

" PROYECTO DE UNA CENTRAL TERMICA EN BIBLIAN "

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTRICIDAD DE LA ESCUELA
POLITECNICA NACIONAL

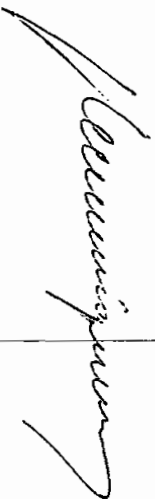
GONZALO GUERRERO JORDAN

QUITO, AGOSTO, 1964

DIRECTOR DE TESTIS:

Certifico que el presente Testigo
ha sido ejecutado por el Sr. Gonzalo
Suarez

ING. ANIBAL ENRIQUEZ



I N D I C E

INTRODUCCION

Página

- 1.- Posibilidades de aprovechamiento del carbón
- 2.- Localización
- 3.- Justificación de la Obra.

C A P I T U L O P R I M E R O

ESTUDIO DEL CARBON

- 1.- DETERMINACION DE LA HUMEDAD 11
- 2.- Determinación de Cenizas 12
- 3.- Determinación del Poder calorífico 13
- 4.- Composición Química 17
- 5.- Granulometría 18
- 6.- Posibilidades de uso 20

C A P I T U L O S E G U N D O

ESTUDIO DEL AGUA DEL RIO BURGAYN-

- 1.- Generalidades 28
- 2.- Dureza del agua 28
- 3.- Depuración del agua 33

C A P I T U L O T E R C E R O

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD E INSTALARSE

- 1.- Capacidad instalada actual 41
- 2.- Estudio de la demanda actual 43
- 3.- Estudio de la demanda futura 54
- 4.- Justificación de la instalación de la central 66
- 5.- Esquema de conexiones eléctricas de la Central 72

C A P I T U L O C U A R T O

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CENTRAL

1.- Generalidades	74
2.- El Hogar \bar{H}	
a) Generalidades	74
b) Preparación del polvo de carbón	75
c) Reservas del carbón	76
d) Cálculo de la cantidad de aire para la combustión	77
e) Producción del tiro	80
f) Regulación automática del tiro	83
g) Dimensiones de la cámara de combustión	87
h) Filtro electrostático	83
3.- La Caldera:	
a) Ciclo térmico	91
b) Rendimiento del ciclo térmico	95
c) Regeneración	97
d) Capacidad de vaporización	97
e) Cálculos para la instalación de la caldera	99
e) Rendimiento de la Caldera	108
f) Partes de la Caldera	111
g) Materiales a usarse	120
4.- TURBINA:	
a) Clasificación	122

INDICE (Continuación)	<u>Páginas</u>
b) Acción del vapor en la turbina	123
c) Número de Escalonamientos	125
d) Extracciones de la turbina	129
e) Diámetro del rodete	138
f) Altura de las Paletas	140
g) Regulación de la turbina	140
h) Características del Generador	144
i) Rendimiento del Turboalternador	145
5.- CONDENSADOR	156
6.- TORRE DE REFRIGERACION	162
7.- CONDUCTOS Y TUBERIA	163

C A P I T U L O Q U I N T O

ESTUDIO ECONOMICO.

1) Inversiones	165
2) Capital de trabajo	166
3) Costo del Kw instalado	166
4) Costos anuales y precio del Kwh	168
5) Costo del Kwh en la subestación de Guayaquil	169

= = = = =

INDICE DE PLANOS Y FIGURAS

I. PLANOS.

- 1) Plano de Ubicación de la Central.
- 2) Plano topográfico de las minas de carbón.
- 3) Diagrama de Mollier con un Anexo.
- 4) Planta de la Casa de Máquinas para un grupo de 10 MW.
- 5) Perspectiva de la Central Térmica.

II. FIGURAS.

- 1.- Curvas de Tyler - Granulometría del carbón.
- 2.- Relación de contenido de ceniza y Poder calorífico.
- 3.- Relación contenido de ceniza al contenido de Azufre.
- 4.- Fusibilidad de cenizas.
- 5.- Funcionamiento de un suavizador.
- 6.- Esquema de un desgasificador.
- 7.- Oferta y Demanda.
- 8.- Curvas de demanda.
- 9.- Crecimiento de la Potencia instalada en el Ecuador.
- 9.- Curva de crecimiento del consumo en Cuenca.
- 10.- Curva de Crecimiento de la Demanda de Cuenca.
- 11.- Diagrama Eléctrico de la Central Térmica.
- 13.- Tiro Estático en la chimineas.
- 14.- Regulador automático.
- 15.- Deshollinador electrostático.
- 16.- Ciclo térmico.
- 17.- Costo de las Calderas.
- 18.- Conexiones de la Central con sus cuatro extracciones.
- 19.- Separador de vapor.
- 20.- Circuito de regulación.
- 21.- Corte vertical de la caldera.
- 22.- Expansión del vapor.
- 22(d) Transmisión Térmica.
- 23.- Componentes de Velocidad y detalle de la Tobera.
- 24.- Presión y velocidad en la turbina.
- 25.- Diámetros de los rodetes.
- 26.- Paletas.
- 27.- Regulador de la Turbina.
- 28.- Refrigeración de Generadores.
- 29.- Sección transversal de la Turbina.
- 30.- Condensador
- 31.- Condensador
- 32.- Curva de Potencia específica en función de la presión.
- 33.- Torre de refrigeración.

INDICE DE CUADROS

- CUADRO N^o 1. Capacidad Instalada en las Provincias de Azuay y Cañar.
- CUADRO N^o 2. Demanda Futura.
- CUADRO N^o 3. ABONADOS RESIDENCIALES, COMERCIALES, INDUSTRIALES EN CUENCA.
- CUADRO N^o 4. Provisions futuras para Cuenca.
- CUADRO N^o 5. Demanda Máxima para Cuenca.
- CUADRO N^o 7. Características de Calderos Modernos.
- CUADRO N^o 8. Características de una Turbina 10 M.W.
- CUADRO N^o 9. Características de la turbina en función de sus cuatro ex-
tracciones.
- CUADRO N^o 10. Características del Vapor.
- CUADRO N^o 11. Dimensiones y Pesos de Turbinas.
- CUADRO N^o 12. Normas recomendadas para Turbogeneradores.

- - - - -

INTRODUCCION

Para establecer las necesidades eléctricas en las provincias de Azuay y Cañar, se ha recopilado datos del último censo eléctrico realizado en 1963.

La escasez de energía eléctrica en dichas provincias actualmente es muy grande. La potencia actual de las diferentes ciudades no es suficiente para atender a las necesidades actuales y peor a las futuras.

En ciertas ciudades, de las dos provincias en referencia, no es continuo el servicio eléctrico, donde funcionan las centrales eléctricas solamente en la noche, las que operan a su capacidad máxima y aún con sobrecarga. Por esta anomalía en el funcionamiento no ha sido posible obtener los datos necesarios para determinar la curva de carga diaria (Excepción de Cuenca) para el cálculo de la demanda eléctrica. Además de esta gran escasez de energía eléctrica se sabe que actualmente hay una gran demanda de energía eléctrica, principalmente en el Cantón Cuenca, para instalaciones de Industrias muy importantes.

POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL CARBON

En vista de esta gran escasez y de esta importante demanda eléctrica por primera vez en el Ecuador se trata de aprovechar el carbón, recurso mineral, para la producción de energía eléctrica instalándose una Central Térmica en Biblián.

La existencia de las grandes minas de carbón de piedra en

las cercanías de Biblián y su fácil explotación hacen bastante factible la instalación de esta Central, que solucionaría los problemas eléctricos de las dos provincias, las que tienen como centros de consumo: Cuenca (65.000 habitantes), Azogues (8.000 h.) y Cañar (con 5.000 h.).

El carbón de piedra de las minas de Biblián ha sido analizado minuciosamente en varios países europeos y en Estados Unidos, de cuyos análisis se ha podido concluir de que si bien el carbón de Biblián tiene un bajo rendimiento calórico (4.000 kcal/kg.), tampoco se podría despreciar dicho recurso natural. ^{200/)}
_{iaf}

Se sabe que la calidad óptima de un carbón para ser utilizado como combustible de Centrales Térmicas está entre 5.000 y 7.000 kcal/kg.

Este mismo carbón se encuentra hoy día en explotación para ser utilizado como combustible de la fábrica de cemento Guapán.

En cuanto a su cantidad parece no tener ningún problema puesto que las longitudes de las cuatro vetas son indefinidas. ²

LOCALIZACION.- La Central Térmica se instalará en orillas del río Burgay, junto a Biblián, al noroeste de Azogues; teniendo una distancia media de Azogues a la Central de 6 km. - de Cuenca a la Central 30 kms. y de la Central a las minas de carbón 2 km. Quedará además accesible a la carretera Panamericana y a la línea del ferrocarril.

JUSTIFICACION DE LA OBRA

- 1.- Gran escasez y marcada demanda de energía eléctrica en las provincias de Azuay y Cañar.
- 2.- La Central Térmica daría una solución acertada a los problemas eléctricos por las siguientes razones: a) Relativa cercanía a los centros de consumo; b) Bajo costo de instalación; c) Menor tiempo de ejecución de la obra.
- 3.- Existen en estas Provincias varios proyectos hidroeléctricos, que necesitarían por lo menos cuatro a cinco años para la realización de una obra de esta naturaleza.

La Central Térmica de Biblián será diseñada para una capacidad de 30.000 kw. que serán instalados en dos etapas, la primera de 20.000 kw. y la segunda de 10.000 kw.

Esta capacidad a instalarse podrá atender a la demanda de las dos provincias hasta después de 10 años por lo cual se justifica su instalación. Y para este tiempo se tiene ya pensado que entrarán a funcionar uno de los siguientes proyectos hidroeléctricos: Pisayambo (el más inmediato), Cola de San Pablo, o del Río Jubones.

El presente proyecto se ha realizado gracias a la colaboración de la Compañía. Francesa PIC, la que por intermedio de su Presidente, doctor Jean Lobet, me ha proporcionado todas las facilidades para la concesión del mismo.

El análisis del carbón y del agua del río Burgay se rea-

lizó en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, bajo la Dirección del Ing. Mario Paz.

El estudio de la demanda eléctrica se efectuó con los datos que posee INECCEL y el Ministerio de Fomento.

A todas las personas que han colaborado en la presente Tesis mis sinceros agradecimientos.

CAPITULO PRIMERO

ESTUDIO DEL CARBON (VETA N° 1)

I.- DETERMINACION DE LA HUMEDAD.- La muestra reducida a un polvo fino se pesa aproximadamente 0,5 gr. y se introduce en un desecador a 110°C durante una hora:

LECTURAS	No. 1	No. 2
Peso del crisol vacío	10,2476 gr.	15.2141 gr.
Peso del crisol con muestr.	10.72,02 "	15.8136 "
Luego colocamos los crisoles en el desecador a 110°C durante una hora y después obtenemos los siguientes pesos:		
	10,6472 gr.	15.7326 gr.

Cantidad de muestras:

	No. 1	10.7202
		- 10.2476
		<u>0.4726 gr.</u>
Peso	No. 2	15.8136
		<u>15.2189</u>
		0.5389 gr.
Peso después de desecar	No. 1	10.7202
		<u>10.6472</u>
		0.0730 gr.
	No. 2	15.8136
		<u>15.7326</u>
		0.0810 gr.

Porcentaje de humedad:

$$\text{No. 1 } \frac{0.0730 \times 100}{0.4726} = 15\% \qquad \text{No. 2 } \frac{0.081 \times 100}{0.5389} = 14\%$$

Se puede tomar un 14% de humedad como término medio.

II.- DETERMINACION DE LAS CENIZAS (Veta No. 1)

Para la determinación de cenizas se usa el siguiente procedimiento; la muestra se pesa más o menos 0,5 gr. y se introduce en la estufa hasta unos 200°C. Luego se lleva a la mufla y se tiene allí durante una hora a 900°C; después se vuelve a pesar y la diferencia será el % de cenizas.

La muestra debe ser medida, hasta que quede en polvo fino, hasta que pase un tamiz de 60 mallas.

LECTURAS: Tenemos dos muestras:

No. 1 10.6472 gr. (pesado con la cápsula antes de

No. 2 15.7326 gr. (colocar en la mufla)

Peso del crisol vacío No. 1 = 10.2476 No. 2 = 15.2747,
después de salir de la mufla que ha estado hasta 1.000°C durante una hora.

Peso de las muestras 0.399 gr. y 0.456

No. 1 10.5712 gr.

No. 2 15.5976 gr.
No. 1 10.6472 - 10.5712 = 0,076 gr.
No. 2 15.7326 - 15.5976 = 0,135 gr.

Porcentajes No. 1 $\frac{0.076 \times 100}{0.399} = 19\%$
No. 2 $\frac{0.155 \times 100}{0.456} = 19,5\% \quad \cancel{19,5\%}$

III.- DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO

Para determinar el poder calorífico, se utilizó la bomba calorimétrica de Parr.

El proceso para determinar el poder calorífico es el siguiente:

Se pesa una muestra unos 0,5 gr., se mezcla con los siguientes reactivos: 1,0 gr. de perclorato de potasio (catalizador) y 0,3 gr. de ácido benzoico, y aproximadamente 15 gr. de peróxido de sodio. Estos reactivos, mezclados con la muestra de carbón, tienen la misión de ayudar a la combustión de la muestra.

La combustión de la muestra y sus reactivos se efectúa de la siguiente manera: se tapa la cápsula con la muestra y se coloca un alambre fusible en contacto con la muestra; el voltaje aplicado fue 9

voltios, y la carga 3 amperios.

Este alambre fusible forma un electrodo y la cápsula el otro, y al aplicar la carga se quema la muestra y sube la temperatura del agua; por este incremento de temperatura se puede determinar el poder calorífico inferior del carbón, descontando un porcentaje por los diversos factores que lo afectan.*

La combustión aproximadamente se realiza en 5 segundos.

