>2</sup>

c) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA

$$\beta_2 = \arcsin (A_2 / (\pi * d_m * e * \# \text{HA.Movil})) = 12.48^\circ$$

d) CALCULE EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD

de la Fig. 2-2, con  $\Gamma = 180 - (\beta_1 + \beta_2)$ ingrese el coeficiente de velocidad,  $\psi' \Rightarrow 0.765$ de la Fig. 2-3, con  $W_2$ ingrese el factor de correccion,  $FC \Rightarrow 1.000$ 

$$\psi = \psi' * FC$$

EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD CORREGIDO = 0.765

e) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA

$$W_2 = W_{2t} * \psi = 381.80 \text{ m/seg}$$

f) VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA

$$C_2 = \text{SOR}((W_2)^2 + (U)^2 - 2 * W_2 * U * \cos \beta_2) = 222.73 \text{ m/seg}$$

g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA

$$\alpha_2 = \arcsin (W_2 * \sin \beta_2) / C_2 = 21.73^\circ$$

## CALCULO DEL ESCALON DE REGULACION

## INGRESO DE DATOS GENERALES

---

Diámetro medio ( 0.00): 0.88 mt

Flujo de Vapor (000.00): 36.22 Kg/seg

Altura de Alabes fijos (0.000): 0.033 mt

Altura de Alabes Móviles (0.000): 0.037 mt

« R » REINGRESAR

« Enter » CONTINUAR

---

## CALCULO DEL SEGUNDO ESCALON REGULABLE

## CALCULO DE LA ETAPA FIJA

a) VELOCIDAD TEORICA ABSOLUTA DEL VAPOR A LA SALIDA

$$C1t' = \text{SRQ}(2000 * H_{of}(1')) = 255.37 \text{ m/seg}$$

b) OBTENCION DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD

de la Fig. 2-1, con  $C1t'$  y  $HA.fijos'$

ingrese el coeficiente de velocidad,  $\psi = 0.966$

c) VELOCIDAD REAL ABSOLUTA DE SALIDA

$$C1' = C1t' * \psi = 246.69 \text{ m/seg}$$

Relacion de Presion,  $\epsilon1' = 0.965$

RelPresMax,  $\epsilon_{max} = 0.546$

d) AREA DE SALIDA ( $A1'$ ) = 0.01539  $m^2$

e) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA

$$\alpha1' = \arcsin(A1' / (\pi * d_m * e * HA.fijos)) = 23.55^\circ$$

f) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA

$$W1' = \text{SOR}((C1')^2 + (U)^2 - 2 * C1' * U * \cos \alpha1')) = 115.49 \text{ m/seg}$$

g) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA

$$\beta1' = \arcsin(C1' * \sin \alpha1') / W1' = 58.56^\circ$$

#### CALCULO DE LA ETAPA ROTATORIA

a) VELOCIDAD RELATIVA TEORICA DE SALIDA

$$W2t' = \text{SOR}((2000 * \text{Hor}(2')) + (W1')^2) = 198.36 \text{ m/seg}$$

$$\text{Relacion de Presion, } \epsilon2' = 0.982$$

$$\text{RelPresMax, max} = 0.546$$

b) AREA DE SALIDA ( $A2'$ ) = 0.01981 m<sup>2</sup>

c) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA

$$\beta2' = \arcsin(A2' / (\pi * dm * e * HA.Movil')) = 27.30^\circ$$

d) CALCULE EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD

de la Fig. 2-2, con  $\Gamma = 180 - (\beta1' + \beta2')$

ingrese el coeficiente de velocidad,  $\psi' \Rightarrow 0.910$

de la Fig. 2-3, con  $W2'$

ingrese el factor de correccion,  $FC \Rightarrow 1.028$

$$\psi = \psi' * FC$$

$$\text{EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD CORREGIDO} = 0.935$$

e) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA

$$W2' = W2t' * \psi = 185.56 \text{ m/seg}$$

f) VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA

$$C2' = \text{SOR}((W2')^2 + (U)^2 - 2 * W2' * U * \cos \beta2')) = 85.09 \text{ m/seg}$$

g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA

$$\beta2' = \arcsin(W2' * \sin \beta2') / C2' = 89.38^\circ$$

## CALCULO DE PERDIDAS EN EL ESCALON DE REGULACION

## a) PERDIDAS EN LA PRIMERA CORONA FIJA

Ingrese velocidad absoluta teorica,  $C1t = 684.19$  m/seg  
 Ingrese Coeficiente de Velocidad,  $= 0.950$

$$\Delta hf = ((C1t)^2 * (1 - (\psi)^2)) / 2000 = 22.82 \text{ KJ/Kg}$$

## b) PERDIDAS EN LA PRIMERA CORONA ROTATORIA

Ingrese velocidad relativa teorica,  $w2t = 499.08$  m/seg  
 Ingrese Coeficiente de Velocidad,  $= 0.765$

$$\Delta hf = ((w2t)^2 * (1 - (\psi)^2)) / 2000 = 51.66 \text{ KJ/Kg}$$

## c) PERDIDAS EN LA SEGUNDA CORONA FIJA

Ingrese velocidad absoluta teorica,  $C1t' = 255.37$  m/seg  
 Ingrese Coeficiente de Velocidad,  $= 0.966$

$$\Delta hf' = ((C1t')^2 * (1 - (\psi')^2)) / 2000 = 2.18 \text{ KJ/Kg}$$

## d) PERDIDAS EN LA SEGUNDA CORONA ROTATORIA

Ingrese velocidad relativa teorica,  $w2t' = 198.36$  m/seg  
 Ingrese Coeficiente de Velocidad,  $= 0.935$

$$\Delta hf' = ((w2t')^2 * (1 - (\psi')^2)) / 2000 = 2.47 \text{ KJ/Kg}$$

## e) PERDIDA POR VELOCIDAD DE SALIDA

Ingrese velocidad de salida,  $C2' = 85.09$  m/seg

$$\Delta hv.s = (C2')^2 / 2000 = 3.62 \text{ KJ/Kg}$$

## f) PERDIDAS POR FRICCION Y ADMISION PARCIAL

$$W_{fricc-a.p.} = \phi * (((1.07 * (dm)^2 + 0.61(1 - e)) * (dm) * (HA.media)^{1.5})) * ((U/100)^3 * (1/v.e.m))$$

Ingrese coeficiente de vapor,  $\phi = 1.00$

Ingrese diametro medio,  $d_m = 0.880$  m

Ingrese grado de parcialidad,  $e = 0.42$

Ingrese altura promedio,  $H_{A.media} = 0.029$  m

Ingrese velocidad de rotacion,  $U = 165.88$  m/seg

Ingrese volumen especifico medio,  $v.e.m = 0.078$  m<sup>3</sup>/Kg

Ingrese flujo de vapor,  $G_o = 36.22$  Kg/seg

$$\Delta h_{fricc-a.p.} = W_{fricc-a.p.} / G_o = 1.341 \text{ KJ/Kg}$$

g) PERDIDAS POR FUGAS EN SELLOS PERIFERICOS

$$G_{yn.s.e} = (0.99 * \mu_{yne} * SGR(10^4 * P_o / V_o) * SGR(1-(\epsilon)^2 / z.a) * \pi * d_{yne} * \delta_{yne})$$

Ingrese el coeficiente de consumo:  $\mu_{yne} = 0.735$

Ingrese el numero de anillos del sello:  $z.a = 2$

Ingrese el diametro al sello:  $d_{yne} = 0.9980$  m

Ingrese la holgura del sello:  $\delta_{yne} = 0.0006$  m

Ingrese presion inicial,  $P_o = 59.61$  bar

Ingrese volumen especifico inicial,  $V_o = 0.056$  m<sup>3</sup>/Kg

Ingrese la relacion de presiones,  $\epsilon_1 = 0.450$

Ingrese el salto a traves del escalon,  $H = 239.27$  KJ/Kg

Grado de reaccion del escalon,  $R = 0.02$

$$\Delta h_{fug.s.e} = (G_{yn.s.e} / F_{vapor}) * (H_o(I) - H_1(I)) * SGR(R_p / (1 - R_m)) = 2.631 \text{ KJ/Kg}$$

### 3.1.2 CALCULO DE LOS ESCALONES NO REGULABLES

#### ESCALON NO REGULABLE No. 1

##### INGRESO DE PARAMETROS DEL VAPOR EN EL ESCALON

---

FMTD = 000.00	FMTD = 0000.00
Po : 25.80 kg/cm <sup>2</sup>	ho : 3194.00 KJ/Kg
P1 : 21.65 kg/cm <sup>2</sup>	h1 : 3144.14 KJ/Kg
P2 : 21.42 kg/cm <sup>2</sup>	h2 : 3139.81 KJ/Kg
FMTD = 000.000	FMTD = 000.00
Vo : 0.117 m <sup>3</sup> /Kg	To : 353.00 °C
V1 : 0.130 m <sup>3</sup> /Kg	T1 : 358.00 °C
V2 : 0.133 m <sup>3</sup> /Kg	T2 : 356.00 °C

«R»REINGRESAR «Esc»RETORNAR «Enter»CONTINUAR

---

##### INGRESO DE DATOS GENERALES

---

Diámetro medio ( 0.00): 0.843 mt  
 Flujo de Vapor (000.00): 36.22 Kg/seg  
 Altura de Alabes fijos (0.000):0.0175 mt  
 Altura de Alabes Móviles (0.000):0.0180 mt

« R » REINGRESAR « Enter » CONTINUAR

---

Velocidad de rotacion,  $U = 158.90$  m/seg

INGRESE LA RELACION DE VELOCIDADES  $(u/Cfic) = 0.49$

INGRESE EL SALTO TERMICO CORREGIDO  $(Ho) = 54.19$  KJ/Kg

CORONAS DEL ESCALON,  $n = 1$

« R » REINGRESAR

« Enter » CONTINUAR

INGRESE EL COEFICIENTE DE REACCION  $(Rn)$

$R 2 = 0.03$

LOS SALTOS TERMICOS EN EL ESCALON SON :

$Ho 1 ( KJ/Kg ) = 49.85$

$Ho 2 ( KJ/Kg ) = 4.34$

## CALCULO DE LA ETAPA FIJA

a) VELOCIDAD TEORICA ABSOLUTA DE SALIDA

$$C_{1t} = \text{SRQ}(2000 * H_{of}(1)) = 315.77 \text{ m/seg}$$

b) OBTENCION DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD

de la Fig. 2-1, con  $C_{1t}$  y  $H_{A.fijos}$

ingrese el coeficiente de velocidad,  $\psi = 0.955$

c) VELOCIDAD REAL ABSOLUTA DE SALIDA

$$C_1 = C_{1t} * \psi = 301.56 \text{ m/seg}$$

Relacion de Presion,  $\epsilon_1 = 0.839$

RelPresMax,  $\epsilon_{max} = 0.546$

d) AREA DE SALIDA ( $A_1$ ) =  $0.01537 \text{ m}^2$

e) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA

$$\alpha_1 = \arcsin (A_1 / (\pi * d_m * H_{A.fijos})) = 19.38^\circ$$

f) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA

$$W_1 = \text{SRQ}((C_1)^2 + (U)^2 - 2 * C_1 * U * \cos \alpha_1) = 160.55 \text{ m/seg}$$

g) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA

$$\beta_1 = \arcsin (C_1 * \sin \alpha_1 / W_1) = 38.55^\circ$$

## CALCULO DE LA ETAPA ROTATORIA

a) VELOCIDAD RELATIVA TEORICA DE SALIDA

$$W_{2t} = \text{SRQ}((2000 * H_{or 2}) + (W_1)^2) = 185.60 \text{ m/seg}$$

Relacion de Presion,  $\epsilon_2 = 0.989$

RelPresMax,  $\epsilon_{max} = 0.546$

b) AREA DE SALIDA ( $A_2$ ) =  $0.02657 \text{ m}^2$

c) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA  
 $\beta_2 = \arcsin (A_2 / (\pi * d_m * H_{A, \text{Movil}})) = 33.88^\circ$

d) CALCULE EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD  
 de la Fig. 2-2, con  $\Gamma = 180 - (\beta_1 + \beta_2)$   
 ingrese el coeficiente de velocidad,  $\psi' \Rightarrow 0.885$

de la Fig. 2-3, con  $W_2$   
 ingrese el factor de correccion,  $FC \Rightarrow 1.028$   
 $\psi = \psi' * FC$

EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD CORREGIDO =  $0.910$

e) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA  
 $W_2 = W_{2t} * \psi = 168.85 \text{ m/seg}$

f) VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA  
 $C_2 = \text{SOR}((W_2)^2 + (U)^2 - 2 * W_2 * U * \cos \beta_2) = 95.94 \text{ m/seg}$

g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA  
 $\alpha_2 = \arcsin (W_2 * \sin \beta_2) / C_2 = 101.21^\circ$

## CALCULO DE PERDIDAS DEL ESCALON

## a) PERDIDAS EN LA CORONA FIJA

Ingrese velocidad absoluta teorica,  $C1t = 315.77$  m/seg

Ingrese coeficiente de velocidad,  $= 0.955$

$$\Delta h_f = ((C1t)^2 * (1 - (\phi)^2)) / 2000 = 4.39 \text{ KJ/Kg}$$

## b) PERDIDAS EN LA CORONA ROTATORIA

Ingrese velocidad relativa teorica,  $W2t = 185.60$  m/seg

Ingrese coeficiente de velocidad,  $= 0.910$

$$\Delta h_r = ((W2t)^2 * (1 - (\psi)^2)) / 2000 = 2.96 \text{ KJ/Kg}$$

## c) PERDIDA POR VELOCIDAD DE SALIDA

Ingrese velocidad de salida,  $C2 = 95.94$  m/seg

$$\Delta h_{v.s} = (C2)^2 / 2000 = 4.60 \text{ KJ/Kg}$$

## d) PERDIDAS POR FRICCION

$$W_{fricc} = \phi * ((1.07 * (d_m)^2) * ((U/100)^3 * (1/V.e.m)))$$

Ingrese coeficiente de vapor,  $\phi = 1.00$

Ingrese diametro medio,  $d_m = 0.843$  m

Ingrese velocidad de rotacion,  $U = 158.90$  m/seg

Ingrese volumen especifico medio,  $V.e.m = 0.132$  m<sup>3</sup>/Kg

Ingrese flujo de vapor,  $G_o = 36.22$  Kg/seg

$$\Delta h_{fricc} = W_{fricc} / G_o = 0.638 \text{ KJ/Kg}$$

## e) PERDIDAS POR FUGAS EN SELLOS INTERIORES

$$G_{y.n.s.i} = (0.99 * \mu_{yni} * \pi * \text{SOR}(10^{-4} * P_o(I) / 1.02 * V_o(I)) * \text{SOR}(1 - (\epsilon_1)^2 / z.a) * d_{yni} * \delta_{yni})$$

Ingrese el coeficiente de consumo:  $\mu_{ni} = 0.735$

Ingrese el numero de anillos del sello:  $z.a.s = 16$

Ingrese el diametro al sello:  $d_{ni} = 0.4090 \text{ m}$

Ingrese la holgura del sello:  $\delta_{ni} = 0.0006 \text{ m}$

Ingrese presion inicial,  $P_o = 25.29 \text{ bares}$

Ingrese volumen especifico inicial,  $V_o = 0.117 \text{ m}^3/\text{kg}$

Ingrese la relacion de presiones,  $\epsilon_1 = 0.833$

Ingrese el salto termico del escalon,  $H = 54.19 \text{ Kg/seg}$

$$\Delta h \text{ fug.s.i} = (G_{yn.s.i}/G_o) * (H_o(I) + H_1(I)) = 0.170 \text{ kJ/kg}$$

#### f) PERDIDAS POR FUGAS EN SELLOS PERIFERICOS

$$G_{yn.s.e} = (0.99 * \mu_{yne} * \pi * SCR(10^{-4} * P_o(I)) / 1.02 * V_o(I)) * SCR(1 - (\epsilon)^2 / z.a) * d_{yne} * \delta_{yne}$$

Ingrese el coeficiente de consumo:  $\mu_{yne} = 0.735$

Ingrese el numero de anillos del sello:  $z.a.s = 1$

Ingrese el diametro al sello:  $d_{yne} = 0.9670 \text{ m}$

Ingrese la holgura del sello:  $\delta_{yne} = 0.0006 \text{ m}$

Grado de reaccion del escalon,  $R = 0.08$

Ingrese el diametro periferico,  $d_p = 0.9570 \text{ m}$

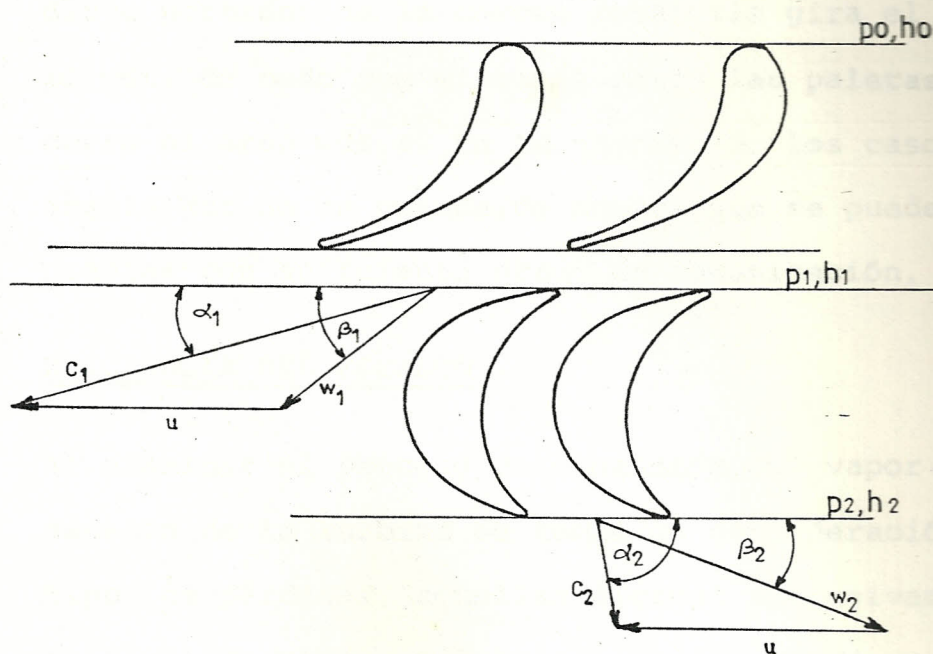
$$\Delta h \text{ fug.s.e} = (G_{yn.s.e}/G_o) * (H_o(I) + H_1(I)) * SCR(R_p/1 - R_n) = 0.090 \text{ kJ/kg}$$

### 3.2 CONSTRUCCION DE LOS TRIANGULOS DE VELOCIDAD

Las paletas receptoras fijadas en el disco forman la corona de paletas rotatorias y giran junto con él a velocidad angular  $\omega$ . Así la velocidad periférica de la corona de paletas rotatorias es:

$$u = \omega d/2.$$

El flujo de vapor procedente de la corona de paletas fijas a velocidad  $\vec{C}_1$  se dirige a la corona de paletas rotatorias, respecto a la cual posee velocidad relativa  $\vec{W}_1$ . Esta última se determina como la diferencia de los vectores  $\vec{C}_1$  y  $\vec{U}$  y forma el ángulo  $\beta_1$  con la dirección de la velocidad periférica.



La dirección de la velocidad relativa  $W_2$  del vapor a la salida del canal entre las paletas se determina por su ángulo  $\beta_2$ .

La velocidad absoluta de la salida del vapor  $C_2$  del canal de las paletas rotatorias se determina como la suma de los vectores  $W_2$  y  $U$ .

En la práctica, en los cálculos de turbinas de vapor, al trazar los triángulos de velocidades, se hace coincidir los vértices de los triángulos de velocidades de entrada y salida.

En el lapso  $dt$ , en que el volumen elemental de vapor entra en el canal de trabajo y lo atraviesa, el disco portador de la corona rotatoria gira el ángulo  $\omega dt$ , de modo que el canal entre las paletas recorre el arco  $\omega dt \cdot r$ . En la mayoría de los casos, el ángulo  $\omega dt$  no es grande, de manera que se puede despreciar con suficiente grado de aproximación.

### 3.3

#### EFICIENCIA DEL ESCALON

Al examinar el proceso de expansión del vapor en el escalón de la turbina se toman en consideración dos tipos de pérdidas, aquellas ligadas exclusivamente al flujo de vapor en las coronas del escalón y aque

llas llamadas pérdidas complementarias.

Las primeras se toman en cuenta con el coeficiente denominado eficiencia relativa del escalón  $\eta_{r.e.}$ . Este es la relación del trabajo del escalón a su energía disponible ( capacidad ):

$$\eta_{r.e} = \frac{W_e}{E_o}$$

La energía cinética con la que el vapor sale del escalón de la turbina,  $C_2$ , puede considerarse como pérdida provocada por el funcionamiento imperfecto del escalón. Así, en las turbinas múltiples, la energía cinética del flujo de vapor que sale de un escalón, generalmente se aprovecha ( total o parcialmente ) en el escalón siguiente. Por lo tanto no hay que incluir en la magnitud de la energía disponible de un escalón la parte de la energía cinética del flujo de vapor que se utiliza en el escalón siguiente. Por esto lo más lógico es representar la energía disponible como:

$$E_o = h_o - \chi_{v.s.} \frac{C_2^2}{2}$$

en la que  $h_o$  es el salto térmico disponible del escalón,  $\chi_{v.s.} \frac{C_2^2}{2}$  es la parte de la energía ci-

nética del flujo de vapor que sale del escalón y se aprovecha en el escalón siguiente.

La magnitud del coeficiente  $\chi_{v.s}$  puede oscilar entre cero y uno. En los casos en que la energía cinética del flujo de vapor de escape no puede aprovecharse,  $\chi_{v.s} = 0$ ; pero si el diseño permite aprovechar totalmente la energía cinética en el escalón siguiente, el coeficiente  $\chi_{v.s} = 1$ .

$\chi_{v.s}$  depende del ángulo de entrada de la corona de álabes fijos:

$$\alpha = 90^\circ \rightarrow \chi_{v.s} = 1$$

$$\alpha \neq 90^\circ \rightarrow \chi_{v.s} \neq 1$$

Entonces la eficiencia relativa del escalón, se escribirá como:

$$\eta_{r.e} = \frac{W_e}{E_o} = \frac{h_o - \Delta h_f - \Delta h_r - \Delta h_{v.s}}{h_o - \chi_{v.s} \frac{C_2^2}{2}}$$

Esta eficiencia puede también calcularse directamente por los triángulos de velocidades. ( Ref. 4 )

$$\eta_{r.e} = \frac{(W_1 \cos \beta_1 + W_2 \cos \beta_2)}{h_o - \chi_{v.s} \frac{C_2^2}{2}}$$

Esta última fórmula patentiza en el caso general que

la eficiencia depende, de un modo bastante completo de las velocidades del flujo de vapor y de sus direcciones.

Las pérdidas complementarias ( rozamiento, admisión, parcial, fugas ) se toman en cuenta con el coeficiente llamado eficiencia relativa interna  $\eta_{r.i.}$

$$\eta_{r.i.} = \frac{h_o - \Delta h_f - \Delta h_r - \Delta h_{v.s} - \Delta h_{roz} - \Delta h_{ap} - \Delta h_{fugas}}{h_o - \frac{\chi_{v.s} (C_2^2)}{2}}$$

Las diferentes pérdidas complementarias en dependencia del tipo de escalón, de las dimensiones de la corona y los parámetros del vapor pueden disminuir sustancialmente la eficiencia del escalón o ser insignificantes.

## CAPITULO IV

### DETERMINACION DEL PERFIL DEL ALABE

Los métodos de obtención del perfil del álabe varían de acuerdo al investigador que los describe, es decir no se puede hablar de un solo método para la obtención de la forma del álabe; aunque es cierto que la diferencia entre ellos es mínima, el propósito de todos es cumplir o dar al perfil los ángulos adecuados para el flujo. Muchos de ellos son el resultado de un desarrollo lógico predeterminado.

#### 4.1 METODO GRAFICO DE OBTENCION DEL PERFIL

A fin de dar al perfil los ángulos adecuados y cumplir con los ángulos determinados (triángulos de velocidad), en estos métodos se utilizan parámetros como velocidades  $W$ ,  $C$  y sus respectivos ángulos  $\beta$ ,  $\alpha$ ; ancho del álabe  $B$  y paso del álabe  $t$ .