Después de estos 5 segundos se va haciendo lecturas en el termómetro, cada medio minuto y luego cada minuto, hasta que se establezca la temperatura, en unos 5 minutos. Como se conoce la temperatura inicial del agua se puede calcular el aumento de la misma debido a la combustión.

Luego se procede a las correcciones de esta temperatura debidas a la combustión, a la irradiación, etc.

Para el cálculo se aplica la fórmula:

$$\frac{0,73 \text{ por equivalente de agua} \times \Delta t.}{\text{peso de la muestra}}$$

Para nuestro caso el equivalente de agua vale: 2.123,3

0,73 quiere decir que sólo un 73% del calor liberado pertenece a la muestra y el 23% se debe al calor de reacción del CO₂ y agua con óxido de sodio.

$\Delta t.$ = La elevación de la temperatura una vez efectuadas las correcciones.

RESUMEN DE LOS ENSAYOS.- Lectura de los experimentos en el calorímetro.

Cálculos.

Temperatura ambiente del agua = $89,5^{\circ}\text{F}$ $89,5$ oF.

Luego de 5 segundos de la iniciación del experimento, lecturas cada 30 segundos.

1		92 ° F
2		93,82 "
3	94,4	94,4 "
4		94,8 "
5		94,86 "
6		94,91 "
7		94,94 "
<hr/>		
8		94,95
<hr/>		
9		94,95
10		94,93

Por la corrección de la escala - 0,02

Temperatura final del agua = $94,95 - 0,02 = 94,97^{\circ}\text{F}$.

A esta temperatura final se deben hacer las correcciones por la combustión.

Por el fusible	0.005
Por el acelerador	0.200
Por hidratación	0.070
Por cenizas	0.095
Por azufre	<u>0.119</u>
	-0.489

La temperatura perdida por irradiación es + 0.035 °F.

La temperatura final con las debidas correcciones es:

$$97,97 + 0.035^{\circ}\text{F.} - 0.489 = 94.516^{\circ}\text{F.}$$

$$\text{El aumento de temperatura} = 94,51 - 89,5 = 5.016^{\circ}\text{F.}$$

Aplicando la fórmula:

$$\frac{5.016 \times 0,73 \times 2123,3}{0,5} = 15.550 \text{ B T U} = 3950 \text{ Kcal/kg.}$$

2123,3 equivalente del agua

0,5 peso de la muestra

0,73 rendimiento

5.016 diferencia de temp.

$$\frac{15.550}{3,97} = \underline{\underline{3.950}} \text{ k cal/kg.}$$

En otros experimentos ha dado con otras muestras de la misma

veta No. 1.

3.970 K.cal - kg.

3.890 k.cal - kg.

3.930 k.cal - kg.

11 73 *Wassil / i.*

De los resultados obtenidos en el laboratorio se puede asignar, sin error, para el carbón de Biblián un promedio de 4.000 k cal -kgs. como poder calorífico inferior.

Se anotará que en los experimentos y análisis que se han hecho en Europa se ha determinado para el carbón de piedra de Biblián hasta 6.000 kcal-kg., valor que en el país no ha sido posible comprobarlo.

IV.- COMPOSICION QUIMICA DEL CARBON

El carbón es una sustancia orgánica que proviene de las transformaciones sufridas por los vegetales y a elevadas temperaturas y presiones y sin contacto con el aire.

Después de obtener el poder calorífico inferior a la Bomba de "P a rr", de los residuos que quedan en la cápsula se determina la siguiente composición de azufre.

Muestra No. 2	No. 2	No. 3
Humedad 14%	16%	13%
Cenizas 19%	16%	16%
Material carbonoso 62%	56%	66%
Volátiles 30%	40%	28%
Hidrógeno 2,5%	2,9%	2,6%
Azufre 6%	7%	5,5%

Punto de fusión de las cenizas 1.050°C.

Manera de determinar el % de azufre:

El azufre que antes de la combustión estaba como sulfuro o como compuesto orgánico en la bomba de Parr, se ha oxidado hasta formar sulfato de sodio.

Después de la combustión el sulfato se disuelve en agua, se neutraliza con ácido clorhídrico y se le añade cloruro de Bario, precipitándose así el sulfato de Bario formado. Luego se filtra, se calcina y se pesa. Este peso del sulfato de bario se multiplica por su coeficiente experimental.

Factor =	0,1378	
Peso BaSO4 =	0.413 gr.	$\frac{0.039}{0.413} = 9,5\%$
	$0.413 \times 0.1378 = 0.039$	9,5%
	9,5% de azufre	

Este azufre se eliminará en la planta de lavado, donde se triturará y se lavará, eliminándose las impurezas.

V.- GRANULOMETRIA (análisis de la Veta No. 1)

El ensayo granulométrico tiene por objeto determinar la composición del carbón de acuerdo a los tamaños de las partículas de que esta compuesto.

Para determinar estos tamaños, se utiliza tamises o cribas, usadas en serie, la que va de una mayor abertura a una menor abertura.

Hay tamesis con aberturas desde 4" hasta 74 micrones.

Los tamises son simplemente mallas de alambre. Generalmente se usa la malla cuadrada.

El tamis No. 10 quiere decir que tiene 10 aberturas por pulgada cuadrada.

y se denominan los otros...

Para realizar el ensayo granulométrico, se ha tomado una muestra de carbón de la Veta No. 1, se lo ha secado a la temperatura ambiente, se lo ha disgregado perfectamente, conservando al máximo la estructura unitaria y se pasa a través de los tamises comenzando por los de mayor abertura. Según esto, se ha obtenido los siguientes valores del ensayo para el lignito bruto, es decir para el carbón tal como sale de la mina.

Luego, se hace un segundo ensayo, triturando las partículas de carbón más grandes de ϕ 30 mm., es decir las partículas que no pasan el tamis de 30 mm., hasta que pasen todos por el tamis de 30 mm., como máximo. De este ensayo se obtiene otros valores en %, que a continuación se enumeran.

El lignito bruto pasa los siguientes tamises en los % siguientes:

P ϕ 5 mm.	10,7%
ϕ 5-10	7,9%
ϕ 10-20	13,3%
ϕ 20-30	8,6%
30	<u>59,5%</u>
	100,0%

Fig. No. 1 (curva de Tyler, línea discontinua)

b) el lignito después de triturar el mayor de 30 mm. a 30 mm.

Ø 0,45 mm.	5,45%
0,45-3	12,0%
3-15	46,9%
15-30	31,10%
30	4,5%

Fig. No. 1.- Curva de Tyler línea continua.

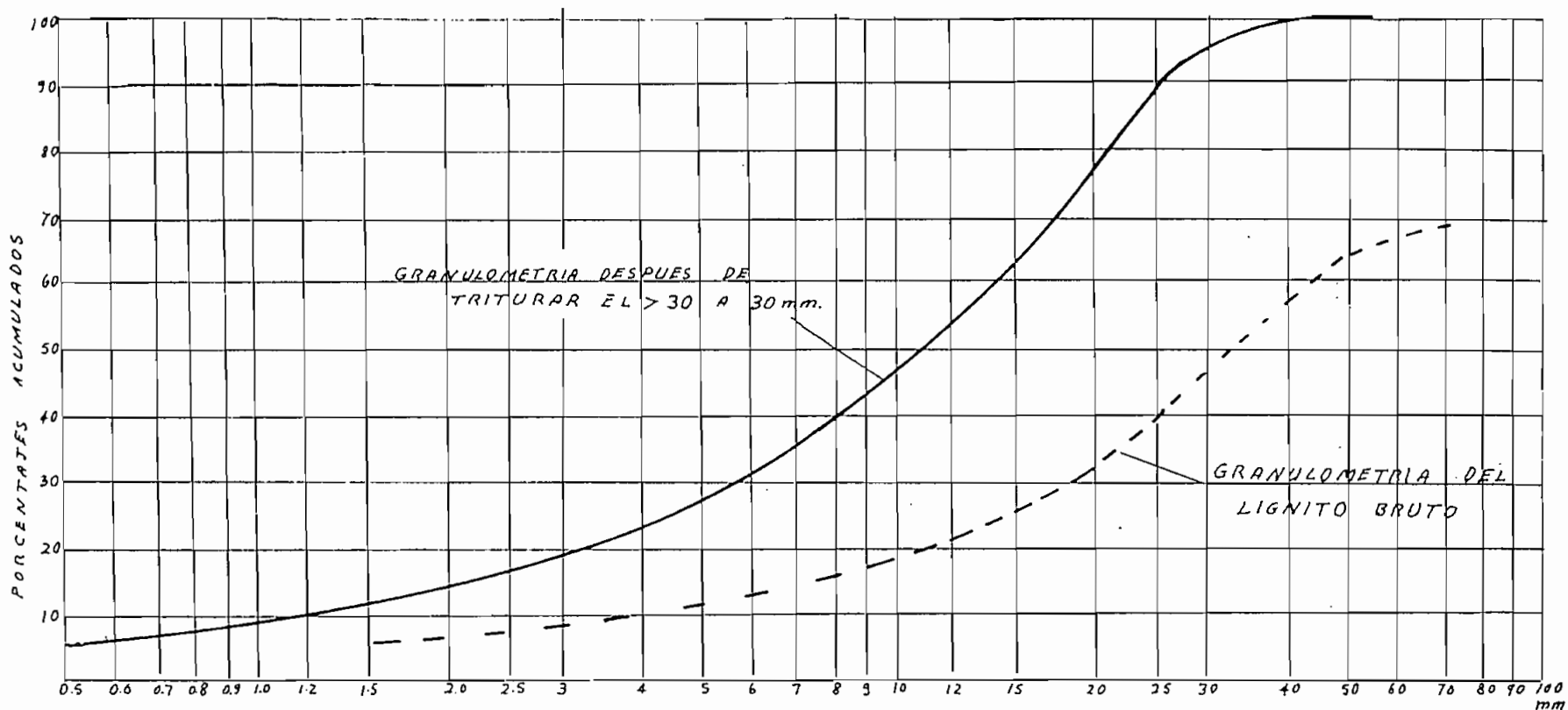
VI.- POSIBILIDADES DEL USO

La mejor aplicación que se puede obtener del carbón es mediante la destilación seca a baja temperatura, lo que se llama también coquización a baja temperatura. Esta destilación se produce cuando los combustibles se carbonizan y provocan la disociación térmica del bitumen y de las sustancias bituminógenas.

Se fija como temperatura de tope 700°C. Para esta destilación se evitará el exceso de aire.

De la destilación descrita se pueden obtener los siguientes productos:

- a) Coque para la generación de calor, es decir como combustible
- b) Gas
- c) Alquitrán



CURVAS DE TYLER — GRANULOMETRIA DEL CARBON DE BIBLIAN (Veto Nº1)

CIFRAS PARA ESTABLECER LA CURVA DE TYLER

MALLA	PESO	%	Σ%	MALLA	PESO	%	Σ%	MALLA	PESO	%	Σ%
< 5		10.7	10.7	20-30		8.6	40.5	< 5		5.45	5.45
5-10		7.9	18.6	> 30		59.5	100.0	0.45-3		12.0	17.45
10-20		13.3	31.9					3-15		46.9	64.35
								15-30		31.0	95.45
								> 30		4.5	100.0

DESPUES DE TRITURAR

FIG. Nº1

De estos dos últimos productos principales pueden obtenerse los siguientes derivados de mucha importancia en la industria.

- Del gas:
- 1.- Gas de alumbrado, combustible doméstico.
 - 2.- Amoníaco que usariamos como colorantes, fertilizantes, etc.
 - 3.- Benzol (C_6H_6) que se usaría como solvente orgánico.
 - 4.- Acidos sulfhídrico y cianhídrico que son muy venenosos, los cuales se debe purificar.

Para la purificación: se hace circular el gas por torres rellenas de CaO y FeO Fe_2O_3 , luego esta masa del relleno se expone al aire, se volatiliza y queda apta nuevamente. También se puede hacer la purificación líquida, para lo cual se usa un líquido activo que absorbe el H_2S y HCN y este líquido es Na_2CO_3 en un 5%.

Del alquitrán se puede obtener:

- 1.- Aceites
- 2.- Grasas

Livianos

Carbólicos

Estos aceites pueden ser:

Pesados

Verdes

Del aceite liviano se puede obtener ^{en} Bzozol, Toluol, Xilol, naftalena y Piridina, quedando como residuo aceite espeso que es combustible. El Benzol puede usarse para la industria del plásticos, para produoir fenol, para insecticidas y colorantes, etc.

Del aceite carbólico y mediano se puede obtener fenol, naftalena, etc.

Del aceite pesado se pueden obtener quinolinas.

Del aceite verde se puede obtener: Antraeno, Fenantreno, Carbazol, que se usa en la industria farmacéutica.

NOTA.- De los análisis del carbón hechos por la Compañía Francesa PIC, coinciden en ciertas partes con los análisis realizados en los laboratorios de la Escuela Politécnica, por la cual se puede adjuntar los gráficos de relación entre -contenido de ceniza y poder calorífico. Figura No. 2.