##### 4.1.1 OBTENCION DEL PERFIL DE UN ALABE DE ACCION (MOVIL)

El método fue desarrollado por Semenof ( Ref. 5). Para la obtención del perfil de un álabe de acción, se siguen los siguientes pasos:

1. Construir dos líneas paralelas  $X - X'$  y  $Y - Y'$  a una distancia  $B$  entre ellas.
2. Desde cualquier punto  $P$  sobre  $X - X'$  trazar una recta con un ángulo  $90^\circ - \beta_1$  (en sentido c.m.r)

3. Desde Y-Y' medimos la distancia  $r_1 (R = \frac{B}{\cos \beta_1 + \cos \beta_2})$  y encontramos el punto O.
4. Haciendo centro en O, con radio  $r_1$  se traza un arco hasta cortar con Y - Y' en el punto C.
5. Desde A y C se trazan dos segmentos  $\Delta t_1$  y  $\Delta t_2$  que corresponden al espesor de borde de entrada y salida y encontramos A1 y C1.

$$\Delta t_1 = \frac{X_1}{\sin \beta_1} ; \Delta t_2 = \frac{X_2}{\sin \beta_2}$$

donde:

X = espesor de la punta del perfil

si B = 20 - 50 mm  $\rightarrow$  X1 = 0,3 - 0,7 mm

X2 = 0,5 - 1,0 mm

6. Desde A1 y C1 se trazan dos líneas con un ángulo  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , medidos hacia el centro del perfil, obteniéndose en la intersección el punto M
7. Desde M se traza la bisectriz del ángulo  $\widehat{A_1 M C_1}$
8. Desde C medimos sobre el eje Y - Y', el paso t y encontramos el punto E, desde el cual se traza una línea con un ángulo  $(90^\circ - \beta_2)$  hacia la inter

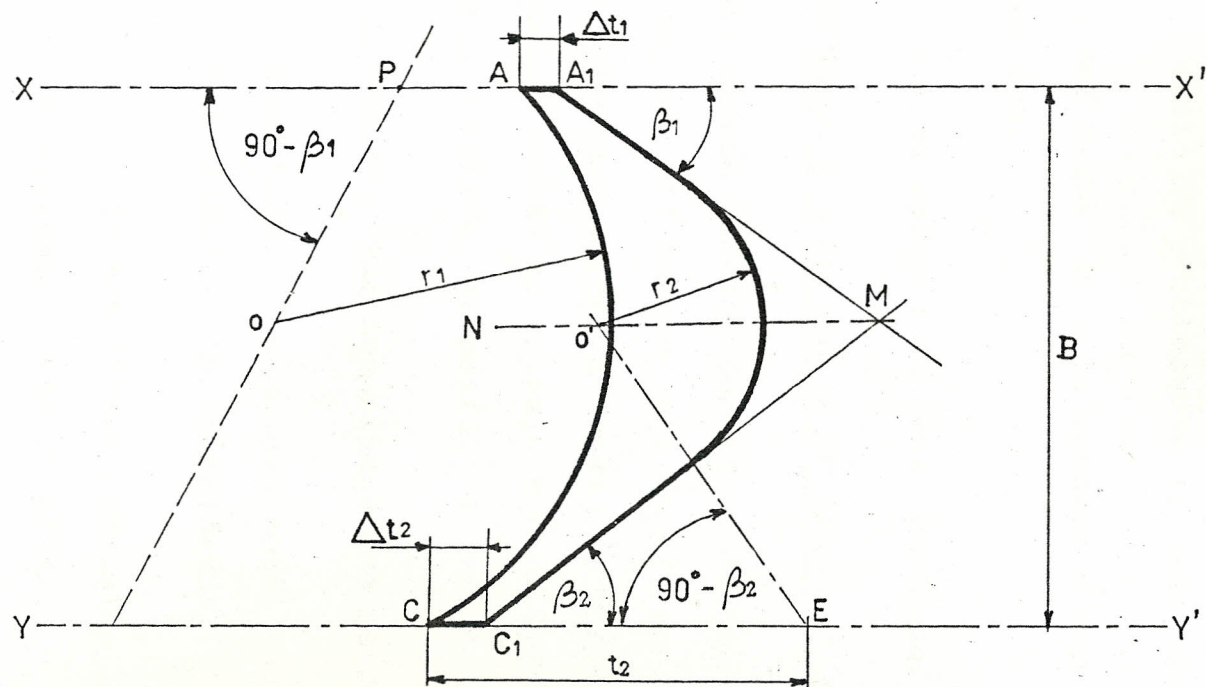


Fig. 4-1 Determinación del perfil de un álabe de acción ( Método gráfico )

sección con la bisectriz MN y encontramos O'

9. Desde O' trazamos un arco de circunferencia con radio  $r_2$  y obtenemos el lado convexo del perfil.

En el caso del álabe fijo se cambian  $\alpha$  por  $\beta$  y las funciones  $\sin$  por  $\cos$ .

En la Fig. 4.1 se aprecia el desarrollo del método.

#### 4.1.2 OBTENCION DEL PERFIL DE UN ALABE DE REACCION (MOVIL)

Este método ha sido desarrollado por Slichkina y Kazandyan. El método está basado en la obtención de la velocidad relativa media  $W_m$  y el ángulo que ésta posee, además se trabaja con el radio de borde de entrada y salida del perfil. ( Ref. 5 )

Este método sigue los siguientes pasos:

1. Encontrar la velocidad media relativa a partir del triángulo de velocidades.
2. Construir dos líneas paralelas X - X' y Y - Y' a una distancia B entre ellas.
3. Desde un punto A en Y - Y' trazar una línea paralela al vector de velocidad media, marcando en la intersección con X - X' y Y - Y' los puntos b y

a, respectivamente.

4. Desde a y b se trazan las líneas  $\overline{ac}$  y  $\overline{bc}$  paralelas respectivamente a los vectores  $W_1$  y  $W_2$  y en la intersección se halla el punto c.
5. Desde c se traza la bisectriz del ángulo acb.
6. Desde a se traza  $R_2 = 0,5 \div 1,0$  mm y desde el centro de esta circunferencia se traza una perpendicular a la línea ac, encontrándose con la bisectriz del ángulo acb en el punto O2.
7. Desde O2 con radio  $r_1$  trazamos un arco que corresponde a la parte cóncava del perfil.
8. Tangente al arco trazado como a X - X', trazamos una circunferencia de radio  $R_1$ , donde  $R_1 \approx 0,05b$  ( Ref. 10 )
9. Desde el centro de  $R_2$  se traza una línea  $\overline{am}$ , tangente al círculo de radio  $R_1$  y se traza otra tangente desde la circunferencia de radio  $R_1$  (  $b'c'$  ) paralela al vector  $W_1$
10. Trazamos una tangente a la circunferencia de radio  $R_2$  con un ángulo de  $2^\circ - 3^\circ$  menor a la línea a-c hasta la intersección con  $\overline{b'c'}$ , marcan

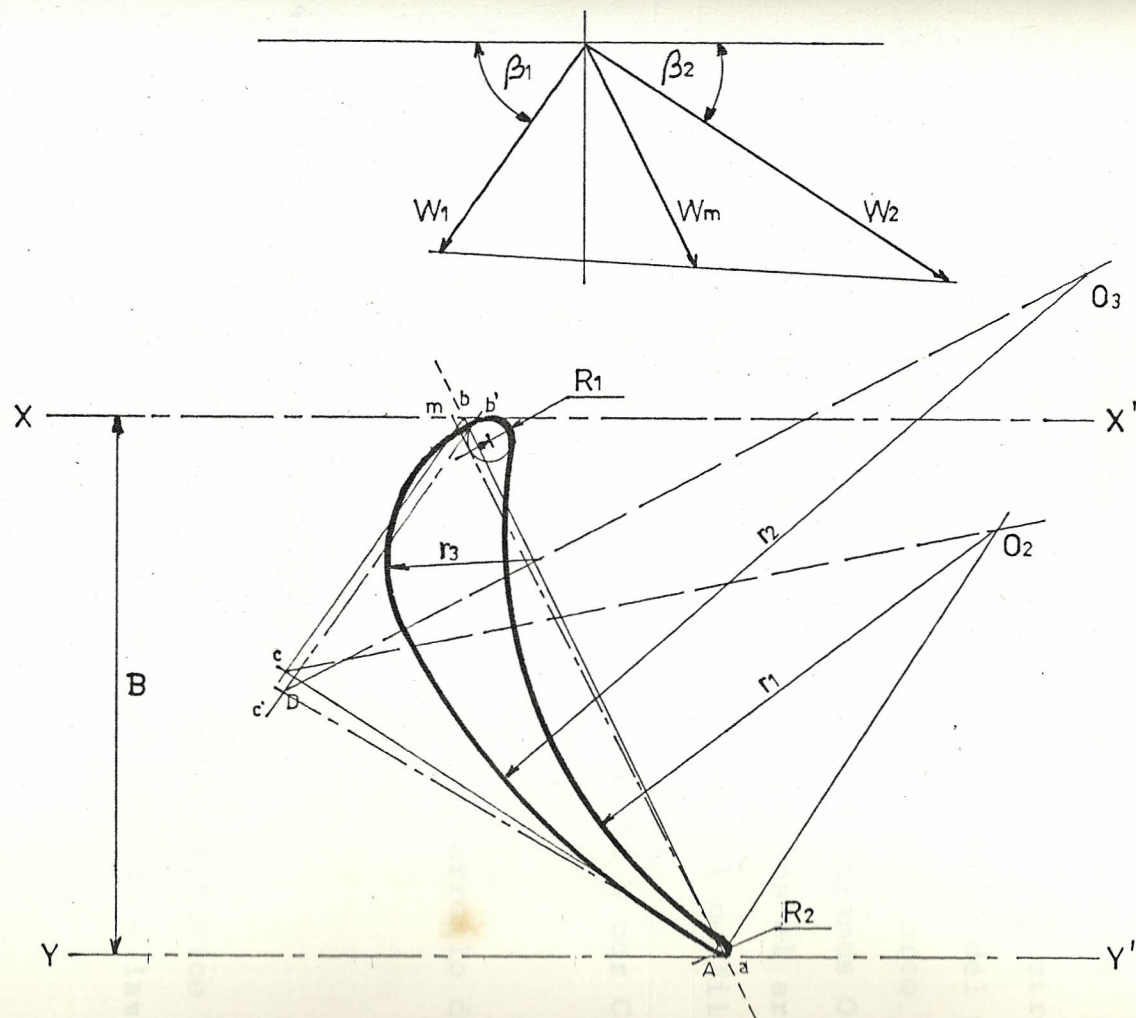


Fig. 4-2 Determinación del perfil de un álabe de reacción ( Método de Slichkina y Kazandyana )

do el punto D.

11. Desde D se traza una perpendicular a  $\overline{am}$  sobre la cual se encuentra el centro de la circunferencia que describe la parte cóncava del perfil: buscamos sobre dicha línea un arco ( de radio  $r_2$  ) tangente a  $\overline{ac'}$  y encontramos O3, luego sobre la misma línea encontramos el arco ( de radio  $r_3$  ) que complementa el perfil.

En el caso del álabe fijo, varía W por C y  $\beta$  por  $\alpha$  .

En la Fig. 4-2 se aprecia el desarrollo de este método.

#### 4.2 DESARROLLO DE LOS PERFILES

Los perfiles que se encuentran en el Apéndice B, están desarrollados en base a los métodos de las secciones anteriores de este capítulo.

No se han hecho las correcciones en los bordes de entrada y salida, justamente porque los ángulos definitivos variarán, en poco grado, de los ya obtenidos, además de esto las condiciones de tecnología ( fabricación ) serán las que permitan la disminu -

ción de estos bordes.

Las dimensiones B y r se encuentran en la tabla de resultados así como los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  y las velocidades respectivas C y W.

Los dibujos se realizaron en escala 1:1 con una doble reducción 50% y 96%.

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y ANALISIS

Los resultados de todo el cálculo, están dados en las tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

Si bien es cierto que éste solo constituye un análisis aproximado, este primer cálculo nos deja bien sentadas las bases para una posterior corrección y definitiva determinación de la forma del álabe.

- Los resultados de eficiencia obtenidos nos muestran claramente que los parámetros seleccionados, a través de tablas y recomendaciones, están muy próximos a los de mayor rendimiento.

El análisis de pérdidas sería el siguiente:

- a) Los efectos de las corrientes transversales debidas a la viscosidad del vapor y los gradientes transversales de vapor debido a la curvatura del canal ocasionan la pérdida de energía en la corona de álabes fijos, esto se observa con mayor intensidad en los escalones de pequeña altura, en los cuales se registra aumento de espesor de la capa límite y cierta configuración típica de esta.
- b) Las pérdidas en la etapa móvil de los escalones se deben al efecto especial que tiene el flujo al es-

tar sometida a un movimiento circular relativo a medida que el vapor se expande y aumenta el diámetro medio.

- c) Las pérdidas por velocidad de salida son inevitables, pero si pueden ser minimizadas. La magnitud que posea esta velocidad nos da la pauta de cuánto ha aprovechado la etapa el cambio de momentum del fluido. Mientras más baja sea ésta, mayor habrá sido la energía cinética transformada en trabajo en el eje. Esta aumenta a medida que  $dm$  se incrementa.

Esta pérdida se incrementa en el último escalón debido al grado de humedad del vapor, pues se experimentan grandes aceleraciones de las partículas del líquido que ocasionan interacción entre las fases.

- d) Las pérdidas por fricción se deben a la rotación y a la consiguiente recirculación que poseen las partículas en la cámara comprendida entre la corona y el disco.

Observando el comportamiento podemos establecer que éstas se incrementan en las zonas en que se requieren pequeñas áreas de flujo, debido a pequeños volúmenes de vapor, esto especialmente se cumple en los primeros escalones de la turbina.

En el escalón regulable esta pérdida aumenta debido a el efecto adicional de la admisión parcial.

e) Las pérdidas por fugas son prácticamente despreciables, a excepción de aquella en el escalón regulable, que se incrementa debido a la turbulencia inicial que forma el vapor al entrar a la turbina. Al igual que las pérdidas por fricción, las pérdidas por los sellos interiores son más notorias en las áreas de pequeños flujos, mientras las fugas por el sello periférico sufren un incremento en correspondencia al aumento del grado de reacción del escalón así como por la distribución que toma el vapor, dentro de la turbina, en las etapas de baja presión.

f) Pero en sí el mayor problema que afronta la turbina una vez instalada es la acción del vapor húmedo, en las últimas etapas, sobre los álabes. La compleja interacción de choque y cavitación de la humedad causan una progresiva erosión.

Como resultado de esta erosión se produce desgaste del metal y el mismo se presenta áspero, con salientes y cavernas.

ANGULOS Y VELOCIDADES RESULTANTES  
EN LOS ESCALONES

N° escalón		$\alpha_{1,2}$ [°]	$\beta_{1,2}$ [°]	$C_{1,2}$ [m/seg]	$W_{1,2}$ [m/seg]
1	fijo	11.49	15.37	649.98	488.55
	móvil	21.73	12.48	222.73	381.80
1'	fijo	23.55	58.56	246.69	115.49
	móvil	89.38	27.30	85.09	185.56
2	fijo	19.38	38.55	301.56	160.55
	móvil	101.21	33.88	95.94	168.85
3	fijo	21.94	42.98	303.26	166.23
	móvil	98.05	34.62	101.33	176.65
4	fijo	20.23	40.08	303.90	163.24
	móvil	98.60	33.87	98.67	175.10
5	fijo	19.73	39.28	305.28	162.77
	móvil	96.49	31.43	92.72	176.72
6	fijo	19.03	38.90	299.34	155.35
	móvil	99.67	31.30	90.61	171.93
7	fijo	17.95	37.13	300.97	153.67
	móvil	97.62	27.74	81.19	172.89
8	fijo	17.32	36.54	299.62	149.81
	móvil	94.64	26.99	81.28	178.51

TABLA V.1 ANGULOS Y VELOCIDADES DE FLUJO RESULTANTES

ANGULOS Y VELOCIDADES RESULTANTES EN LOS ESCALONES					
N° escalón		$\alpha_{1,2}$ [°]	$\beta_{1,2}$ [°]	$C_{1,2}$ [m/seg]	$W_{1,2}$ [m/seg]
9	fijo	17.79	37.79	299.88	149.51
	móvil	92.94	27.86	86.23	184.28
10	fijo	19.28	42.18	290.12	142.65
	móvil	92.08	28.89	90.98	188.19
11	fijo	18.92	40.53	379.48	189.32
	móvil	99.37	29.63	113.35	226.21
12	fijo	18.12	39.78	381.41	185.41
	móvil	98.43	29.28	115.13	232.86
13	fijo	18.93	44.66	369.82	170.66
	móvil	90.54	28.64	125.55	261.93
14	fijo	20.32	50.33	366.70	165.44
	móvil	98.08	28.33	140.50	293.13
15	fijo	21.98	62.25	339.60	143.62
	móvil	102.20	29.79	165.82	326.22
16	fijo	23.79	73.14	344.75	145.31
	móvil	92.91	35.94	206.03	350.57

TABLA V.1 ANGULOS Y VELOCIDADES DE FLUJO RESULTANTES

PERDIDAS DE ENERGIA [KJ/Kg]						
Nº escalón	$\Delta h_f$	$\Delta h_r$	$\Delta h_{v.s.}$	$\Delta h_{fricc}$	$\Delta h_{fug.s.i.}$	$\Delta h_{fug.s.e.}$
1	2282	51.66				
1'	2.18	2.47	3.62	1.34		2.63
2	4.39	2.96	4.60	0.64	0.17	0.21
3	4.33	2.59	5.13	0.56	0.17	0.21
4	3.93	2.94	4.87	0.49	0.16	0.21
5	3.65	3.20	4.30	0.43	0.13	0.18
6	3.41	3.25	4.11	0.37	0.11	0.17
7	3.34	3.50	3.30	0.33	0.11	0.17
8	3.12	3.74	3.30	0.30	0.09	0.15
9	2.92	3.98	3.72	0.25	0.08	0.14
10	2.64	3.67	4.14	0.21	0.06	0.12
11	5.00	5.92	6.42	0.52	0.11	0.22
12	4.89	7.12	6.63	0.43	0.08	0.18
13	4.29	5.79	7.88	0.30	0.05	0.14
14	4.22	5.92	9.87	0.23	0.03	0.10
15	3.50	7.15	13.75	0.18	0.02	0.09
16	3.34	7.06	21.22	0.14	0.01	

TABLA V.2 PERDIDAS DE ENERGIA EN LOS ESCALONES

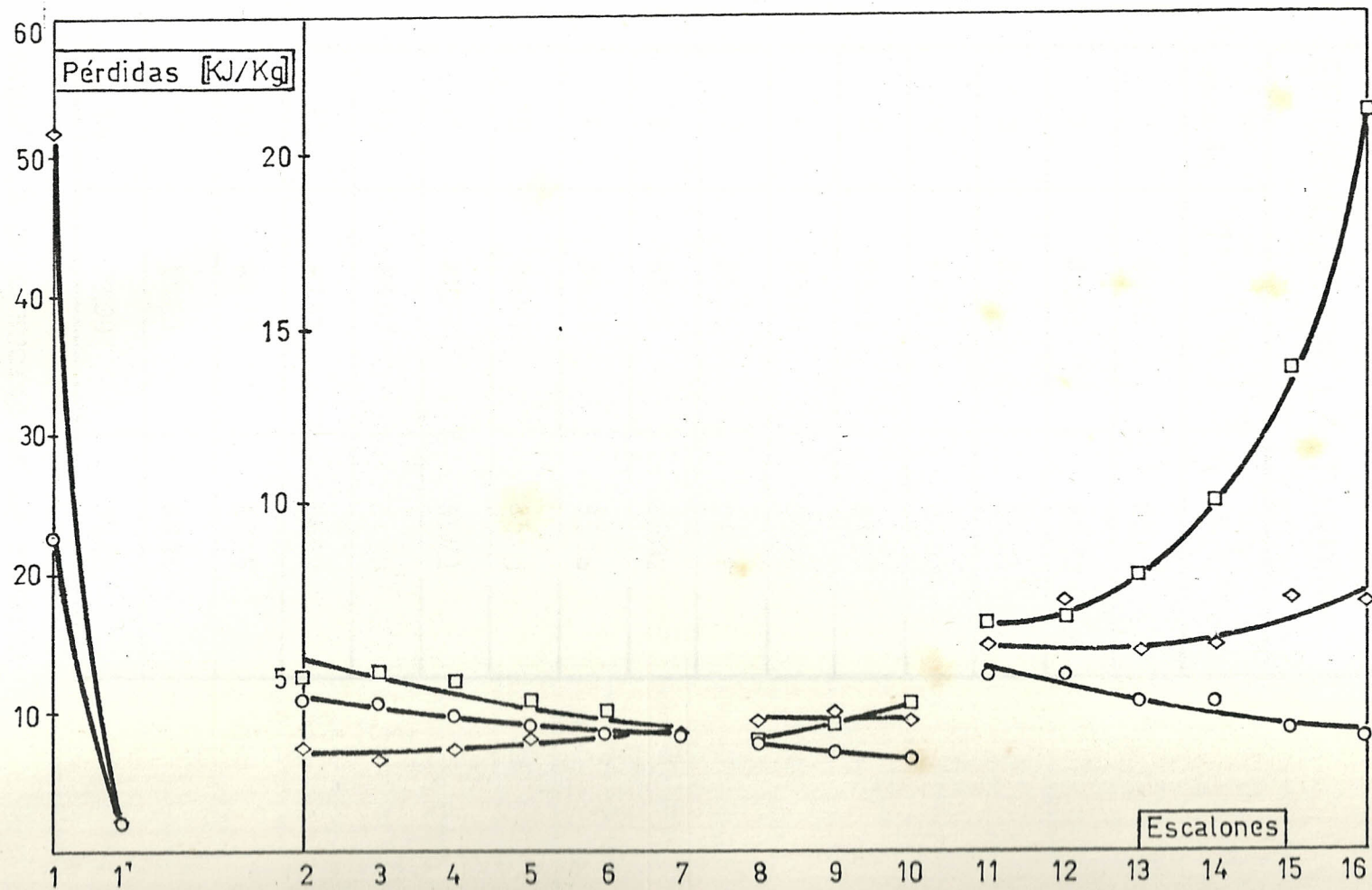


Fig. 5-1 Pérdidas de energía debidas al vapor a través de la turbina

EFICIENCIAS DE LA TURBINA		
Nº escalón	$\eta_{r.e.} [\%]$	$\eta_{a.e.} [\%]$
1	68.95	67.45
2	83.63	81.67
3	84.34	82.48
4	84.71	83.06
5	85.28	83.87
6	85.30	84.02
7	85.75	84.59
8	86.03	85.02
9	86.03	85.18
10	86.43	85.68
11	85.72	84.73
12	85.07	84.30
13	87.32	86.78
14	87.73	87.36
15	86.63	86.34
16	73.80	73.68

TABLA V.3 EFICIENCIAS DE LA TURBINA

RADIOS DE CURVATURA Y ANCHO DE LOS PERFILES				
N° escalón		B <sub>12</sub> mm	r <sub>1,3</sub> mm	r <sub>2,4</sub> mm
1	fijo	51.0	11.9	14.7
	móvil	31.0	15.9	10.4
1'	fijo	36.0	19.6	10.5
	móvil	50.0	35.7	12.4
2	fijo	44.0	45.4	13.0
	móvil	20.0	12.4	3.5
3	fijo	51.0	70.5	16.5
	móvil	21.0	13.5	3.9
4	fijo	50.0	62.9	13.0
	móvil	21.0	13.2	3.9
5	fijo	48.0	61.2	12.0
	móvil	21.0	13.0	4.0
6	fijo	50.0	60.8	19.5
	móvil	21.0	12.9	3.9
7	fijo	44.0	54.9	16.0
	móvil	21.0	12.5	3.8
8	fijo	44.0	53.5	17.7
	móvil	21.0	12.4	4.4

TABLA V.4 PARAMETROS GEOMETRICOS DE LOS PERFILES RESULTANTES

RADIOS DE CURVATURA Y ANCHO DE LOS PERFILES				
N° escalón		B <sub>1,2</sub> mm	r <sub>1,3</sub> mm	r <sub>2,4</sub> mm
9	fijo	42.0	48.2	16.0
	móvil	24.0	14.3	4.5
10	fijo	42.0	47.0	14.4
	móvil	30.0	18.6	5.5
11	fijo	46.0	50.5	19.3
	móvil	24.0	14.7	6.8
12	fijo	42.0	58.4	14.5
	móvil	33.0	20.1	6.7
13	fijo	50.0	62.5	20.0
	móvil	37.0	23.3	10.8
14	fijo	53.0	57.1	22.8
	móvil	47.0	31.0	11.6
15	fijo	76.0	96.5	20.5
	móvil	44.0	33.0	8.0
16	fijo	11.0	156.3	33.9
	móvil	49.0	66.3	146.5

TABLA V.4 PARAMETROS GEOMETRICOS DE LOS PERFILES RESULTANTES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los parámetros de diseño han sido claramente expuestos y se han tomado cumpliendo las recomendaciones dadas por expertos y fabricantes de turbinas; el proceso de cálculo así se muestra de manera precisa.

Los resultados obtenidos en la primera aproximación son satisfactorios pues las eficiencias alcanzadas son elevadas y cercanas al valor esperado.

El programa computacional es de mucha ayuda y por su forma está dirigido a realizar un primer cálculo aproximado.

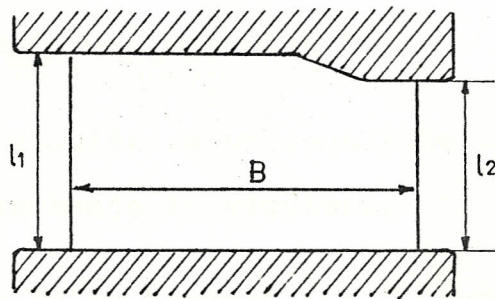
El proceso de cálculo, en las siguientes aproximaciones debe estar dirigido a alcanzar o mantener altas eficiencias aún cuando existan variaciones de carga.

Las siguientes consideraciones deben tomarse en cuenta para el cálculo definitivo a fin de obtener eficiencias mayores:

- a) En la siguiente aproximación, en base a los parámetros ya obtenidos, buscar una nueva relación de velocidades (  $u/C_{fic}$  ) a partir de la expresión:

$$( u/C_{fic} ) \approx \frac{\varphi \cos \alpha 1}{2 \sqrt{1-R}}$$

- b) En los escalones de alta presión se recomienda elevar la convergencia del flujo a la salida de la tobera a fin de reducir el espesor de la capa límite. Esto podría ser logrado utilizando una tobera de área ancha en la garganta que luego se estreche en la salida:



- c) En las etapas rotatorias la expresión  $\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$  es una medida de la diferencia de presiones entre los lados cóncavos y convexos del perfil, mientras más pequeña sea esta diferencia menor será  $\Delta h_r$ , por lo que  $\beta_1$  y  $\beta_2$  deben, mientras el cálculo lo permita, ser lo mayor posible
- d) Incluir en la siguiente aproximación, para la obtención de la eficiencia, la parte de la energía cinética que puede aprovecharse en el escalón siguiente mediante la fórmula aproximada  $\chi_{v.s} = \sin^2 \alpha_2$ ; donde  $\alpha_2$  es el ángulo de salida del escalón.
- e) Disminuir, mientras las condiciones de tecnología y resistencia lo permitan, los espesores de bordes de entrada y salida lo máximo posible a fin de disminuir remoli-

nos y turbulencias detrás de los escalones.

f) Considerar en la siguiente aproximación el método de los perfiles normalizados, a fin de obtener un nuevo punto de vista del diseño, pues a partir del conocimiento de los ángulos de flujo, se facilita la selección de los álabes según el método del Apéndice C.

g) Prevenir la erosión es un requisito imprescindible para lo cual se aconseja lo siguiente:

- 1) Reducción de la humedad por los métodos conocidos: Aumentar la temperatura inicial y disminuir dicha presión, aplicación del recalentamiento intermedio.
- 2) Aumentar la holgura axial sobre los escalones fijos y móviles a fin de fraccionar las gotas de humedad y disminuir su acción de choque.
- 3) Utilización de álabes rotatorios con ranuras radiales a fin de formar una almohada de agua que reciba el impacto de las gotas.
- 4) Revestir con sobrejuntas de estelita las partes expuestas a la erosión.
- 5) Utilización de álabes fijos huecos con rendijas dispuestas en diferentes lugares del perfil, a fin de que

la humedad penetre al interior antes de pasar a la co  
rona rotaroria.