- contenido de azufre y de cenizas No. 3

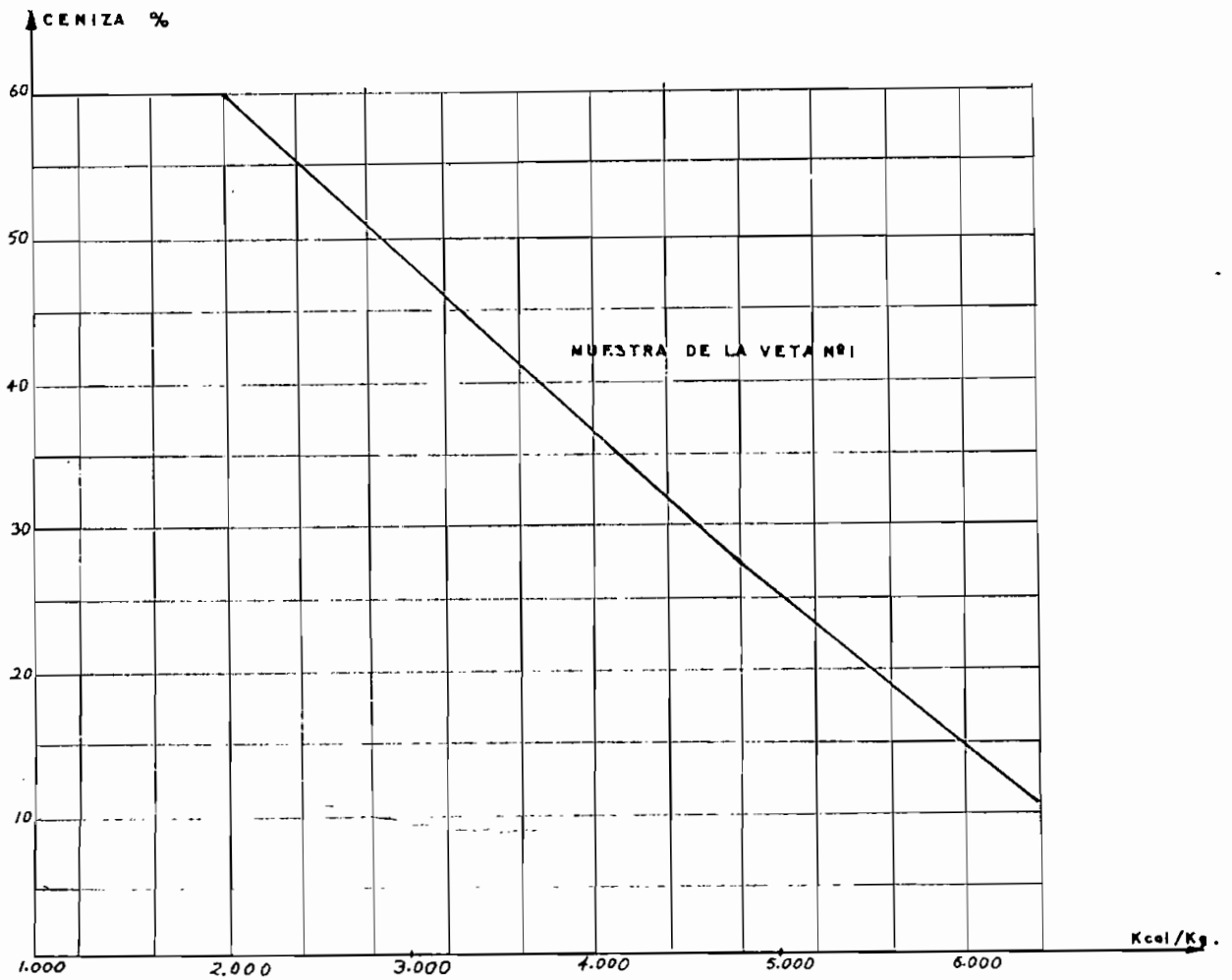
- fusibilidad de cenizas Figura No. 4

Como se verá en la figura 3, el contenido máximo de azufre es 7%, y en el laboratorio también se determinó el 9%. En el laboratorio se encontró en cenizas = 19% y poder calorífico inferior = 4.000 k-cal/kg., puntos que coinciden en la curva de la figura No. 2-2.

CONCLUSIONES.- De la materia prima "Carbón" se pueden obtener innumera-

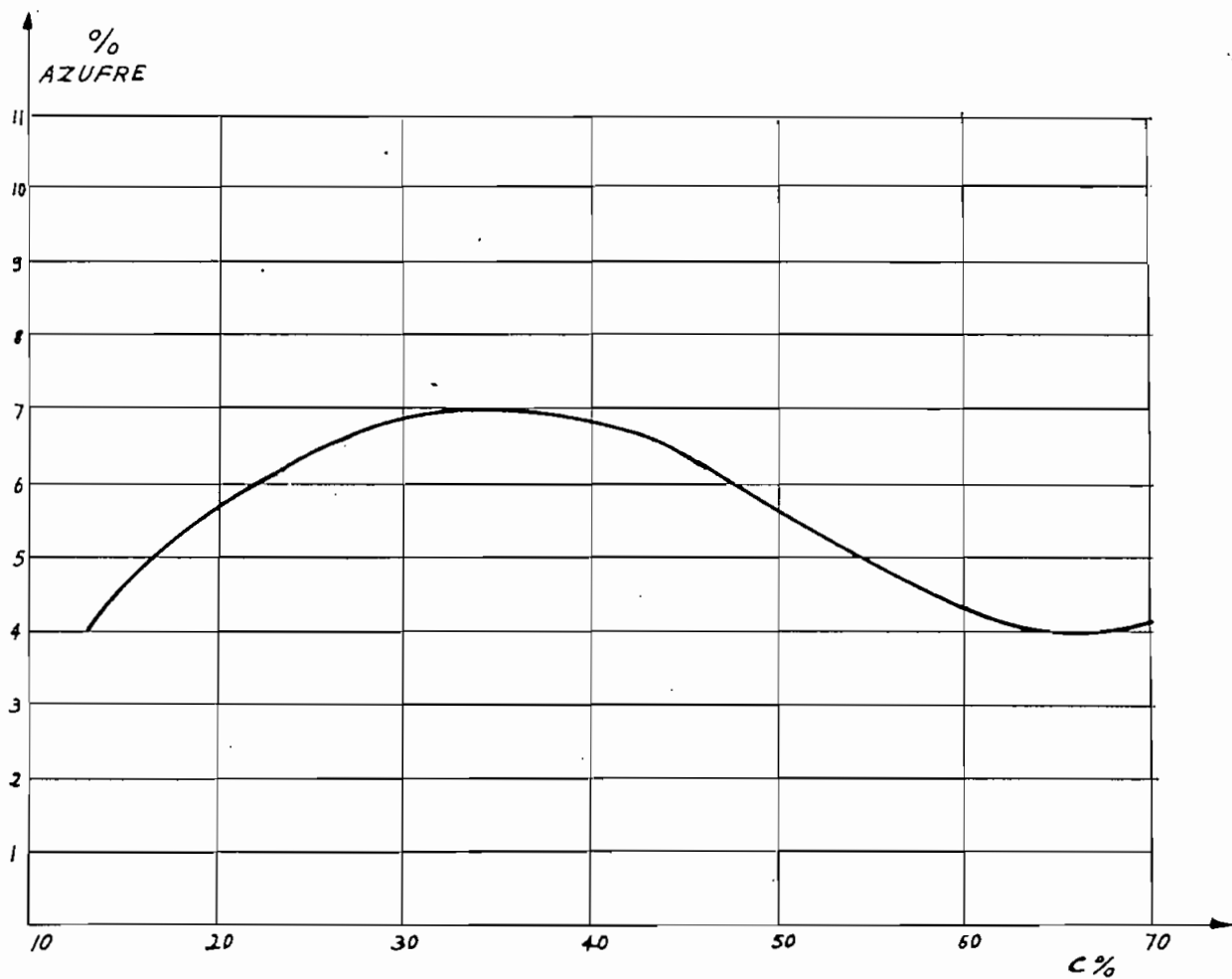
bles productos aprovechables, como son: gasolina sintética, caucho sintético, carburo de calcio, gas acetileno para soldadura autógena, carbonatos desinfectantes, abonos, explosivos, colorantes, drogas plásticos, perfumes, etc.





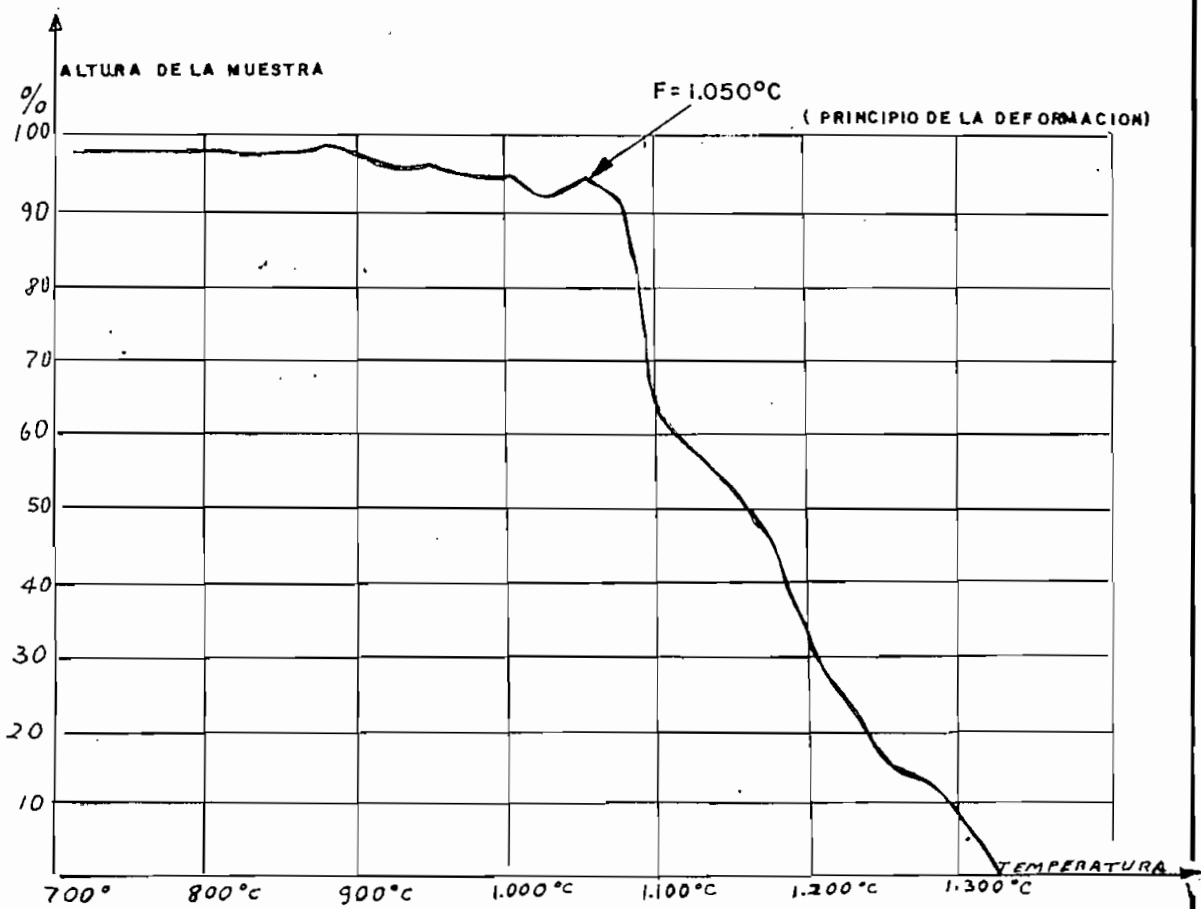
RELACION DEL CONTENIDO DE CENIZA Y PODER CALORIFICO

FIG. Nº2



RELACION DEL CONTENIDO DE CENIZA AL CONTENIDO DE AZUFRE

FIG. Nº3



FUSIBILIDAD DE CENIZAS

C A P I T U L O S E G U N D O

ESTUDIO DEL AGUA DEL RIO BURGAY

I.- GENERALIDADES

La ubicación de la Central Termoeléctrica será a orillas del río Burgay, como se puede ver en el plano general.

Este río será el que alimentará en su totalidad a la central. Su caudal es aproximadamente de $1 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en estiaje y tiene mucha variación en invierno.

L. V. Cole

PROPIEDADES FISICAS: El agua del río Burgay es:

Color	Incolora
Olor:	a sulfhídrico
Sabor:	un poco amarga.

Arrastra bastantes materiales en suspensión.

II.- DUREZA DEL AGUA

La dureza de las aguas está dada por el contenido de sales de calcio y magnesio y ocasionalmente por sales de Fe y Al, las cuales

son causa de las incrustaciones en las calderas.

Estas incrustaciones, además de ocasionar daños en la caldera, bajan el rendimiento.

Luego el agua, tal como se encuentra en el río, no es apropiada para la alimentación de las calderas.

Las impurezas que generalmente acompañan al agua son:

- 1.- Materiales en suspensión, tales como fango, arena, arcilla, aceite y grasas.
- 2.- Gases en solución, como oxígeno, anhídrico carbónico.
- 3.- Acidos en solución, los que correen las paredes de las calderas.
- 4.- Alcalis libres como sosa cáustica y carbonato sódico.
- 5.- Sales solubles como cloruro de sodio y magnesio, sulfato de calcio y magnesio, carbonato y bicarbonato de calcio, sales de Fe, etc.

Estas sales son las que determinan la dureza del agua, ya que éstas producen incrustaciones que pueden originar las explosiones en la caldera.

- 6.- Sustancias orgánicas como humus y azúcares.

La dureza total del agua se puede descomponer en dureza transitoria y permanente.

La transitoria es producida por los bicarbonatos de calcio y magnesio, la cual desaparece en hervir, pues al hervir el bicarbonato se transforma en carbonato que se descompone en anhídrico carbónico y en agua; el anhídrico se desprende.

La dureza permanente es producida por los ácidos minerales y por los sulfatos, cloruros, nitratos y silicatos de calcio y magnesio que subsisten en solución después de la ebullición.

a) Medidas de la dureza.- Se puede medir en grados alemanes, francés e inglés.

a)	Grado alemán.- 1°A equivale	7,2 mgr. Mg/litro 10 mgr. CaO/litro
b)	Grado francés.- 1 °F equivale	10 mgr. Ca CO ₃ /litro 843 mgr. mg./litro
c)	Grado inglés.- 1°I equivale	10 mgr. CaCO ₃ /0,7 litro 843 Mg./ 0,7 litro

También se mide en partes por millón = P.P.M.

B).- Clasificación de las aguas por su dureza.