A P E N D I C E S

---

A P E N D I C E A

---

REM  
REM  
REM  
REM  
REM  
REM  
REM

```
PROGRAMA : CALCULO DE LA TURBINA
OBJETIVO : CALCULO DEL ESCALON DE REGULACION
AUTOR   : JOSE LUIS MONTEVERDE ENRIQUEZ
FECHA   : JULIO ,1998
```

LPRINT CHR\$( 27)CHR\$( 33)CHR\$( 1)

CONST FactConverArea = 205.00  
CONST FactConver = 2000.00  
CONST Pi = 3.1416  
CONST Frec = 60.00  
CONST RelPresMax = 0.546  
CONST RelPresMed = 0.72  
CONST RelPresMin = 0.72

D.medio\$ = " "  
F.vapor\$ = " "  
HA.fijos\$ = " "  
HA.movil\$ = " "  
Rv\$ = " "  
Cor\$ = " "  
Covefij\$ = " "  
Covemov\$ = " "  
rn\$(1) = " "  
rn\$(2) = " "  
rn\$(3) = " "  
rn\$(4) = " "  
rn\$(5) = " "  
rn\$(6) = " "  
alfa.i\$ = " "

PRG000: VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS  
PRG010: GOSUB D1000

PRG020: U# = PI \* CVS(D.medio\$) \* FREC

VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS  
COLOR 7, 0: LOCATE 5,12:  
PRINT " Velocidad de rotacion, U = m/seg "  
LOCATE 5,40: PRINT USING "###.##"; U#  
LOCATE 7,11:  
PRINT "INGRESE RELACION DE VELOCIDADES (u/Cfic) ="

1600: YPOS = 7: XPOS = 60: FHTO\$ = "##"  
LECT\$ = Rv\$: GOSUB NUMERO: Rv\$ = LECT\$

COLOR 7, 0:  
Cfic# = U# / CVS(Rv\$)  
LOCATE 9,14: PRINT " Cfic = U / (u/Cfic) = m/seg "  
LOCATE 9,37: PRINT USING "###.##"; Cfic#

4000: VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0:  
H0# = ((Cfic#)^2) / 2000  
COLOR 7, 0: LOCATE 11,14:  
PRINT " H0 = ((Cfic#)^2) / 2000 = KJ/Kg "  
LOCATE 11,37:  
PRINT USING "###.##"; H0#  
COLOR 7, 0: LOCATE 13,12:  
PRINT "ELIJA EL NUMERO DE CORONAS DEL ESCALON , N ="

4100: YPOS = 13: XPOS = 59: FHTO\$ = " "  
LECT\$ = Cor\$: GOSUB NUMERO: Cor\$ = LECT\$

LOCATE 17,15  
PRINT " « R » REINGRESAR « Enter » CONTINUAR "

KEY3: A\$ = INPUT\$( 1)  
IF A\$ = "R" or A\$ = "r" GOTO 1600  
IF A\$ = CHR\$( 27) GOTO PRG010  
IF A\$ <> CHR\$( 13) GOTO KEY3

DIM V0(CVI(COR#)),H0(CVI(COR#)),T0(CVI(COR#)),P0(CVI(COR#))  
DIM V1(CVI(COR#)),H1(CVI(COR#)),T1(CVI(COR#)),P1(CVI(COR#))  
DIM V2(CVI(COR#)),H2(CVI(COR#)),T2(CVI(COR#)),P2(CVI(COR#))

4300: VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS  
COLOR 7, 0: LOCATE 10,12:  
PRINT " INGRESE COEFICIENTES DE REACCION ( Rn ) : "  
SUMR = 0  
FOR I = 2 TO 2\*(CVI(COR#))  
LOCATE 10 + I,25: PRINT " R ";I:"=" "  
YPOS = 10 + I: XPOS = 36: FHTO\$ = " ##"  
LECT\$ = Rn\$(I): GOSUB NUMERO: Rn\$(I) = LECT\$  
SUMR = SUMR + CVS(Rn\$(I))  
NEXT I  
Rn\$(1) = HKS\$(1 - SUMR)

```

A# = INPUT$(1)

COLOR 15, 0: CLS
FOR I = 1 TO 2*(CVI(Cor#))
Hof(I) = HO# * CVS(RN#(I))
LOCATE 3, 15: PRINT " LOS SALTOS TERMICOS DEL ESCALON SON : "
LOCATE 5 + I, 20: PRINT "Ho "; I; " ( KJ/Kg ) ="; USING "###.##"; Hof(I)
NEXT I

KEY4: A# = INPUT$(1)
IF A# = "R" or A# = "r" GOTO 4300
IF A# = CHR$(27) GOTO 4000
IF A# <> CHR$(13) GOTO KEY4

I = 1

GOSUB D2000

I = 1

COLOR 15, 0: CLS
LOCATE 2, 15: PRINT "CALCULO DEL PRIMER ESCALON REGULABLE"
LOCATE 3, 20: PRINT " CALCULO DE LA ETAPA FIJA "
LOCATE 6, 5: PRINT " a) VELOCIDAD TEORICA ABSOLUTA DE SALIDA "
C1# = SQR(2000 * Hof(1))
LOCATE 7, 8: PRINT " C1 = SQR(2000 * Hof(1)) =      m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 7, 36: PRINT USING "###.##"; C1#

COLOR 15, 0
LOCATE 10, 5: PRINT " b) OBTENCION DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD "
LOCATE 11, 8: PRINT " de la Fig. 2-1, con C1 y HA.fijos "
LOCATE 12, 8: PRINT " ingrese el coeficiente de velocidad, =

YPOS = 12: XPOS = 55: FMT0# = "###.##"
LECT# = Covefij#: GOSUB NUMERO: Covefij# = LECT#

COLOR 15, 0
LOCATE 15, 5: PRINT " c) VELOCIDAD REAL ABSOLUTA DE SALIDA "
C1# = C1# * CVS(Covefij#)
LOCATE 16, 8: PRINT " C1 = C1# =      m/seg"
COLOR 0, 7
LOCATE 16, 25: PRINT USING "###.##"; C1#

RelPresi# = P1(I)/Po(I)

COLOR 15, 0:
LOCATE 18, 10: PRINT " Relacion de presion, e1 = "
LOCATE 19, 10: PRINT " RelPresMax, #max = "
COLOR 0, 7
LOCATE 18, 39: PRINT USING "###.##"; RelPresi#
LOCATE 19, 31: PRINT USING "###.##"; RelPresMax

IF RelPresi# <= RelPresMax THEN A1# = (CVS(F.vapor#)/(1.205# * 0.97# * SQR(Po(I)/(1.02# * Vo(I))))))
IF RelPresi# > RelPresMax THEN A1# = CVS(F.vapor#) * Vi(I) / (0.97# * C1#)

COLOR 15, 0:
LOCATE 21, 5: PRINT " d) AREA DE SALIDA (A1) =      m^2 "
COLOR 0, 7
LOCATE 21, 31: PRINT USING "#####"; A1#

COLOR 15, 0:
LOCATE 24, 5: PRINT " e) INGRESE VALOR DE ANGULO DE ESCAPE "
LOCATE 25, 10: PRINT " a1 => "
YPOS = 24: XPOS = 29: FMT0# = "###.##"
LECT# = Alfa.i#: GOSUB NUMERO: Alfa.i# = LECT#
A# = INPUT$(1)

COLOR 15, 0: CLS
LOCATE 1, 5: PRINT " f) GRADO DE PARCIALIDAD "
e# = (CVS(F.vapor#) * Vi(I)) / (0.97 * Pi * CVS(D.medio#) * CVS(HA.fijos#) * C1# * sin(2 * Pi * CVS(Alfa.i#)))
LOCATE 2, 8: PRINT " e = ( Go * Vi(I)) / (0.97 * x * dm "
LOCATE 3, 15: PRINT " * HA.fijos * C1 * sin a1) = "
COLOR 0, 7
LOCATE 3, 47: PRINT USING "###.##"; e#

COLOR 15, 0:
LOCATE 6, 5: PRINT " g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
o# = (A1# / (Pi * CVS(D.medio#) * e# * CVS(HA.fijos#)))
ALFA.1# = (ATN(o# / SQR(1 - (o#)^2)))
LOCATE 7, 8: PRINT " a1 = arcsin(A1/(x * dm * e * HA.fijos)) = "
COLOR 0, 7
LOCATE 7, 52: PRINT USING "###.##"; ALFA.1# * 57.32#

COLOR 15, 0:
LOCATE 10, 5: PRINT " h) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA "
W1# = SQR((C1#)^2 + (U#)^2 - (2 * C1# * U# * COS(ALFA.1#)))
LOCATE 11, 8: PRINT " W1 = SQR((C1)^2 + (U)^2 - 2 * C1 "
LOCATE 12, 15: PRINT " * U * cos a1) =      m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 12, 31: PRINT USING "#####"; W1#

```

```

COLOR 15, 0 :
LOCATE 15, 5: PRINT " i) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA "
  p# = (C1# * sin (ALFA.1#)) / W1#
  BETA.1# = (ATN ( p# / SQR(1 - (p#)^2)))
LOCATE 16, 8: PRINT " ̢1 = arcsin (C1 * sin ̡1) / W1 = "
COLOR 0, 7
LOCATE 16, 43: PRINT USING "###.##"; BETA.1# * 57.32#
a# = input$(1)

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 20: PRINT " CALCULO DE LA ETAPA ROTATORIA "
COLOR 15, 0 :
LOCATE 5, 5: PRINT " a) VELOCIDAD RELATIVA TEORICA DE SALIDA "
  W2t# = SQR((2000# * Hof(2)) + (W1#)^2)
LOCATE 6, 8: PRINT " W2t = SQR((2000# * Hor(2)) + (W1)^2) = " m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 6, 48: PRINT USING "###.##"; W2t#

RelPres2# = P2(I)/P1(I)

LOCATE 9, 10: PRINT " Relacion de Presion, ̵2 = "
LOCATE 10, 10: PRINT " RelPresMax, ̵max = "
COLOR 15, 0 :
LOCATE 9, 39: PRINT USING "###.##"; RelPres2#
LOCATE 10, 31: PRINT USING "###.##"; RelPresMax
a# = input$(1)

IF RelPres2# <= RelPresMax THEN A2# = (CVS(F.vapor#)/((205# * 0.94#) * SQR(Po(I)/(1.02# * Vo(I))))
IF RelPres2# > RelPresMax THEN A2# = (CVS(F.vapor#) * V1(I) / (0.94# * W2t#))

LOCATE 12, 5: PRINT " b) AREA DE SALIDA (A2) = " m^2 "
COLOR 0, 7
LOCATE 12, 31: PRINT USING "###.###"; A2#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 15, 5: PRINT " c) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA "
  q# = (A2# / (Pi * CVS(D.medio#) * e# * CVS(HA.Movil#)))
  BETA.2# = (ATN (q# / SQR(1 - (q#)^2)))
LOCATE 16, 8: PRINT " ̢2 = arcsin (A2/( ̰ * ̵ * HA.Movil)) = "
LOCATE 16, 53: PRINT USING "###.##"; BETA.2# * 57.32#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 19, 5: PRINT " d) CALCULE EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD "
LOCATE 20, 10: PRINT " de la Fig. 2-2, con ̢ = 180-(̢1 + ̢2) "
LOCATE 21, 10: PRINT " ingrese el coeficiente de velocidad, ==>

YPOS = 21: XPOS = 60: FMT0# = "###.##"
LECT# = Covemov#: GOSUB NUMERO: Covemov# = LECT#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 23, 12: PRINT " de la Fig. 2-3, con W2 "
LOCATE 24, 12: PRINT " ingrese el factor de correccion, FC ==>

COR# = "
YPOS = 24: XPOS = 60: FMT0# = "###.##"
LECT# = Cor#: GOSUB NUMERO: Cor# = LECT#
CVR# = CVS(Covemov#) * CVS(Cor#)

A# = INPUT$(1)

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 1, 8: PRINT " = * FC "
LOCATE 2, 8: PRINT " EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD CORREGIDO = "
COLOR 0, 7
LOCATE 2, 49: PRINT USING "###.##"; CVR#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 5, 5: PRINT " e) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA "
  W2# = W2t# * CVR#
LOCATE 6, 8: PRINT " W2 = W2t * = " m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 6, 25: PRINT USING "###.##"; W2#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 9, 5: PRINT " f) VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
  C2# = SQR((W2#)^2 + (U#)^2 - (2 * W2# * U# * cos (BETA.2#)))
LOCATE 10, 8: PRINT " C2 = SQR((W2)^2 + (U)^2 - 2 * W2 "
LOCATE 11, 10: PRINT " * U * cos ̢2 ) = " m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 11, 29: PRINT USING "###.##"; C2#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 14, 5: PRINT " g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
  r# = (( W2# * sin (BETA.2#)) / C2#)
  ALFA.2# = (ATN (r# / SQR(1 - (r#)^2)))
LOCATE 15, 8: PRINT " ̡2 = arcsin (W2 * sin ̢2) / C2 = "
COLOR 0, 7
LOCATE 15, 44: PRINT USING "###.##"; ALFA.2# * 57.32#
A# = INPUT$(1)

PRG030: VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS
PRG040: GOSUB D1000

```

I = I + 1

```
COLOR 15, 0: CLS
LOCATE 2,15: PRINT "CALCULO DEL SEGUNDO ESCALON REGULABLE"
LOCATE 3,20: PRINT "CALCULO DE LA ETAPA FIJA"
LOCATE 6, 5: PRINT " a) VELOCIDAD TEORICA ABSOLUTA DEL VAPOR A LA SALIDA "
C1.1# = SQR((2000 # Hof(3)) + (C2#)^2)
LOCATE 7, 8: PRINT " C1' = SRG(2000 # Hof(1)) =          m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 7,38: PRINT USING "#,###.##"; C1.1#
```

```
COLOR 15, 0
LOCATE 10,5: PRINT " b) OBTENCION DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD "
LOCATE 11,8: PRINT " de la Fig. 2-1, con C1' y HA.fijos "
LOCATE 12,8: PRINT " ingrese el coeficiente de velocidad, =
```

```
YPOS = 12: XPOS = 57: FMT0# = "#.###"
LECT# = Covfij#: GOSUB NUMERO: Covfij# = LECT#
```

```
COLOR 15, 0
LOCATE 15, 5: PRINT " c) VELOCIDAD REAL ABSOLUTA DE SALIDA "
C1.1# = C1.1# # CVS(Covfij#)
LOCATE 16, 9: PRINT " C1' = C1' #          m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 16,29: PRINT USING "###.##"; C1.1#
```

RelPres3# = P1(I)/Po(I)

```
COLOR 15, 0 :
LOCATE 19,10: PRINT " Relacion de Presion, e1' =
LOCATE 20,10: PRINT " RelPresMax, e_max =
COLOR 0, 7
LOCATE 19,39: PRINT USING "#.### "; RelPres3#
LOCATE 20,31: PRINT USING "#.### "; RelPresMax
```

```
IF RelPres3# <= RelPresMax THEN A1.1# = (CVS(F.vapor#)/((205# # 0.94#) # SQR(Po(I)/(1.02# # Vo(I))))
IF RelPres3# > RelPresMax THEN A1.1# = CVS(F.vapor#) # V1(I) / (0.94# # C1.1#)
```

```
COLOR 15, 0 :
LOCATE 22, 5: PRINT " d) AREA DE SALIDA (A1') =          m^2 "
COLOR 0, 7
LOCATE 22,32: PRINT USING "#.#####"; A1.1#
```

```
COLOR 15, 0 :
LOCATE 24, 5: PRINT " e) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
e# = (A1.1# / (Pi # CVS(D.medio#) # e# # CVS(HA.fijos#)))
ALFA.1.1# = (ATN (e# / SQR(1 - (e#)^2)))
LOCATE 25,10: PRINT " al' = arcsin(A1'/(e# # dm # e # HA.fijos)) =
COLOR 0, 7
LOCATE 24,55: PRINT USING "##.##"; ALFA.1.1# # 57.32#
a# = input$(1)
```

```
COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 5: PRINT " f) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA "
W1.1# = SQR ((C1.1#)^2 + (U#)^2 - 2 # C1.1# # U# # cos (ALFA.1.1#))
LOCATE 3, 9: PRINT " W1' = SQR((C1')^2 + (U)^2 - 2 # C1'
LOCATE 4,15: PRINT " # U # cos al')) =          m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 4,33: PRINT USING "####.##"; W1.1#
```

```
COLOR 15, 0 :
LOCATE 7, 5: PRINT " g) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA "
t# = ((C1.1# # sin (ALFA.1.1#)) / W1.1#)
BETA.1.1# = (ATN (t# / SQR(1 - (t#)^2)))
LOCATE 8, 8: PRINT " B1' = arcsin(C1' # sin al') / W1' =
COLOR 0, 7
LOCATE 8,46: PRINT USING "##.##"; BETA.1.1# # 57.32#
```

```
LOCATE 12,25: PRINT " CALCULO DE LA ETAPA ROTATORIA "
COLOR 15, 0 :
LOCATE 15, 5: PRINT " a) VELOCIDAD RELATIVA TEORICA DE SALIDA "
W2t.1# = SQR (( 2000 # Hof(4)) + (W1.1#)^2)
LOCATE 16, 8: PRINT " W2t' = SQR((2000#Hof(2'))+(W1')^2) =          m/seg "
LOCATE 16,46: PRINT USING "####.##"; W2t.1#
COLOR 15, 0 :
```

RelPres4# = P2(I)/P1(I)

```
COLOR 15, 0 :
LOCATE 19,10: PRINT " Relacion de Presion, e2' =
LOCATE 20,10: PRINT " RelPresMax, max =
COLOR 0, 7
LOCATE 19,39: PRINT USING "#.### "; RelPres4#
LOCATE 20,31: PRINT USING "#.### "; RelPresMax
```

```
IF RelPres4# <= RelPresMax THEN A2.1# = (CVS(F.vapor#)/((205# # 0.94#) # SQR(Po(I)/(1.02# # Vo(I))))
IF RelPres4# > RelPresMax THEN A2.1# = (CVS(F.vapor#) # V1(I) / (0.94# # W2t.1#))
```

```
COLOR 15, 0 :
LOCATE 22, 5: PRINT " b) AREA DE SALIDA (A2') =          m^2 "
COLOR 0, 7
LOCATE 22,32: PRINT USING "#.#####"; A2.1#
a# = input$(1)
```

```

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 5: PRINT " c) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA "
m# = (A2.1# / ( Pi * CVS(D.medio#) * e# * CVS(HA.Movil#)))
BETA.2.1# = (ATN (m# / SQR(1 - (m#)^2)))
LOCATE 3, 8: PRINT " β2' = arcsin(A2'/(π * da * e * HA.Movil')) = "
LOCATE 3, 55: PRINT USING "###.##"; BETA.2.1# * 57.32#

```

```

COLOR 15, 0 :
LOCATE 6, 5: PRINT " d) CALCULE EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD "
LOCATE 7, 8: PRINT " de la Fig. 2-2, con Γ = 180-(β1' + β2') "
LOCATE 8, 8: PRINT " ingrese el coeficiente de velocidad, ==>

```

```

YPOS = 9: XPOS = 59: FMTD# = "#.###"
LECT# = Covenov#: GOSUB NUMERO: Covenov# = LECT#

```

```

COLOR 15, 0 :
LOCATE 10, 8: PRINT " de la Fig. 2-3, con W2' "
LOCATE 11, 8: PRINT " ingrese el factor de correccion, FC ==>

```

```

COR# = " "
YPOS = 11: XPOS = 55: FMTD# = "#.###"
LECT# = Cor#: GOSUB NUMERO: Cor# = LECT#

```

```

CVR.1# = CVS(Covenov#) * CVS(Cor#)

```

```

LOCATE 13, 8: PRINT " ' = # FC "
LOCATE 14, 8: PRINT " EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD CORREGIDO = "
LOCATE 14, 50: PRINT USING "###.##"; CVR.1#

```

```

COLOR 15, 0 :
LOCATE 17, 5: PRINT " e) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA "
W2.1# = W2t.1# * CVR.1#
LOCATE 18, 8: PRINT " W2' = W2t' * = # m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 18, 28: PRINT USING "###.##"; W2.1#

```

```

COLOR 15, 0 :
LOCATE 21, 5: PRINT " f) VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
C2.1# = SQR ( (W2.1#)^2 + (U#)^2 - 2 * W2.1# * U# * cos (BETA.2.1#))
LOCATE 22, 8: PRINT " C2' = SQR((W2')^2 + (U)^2 - 2 * W2' * U * cos (β2')) "
LOCATE 23, 8: PRINT " U * cos β2' = # m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 23, 26: PRINT USING "###.##"; C2.1#
a# = input$(1)

```

```

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 5: PRINT " g) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
v# = (( W2.1# * sin (BETA.2.1#)) / C2.1# )
ALFA.2.1# = (ATN (v# / SQR(1 - (v#)^2)))
LOCATE 3, 9: PRINT " β2' = arcsin(W2' * sin β2') / C2' = "
COLOR 0, 7
LOCATE 3, 42: PRINT USING "###.##"; ALFA.2.1# * 57.32#
A# = INPUT$(1)

```

END

D1000:

VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 7, 0: CLS

```

LOCATE 2,10: PRINT "          CALCULO DEL ESCALON DE REGULACION          "
LOCATE 3,10: PRINT " "
LOCATE 4,10: PRINT " "
LOCATE 5,10: PRINT "          INGRESO DE DATOS GENERALES          "
LOCATE 6,10: PRINT " "
LOCATE 7,10: PRINT " "
LOCATE 8,10: PRINT " Diámetro medio ( 0.00):          at          "
LOCATE 9,10: PRINT " Flujo de Vapor (000.00):          kg/seg          "
LOCATE 10,10: PRINT " "
LOCATE 11,10: PRINT " Altura de Alabes fijos (0.000):          at          "
LOCATE 12,10: PRINT " Altura de Alabes Móviles (0.000):          at          "
LOCATE 13,10: PRINT " "
LOCATE 14,10: PRINT " "
LOCATE 15,10: PRINT " « R » REINGRESAR          « Enter » CONTINUAR          "
LOCATE 16,10: PRINT " "

```

```

1100: YPOS = 8: XPOS = 43: FMTD# = "#.##"
1110: LECT# = D.medio#: GOSUB NUMERO: D.medio# = LECT#
IF F.vapor# <> " " GOTD KEY0

```

```

1200: YPOS = 9: XPOS = 43: FMTD# = "###.##"
1210: LECT# = F.vapor#: GOSUB NUMERO: F.vapor# = LECT#
IF HA.fijos# <> " " GOTD KEY0

```

```

1300: YPOS = 11: XPOS = 52: FMTD# = "#.###"
1310: LECT# = HA.movil#: GOSUB NUMERO: HA.movil# = LECT#
IF HA.movil# <> " " GOTD KEY0

```

```
1400: YPOS = 12: XPOS = 52: FMTD$ = "###.###"
1410: LECT$ = HA.movil$: GOSUB NUMERO: HA.movil$ = LECT$
```

```
KEY0: A$ = INPUT$( 1): LECT01 = 1:
IF A$ = "R" or A$ = "r" GOTO 1500
IF A$ = CHR$( 13) THEN RETURN
GOTO KEY0
```

```
1500: A$ = INPUT$( 1)
IF A$ = "1" GOTO 1100 ELSE IF A$ = "2" GOTO 1200
IF A$ = "3" GOTO 1300 ELSE IF A$ = "4" GOTO 1400
GOTO 1500
```

D2000:

```
VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 7, 0: CLS
```

```
LOCATE 8,10: PRINT "          PARAMETROS DEL VAPOR EN EL ESCALON          "
LOCATE 9,10: PRINT "-----"
LOCATE 10,10: PRINT "          "
LOCATE 11,10: PRINT "          FMTD = 000.00          FMTD = 0000.00          "
LOCATE 12,10: PRINT "          Po :          kg/cm2          ho :          KJ/Kg          "
LOCATE 13,10: PRINT "          P1 :          kg/cm2          h1 :          KJ/Kg          "
LOCATE 14,10: PRINT "          P2 :          kg/cm2          h2 :          KJ/Kg          "
LOCATE 15,10: PRINT "          "
LOCATE 16,10: PRINT "          FMTD = 000.000          FMTD = 000.00          "
LOCATE 17,10: PRINT "          V0 :          m3/Kg          T0 :          °C          "
LOCATE 18,10: PRINT "          V1 :          m3/Kg          T1 :          °C          "
LOCATE 19,10: PRINT "          V2 :          m3/Kg          T2 :          °C          "
LOCATE 20,10: PRINT "          "
LOCATE 21,10: PRINT "          "
LOCATE 22,10: PRINT "          «R» REINGRESAR «Esc» RETORNAR «Enter» CONTINUAR          "
LOCATE 23,10: PRINT "-----"
```

```
OPEN "TESIS-A.DAT" FOR INPUT AS #1
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  Po(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  P1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  P2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  V0(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  V1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  V2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  Ho(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  h1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 6 + ( CVI (COR$) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  h2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```
LINE INPUT#1,DATO#: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 6 + ( CVI (COR#) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  T0(N) = VAL ( MID$(DATO#,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
LINE INPUT#1,DATO#: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 6 + ( CVI (COR#) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  T1(N) = VAL ( MID$(DATO#,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
LINE INPUT#1,DATO#: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 6 + ( CVI (COR#) - 1 ) * 9 STEP 9: N = N + 1
  T2(N) = VAL ( MID$(DATO#,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
CLOSE #1: I = 1
```

```
MDATO:
```

```
LOCATE 12,19,0 : PRINT USING "###.## "; P0(I)
LOCATE 13,19,0 : PRINT USING "###.## "; P1(I)
LOCATE 14,19,0 : PRINT USING "###.## "; P2(I)
```

```
LOCATE 12,46,0 : PRINT USING "####.## "; H0(I)
LOCATE 13,46,0 : PRINT USING "####.## "; H1(I)
LOCATE 14,46,0 : PRINT USING "####.## "; H2(I)
```

```
LOCATE 17,19,0 : PRINT USING "###.### "; V0(I)
LOCATE 18,19,0 : PRINT USING "###.### "; V1(I)
LOCATE 19,19,0 : PRINT USING "###.### "; V2(I)
```

```
LOCATE 17,46,0 : PRINT USING "###.## "; T0(I)
LOCATE 18,46,0 : PRINT USING "###.## "; T1(I)
LOCATE 19,46,0 : PRINT USING "###.## "; T2(I)
```

```
KEYS: A# = INPUT$( 1)
      IF I = 1 AND A# = CHR$( 27) THEN RETURN 4000
      IF I = CVI(COR#) AND A# = CHR$( 13) THEN RETURN
      IF I < CVI(COR#) AND A# = CHR$( 13) THEN I = I + 1: GOTO MDATO
      IF I <= CVI(COR#) AND A# = CHR$( 27) THEN I = I - 1: GOTO MDATO
      GOTO KEYS
```

```
REM
REM
REM SUBROUTINA: LECTURA DE CAMPOS NUMERICOS
REM
```

```
NUMERO: Y0 = YPOS: P2 = XPOS:
```

```
NUM100: LONG1 = LEN( LECT# )
        IF LECT# = STRING$(LONG1,32) THEN LAUX# = "": GOTO NUM200
NUM110: IF LONG1 = 8 THEN LAUX# = LTRIM$(STR$(CVD(LECT#))): GOTO NUM200
NUM120: IF LONG1 = 4 THEN LAUX# = LTRIM$(STR$(CVS(LECT#))): GOTO NUM200
NUM130: IF LONG1 = 2 THEN LAUX# = LTRIM$(STR$(CVI(LECT#))): GOTO NUM200
NUM200: LECT# = LAUX#
NUM210: LONG2 = LEN( FMT0# ): P1 = P2 - LONG2
NUM220: ENTE = 0: DECI = 0: PUNT = 0:
NUM230: FOR PX = 1 TO LONG2 STEP 1
NUM240: B# = MID$(FMT0#,PX, 1)
NUM250: IF B# = "#" AND PUNT = 1 THEN DECI = DECI + 1
NUM260: IF B# = "#" AND PUNT = 0 THEN ENTE = ENTE + 1
NUM270: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN PUNT = 1
NUM280: NEXT PX
NUM300: LONG3 = LEN( LAUX# )
        ENT = 0: DEC = 0: PTO = 0
        FOR PX = 1 TO LONG3 STEP 1
          B# = MID$(LAUX#,PX, 1)
          IF B# <> "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC + 1
          IF B# <> "." AND PTO = 0 THEN ENT = ENT + 1
          IF B# = "." AND PTO = 0 THEN PTO = 1
        NEXT PX: GOTO NUMFMT0
```

```
NUMINP: LOCATE Y0,P2, 1: A# = INKEY#
        IF A# = "" GOTO NUMINP
        L0 = LEN(LAUX#)
```

```
NUMLEC: IF A# < "0" OR A# > "9" GOTO NUMPTO
        IF PTO = 1 AND DEC < DECI THEN DEC = DEC + 1: LAUX# = LAUX# + A#
        IF PTO = 0 AND ENT < ENTE THEN ENT = ENT + 1: LAUX# = LAUX# + A#
        IF PTO = 1 AND DEC = DECI GOTO NUMFMT1
        IF PUNT = 0 AND ENT = ENTE GOTO NUMFMT1 ELSE GOTO NUMFMT0
```

```
NUMPTO: IF A# <> "." OR PTO = 1 GOTO NUMDEL ELSE PTO = 1
        LAUX# = LAUX# + A#: GOTO NUMFMT0
```

```
NUMDEL: IF A# <> CHR$(8) GOTO NUMENT
        IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE B# = RIGHT$(LAUX#, 1)
        IF B# = "." THEN PTO = 0
        IF B# <> "." AND PTO = 0 THEN ENT = ENT - 1
```

```
IF B# (> ".") AND PTO = 1 THEN DEC = DEC - 1
LAUX$ = LEFT$(LAUX$,L0-1): GOTO NUFMT0

NUMENT: IF A# (<) CHR$(13) GOTO NUMESC
        IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE GOTO NUFHT1

NUMESC: IF A# = CHR$(27) THEN LAUX$ = LECT$: GOTO NUFHT1

NUMBER: IF A# = CHR$(0) + CHR$(77) GOTO NUFHT1
        GOTO NUMINP

NUFMT0: CAMP$ = SPACE$(LONG2): RSET CAMP$ = LAUX$
        COLOR 0, 7: LOCATE Y0, P1, 0: PRINT CAMP$:
        GOTO NUMINP

NUFHT1: IF LONG1 = 8 THEN LECT$ = MKD$(VAL(LAUX$)): GOTO NUM400
        IF LONG1 = 4 THEN LECT$ = MKS$(VAL(LAUX$)): GOTO NUM400
        IF LONG1 = 2 THEN LECT$ = MKI$(VAL(LAUX$))

NUM400: COLOR 0, 7
        LOCATE Y0, P1, 0: PRINT USING FHTD$: VAL(LAUX$):
        RETURN
```

REN  
REN  
REN  
REN  
REN  
REN  
REN

```
PROGRAMA : CALCULO DE LA TURBINA
OBJETIVO : CALCULO DE PERDIDAS EN EL ESCALON DE REGULACION
AUTOR    : JOSE LUIS MONTEVERDE ENRIQUEZ
FECHA    : JULIO ,1990
```

LPRINT CHR\$( 27)CHR\$( 33)CHR\$( 1)

Veabt.1\$ = " " :  
Covefi.1\$ = " " :  
Veret.1\$ = " " :  
Covemo.1\$ = " " :  
Veabt.2\$ = " " :  
Covefi.2\$ = " " :  
Veret.2\$ = " " :  
Covemo.2\$ = " " :  
Vesal\$ = " " :  
Dmedio\$ = " " :  
Parcial\$ = " " :  
HA.prom\$ = " " :  
Velrot\$ = " " :  
Volespm\$ = " " :  
F.vapor\$ = " " :  
Coevap\$ = " " :  
Conper\$ = " " :  
Aniper\$ = " " :  
Diasper\$ = " " :  
Holsper\$ = " " :  
Present\$ = " " :  
Volent\$ = " " :  
Relpres\$ = " " :  
Salterm\$ = " " :  
Reacc\$ = " " :

COLOR 15, 0 : CLS  
LOCATE 2,11 : PRINT "CALCULO DE PERDIDAS EN EL ESCALON DE REGULACION"  
COLOR 15, 0 :  
LOCATE 5,5 : PRINT " a) PERDIDAS EN LA PRIMERA CORONA FIJA "  
LOCATE 7,8 : PRINT " Ingrese velocidad absoluta teorica, Cit = m/seg "  
YPOS = 7: XPOS = 57: FHTO\$ = "###.##"  
LECT\$ = Veabt.1\$: GOSUB NUMERO: Veabt.1\$ = LECT\$

LOCATE 8,8 : PRINT " Ingrese Coeficiente de Velocidad, = "  
YPOS = 8: XPOS = 52: FHTO\$ = "###.##"  
LECT\$ = Covefi.1\$: GOSUB NUMERO: Covefi.1\$ = LECT\$  
$$\text{DELTAhf} = (\text{CVS}(\text{Veabt.1})^2) * (1 - \text{CVS}(\text{Covefi.1})^2) / 2000$$

LOCATE 10,14: PRINT "hf = ((Cit)^2\*(1 - ( )^2))/2000 = KJ/Kg "  
COLOR 0, 7  
LOCATE 10,50: PRINT USING "###.##"; DELTAhf

COLOR 15, 0 :  
LOCATE 13,5 : PRINT " b) PERDIDAS EN LA PRIMERA CORONA ROTATORIA "  
LOCATE 15,8 : PRINT " Ingrese velocidad relativa teorica, W2t = m/seg "  
YPOS = 15: XPOS = 57: FHTO\$ = "###.##"  
LECT\$ = Veret.1\$: GOSUB NUMERO: Veret.1\$ = LECT\$

LOCATE 16,8 : PRINT " Ingrese Coeficiente de Velocidad, = "  
YPOS = 16: XPOS = 52: FHTO\$ = "###.##"  
LECT\$ = Covemo.1\$: GOSUB NUMERO: Covemo.1\$ = LECT\$  
$$\text{DELTAhr} = (\text{CVS}(\text{Veret.1})^2) * (1 - \text{CVS}(\text{Covemo.1})^2) / 2000$$

LOCATE 18,14: PRINT "hf = ((W2t)^2\*(1 - ( )^2))/2000 = KJ/Kg "  
COLOR 0, 7  
LOCATE 18,50: PRINT USING "###.##"; DELTAhr

LOCATE 21,5 : PRINT " c) PERDIDAS EN LA SEGUNDA CORONA FIJA "  
LOCATE 23,8 : PRINT " Ingrese velocidad absoluta teorica, Cit' = m/seg "  
YPOS = 23: XPOS = 58: FHTO\$ = "###.##"  
LECT\$ = Veabt.2\$: GOSUB NUMERO: Veabt.2\$ = LECT\$

LOCATE 24,8 : PRINT " Ingrese Coeficiente de Velocidad, = "  
YPOS = 23: XPOS = 52: FHTO\$ = "###.##"  
LECT\$ = Covefi.2\$: GOSUB NUMERO: Covefi.2\$ = LECT\$  
A\$ = INPUT\$(1)

$$\text{DELThf.2} = (\text{CVS}(\text{Veabt.2})^2) * (1 - \text{CVS}(\text{Covefi.2})^2) / 2000$$
  
COLOR 15, 0 : CLS  
LOCATE 2,14: PRINT "hf' = ((Cit')^2\*(1 - ( )^2))/2000 = KJ/Kg "  
COLOR 0, 7  
LOCATE 2,50: PRINT USING "###.##"; DELThf.2

```

LOCATE 5,5 : PRINT " d) PERDIDAS EN LA SEGUNDA CORONA ROTATORIA "
LOCATE 7,8 : PRINT " Ingrese velocidad relativa teorica, W2t' =          m/seg"
YPOS = 7: XPOS = 58: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Veret.2$: GOSUB NUMERO: Veret.2$ = LECT$

LOCATE 8,8 : PRINT " Ingrese Coeficiente de Velocidad, =          "
YPOS = 8: XPOS = 52: FMT0$ = ".###"
LECT$ = Covemo.2$: GOSUB NUMERO: Covemo.2$ = LECT$

      DELThr.2# = (CVS(Veret.2#)^2) * (1 - CVS(Covemo.2#)^2) / 2000

LOCATE 10,14: PRINT "hr = ((W2t')^2*(1 - ( )^2))/2000 =          KJ/Kg "
COLOR 0,7
LOCATE 10,50: PRINT USING "###.##"; DELThr.2#

LOCATE 13,5 : PRINT " e) PERDIDA POR VELOCIDAD DE SALIDA "
LOCATE 15,10: PRINT " Ingrese velocidad de salida, C2' =          m/seg"
YPOS = 15: XPOS = 51: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Vesal$: GOSUB NUMERO: Vesal$ = LECT$

      DELThv.s# = (CVS(Vesal#)^2) / 2000

LOCATE 17,14: PRINT "hv.s = (C2')^2 / 2000 =          KJ/Kg "
COLOR 0,7
LOCATE 17,39: PRINT USING "###.##"; DELThv.s#

COLOR 15,0 :
LOCATE 20,5 : PRINT " f) PERDIDAS POR FRICCION Y ADMISION PARCIAL "
LOCATE 22,8 : PRINT " Wfricc-a.p. = # * (((1.07 * (dm)^2 + 0.61(1 - e) "
LOCATE 23,18: PRINT " * (dm)*(HA.media)^1.5)) * ((U/100)^3 * (1/v.e.m) "
LOCATE 25,8 : PRINT " Ingrese coeficiente de vapor, # =          "
YPOS = 25: XPOS = 47: FMT0$ = ".###"
LECT$ = Coevap$: GOSUB NUMERO: Coevap$ = LECT$

A# = INPUT$(1)

COLOR 15,0 : CLS
LOCATE 2,8 : PRINT " Ingrese diametro medio, dm =          m"
YPOS = 2 : XPOS = 44: FMT0$ = ".###"
LECT$ = Dmedic$: GOSUB NUMERO: Dmedic$ = LECT$

LOCATE 4,8 : PRINT " Ingrese grado de parcialidad, e =          "
YPOS = 4 : XPOS = 47: FMT0$ = ".###"
LECT$ = Parcial$: GOSUB NUMERO: Parcial$ = LECT$

COLOR 15,0 :
LOCATE 6,8 : PRINT " Ingrese altura promedio, HA.media =          m"
YPOS = 6 : XPOS = 50: FMT0$ = ".###"
LECT$ = HA.prom$: GOSUB NUMERO: HA.prom$ = LECT$

COLOR 15,0 :
LOCATE 8,8 : PRINT " Ingrese velocidad de rotacion, U =          m/seg"
YPOS = 8: XPOS = 50: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Velrot$: GOSUB NUMERO: Velrot$ = LECT$

LOCATE 10,8 : PRINT " Ingrese volomen especifico medio, v.e.m =          m^3/Kg"
YPOS = 10: XPOS = 56: FMT0$ = "###.###"
LECT$ = Volespae$: GOSUB NUMERO: Volespae$ = LECT$

LOCATE 12,8 : PRINT " Ingrese flujo de vapor, Go =          Kg/seg"
YPOS = 12: XPOS = 43: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = F.vapor$: GOSUB NUMERO: F.vapor$ = LECT$

Kfric.1# = (1.07 * (CVS(Dmedic#)^2)) + (0.61 * (1 - CVS(Parcial#)) * CVS(Dmedic#) * (CVS(HA.prom#)^1.5))
Kfric.2# = CVS(Coevap#) * (((CVS(Velrot#)/100)^3) * (1 / CVS(Volespae#)) / CVS(F.vapor#)
Delt.fric# = Kfric.1# * Kfric.2#

LOCATE 14,14: PRINT "hfricc-a.p. = Wfricc-a.p. / Go =          KJ/Kg"
COLOR 0,7
LOCATE 14,49: PRINT USING "###.##"; Delt.fric#

COLOR 15,0 :
LOCATE 17,5 : PRINT " g) PERDIDAS POR FUGAS EN SELLOS PERIFERICOS "
LOCATE 19,10: PRINT " Gyn.s.e = ( 0.99 * pyne * SQR(10^4 * Po / Vo) "
LOCATE 20,10: PRINT " * SQR(1 - (e)^2 / z.a) * x * dyne * dyne)"

LOCATE 22,8 : PRINT " Ingrese el coeficiente de consumo: pyne =          "
YPOS = 22: XPOS = 56: FMT0$ = ".###"
LECT$ = Conper$: GOSUB NUMERO: Conper$ = LECT$

LOCATE 24,8 : PRINT " Ingrese el numero de anillos del sello: z.a =          "
YPOS = 23: XPOS = 57: FMT0$ = "###"
LECT$ = Aniper$: GOSUB NUMERO: Aniper$ = LECT$

A# = INPUT$(1)

COLOR 15,0 : CLS
LOCATE 2,8 : PRINT " Ingrese el diametro al sello: dyne =          m"
YPOS = 2: XPOS = 52: FMT0$ = ".###"
LECT$ = Diasper$: GOSUB NUMERO: Diasper$ = LECT$

```

```

LOCATE 4, 8: PRINT " Ingrese la holcura del sello: Syne =      "
YPOS = 4: XPOS = 52: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Holsper$: GOSUB NUMERO: Holsper$ = LECT$

LOCATE 6, 8: PRINT " Ingrese presion inicial, Po =      bar"
YPOS = 6: XPOS = 44: FMT0$ = "##.##"
LECT$ = Present$: GOSUB NUMERO: Present$ = LECT$

LOCATE 8, 8: PRINT " Ingrese volumen especifico inicial, Vo =      m^3/Kg"
YPOS = 8: XPOS = 56: FMT0$ = "##.###"
LECT$ = Volent$: GOSUB NUMERO: Volent$ = LECT$

LOCATE 10, 8: PRINT " Ingrese la relacion de presiones, e1 =      "
YPOS = 10: XPOS = 53: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Relpres$: GOSUB NUMERO: Relpres$ = LECT$

LOCATE 12, 8: PRINT " Ingrese el salto atraves del escalon, H =      KJ/Kg"
YPOS = 12: XPOS = 58: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Salterm$: GOSUB NUMERO: Salterm$ = LECT$

LOCATE 14, 8: PRINT " Grado de reaccion del escalon, R =      "
YPOS = 14: XPOS = 49: FMT0$ = "#.##"
LECT$ = Reacc$: GOSUB NUMERO: Reacc$ = LECT$

Delt.1# = SQR((CVS(Present$)/CVS(Volent$))^(10^4))
Delt.2# = SQR((1 - (CVS(RelPres$))^2)/CVS(Aniper$))
Delt.3# = SQR(CVS(Reacc$)/(1 - (CVS(Reacc$)/2)))
Delt.4# = ( 0.99 # 3.14 # CVS(Conper$) # CVS(Diasper$) # CVS(Holsper$) # CVS(Salterm$) / CVS(F.vapor$))
Delt.fug.s.e# = Delt.1# # Delt.2# # Delt.3# # Delt.4#

LOCATE 16,14: PRINT h fug.s.e = (Gyn.s.e/F.vapor)^(Ho(1)-Hi(1))
LOCATE 17,31: PRINT " # SQR(Rp/(1-Rm))=      KJ/Kg "
LOCATE 17,51: PRINT USING " #.### "; Delt.fug.s.e#

```

```

REM
REM
REM SUBROUTINA: LECTURA DE CAMPOS NUMERICOS
REM

```

```

NUMERO: Y0 = YPOS: P2 = XPOS:

NUM100: LONG1 = LEN(LECT$)
IF LECT$ = STRING$(LONG1,32) THEN LAUX$ = "": GOTO NUM200
NUM110: IF LONG1 = 8 THEN LAUX$ = LTRIM$(STR$(CVI(LECT$))): GOTO NUM200
NUM120: IF LONG1 = 4 THEN LAUX$ = LTRIM$(STR$(CVS(LECT$))): GOTO NUM200
NUM130: IF LONG1 = 2 THEN LAUX$ = LTRIM$(STR$(CVI(LECT$))): GOTO NUM200
NUM200: LECT$ = LAUX$
NUM210: LONG2 = LEN(FMT0$): P1 = P2 - LONG2
NUM220: ENTE = 0: DECI = 0: PUNT = 0:
NUM230: FOR PX = 1 TO LONG2 STEP 1
NUM240: B# = MID$(FMT0$,PX,1)
NUM250: IF B# = "." AND PUNT = 1 THEN DECI = DECI + 1
NUM260: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN ENTE = ENTE + 1
NUM270: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN PUNT = 1
NUM280: NEXT PX
NUM300: LONG3 = LEN(LAUX$)
ENTE = 0: DEC = 0: PTO = 0
FOR PX = 1 TO LONG3 STEP 1
B# = MID$(LAUX$,PX,1)
IF B# <> "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC + 1
IF B# <> "." AND PTO = 0 THEN ENTE = ENTE + 1
IF B# = "." AND PTO = 0 THEN PTO = 1
NEXT PX: GOTO NUMFMT0

NUMINP: LOCATE Y0,P2,1: A# = INKEY$
IF A# = "" GOTO NUMINP
L0 = LEN(LAUX$)

NUMLEC: IF A# < "0" OR A# > "9" GOTO NUMPTO
IF PTO = 1 AND DEC < DECI THEN DEC = DEC + 1: LAUX$ = LAUX$ + A#
IF PTO = 0 AND ENTE < ENTE THEN ENTE = ENTE + 1: LAUX$ = LAUX$ + A#
IF PTO = 1 AND DEC = DECI GOTO NUMFMT1
IF PUNT = 0 AND ENTE = ENTE GOTO NUMFMT1 ELSE GOTO NUMFMT0
NUMPTO: IF A# <> "." OR PTO = 1 GOTO NUMDEL ELSE PTO = 1
LAUX$ = LAUX$ + A#: GOTO NUMFMT0

NUMDEL: IF A# <> CHR$(8) GOTO NUMENT
IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE B# = RIGHT$(LAUX$,1)
IF B# = "." THEN PTO = 0
IF B# <> "." AND PTO = 0 THEN ENTE = ENTE - 1
IF B# <> "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC - 1
LAUX$ = LEFT$(LAUX$,L0-1): GOTO NUMFMT0

NUMENT: IF A# <> CHR$(13) GOTO NUMESC
IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE GOTO NUMFMT1

NUMESC: IF A# = CHR$(27) THEN LAUX$ = LECT$: GOTO NUMFMT1

NUMDER: IF A# = CHR$(8) + CHR$(77) GOTO NUMFMT1
GOTO NUMINP

```

```
NUMT0: CAMP% = SPACE$(LONG2): RSET CAMP% = LAUX%  
COLOR 0, 7: LOCATE Y0, P1, 0: PRINT CAMP%  
GOTO NUMINP
```

```
NUMT1:  
IF LONG1 = 8 THEN LECT% = MKD$(VAL(LAUX%)): GOTO NUM400  
IF LONG1 = 4 THEN LECT% = MKS$(VAL(LAUX%)): GOTO NUM400  
IF LONG1 = 2 THEN LECT% = HKI$(VAL(LAUX%))
```

```
NUM400: COLOR 0, 7  
LOCATE Y0, P1, 0: PRINT USING FHT0%; VAL(LAUX%);  
RETURN
```

```

REM
REM
REM      PROGRAMA : CALCULO DE LA TURBINA
REM      OBJETIVO : CALCULO DE LOS ESCALONES NO REGULABLES
REM      AUTOR   : JOSE LUIS MONTEVERDE ENRIQUEZ
REM      FECHA   : JULIO, 1998
REM
REM

```

```
LPRINT CHR$( 27)CHR$( 33)CHR$( 1)
```

```

CONST FactConverArea = 205.00
CONST FactConver     = 2000.00
CONST Pi             = 3.1416
CONST Frec           = 60.00
CONST RelPresMax     = 0.546
CONST RelPresMed     = 0.72
CONST RelPresMin     = 0.72

```

```

D.medio$ = "  ";
F.vapor$ = "  ";
HA.fijos$ = "  ";
HA.movil$ = "  ";
Ry$       = "  ";
Salto$    = "  ";
Cor$      = "  ";
Num$      = "  ";
Covefij$ = "  ";
Covemo$   = "  ";
rn$(1)    = "  ";
rn$(2)    = "  ";
rn$(3)    = "  ";
rn$(4)    = "  ";
rn$(5)    = "  ";
rn$(6)    = "  ";
alfa.i$   = "  "

```

```

DIM Vo(15),Ho(15),T0(15),Po(15)
DIM V1(15),H1(15),T1(15),P1(15)
DIM V2(15),H2(15),T2(15),P2(15)

```

```
VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 7, 0: CLS
```

```
D2000:
```

```
OPEN "TESIS-B.DAT" FOR INPUT AS #1
```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  Po(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  P1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  P2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  Vo(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  V1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  V2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```

LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POSI = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  Ho(N) = VAL ( MID$(DATO$,POSI,7) )
NEXT POSI

```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```
FOR POS1 = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  H1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  H2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  T0(N) = VAL ( MID$(DATO$,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  T1(N) = VAL ( MID$(DATO$,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
LINE INPUT#1,DATO$: N = 0
FOR POS1 = 6 TO 126 STEP 9: N = N + 1
  T2(N) = VAL ( MID$(DATO$,POS1,7) )
NEXT POS1
```

```
CLOSE #1: I = 1
```

```
HDATO:
```

```
VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 7, 0: CLS
```

```
100: COLOR 7, 0: LOCATE 5,22:
  PRINT "ESCALON NO REGULABLE No. = "
```

```
120: YPOS = 5: XPOS = 50: FMT0$ = " ## "
  LECT$ = Num$: GOSUB NUMERO: Num$ = LECT$
```

```
COLOR 7, 0:
LOCATE 8,10: PRINT "      INGRESO DE PARAMETROS DEL VAPOR EN EL ESCALON "
LOCATE 9,10: PRINT "
LOCATE 10,10: PRINT "
LOCATE 11,10: PRINT "      FMT0 = 000.00          FMT0 = 0000.00
LOCATE 12,10: PRINT "      Po :          kg/cm²      ho :          KJ/Kg
LOCATE 13,10: PRINT "      P1 :          kg/cm²      h1 :          KJ/Kg
LOCATE 14,10: PRINT "      P2 :          kg/cm²      h2 :          KJ/Kg
LOCATE 15,10: PRINT "
LOCATE 16,10: PRINT "      FMT0 = 000.000      FMT0 = 000.00
LOCATE 17,10: PRINT "      V0 :          m³/Kg      T0 :          °C
LOCATE 18,10: PRINT "      V1 :          m³/Kg      T1 :          °C
LOCATE 19,10: PRINT "      V2 :          m³/Kg      T2 :          °C
LOCATE 20,10: PRINT "
LOCATE 21,10: PRINT "
LOCATE 22,10: PRINT " «R»REINGRESAR «Esc»RETORNAR «Enter»CONTINUAR
LOCATE 23,10: PRINT "
```

```
LOCATE 12,21,0 : PRINT USING " ###.## " : Po(1)
LOCATE 13,21,0 : PRINT USING " ###.## " : P1(1)
LOCATE 14,21,0 : PRINT USING " ###.## " : P2(1)
```

```
LOCATE 12,48,0 : PRINT USING " ####.## " : Ho(1)
LOCATE 13,48,0 : PRINT USING " ####.## " : H1(1)
LOCATE 14,48,0 : PRINT USING " ####.## " : H2(1)
```

```
LOCATE 17,21,0 : PRINT USING " ###.### " : V0(1)
LOCATE 18,21,0 : PRINT USING " ###.### " : V1(1)
LOCATE 19,21,0 : PRINT USING " ###.### " : V2(1)
```

```
LOCATE 17,48,0 : PRINT USING " ###.## " : T0(1)
LOCATE 18,48,0 : PRINT USING " ###.## " : T1(1)
LOCATE 19,48,0 : PRINT USING " ###.## " : T2(1)
```

```
KEY5: A$ = INPUT$( 1)
IF A$ <> CHR$( 13) THEN GOTO KEYS
```

```
PRG000: VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS
PRG010: GOSUB D1000
```

```
PRG020: U0 = PI * CVS(D.medio$) * FREC
```

```
VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS
COLOR 7, 0: LOCATE 5,11:
PRINT " Velocidad de rotacion, U =          m/seg "
LOCATE 5,39: PRINT USING "####.##": U0
LOCATE 7, 9:
PRINT "INGRESE LA RELACION DE VELOCIDADES (u/Cfic) ="
```

```

1600: YPOS = 7: XPOS = 60: FMT0$ = "#.##"
      LECT$ = Rv$: GOSUB NUMERO: Rv$ = LECT$

4000: COLOR 7, 0: LOCATE 10, 9:
      PRINT "INGRESE EL SALTO TECNICO CORREGIDO (Ho) =      KJ/Kg"

4050: YPOS = 10: XPOS = 57: FMT0$ = "###.##"
      LECT$ = Salto$: GOSUB NUMERO: Salto$ = LECT$

4100: COLOR 7, 0: LOCATE 13, 21:
      PRINT "CORONAS DEL ESCALON, n = "

4200: YPOS = 13: XPOS = 50: FMT0$ = " # "
      LECT$ = Cor$: GOSUB NUMERO: Cor$ = LECT$

      LOCATE 15, 6
      PRINT " « R » REINGRESAR      « Enter » CONTINUAR "

KEY3:  A$ = INPUT$( 1)
      IF A$ = "R" or A$ = "r" GOTO 1600
      IF A$ = CHR$( 27) GOTO PRG010
      IF A$ <> CHR$( 13) GOTO KEY3

4300: VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 15, 0: CLS
      COLOR 7, 0: LOCATE 10, 12:
      PRINT " INGRESE EL COEFICIENTE DE REACCION ( Rn ) "
      SUMR = 0
      FOR J = 2 TO 2*(CVS(Cor$))
      LOCATE 10 + J, 25: PRINT "R"; J: "="
      YPOS = 10 + J: XPOS = 37: FMT0$ = "#.##"
      LECT$ = Rn$(J): GOSUB NUMERO: Rn$(J) = LECT$
      SUMR = SUMR+CVS(Rn$(J))
      NEXT J
      RN$(1) = MKS$(1-SUMR)

      A$ = INPUT$(1)

      COLOR 15, 0: CLS
      COLOR 7, 0: LOCATE 2, 12:
      PRINT " LOS SALTOS TECNICOS EN EL ESCALON SON : "
      FOR J = 1 TO 2*(CVS(Cor$))
      Hof(J) = CVS(Salto$) * CVS(RN$(J))
      LOCATE 5 + J, 20 : PRINT "Ho "; J: "( KJ/Kg ) ="; USING " ###.##"; Hof(J)
      NEXT J

KEY4:  A$ = INPUT$( 1)
      IF A$ = "R" or A$ = "r" GOTO 4300
      IF A$ = CHR$( 27) GOTO 4000
      IF A$ <> CHR$( 13) GOTO KEY4

      COLOR 15, 0: CLS
      LOCATE 3, 20: PRINT " CALCULO DE LA ETAPA FIJA "
      LOCATE 6, 5: PRINT " a) VELOCIDAD TEORICA ABSOLUTA DE SALIDA "
      Cit# = SQRT(2000# * Hof(1))
      LOCATE 7, 5: PRINT " Cit = SQRT(2000 * Hof(1)) =      m/seg "
      COLOR 0, 7
      LOCATE 7, 33: PRINT USING "#,###.##"; Cit#

      COLOR 15, 0
      LOCATE 10, 5: PRINT " b) OBTENCION DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD "
      LOCATE 11, 8: PRINT " de la Fig. 2-1, con Cit y HA.fijos "
      LOCATE 12, 8: PRINT " ingrese el coeficiente de velocidad, =

      YPOS = 12: XPOS = 57: FMT0$ = "#.###"
      LECT$ = Covefij$: GOSUB NUMERO: Covefij$ = LECT$

      COLOR 15, 0
      LOCATE 15, 5: PRINT " c) VELOCIDAD REAL ABSOLUTA DE SALIDA "
      C1# = Cit# * CVS(Covefij$)
      LOCATE 16, 8: PRINT " C1 = Cit *      =      m/seg "
      COLOR 0, 7
      LOCATE 16, 24: PRINT USING "#,###.##"; C1#

      RelPres1# = P1(I)/Po(I)

      COLOR 15, 0 :
      LOCATE 19, 10: PRINT " Relacion de Presion, e1 =      "
      LOCATE 20, 10: PRINT " RelPresMax, e_max =      "
      COLOR 0, 7
      LOCATE 19, 39: PRINT USING " #.### "; RelPres1#
      LOCATE 20, 31: PRINT USING " #.### "; RelPresMax

      IF RelPres1# <= RelPresMax THEN A1# = (CVS(F.vapor#)/(205# * 0.97#) * SQRT(Po(I)/(1.02# * Vo(I))))
      IF RelPres1# > RelPresMax THEN A1# = CVS(F.vapor#) * V1(I) / (0.97# * Cit#)

      COLOR 15, 0 :
      LOCATE 22, 5: PRINT " d) AREA DE SALIDA (A1) =      m^2 "