0° a 4°A	(22.4P.P.M.)	Agua dulce
	(48,8 ")	moderada dulce
4° a 8°	(67,2 ")	semidura
8° a 12° A.		
12° a 18° A.	(100 ")	bastante dura
18° a 30°A.	(168 ")	dura

más de 30°A.

muy dura

Las calderas de presión elevada y de gran capacidad necesitan ser alimentadas con agua de dureza cero y des gasificada.

C).- Método de determinar la dureza

Primeramente se determina la acidez; tiene un PH = 6 porque contiene H₂S.

Para determinar la dureza se usa el método:

Sosa - sosa cáustica

Se pipetea 200 cc. de muestra en un balón Elenmeyer de 500 cc. y se titula al cambio del Metor gota a gota con H₂SO₄ (0,02 n) de esta manera toda la dureza transitoria pasa a total. Luego se hace hervir durante cinco minutos; y al mismo tiempo se toma 250 cc. de agua destilada para blanco, a la que también se hierve cinco minutos. Luego se añade 25 cc. del reactivo sosa-sosa cáustica y todo se reduce a un litro.- Luego se hierve 10 minutos hasta conseguir un volumen de más o menos 150 cc. en los que se precipita el CaCO₃ y Mg (OH)₂.- Se enfría y se afora a 250 cc. y se filtra. Del filtrado se toman 50 cc. de muestra (de la muestra y del blanco) y se titula en H₂SO₄ (0,02N) al cambio de Metor.

Para el cálculo se toma en cuenta la cantidad de muestra, la aforada, la alicuota tomada para la titulación final y el H₂SO₄ consumido en esta titulación final.

DUREZA TOTAL = (CC blanco - CC (muestra) x 25
en P.P.M. (partes por millón)

RESULTADOS; Para titular el blanco se gastó

31,4 CC. de H₂SO₄

para titular la muestra 21,0 CC de H₂SO₄

31,4 - 21,0 = 10,4

10,4 x 25 = 260 P.P.M.

Este resultado se multiplica por un factor 0.983 que es factor del título del H₂SO₄.

260 x 0.983 = 255 P.P.M. (partes por millón)

Comparando con las clases de durezas, se deduce que en esta agua es muy dura, es mayor de 168 P.P.M.

O sea es mayor de 30°A.

De donde se concluye que el agua del río Burgay es muy dura.

Para eliminar el ácido sulfhídrico que contiene el agua, se seguirán los siguientes procedimientos:

- 1) Por medio de la aereación con surtidores.
- 2) En los tanques de sedimentación se colocará unas planchas de hierro, debido a los cuales se producirá una reacción

formándose sulfuro de hierro que se queda pegado a las planchas; pudiendo lavarse estas planchas para que se pueda seguir usando nuevamente.

III.- DEPURACION DEL AGUA

Para la depuración se usa los siguientes procedimientos:

- 1) Depuración mecánica.
- 2) Depuración química.
- 3) Depuración por desgasificación.
- 4) Depuración por evaporación.

1.- DEPURACION MECANICA.- Las impurezas gruesas se separan por medio de rejillas en el punto de la toma del agua.

A) La separación de arena y fango se efectúa por decantación en tanques de sedimentación.

Estos tanques serán horizontales, los cuales irán dispuestos de manera que puedan permanecer en ellos el agua unas 6 horas; estos tanques tendrán unas paredes transversales que harán dar al agua repetidos cambios de dirección para que se vayan depositando al fondo los materiales en suspensión. Serán dos tanques.

Las dimensiones serán aproximadamente: 3 metros de profundidad.

300 m. de largo por 10 m. de ancho para poder tener una velocidad pequeña.

Este tanque estará dividido en tres partes, es decir de 100 m. de longitud cada una.

B.- Para la depuración de materias en suspensión granos finos, grasas, aceites, se usará filtros, que son depósitos de hormigón de poca altura. Como material filtrante se usará arena de cuarzo de granos de diferente tamaño.

Como material de soporte se usará grava bastante fuerte y encima se colocará la capa realmente filtrante: Arena de grano fino de 0,5 a 1,0 mm. La velocidad de filtración así dispuesto deberá ser de 10-12 cm/h.

Como el agua es de sabor amargo, se incorporará en el lecho filtrante capas de carbón vegetal o coque, las cuales tienen el objeto de eliminar el sabor, olor y color, dejando, incolora, inodora e insabora, como requieren los calderos.

C.- Como ni por sedimentación, ni filtración se eliminan los coloides, que son materiales que no están en un estado definido (encontrándose entre sólido y líquido) se debe añadir al agua sustancias que lo coagulen para poder separarlos. Estas sustancias suelen ser: el FeCl_3 , sulfato de aluminio y aluminato sódico.

Se usará 45 gr. de agente floculante por cada m^3 de agua, el cual se usará antes de entrar al filtro.

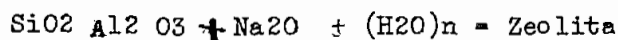
cual vuelve a fijar el sodio perdido, y cede el calcio y el magnesio que pasan a solución.

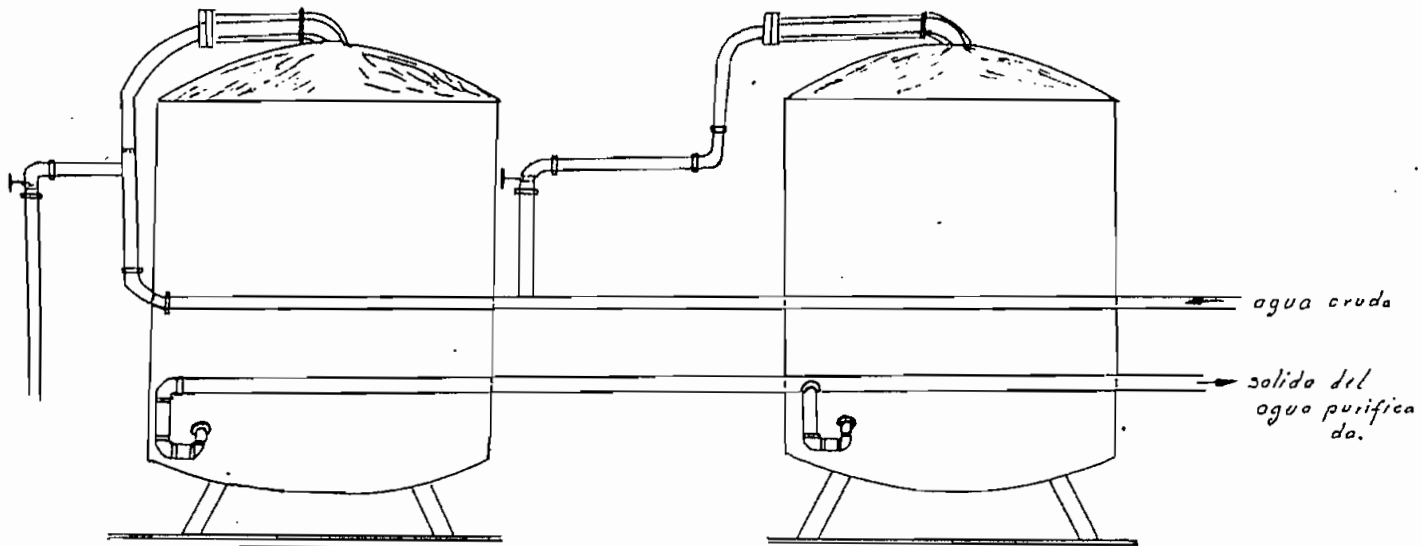
Los aparatos generalmente llamados suavizadores, son sencillos, siendo filtros que reciben agua impura por su parte superior y saliendo agua purificada por su parte inferior, como se verá en la figura No. 5.