```

```

COLOR 0, 7
LOCATE 22,32: PRINT USING "#.#####"; A1#
a# = input$(1)

COLOR 15, 0: CLS
LOCATE 2, 5: PRINT " e) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
w# = (A1# / ( Pi # CVS(D.medio#) # CVS(HA.fijos#)))
ALFA.1# = (ATN ( w# / SQR(1 - (w#)^2)))
LOCATE 3, 8: PRINT " al = arcsin (A1/( π # dm # HA.fijos)) = "
COLOR 0, 7
LOCATE 3,49: PRINT USING "##.## "; ALFA.1# # 57.32#

COLOR 15, 0:
LOCATE 6, 5: PRINT " f) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA "
W1# = SQR ( (C1#)^2 + (U#)^2 - 2# # C1# # U# # COS (ALFA.1#))
LOCATE 7, 8: PRINT " W1 = SQR((C1)^2 + (U)^2 - 2 # C1
LOCATE 8,10: PRINT " # U # cos al) = "
COLOR 0, 7
LOCATE 8,27: PRINT USING "####.## "; W1#

COLOR 15, 0:
LOCATE 11, 5: PRINT " g) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA "
x# = (( C1# # sin (ALFA.1#)) / W1# )
BETA.1# = (ATN ( x# / SQR(1 - (x#)^2)))
LOCATE 12, 8: PRINT " β1 = arcsin (C1 # sin al) / W1 = "
COLOR 0, 7
LOCATE 12,43: PRINT USING "##.## "; BETA.1# # 57.32#

LOCATE 16,25: PRINT " CALCULO DE LA ETAPA ROTATORIA "
COLOR 15, 0:
LOCATE 19, 5: PRINT " a) VELOCIDAD RELATIVA TEORICA DE SALIDA "
W2t# = SQR (( 2000# # Hof(2)) + ( W1# )^2)
LOCATE 20,10: PRINT " W2t = SQR((2000 # Hor 2) + (W1)^2) = "
LOCATE 20,47: PRINT USING "####.## "; W2t#

RelPres2# = P2(I)/P1(I)

LOCATE 23,10: PRINT " Relacion de Presion, ε2 = "
LOCATE 24,10: PRINT " RelPresMax, εmax = "
COLOR 0, 7
LOCATE 23,39: PRINT USING "#.### "; RelPres2#
LOCATE 24,31: PRINT USING "#.### "; RelPresMax;

IF RelPres2# <= RelPresMax THEN A2# = (CVS(F.vapor#)/((205# # 0.955#) # SQR(Po(I)/(1.02# # Vo(I))))
IF RelPres2# > RelPresMax THEN A2# = (CVS(F.vapor#) # V1(I) / (0.955# # W2t#))

a# = input$(1)

COLOR 15, 0: CLS
LOCATE 2, 5: PRINT " b) AREA DE SALIDA (A2) = "
COLOR 0, 7
LOCATE 2,30: PRINT USING "#.##### "; A2#

COLOR 15, 0:
LOCATE 5, 5: PRINT " c) ANGULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA DE SALIDA "
y# = (A2# / ( Pi # CVS(D.medio#) # CVS(HA.Movil#)))
BETA.2# = (ATN ( y# / SQR(1 - (y#)^2)))
LOCATE 6, 8: PRINT " β2 = arcsin (A2/( π # dm # HA.Movil)) = "
COLOR 0, 7
LOCATE 6,49: PRINT USING "##.## "; BETA.2# # 57.32#

COLOR 15, 0:
LOCATE 9, 5: PRINT " d) CALCULE EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD "
LOCATE 10, 8: PRINT " de la Fig. 2-2, con Γ = 180-(β1+β2) "
LOCATE 11, 8: PRINT " ingrese el coeficiente de velocidad, ==> "

YPOS = 11: XPOS = 60: FHTO# = "#.### "
LECT# = Covenov#: GOSUB NUMERO: Covenov# = LECT#

COLOR 15, 0:
LOCATE 13, 8: PRINT " de la Fig. 2-3, con W2 "
LOCATE 14, 8: PRINT " ingrese el factor de correccion, FC ==> "

YPOS = 14: XPOS = 56: FHTO# = "#.### "
LECT# = Cor#: GOSUB NUMERO: Cor# = LECT#
CVR# = CVS(Covenov#) # CVS(Cor#)

COLOR 15, 0:
LOCATE 15, 8: PRINT " = # FC "
LOCATE 16, 8: PRINT " EL COEFICIENTE DE VELOCIDAD CORREGIDO = "
COLOR 0, 7
LOCATE 16,50: PRINT USING "#.### "; CVR#

COLOR 15, 0:
LOCATE 19, 5: PRINT " e) VELOCIDAD REAL RELATIVA DE SALIDA "
W2# = W2t# # CVR#
LOCATE 20, 8: PRINT " W2 = W2t # = "
COLOR 0, 7
LOCATE 20,24: PRINT USING "####.## "; W2#

COLOR 15, 0:
LOCATE 23, 5: PRINT " f) VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "

```

```

C2# = SQR ((W2#)^2 + (U#)^2 - (2# * W2# * U# * cos (BETA.2#)))
LOCATE 24, 8: PRINT " C2 = SQR((W2)^2 + (U)^2 - 2 * W2
LOCATE 25, 8: PRINT " * U * cos (B2) =          m/seg "
COLOR 0, 7
LOCATE 24,28: PRINT USING "###.##"; C2#
a# = input$(1)

```

```

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 5: PRINT " q) ANGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DE SALIDA "
z# = (( W2# * sin (BETA.2#)) / C2# )
ALFA.2# = (ATN ( z# / SQR(1 - (z#)^2)))
LOCATE 3, 8: PRINT " a2 = arcsin (W2 * sin (B2) / C2 =      "
COLOR 0, 7
LOCATE 3, 43: PRINT USING " ###.## "; 180# - (ALFA.2# * 57.32#)
A# = INPUT$(1)

```

```

IF I < 15 THEN I = I + 1: GOTO HDATO
END

```

D1000:

VIEW PRINT 1 TO 25: COLOR 7, 0: CLS

```

LOCATE 5,10: PRINT "          INGRESO DE DATOS GENERALES          "
LOCATE 6,10: PRINT "          "
LOCATE 7,10: PRINT "          "
LOCATE 8,10: PRINT "          Diámetro medio ( 0.00):          mt          "
LOCATE 9,10: PRINT "          Flujo de Vapor (000.00):          Kg/seg        "
LOCATE 10,10: PRINT "          "
LOCATE 11,10: PRINT "          Altura de Alabes fijos (0.000):          mt          "
LOCATE 12,10: PRINT "          Altura de Alabes Móviles (0.000):          mt          "
LOCATE 13,10: PRINT "          "
LOCATE 14,10: PRINT "          "
LOCATE 15,10: PRINT "          « R » REINGRESAR          « Enter » CONTINUAR          "
LOCATE 16,10: PRINT "          "

```

```

1100: YPOS = 8: XPOS = 47: FHTO# = " #.###"
1110: LECT# = D.medio#: GOSUB NUMERO: D.medio# = LECT#
IF F.vapor# <> " " GOTO KEY0

```

```

1200: YPOS = 9: XPOS = 47: FHTO# = "###.##"
1210: LECT# = F.vapor#: GOSUB NUMERO: F.vapor# = LECT#
IF HA.fijos# <> " " GOTO KEY0

```

```

1300: YPOS = 11: XPOS = 56: FHTO# = "#.####"
1310: LECT# = HA.fijos#: GOSUB NUMERO: HA.fijos# = LECT#
IF HA.movil# <> " " GOTO KEY0

```

```

1400: YPOS = 12: XPOS = 56: FHTO# = "#.####"
1410: LECT# = HA.movil#: GOSUB NUMERO: HA.movil# = LECT#

```

```

KEY0: A# = INPUT$( 1): LECT01 = 1:
IF A# = "R" or A# = "r" GOTO 1500
IF A# = CHR$( 13) THEN RETURN
GOTO KEY0

```

```

1500: A# = INPUT$( 1)
IF A# = "1" GOTO 1100 ELSE IF A# = "2" GOTO 1200
IF A# = "3" GOTO 1300 ELSE IF A# = "4" GOTO 1400
GOTO 1500

```

```

REM
REM
REM SUBROUTINA:          LECTURA DE CAMPOS NUMERICOS
REM

```

NUMERO: Y0 = YPOS: P2 = XPOS:

```

NUM100: LONG1 = LEN( LECT# )
IF LECT# = STRING$(LONG1,32) THEN LAUX# = "": GOTO NUM200
NUM110: IF LONG1 = 8 THEN LAUX# = LTRIM$(STR$(CVD(LECT#))): GOTO NUM200
NUM120: IF LONG1 = 4 THEN LAUX# = LTRIM$(STR$(CVS(LECT#))): GOTO NUM200
NUM130: IF LONG1 = 2 THEN LAUX# = LTRIM$(STR$(CVI(LECT#))):
NUM200: LECT# = LAUX#
NUM210: LONG2 = LEN( FHTO# ): P1 = P2 - LONG2
NUM220: ENTE = 0: DECI = 0: PUNT = 0:
NUM230: FOR PX = 1 TO LONG2 STEP 1
NUM240: B# = MID$(FHTO#,PX, 1)
NUM250: IF B# = "." AND PUNT = 1 THEN DECI = DECI + 1
NUM260: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN ENTE = ENTE + 1
NUM270: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN PUNT = 1
NUM280: NEXT PX
NUM300: LONG3 = LEN( LAUX# )

```

```

ENT = 0: DEC = 0: PTO = 0
FOR PX = 1 TO LONG3 STEP 1
  B# = MID$(LAUX$,PX, 1)
  IF B# <> "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC + 1
  IF B# <> "." AND PTO = 0 THEN ENT = ENT + 1
  IF B# = "." AND PTO = 0 THEN PTO = 1
NEXT PX: GOTO NUMFT0

NUMINP: LOCATE Y0,P2, 1: A# = INKEY$
IF A# = "" GOTO NUMINP
L0 = LEN(LAUX$)

NUMLEC: IF A# < "0" OR A# > "9" GOTO NUMPT0
IF PTO = 1 AND DEC < DEC1 THEN DEC = DEC + 1: LAUX$ = LAUX$ + A#
IF PTO = 0 AND ENT < ENTE THEN ENT = ENT + 1: LAUX$ = LAUX$ + A#
IF PTO = 1 AND DEC = DEC1 GOTO NUMFT1
IF PUNT = 0 AND ENT = ENTE GOTO NUMFT1 ELSE GOTO NUMFT0
NUMPT0: IF A# <> "." OR PTO = 1 GOTO NUMDEL ELSE PTO = 1
LAUX$ = LAUX$ + A#: GOTO NUMFT0

NUMDEL: IF A# <> CHR$(8) GOTO NUMENT
IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE B# = RIGHT$(LAUX$, 1)
IF B# = "." THEN PTO = 0
IF B# <> "." AND PTO = 0 THEN ENT = ENT - 1
IF B# <> "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC - 1
LAUX$ = LEFT$(LAUX$,L0-1): GOTO NUMFT0

NUMENT: IF A# <> CHR$(13) GOTO NUMESC
IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE GOTO NUMFT1

NUMESC: IF A# = CHR$(27) THEN LAUX$ = LEFT$(LAUX$,L0-1): GOTO NUMFT1

NUMBER: IF A# = CHR$(8) + CHR$(77) GOTO NUMFT1
GOTO NUMINP

NUMFT0: CAMP# = SPACE$(LONG2): RSET CAMP# = LAUX$
COLOR 0, 7: LOCATE Y0, P1, 0: PRINT CAMP#:
GOTO NUMINP

NUMFT1:
IF LONG1 = 8 THEN LECT# = MKD$(VAL(LAUX$)): GOTO NUM400
IF LONG1 = 4 THEN LECT# = MKS$(VAL(LAUX$)): GOTO NUM400
IF LONG1 = 2 THEN LECT# = MKI$(VAL(LAUX$))

NUM400: COLOR 0, 7
LOCATE Y0, P1, 0: PRINT USING FMT0$: VAL(LAUX$):
RETURN

```



```

A# = INPUT$(1)

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 5 : PRINT " d) PERDIDAS POR FRICCION "
LOCATE 4, 12: PRINT " Wfricc =  $\frac{1.07 \cdot (d_m)^2 \cdot (U/100)^3 \cdot (1/V.e.m)}{}$ "
LOCATE 6, 8: PRINT " Ingrese coeficiente de vapor,  $\phi =$  "
YPOS = 6: XPOS = 49: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Coefvap$: GOSUB NUMERO: Coefvap$ = LECT$

LOCATE 8, 8: PRINT " Ingrese diametro medio,  $d_m =$  "
YPOS = 8: XPOS = 43: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = D.medio$: GOSUB NUMERO: D.medio$ = LECT$

LOCATE 10, 8: PRINT " Ingrese velocidad de rotacion, U = "
YPOS = 10: XPOS = 50: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Velrota$: GOSUB NUMERO: Velrota$ = LECT$

LOCATE 12, 8: PRINT " Ingrese volumen especifico medio, V.e.m = "
YPOS = 12: XPOS = 57: FMT0$ = "###.###"
LECT$ = Voespme$: GOSUB NUMERO: Voespme$ = LECT$

LOCATE 14, 8: PRINT " Ingrese fluio de vapor, Go = "
YPOS = 14: XPOS = 43: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Fluvap$: GOSUB NUMERO: Fluvap$ = LECT$

Fric.1# = CVS(Coefvap$) * (1.07 * (CVS(D.medio$)^2) / CVS(Fluvap$))
Fric.2# = ((CVS(Velrota$)/100)^3) * (1 / CVS(Voespme$))

DELTAFR# = Fric.1# * Fric.2#

LOCATE 16, 14: PRINT " h fricc = Wfricc / Go = "
COLOR 0, 7
LOCATE 16, 41: PRINT USING "#.###"; DELTAFR#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 19, 5 : PRINT " e) PERDIDAS POR FUGAS EN SELLOS INTERIORES "
LOCATE 21, 8 : PRINT " Gyn.s.i = (0.99 *  $\phi_{yni}$  *  $\pi$  * SQR(10^-4 * Po(I) / 1.02
LOCATE 22, 8 : PRINT " * Vo(I)) * SQR(1 - ( $\epsilon_1$ )^2 / z.a) *  $\phi_{yni}$ "

A# = INPUT$(1)

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 8: PRINT " Ingrese el coeficiente de consumo:  $\phi_{yni} =$  "
YPOS = 2: XPOS = 57: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Conint$: GOSUB NUMERO: Conint$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 4, 8: PRINT " Ingrese el numero de anillos del sello: z.a.s = "
YPOS = 4: XPOS = 59: FMT0$ = "##"
LECT$ = Aniint$: GOSUB NUMERO: Aniint$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 6, 8: PRINT " Ingrese el diametro al sello:  $d_{yni} =$  "
YPOS = 6: XPOS = 52: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Diasint$: GOSUB NUMERO: Diasint$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 8, 8: PRINT " Ingrese la holgura del sello:  $\delta_{yni} =$  "
YPOS = 8: XPOS = 52: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Holsint$: GOSUB NUMERO: Holsint$ = LECT$

LOCATE 10, 8: PRINT " Ingrese presion inicial, Po = "
YPOS = 10: XPOS = 44: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Preini$: GOSUB NUMERO: Preini$ = LECT$

LOCATE 12, 8: PRINT " Ingrese volumen especifico inicial, Vo = "
YPOS = 12: XPOS = 56: FMT0$ = "###.###"
LECT$ = Volini$: GOSUB NUMERO: Volini$ = LECT$

LOCATE 14, 8: PRINT " Ingrese la relacion de presiones,  $\epsilon_1 =$  "
YPOS = 14: XPOS = 54: FMT0$ = "###.###"
LECT$ = Relapre$: GOSUB NUMERO: Relapre$ = LECT$

LOCATE 16, 8: PRINT " Ingrese el salto termico del escalon, H = "
YPOS = 16: XPOS = 58: FMT0$ = "###.##"
LECT$ = Salto$: GOSUB NUMERO: Salto$ = LECT$

F.Int1# = SQR((CVS(Preini$) / CVS(Volini$)) * 10^4)
F.Int2# = SQR((1 - (CVS(Relapre$))^2) / CVS(Aniint$))
F.Int3# = (0.99 * 3.14 * CVS(Conint$) * CVS(Diasint$) * CVS(Holsint$) * CVS(Salto$) / CVS(Fluvap$))

SELLINT# = F.Int1# * F.Int2# * F.Int3#

LOCATE 18, 14: PRINT " h fug.s.i = (Gyn.s.i/Go) * (Ho(I) - Hl(I)) = "
LOCATE 18, 56: PRINT USING "#.### "; SELLINT#

COLOR 15, 0 :
LOCATE 21, 5 : PRINT " f) PERDIDAS POR FUGAS EN SELLOS PERIFERICOS "
LOCATE 23, 14: PRINT " Gyn.s.e = ( 0.99 *  $\phi_{yne}$  *  $\pi$  * SQR(10^-4 * Po(I) / 1.02

```

```

LOCATE 24,14: PRINT "      * Vo(I)) * SQR(1-(e)^2/z.a) * dyne * Syne)

A# = INPUT$(1)

COLOR 15, 0 : CLS
LOCATE 2, 8: PRINT " Ingrese el coeficiente de consumo: pyne = "
YPOS = 2: XPOS = 57: FMT0$ = "#.###"
LECT$ = Conper$: GOSUB NUMERO: Conper$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 4, 8: PRINT " Ingrese el numero de anillos del sello: z.a.s = "
YPOS = 4: XPOS = 58: FMT0$ = "##"
LECT$ = Aniper$: GOSUB NUMERO: Aniper$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 6, 8: PRINT " Ingrese el diametro al sello: dyne = "
YPOS = 6: XPOS = 52: FMT0$ = "#.####"
LECT$ = Diasper$: GOSUB NUMERO: Diasper$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 8, 8: PRINT " Ingrese la holgura del sello: syne = "
YPOS = 8: XPOS = 52: FMT0$ = "#.####"
LECT$ = Holsper$: GOSUB NUMERO: Holsper$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 10, 8: PRINT " Grado de reaccion del escalon, R = "
YPOS = 10: XPOS = 49: FMT0$ = "#.##"
LECT$ = Grareac$: GOSUB NUMERO: Grareac$ = LECT$

COLOR 15, 0 :
LOCATE 12, 8: PRINT " Ingrese el diametro periferico, dp = "
YPOS = 12: XPOS = 52: FMT0$ = "#.####"
LECT$ = D.perif$: GOSUB NUMERO: D.perif$ = LECT$

F.Per1# = SQR((CVS(Preini#) / CVS(Volini#)) * 10^4)
F.Per2# = SQR((1 - (CVS(Relapre#))^2) / CVS(Aniint#))
Rp# = 1 - ((1 - (CVS(Grareac#))) * ((CVS(D.perif#) / CVS(D.medio#))^ -1.8))
F.Per3# = SQR(Rp# / (1 - (CVS(Grareac#) / 2)))
F.Per4# = (0.99 * 3.14 * CVS(Conint#) * CVS(Diasint#) * CVS(Holsint#) * CVS(Salto#) / CVS(Fluvap#))

SELLPER# = F.Per1# * F.Per2# * F.Per3# * F.Per4#

LOCATE 14,16: PRINT h fuq.s.e = (Gyn.s.e/Go) * (Ho(I)-Hi(I))
LOCATE 15,20: PRINT "      * SQR(Rp/1 - Rm) = "
LOCATE 15,41: PRINT USING " #.### "; SELLPER#

A# = INPUT$(1)

```

```

REM
REM
REM SUBROUTINA: LECTURA DE CAMPOS NUMERICOS
REM

```

```

NUMERO: Y0 = YPOS: P2 = XPOS:

NUM100: LONG1 = LEN(LECT$)
IF LECT$ = STRING$(LONG1,32) THEN LAUX$ = "": GOTO NUM200
NUM110: IF LONG1 = 8 THEN LAUX$ = LTRIM$(STR$(CVD(LECT$))): GOTO NUM200
NUM120: IF LONG1 = 4 THEN LAUX$ = LTRIM$(STR$(CVS(LECT$))): GOTO NUM200
NUM130: IF LONG1 = 2 THEN LAUX$ = LTRIM$(STR$(CVI(LECT$))): GOTO NUM200
NUM200: LECT$ = LAUX$
NUM210: LONG2 = LEN(FMT0$): P1 = P2 - LONG2
NUM220: ENTE = 0: DECI = 0: PUNT = 0:
NUM230: FOR PX = 1 TO LONG2 STEP 1
NUM240: B# = MID$(FMT0$,PX,1)
NUM250: IF B# = "." AND PUNT = 1 THEN DECI = DECI + 1
NUM260: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN ENTE = ENTE + 1
NUM270: IF B# = "." AND PUNT = 0 THEN PUNT = 1
NUM280: NEXT PX
NUM300: LONG3 = LEN(LAUX$)
ENTE = 0: DEC = 0: PTO = 0
FOR PX = 1 TO LONG3 STEP 1
B# = MID$(LAUX$,PX,1)
IF B# < "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC + 1
IF B# < "." AND PTO = 0 THEN ENTE = ENTE + 1
IF B# = "." AND PTO = 0 THEN PTO = 1
NEXT PX: GOTO NUMFMT0

NUMINP: LOCATE Y0,P2,1: A# = INKEY$
IF A# = "" GOTO NUMINP
L0 = LEN(LAUX$)

NUMLEC: IF A# < "0" OR A# > "9" GOTO NUMPTO
IF PTO = 1 AND DEC < DECI THEN DEC = DEC + 1: LAUX$ = LAUX$ + A#
IF PTO = 0 AND ENTE < ENTE THEN ENTE = ENTE + 1: LAUX$ = LAUX$ + A#
IF PTO = 1 AND DEC = DECI GOTO NUMFMT1
IF PUNT = 0 AND ENTE = ENTE GOTO NUMFMT1 ELSE GOTO NUMFMT0
NUMPTO: IF A# < "." OR PTO = 1 GOTO NUMDEL ELSE PTO = 1
LAUX$ = LAUX$ + A#: GOTO NUMFMT0

NUMDEL: IF A# <> CHR$(8) GOTO NUMENT
IF L0 = 0 GOTO NUMINP ELSE B# = RIGHT$(LAUX$,1)

```

```
IF B$ = "." THEN PTO = 0
IF B$ <> "." AND PTO = 0 THEN ENT = ENT - 1
IF B$ <> "." AND PTO = 1 THEN DEC = DEC - 1
LAUX$ = LEFT$(LAUX$,LB-1): GOTO NUFMT0
```

```
NUMENT: IF A$ <> CHR$(13) GOTO NUNESC
IF LB = 0 GOTO NUMINP ELSE GOTO NUFMT1
```

```
NUNESC: IF A$ = CHR$(27) THEN LAUX$ = LECT$: GOTO NUFMT1
```

```
NUMBER: IF A$ = CHR$(8) + CHR$(77) GOTO NUFMT1
GOTO NUMINP
```

```
NUFMT0: CAMP$ = SPACE$(LONG2): RSET CAMP$ = LAUX$
COLOR 0, 7: LOCATE Y0, P1, 0: PRINT CAMP$:
GOTO NUMINP
```

```
NUFMT1:
IF LONG1 = 8 THEN LECT$ = MKD$(VAL(LAUX$)): GOTO NUM400
IF LONG1 = 4 THEN LECT$ = MKS$(VAL(LAUX$)): GOTO NUM400
IF LONG1 = 2 THEN LECT$ = MKI$(VAL(LAUX$))
```

```
NUM400: COLOR 0, 7
LOCATE Y0, P1, 0: PRINT USING FMT0$: VAL(LAUX$);
RETURN
```

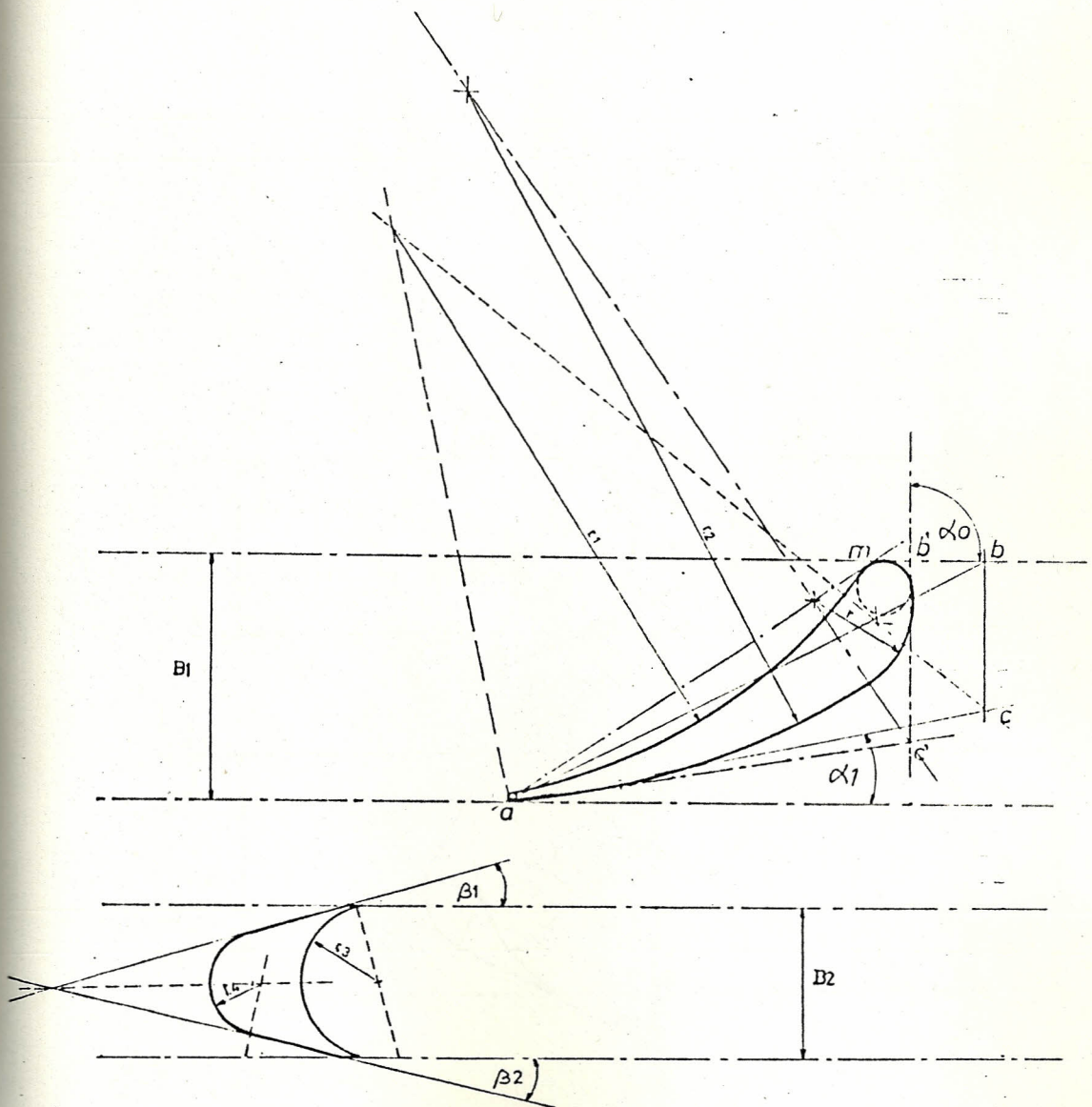
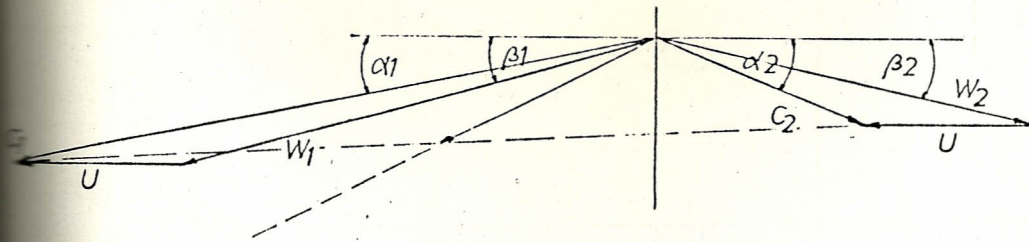
A P E N D I C E B

---

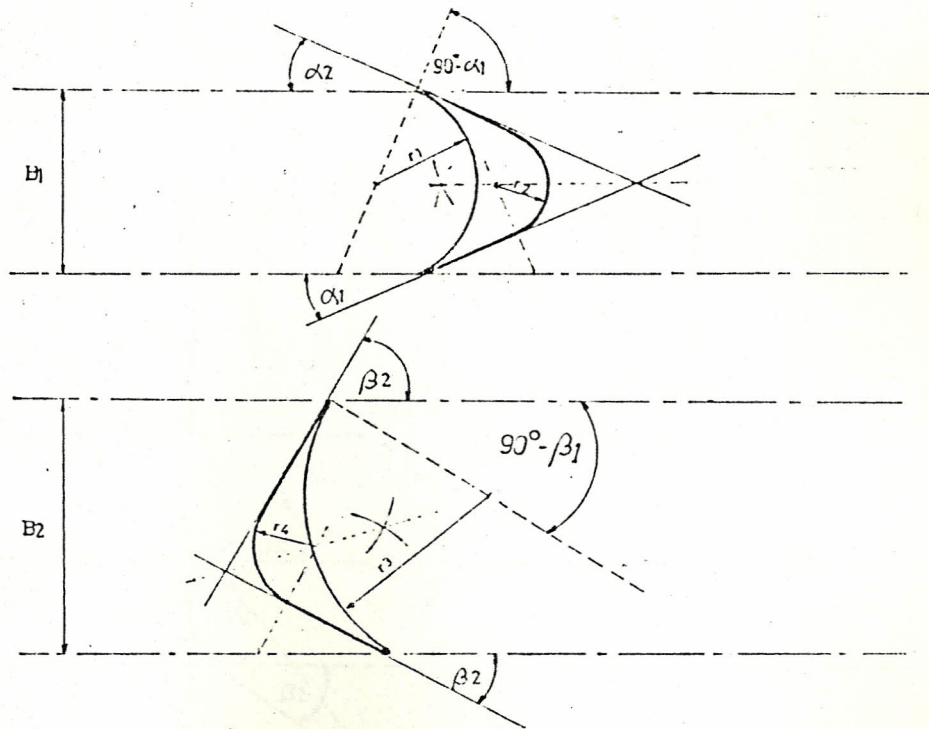
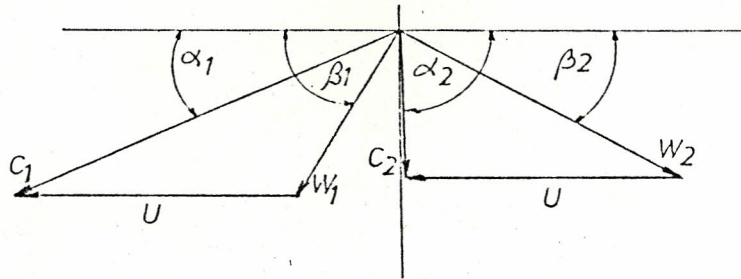
TABLE

NO.	NAME	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

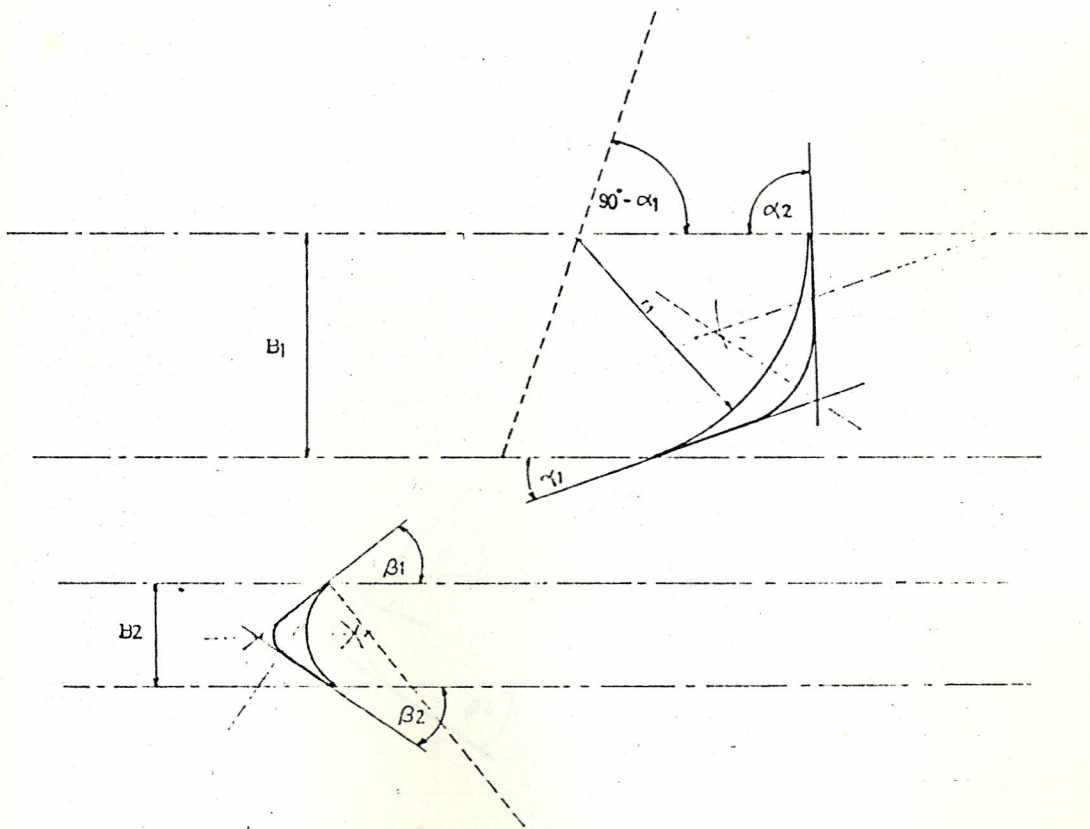
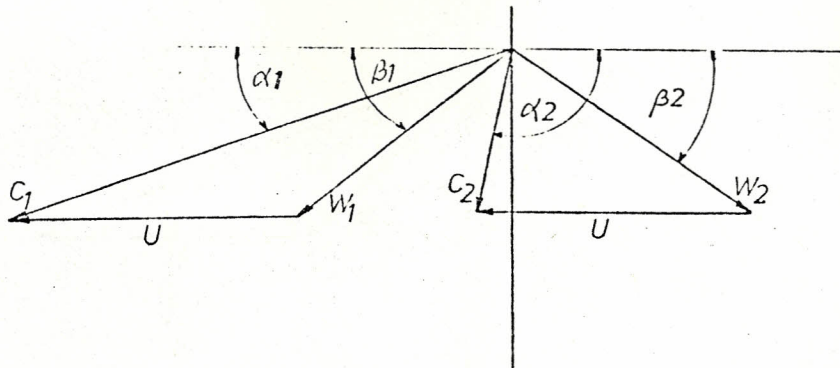
...



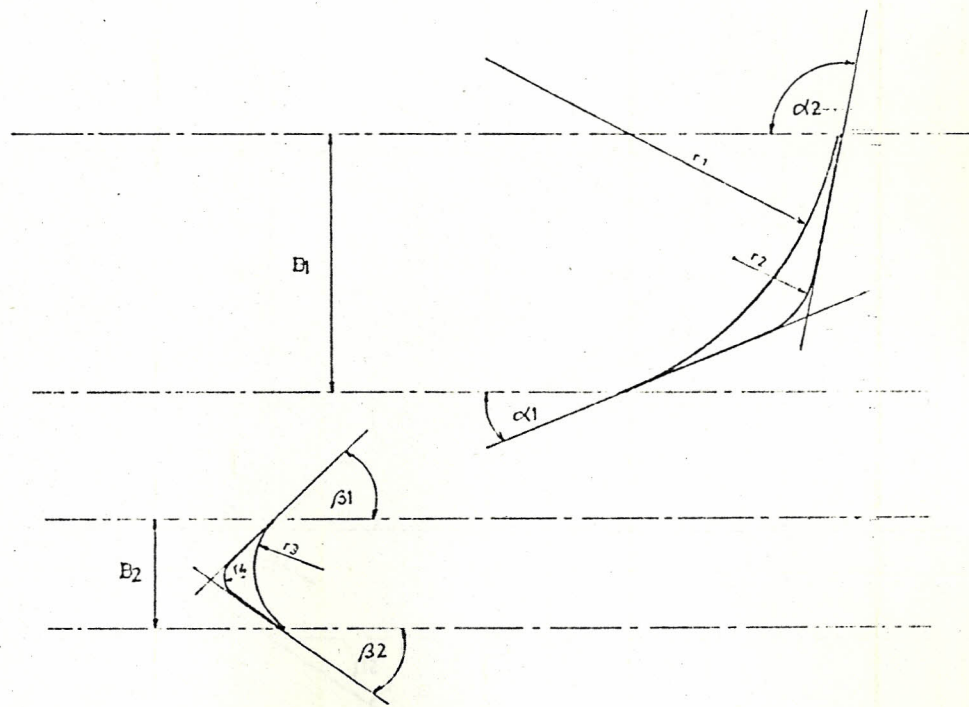
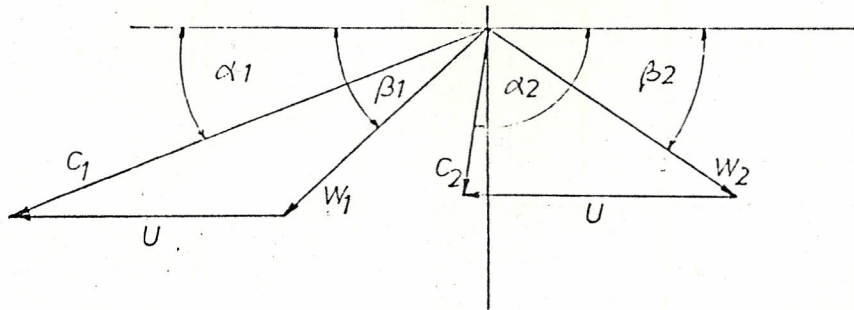
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	E S P O L
DIBUJO	01/12/90	J. MONTEVERDE		
REVISO				
COMPROBADO				
	PRIMER ESCALON (PRIMERA CORONA)			



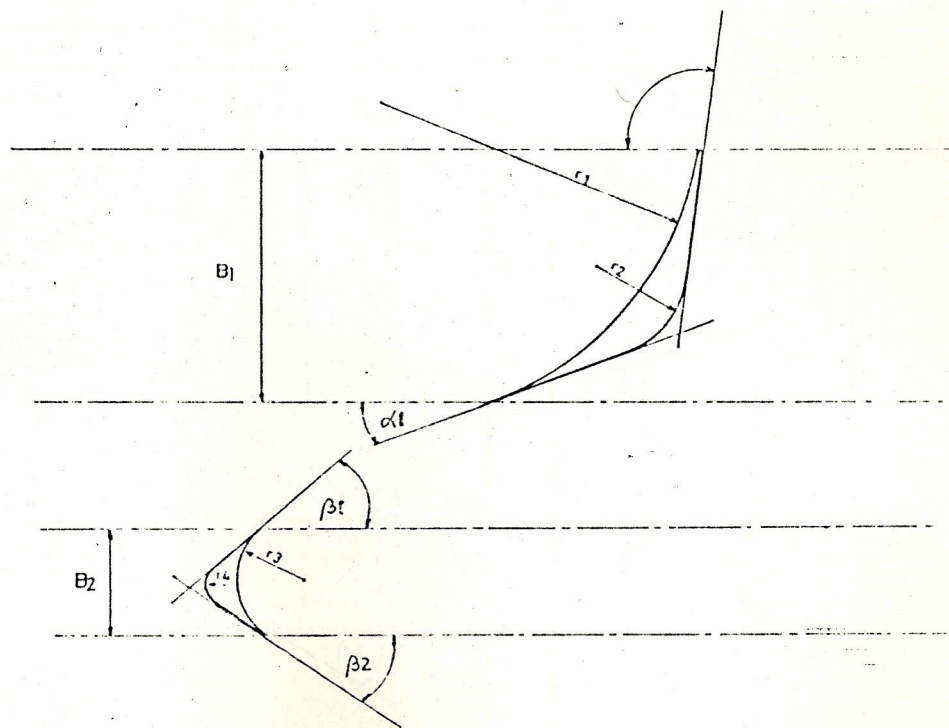
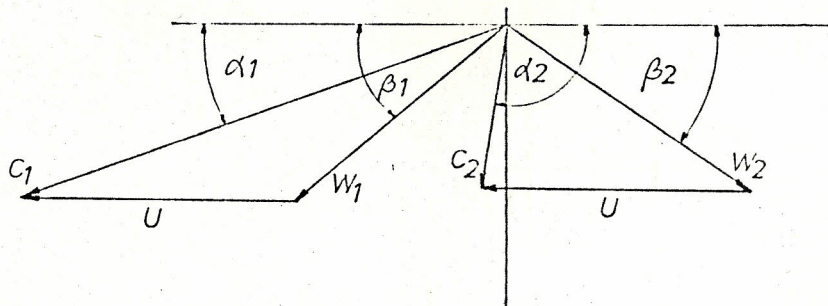
FECHA		NOMBRE		FACULTAD DE	ESPOL
ELABORADO	DISEÑADO	CONTENIDO	REVISADO		
				INGENIERIA MECANICA	
				PRIMER ESCALON (SEGUNDA CORONA)	



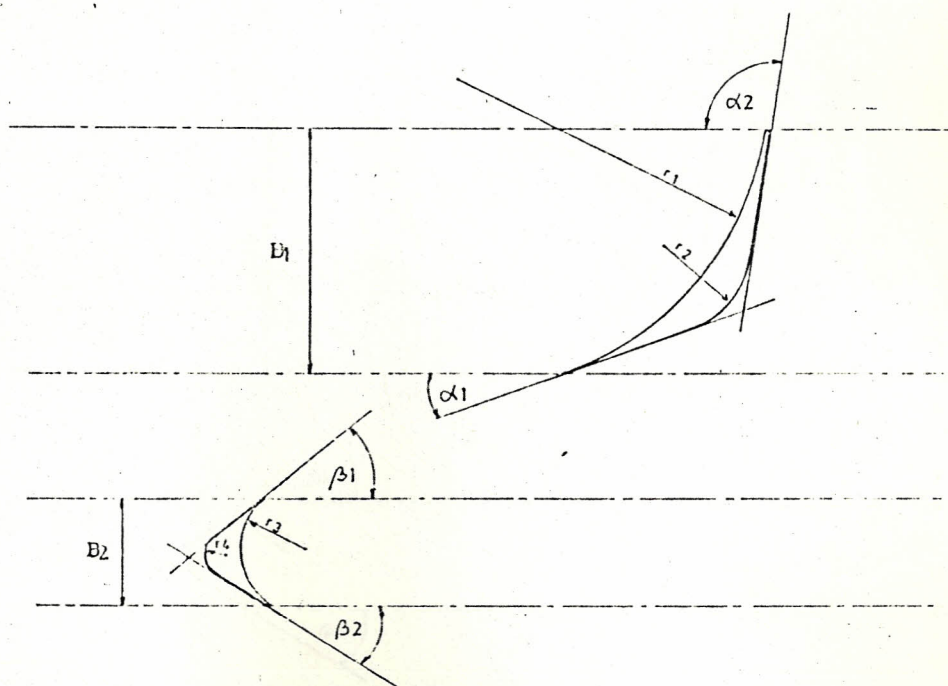
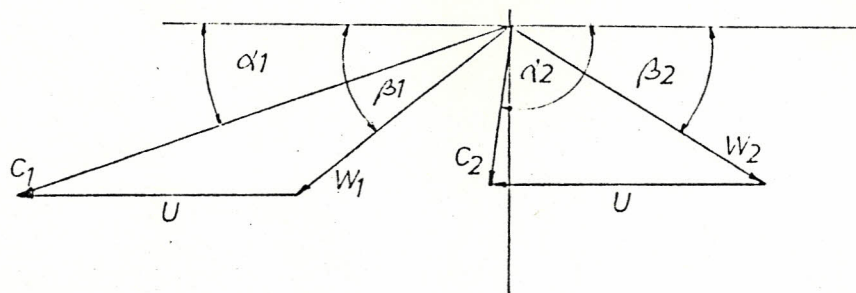
FECHA	PROFESOR	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
TITULO	GRUPO		
REVISOR			
COMPROBADO			
SEGUNDO ESCALON			



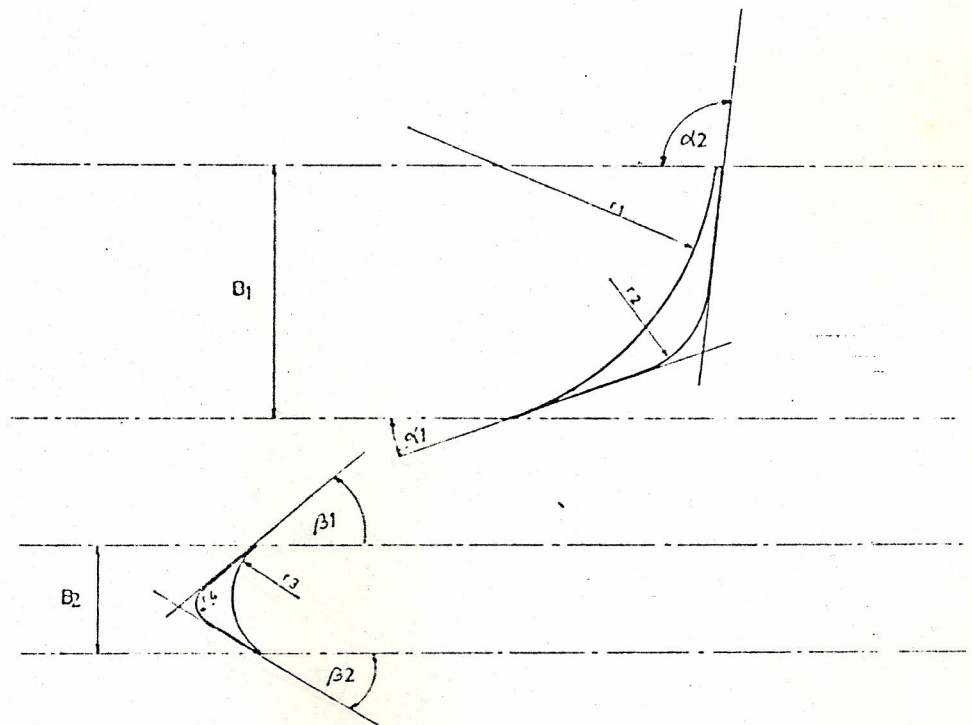
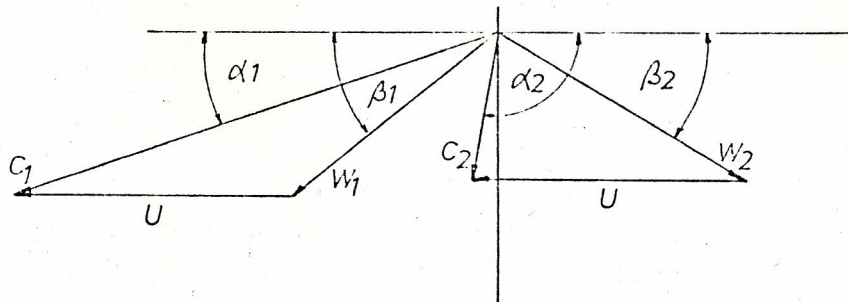
FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ES POL
REVISADO	INSTRUMENTOS		
REVISADO			
COORDINADO			
	TERCER ESCALON		



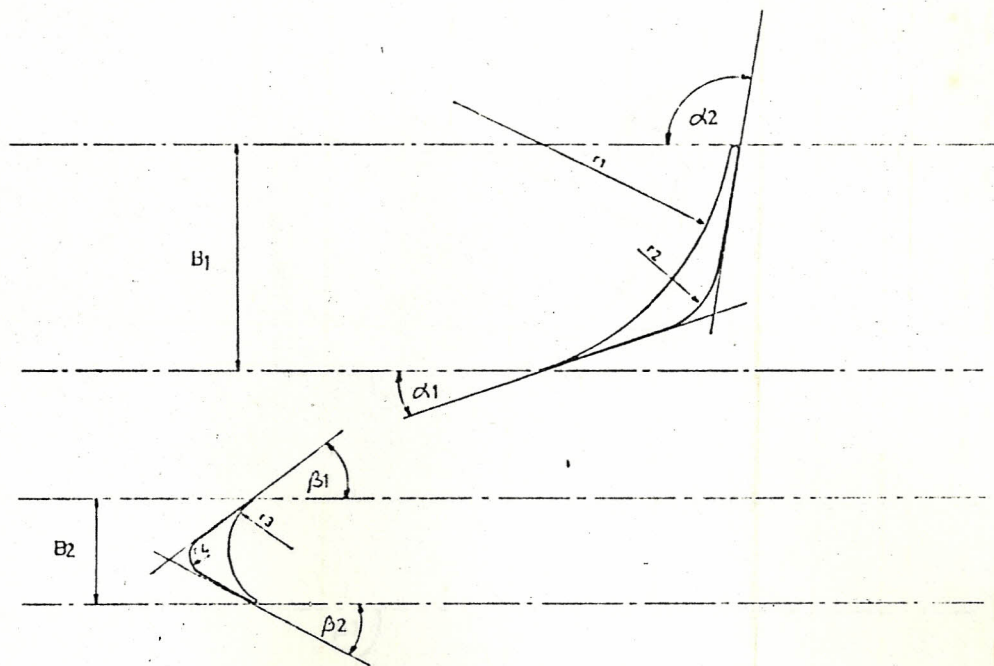
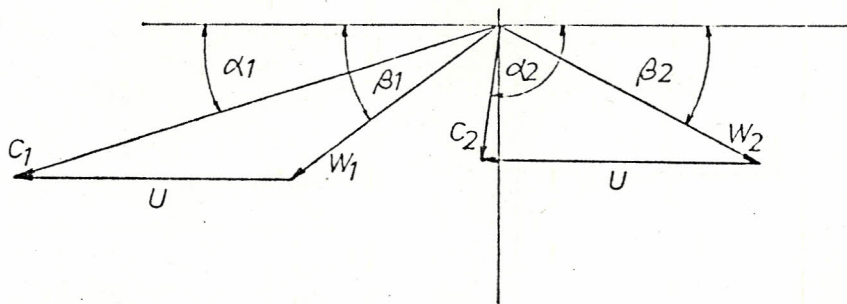
FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ES POL
2012	...		
REVISO		CUARTO ESCALON	
COMPROBADO			



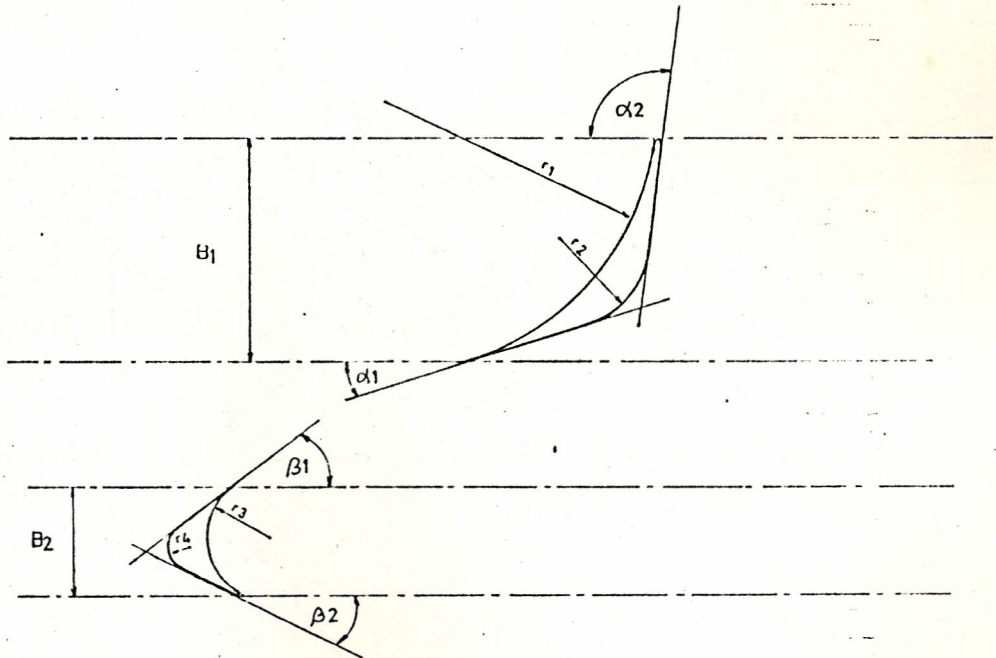
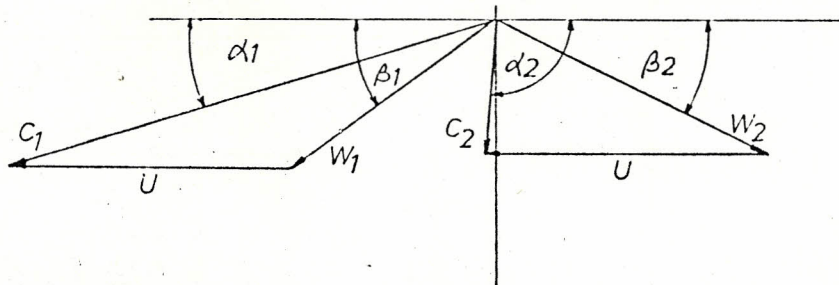
FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
G. IV. X	FRONTI VERDE		
QUINTO ESCALON			



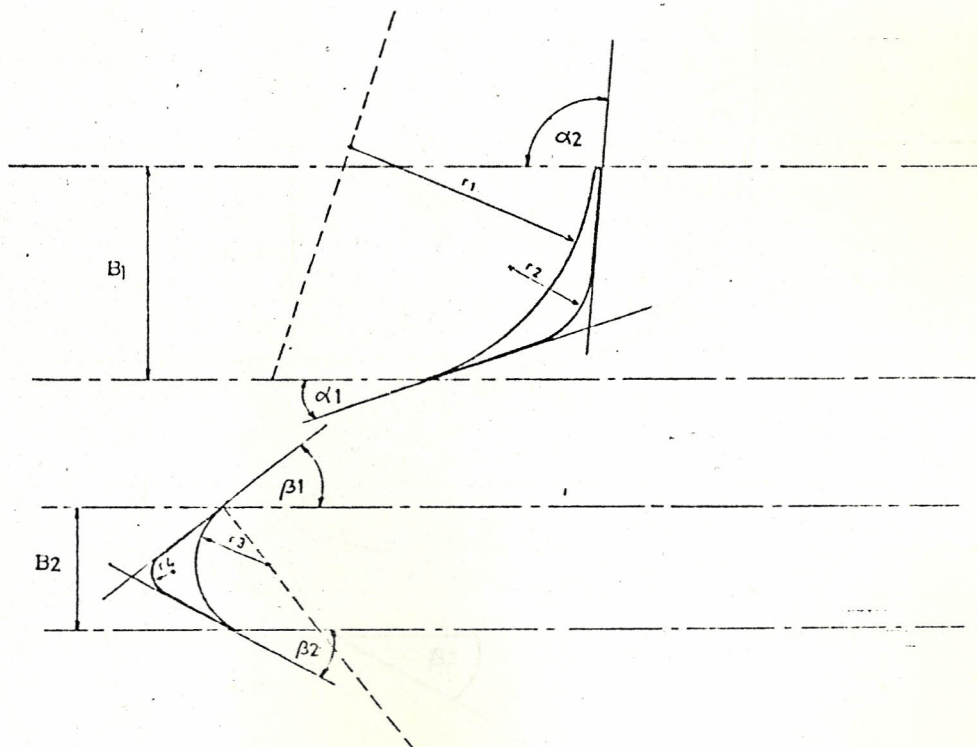
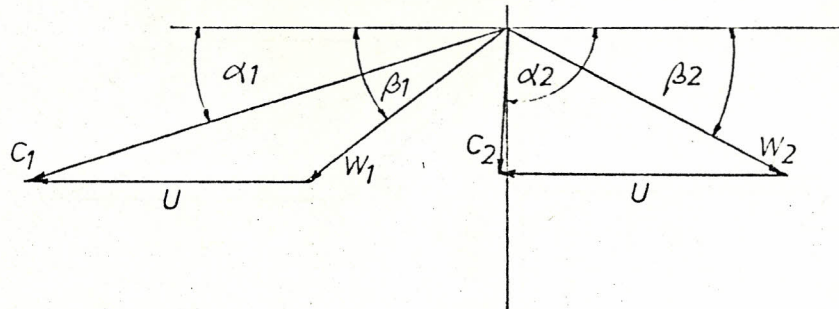
FECHA	HOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
DIBUJO	EXEQUIVERE		
LEGO		SEXTO ESCALON	
OMERO			



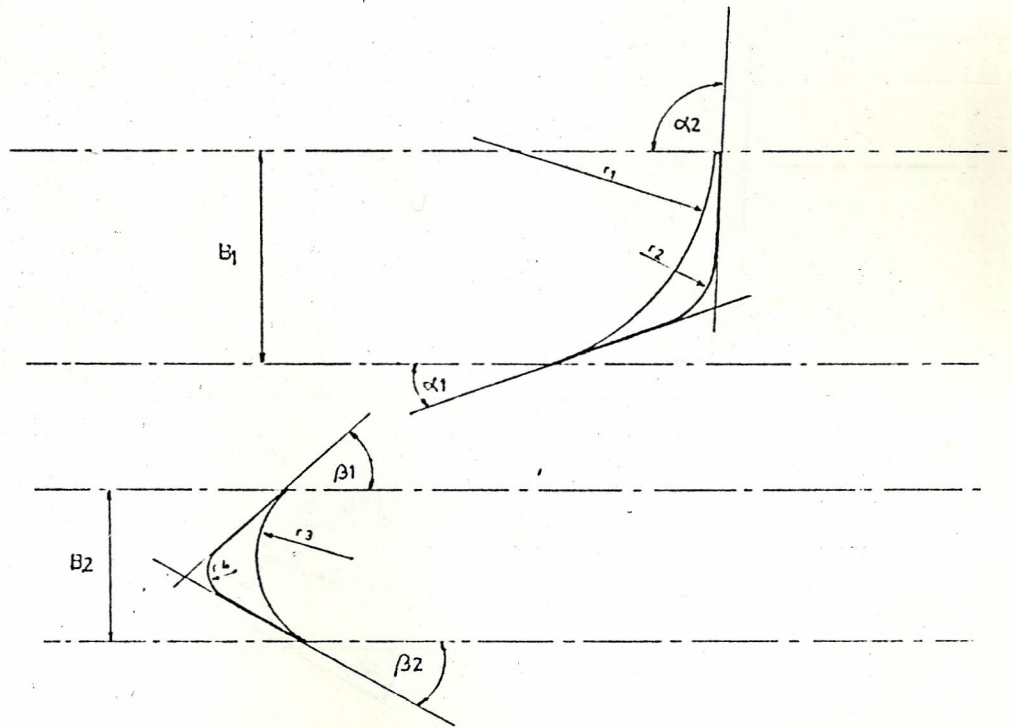
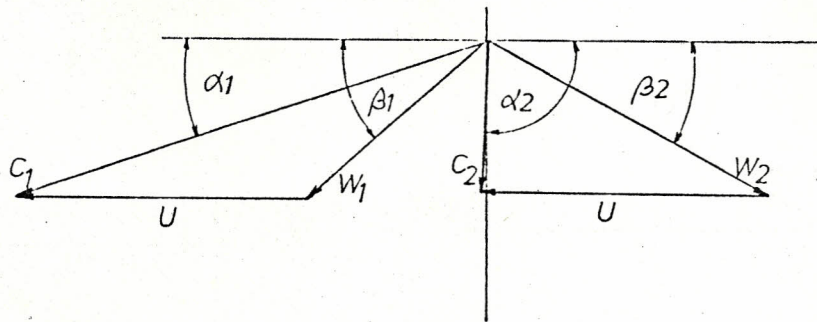
FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL		
DISEÑO	REVISO				
COMPROBADO					
	SEPTIMO ESCALON				



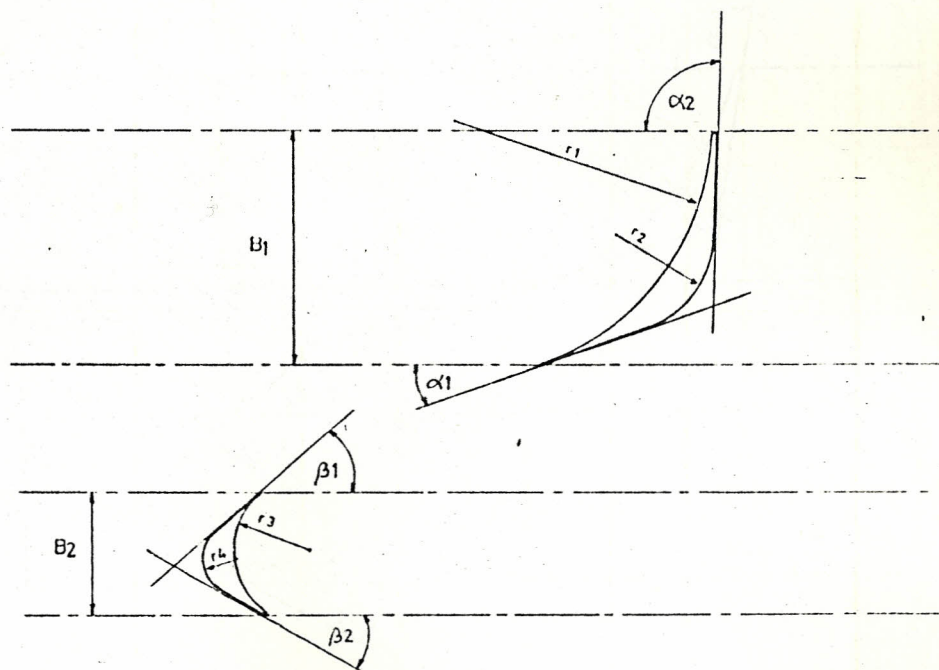
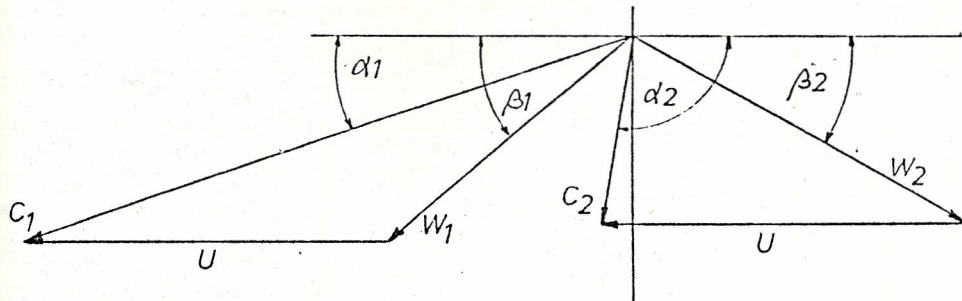
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
DIBUJO	09/IV/90	J. MONTEVERDE		
REVISO				
OMISION				
OCTAVO ESCALON				



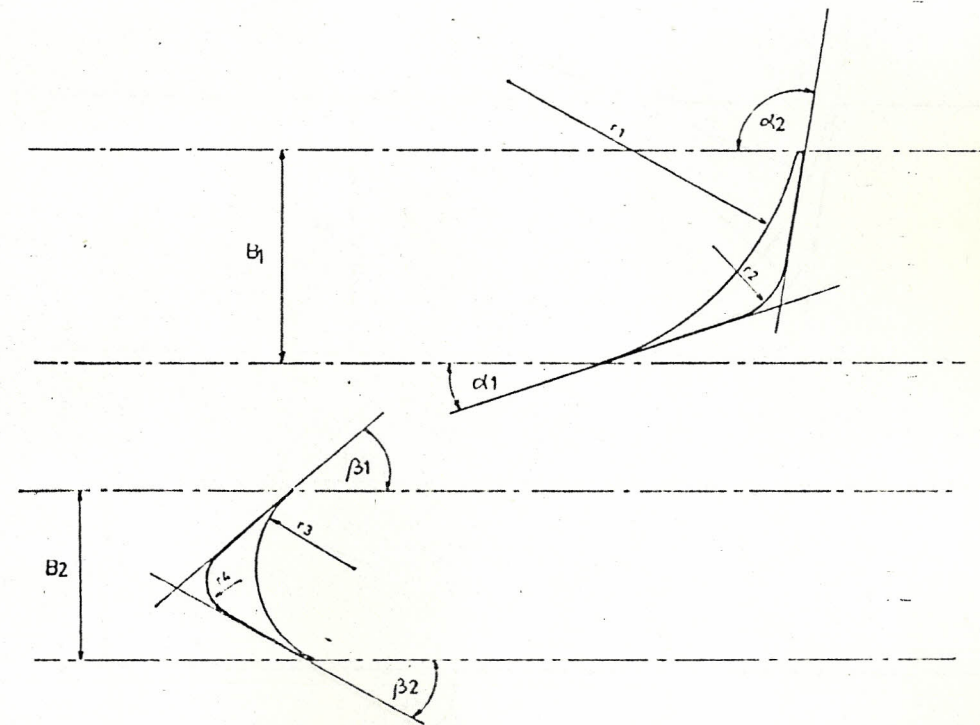
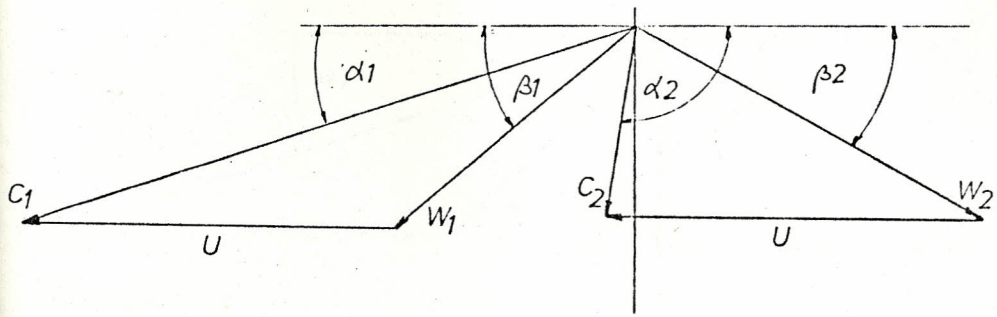
FECHA	DOMINIO	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	E S P O L
DIBUJO	TAMBIEN VERGUE		
DE VISO		NOVENO ESCALON	
COMPLETO			



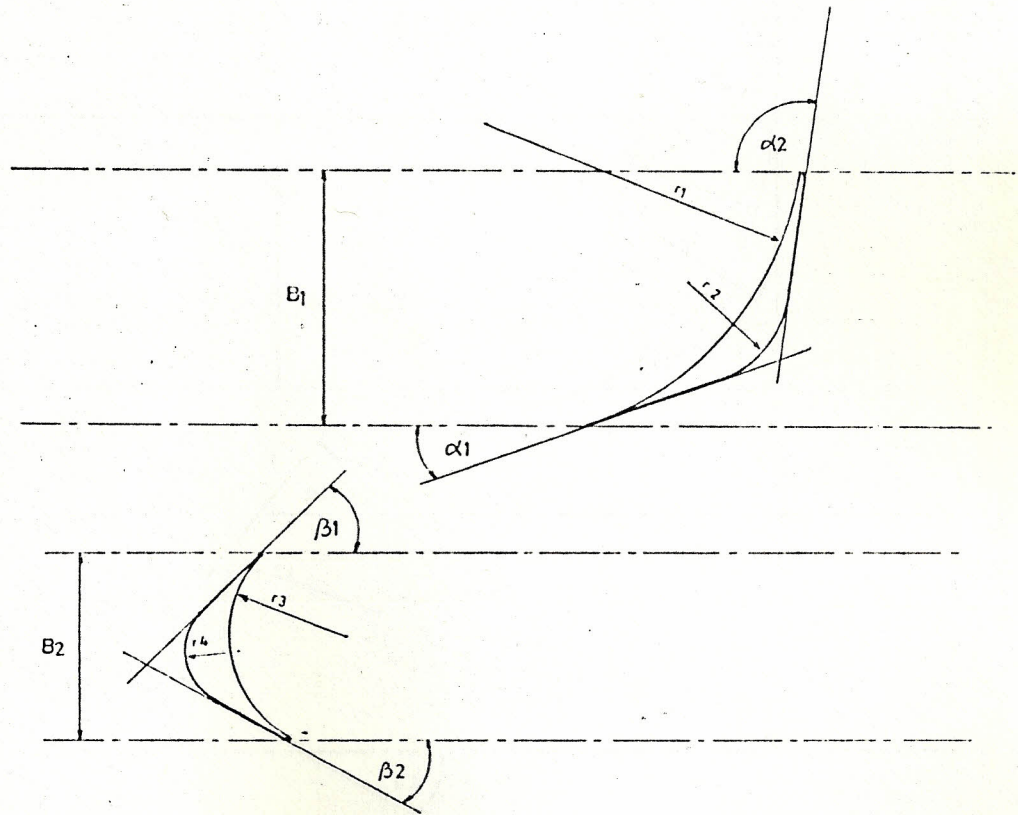
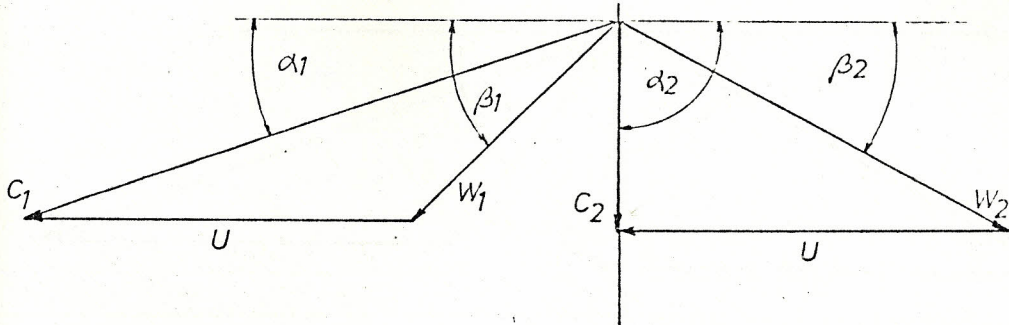
FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ES POL
REVISOR	PROFESOR		
DECIMO ESCALON			



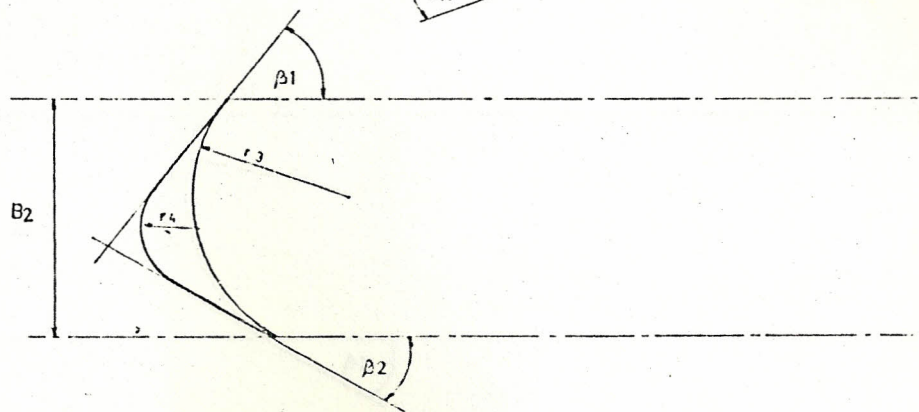
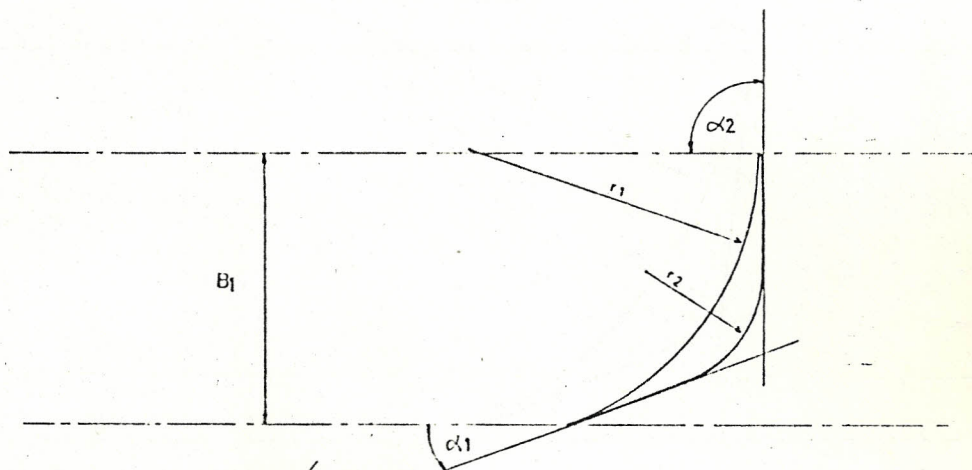
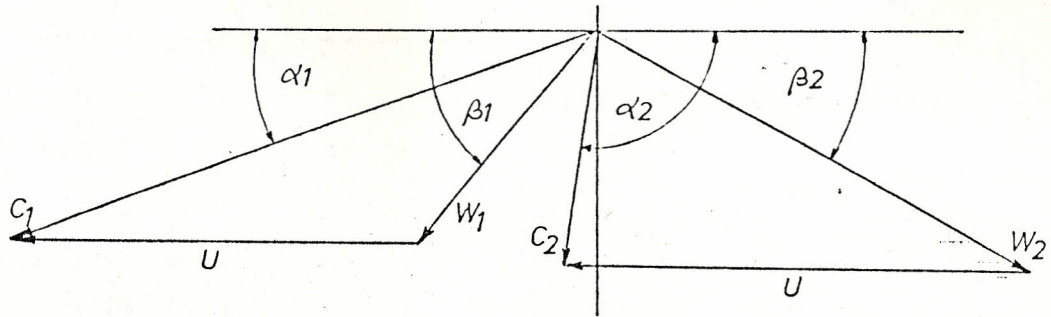
DISEÑO	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
REVISOR				
APROBADO			DECIMO PRIMER ESCALON	



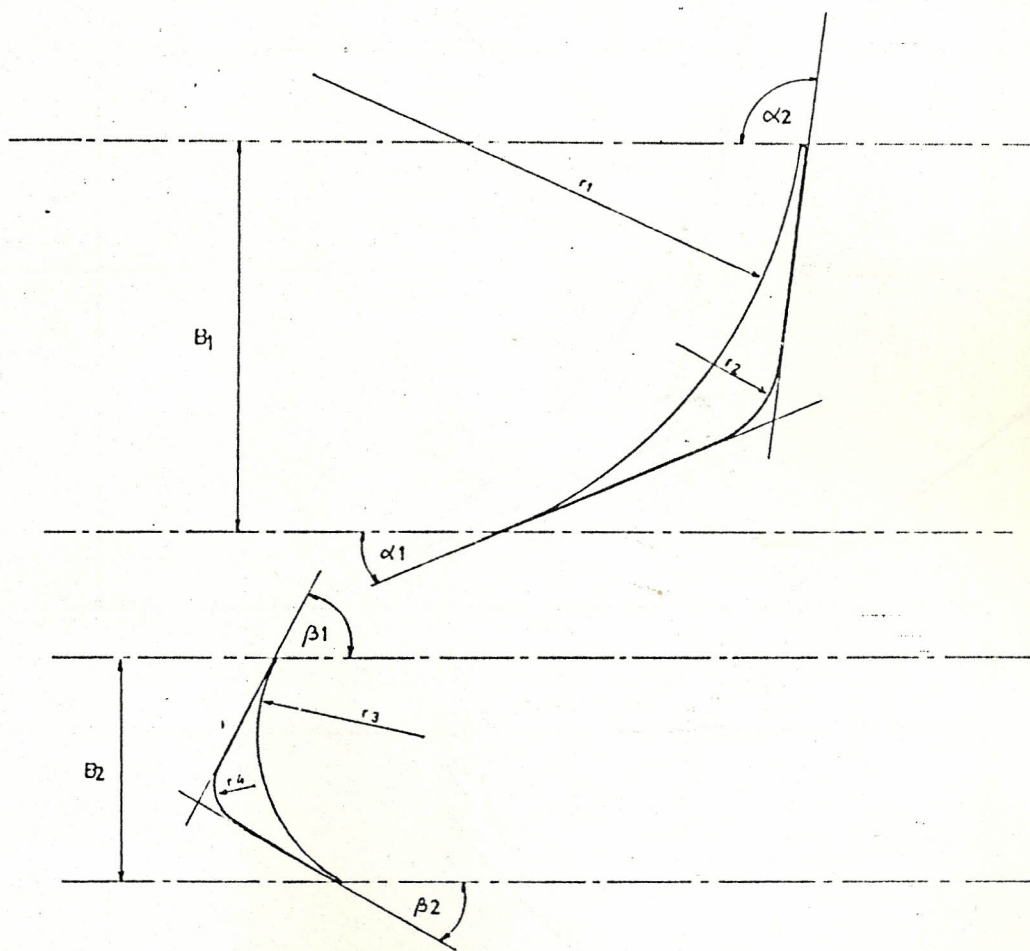
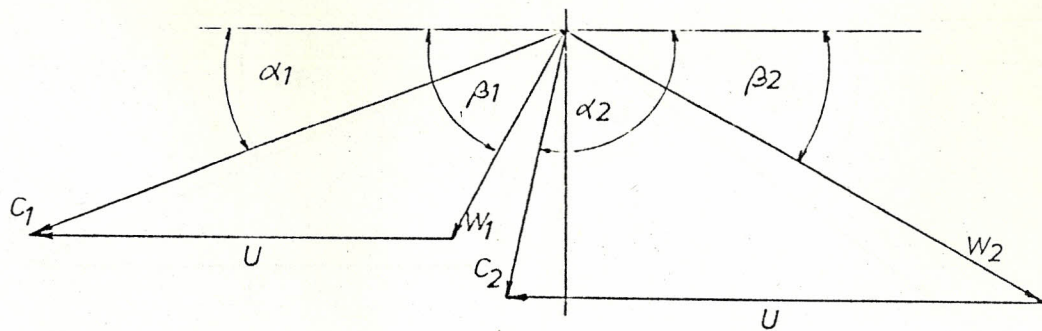
FECHA	TITULO	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
NUMERO	TRABAJO		
DE VISTO		DECIMO SEGUNDO ESCALON	
COMENTARIOS			



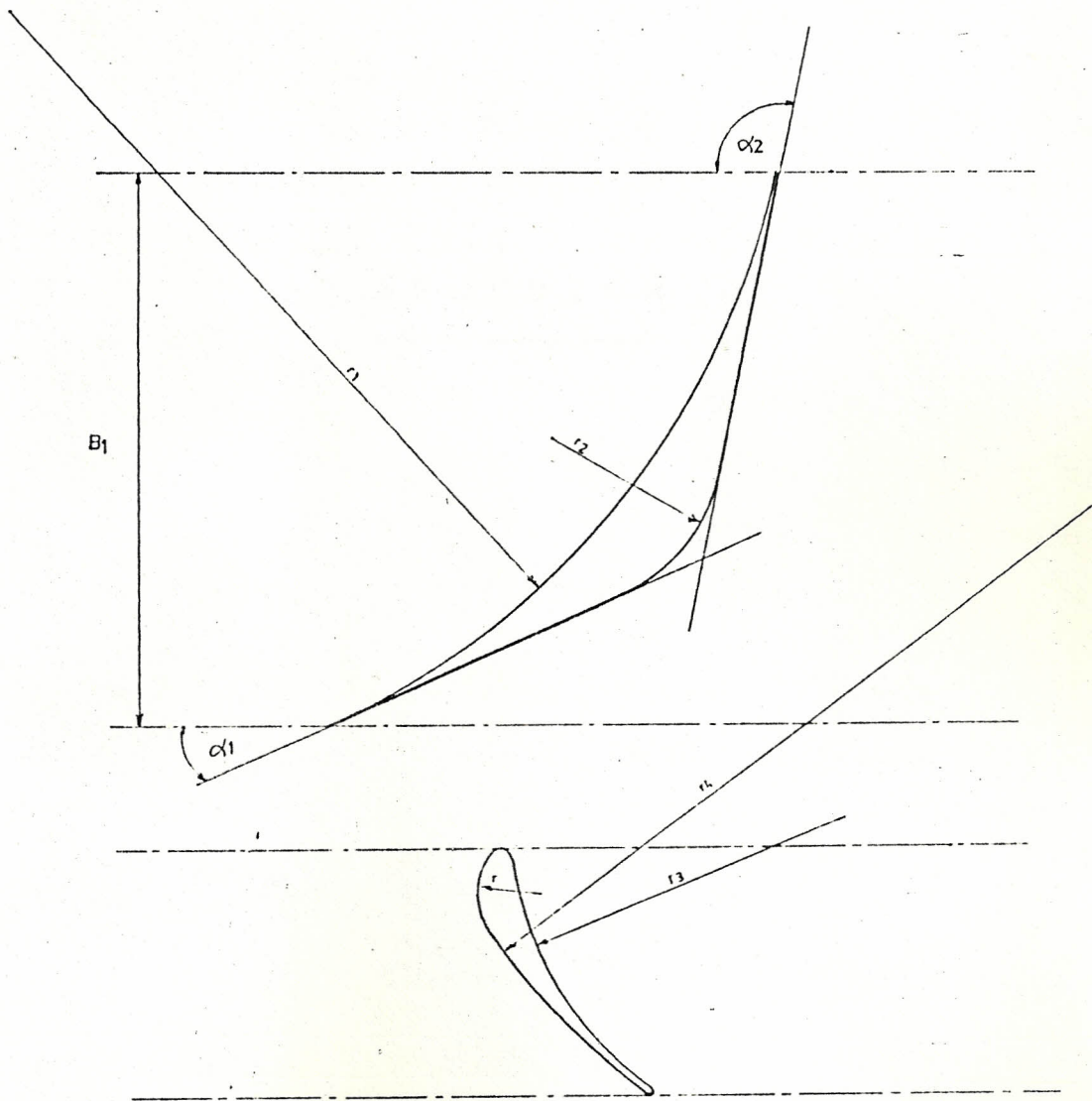
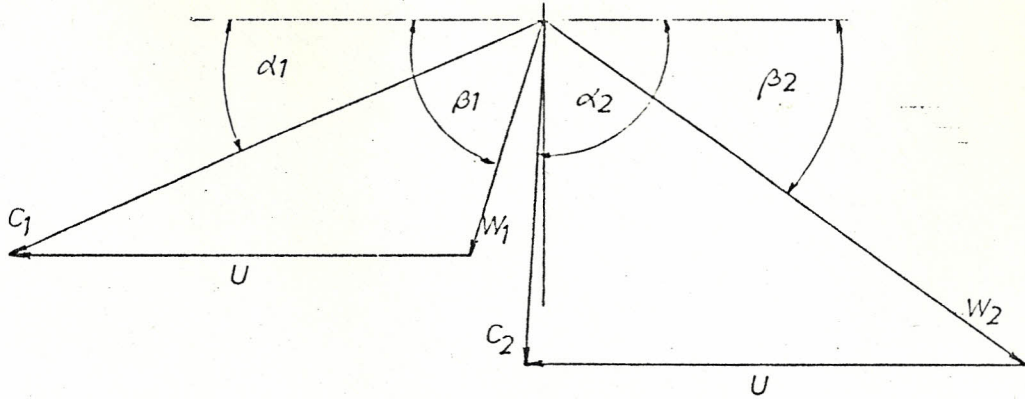
	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
DIBUJO	21-IV-90	MONTE VERDE		
REVISO				
COMPROB.				
	DECIMO TERCER ESCALON			



FECHA	NO. MÓDULO	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
DISEÑO	PROYECTO		
REVISOR		DECIMO CUARTO ESCALON	
COMPROBADO			



	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL		
DISEÑO	16	11			9	13
REVISOR						
COMPROBADO						
	DECIMO QUINTO ESCALON					



FECHA	NUMERO	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
17/11/98	1300116		
DECIMO SEXTO ESCALON			

PERFILES NORMALIZADOS

El rendimiento de los turbinas depende primordialmente de la pérdida de energía.

APENDICE C

Los coeficientes de rendimiento de las turbinas se definen como los siguientes:

Coeficiente de rendimiento global  $\eta_g$

Coeficiente de rendimiento mecánico  $\eta_m$

Coeficiente de rendimiento hidráulico  $\eta_h$

Coeficiente de rendimiento volumétrico  $\eta_v$

Coeficiente de rendimiento de flujo  $\eta_f$

Coeficiente de rendimiento de energía  $\eta_e$

### CALCULO DE LA TURBINA A PARTIR DE PERFILES NORMALIZADOS

El éxito del cálculo de la turbina depende primordialmente de la determinación exacta de las pérdidas de energía.

Otro método de determinación de pérdidas es aquel que se basa en parámetros normalizados, perfiles estándar y en características generalizadas de estos.

Habíamos establecido que las pérdidas relacionadas con el flujo se dividían en dos componentes: pérdidas por perfil y pérdidas terminales caracterizadas respectivamente por sus coeficientes de pérdida de energía:  $\zeta_{\text{perf}}$  y  $\zeta_{\text{term}}$

Y es así como los siguientes gráficos, desarrollados para perfiles con características específicas, nos dan los valores del coeficiente de pérdida de energía con sus respectivos coeficientes de corrección.

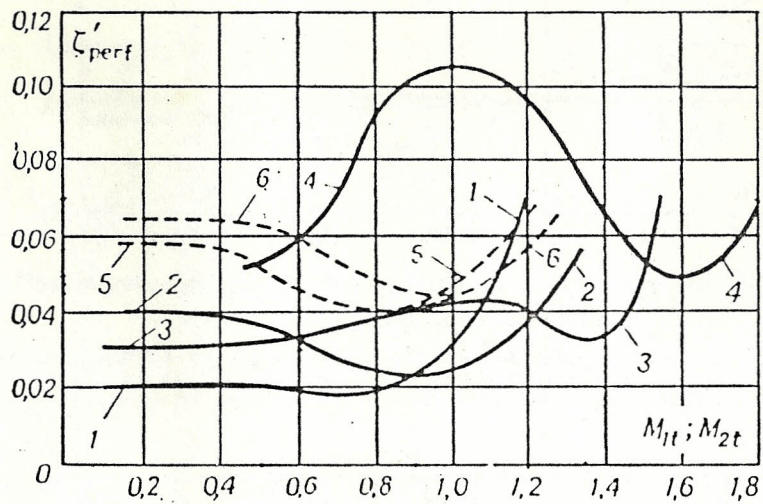


Fig. A-1. Curvas iniciales para el coeficiente de pérdidas por perfil  $\zeta'_{perf}$  en función del número teórico calculado  $M_t$  a la salida de la corona de paletas.

1, para la corona C-90-15A; 2, C-90-15E; 3, C-90-15B; 4, C-90-15P (a  $F_1/F_{min} = 1,13$ ); 5, P-30-21A; 6, P-30-21B)

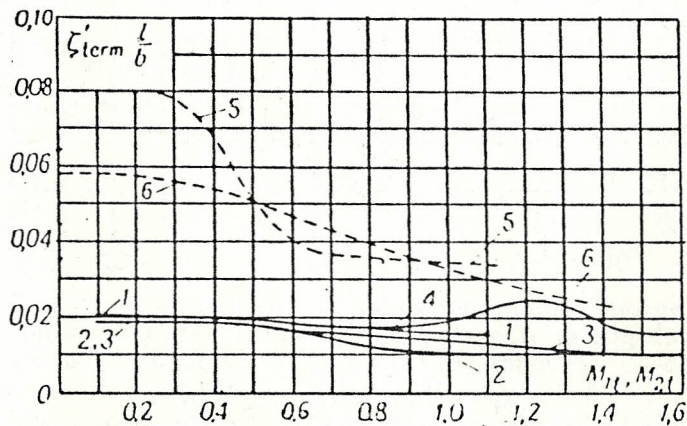


Fig. A-2. Curvas iniciales para el coeficiente de pérdidas terminales  $\zeta'_{term} l/b$  en función del número teórico calculado  $M_t$  a la salida de la corona (las designaciones en las curvas, según la fig. 1).

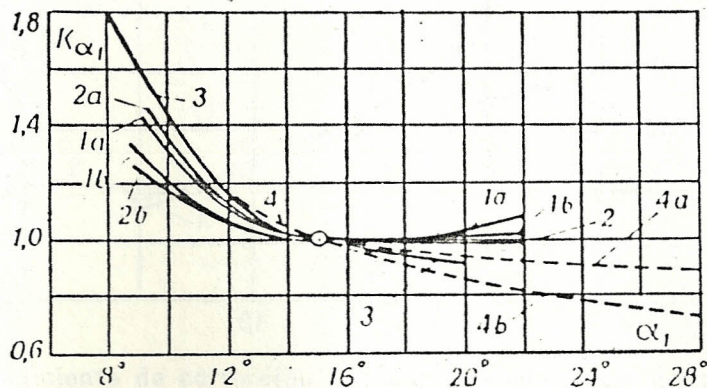


Fig. A-3. Coeficiente de corrección  $k_{\alpha_1}$  para los coeficientes de pérdidas de las coronas de paletas fijas en función del ángulo  $\alpha_{1e}$ .

—, corrección para el coeficiente de pérdidas por perfil; ----, idem para el coeficiente de pérdidas terminales; 1, para las coronas tipo A; 2, tipo B; 3, tipo II; 4, tipo A B, II; a, para  $M \leq 0,5$ ; b, para  $M \geq 1,0$ .

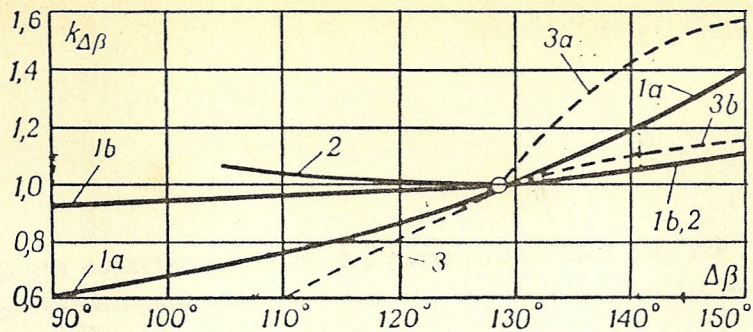


Fig. A-4. Coeficiente de corrección  $k_{\Delta\beta}$  para los coeficientes de pérdidas de las coronas de paletas rotatorias.

—, para las pérdidas por perfil; - - -, para las pérdidas terminales; 1, para las coronas tipo A; 2, para las coronas tipo B, II; 3, para las coronas tipo A, B, B, II; a, para  $M \leq 0,5$ ; b, para  $M \geq 1,0$ ;  $\Delta\beta = 180^\circ - (\beta_{calc} + \beta_{2e})$ .

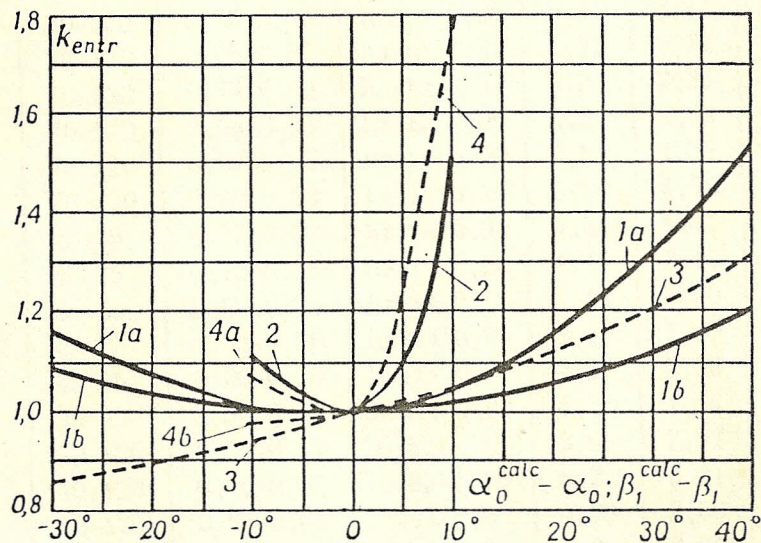


Fig. A-5. Coeficiente de corrección  $k_{entr}$  para los coeficientes de pérdidas por la desviación del ángulo de entrada  $\alpha_0$  (o  $\beta_1$ ) respecto al ángulo óptimo señalado para una corona concreta en la tabla del apéndice. es decir, respecto a  $(\alpha_0^{calc} - \alpha_0)$  o  $(\beta_1^{calc} - \beta_1)$ .

—, para las pérdidas por perfil; - - -, para las pérdidas terminales; 1 y 3, para las coronas de paletas fijas; 2 y 4, para las coronas de paletas rotatorias; 1a, para  $M_{1t} \leq 0,5$ ; 1b, para  $M_{1t} \geq 1,0$ ; 4a, para  $\beta_1^{calc} \leq 35^\circ$ ; 4b, para  $\beta_1^{calc} \geq 50^\circ$ .

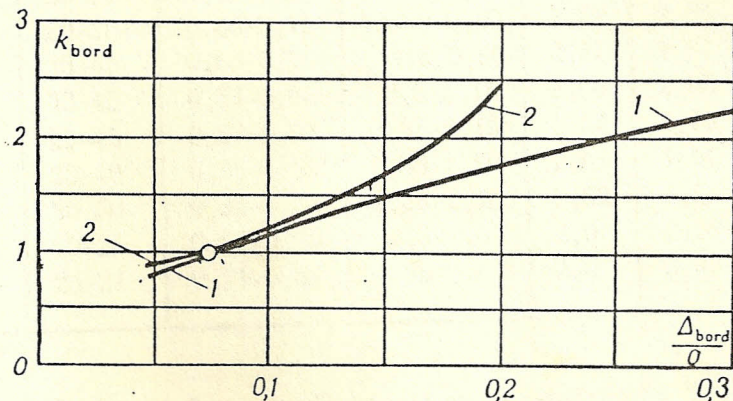


Fig. A-6. Coeficiente de corrección  $k_{bord}$  para coeficientes de pérdidas por la desviación del espesor relativo del borde  $\frac{\Delta_{bord}}{\theta}$  respecto al  $\frac{\Delta_{bord}}{\theta} = 0,075$ . —, para las pérdidas por perfil; 1, para las coronas de paletas fijas; 2, para las coronas de paletas rotatorias.

Algunas características de los perfiles del MEI [B. 12]

Designación del perfil	$\alpha_{1e}, \beta_{2e}$ , grad	$\alpha_0^{calc}, \beta_1^{calc}$ , grad	$\bar{\tau}_{opt}$	$M_{1f}^{opt}, M_{2f}^{opt}$	$b_1$ , cm	$f$ , cm <sup>2</sup>	$J_{min}$ , cm <sup>4</sup>	$W_{min}$ , cm <sup>3</sup>
C-90-09A	8-11	70-120	0,72-0,85	hasta 0,90	6,06	3,45	0,416	0,471
C-90-12A	10-14	70-120	0,72-0,87	hasta 0,85	6,25	4,09	0,591	0,575
C-90-15A	13-17	70-120	0,70-0,85	hasta 0,85	5,15	3,3	0,36	0,45
C-90-18A	16-20	70-120	0,70-0,80	hasta 0,85	4,71	2,72	0,243	0,333
C-90-22A	20-24	70-120	0,70-0,80	hasta 0,90	4,5	2,35	0,167	0,265
C-90-27A	24-30	70-120	0,65-0,75	hasta 0,90	4,5	2,03	0,116	0,195
C-90-33A	30-36	70-120	0,62-0,75	hasta 0,90	4,5	1,84	0,090	0,163
C-90-38A	35-42	70-120	0,60-0,73	hasta 0,90	4,5	1,75	0,081	0,141
C-55-15A	12-18	45-75	0,72-0,87	hasta 0,90	4,5	4,41	1,195	0,912
C-55-20A	17-23	45-75	0,70-0,85	hasta 0,90	4,15	2,15	0,273	0,275
C-45-25A	21-28	35-65	0,60-0,75	hasta 0,90	4,58	3,30	0,703	0,536
C-60-30A	27-34	45-85	0,52-0,70	hasta 0,90	3,46	1,49	0,118	0,154
C-65-20A	17-23	45-85	0,60-0,70	hasta 0,90	4,5	2,26	0,338	0,348
C-70-25A	22-28	55-90	0,50-0,67	hasta 0,90	4,5	1,89	0,242	0,235
C-90-12B	10-14	70-120	0,72-0,87	0,85-1,15	5,66	3,31	0,388	0,420
C-90-15B	13-17	70-120	0,70-0,85	0,85-1,15	5,2	3,21	0,326	0,413
C-90-12P	10-14	70-120	0,58-0,68	1,4-1,8	4,09	2,30	0,237	0,324
C-90-15P	13-17	70-120	0,55-0,65	1,4-1,7	4,2	2,00	0,153	0,238
P-23-14A	12-16	20-30	0,60-0,75	hasta 0,95	2,59	2,44	0,43	0,39
P-26-17A	15-19	23-35	0,60-0,70	hasta 0,95	2,57	2,07	0,215	0,225
P-30-21A	19-24	25-40	0,58-0,68	hasta 0,90	2,56	1,85	0,205	0,234
P-35-25A	22-28	30-50	0,55-0,65	hasta 0,85	2,54	1,62	0,131	0,168
P-46-29A	25-32	44-60	0,45-0,58	hasta 0,85	2,56	1,22	0,071	0,112
P-60-33A	30-36	47-65	0,43-0,55	hasta 0,85	2,56	1,02	0,044	0,079
P-60-38A	35-42	55-75	0,41-0,51	hasta 0,85	2,61	0,76	0,018	0,035
P-23-14Ak	12-16	20-30	0,60-0,75	hasta 0,95	2,59	2,35	0,387	0,331
P-26-17Ak	15-19	23-45	0,60-0,70	hasta 0,95	2,57	1,81	0,152	0,165
P-27-17B	15-19	23-45	0,57-0,65	0,8-1,15	2,54	2,06	0,296	0,296
P-27-17Bk	15-19	23-45	0,57-0,68	0,85-1,15	2,54	1,79	0,216	0,216
P-30-21B	19-24	25-40	0,55-0,65	0,85-1,10	2,01	1,11	0,073	0,101
P-35-25B	22-28	30-50	0,55-0,65	0,85-1,10	2,52	1,51	0,126	0,159
P-21-18P	16-20	19-24	0,60-0,70	1,3-1,6	2,0	1,16	0,118	0,142
P-25-22P	20-24	23-27	0,54-0,67	1,35-1,6	2,0	0,99	0,084	0,100

Y, por último, en la fig. A-6 se puede tomar en consideración la influencia del espesor del borde de escape  $\Delta_{bord}/0$ , es decir, encontrar el coeficiente  $k_{bord}$ .

De esta manera, el coeficiente de pérdidas de energía, que se ha obtenido a base de los datos de investigaciones estáticas de las coronas planas en las condiciones del flujo regular

El coeficiente total de pérdida de energía está dado por la fórmula:

$$(\xi_f)_{\text{atlas}} = \xi'_{\text{perf}} \cdot k_{\alpha}^{\text{perf}} \cdot k_{\text{entr}}^{\text{perf}} \cdot k_{\text{bord}}^{\text{perf}} + (\xi'_{\text{term}} \frac{1}{b}) \cdot \frac{b1}{11} \cdot k_{\alpha}^{\text{term}} \cdot k_{\text{term}};$$

$$(\xi_r)_{\text{atlas}} = \xi'_{\text{perf}} \cdot k_{\beta}^{\text{perf}} \cdot k_{\text{entr}}^{\text{perf}} \cdot k_{\text{bord}}^{\text{perf}} + (\xi'_{\text{term}} \frac{1}{b}) \cdot \frac{b2}{12} \cdot k_{\beta}^{\text{term}} \cdot k_{\text{entr}}^{\text{term}};$$

$$\xi_f = (\xi_f)_{\text{atlas}} + (0,01 \div 0,03)$$

$$\xi_r = (\xi_r)_{\text{atlas}} + (0,03 \div 0,05)$$

donde los coeficientes  $\xi'_{\text{perf}}$ ,  $\xi'_{\text{term}}$  y las constantes de corrección  $k$  son tomados de los gráficos A-1 al A-6.

## BIBLIOGRAFIA

1. Erojin V.G., Majankó M.G., PROBLEMAS DE FUNDAMENTOS DE HIDRAULICA Y TERMOTECNIA. Primera edición, 1979. Traducido al español Editorial Mir, Moscú, 1986
2. General Electric, STEAM TURBINE REGENERATIVE CYCLE, Vol VII, Editorial Mc Graw-Hill, New York, 1972
3. Rivkin S.L., Alexandrov A.A., PROPIEDADES TERMOFISICAS DEL AGUA Y VAPOR DE AGUA. Editorial Energía, Moscú, 1980
4. Schegliaiev A.V., TURBINAS A VAPOR, Vol. I y II. Primera edición, 1978. Traducido al español Editorial Mir, Moscú, 1985
5. Semenof A.S., Shevchenko A.M., CALCULO TERMODINAMICO DE LAS TURBINAS A VAPOR. Editorial Bishia Shkola, Kiev, 1975
6. Severns W.H., Degler H.E., LA PRODUCCION DE ENERGIA MEDIANTE EL VAPOR DE AGUA, EL AIRE Y LOS GASES. Edición en español. Editorial Reverté, Barcelona, 1982
7. Skrotski B.G.A., STEAM TURBINES. Revista POWER. Junio, 1962
8. Wells W.A., STEAM TURBINES AND AUXILIARIES. Revista POWER, Junio, 1989
9. Yablakov L.D., Laginov I.G., INSTALACIONES DE TURBINAS A VAPOR Y GAS. Editorial Energía, Moscú, 1988
10. Yiritzki G.S., Strunkin B.A., CALCULO Y CONSTRUCCION DE COMPONENTES DE TURBINAS A VAPOR Y GAS. Editorial Mir, Moscú, 1968
11. Zanin A.I., Sakalob B.S., TURBINAS A VAPOR, Editorial Buishaya Shkola, Moscú, 1988