En la parte inferior del tanque tiene un lecho de grava, luego una capa de arena fina, y en la parte superior la Zeolita. La regeneración como se dijo antes se realiza haciendo pasar una solución de salmuera caliente con una concentración de 6 grados Beaufort. El equipo consta de varios suavizadores en serie.

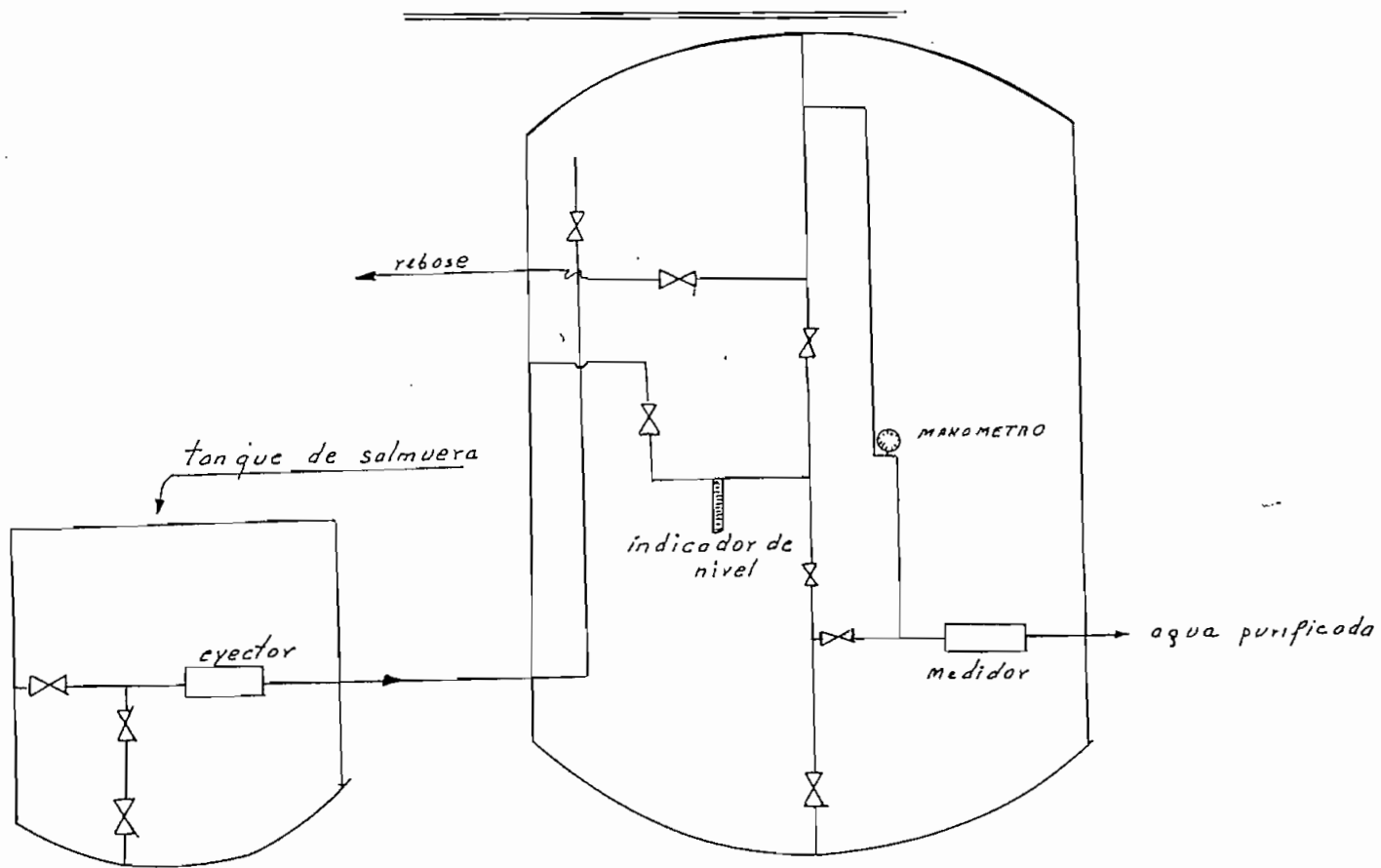
Un método simple pero no muy exacto para determinar la dureza: se agrega un número determinado de gotas de solución de jabón a una cantidad determinada de agua. Si al agitar la mezcla se produce espuma, indica que el agua está apta para el consumo de la caldera, de lo contrario se harán las correcciones necesarias en los sistemas de purificación para disminuir la dureza.

Reacciones químicas

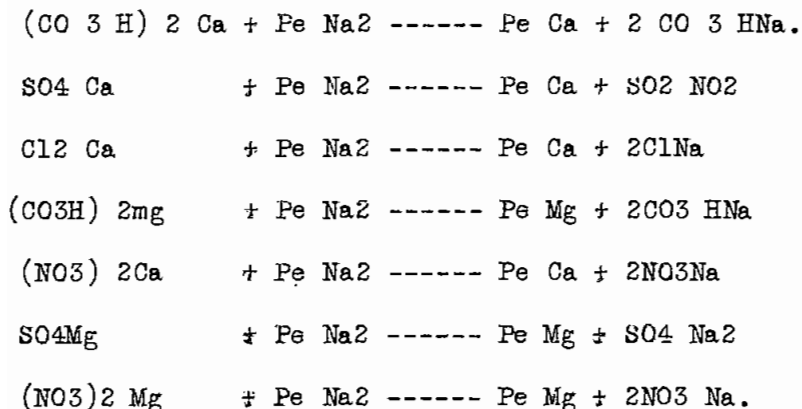




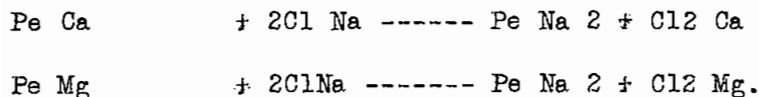
INTERCAMBIADORES IONICOS



ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SUAVISADOR



REACCIONES DE LA REGERACION



3.- DESGASIFICACION

Entre los gases disueltos en el agua, el oxígeno en particular y también el anhídrido carbónico son sumamente perjudiciales puesto que atacan a los materiales de que están compuestas las calderas.

La eliminación de los gases se efectúa por ebullición en unos aparatos especiales llamados desaeradores o desgasificadores. Fig. No. 6.

Las válvulas asociadas están ordenadas de tal manera que dirigen al agua contra la placa de choque en la cámara de calentamiento primario de la cual cae el cono colector de agua. En agua parcialmente desgasificada fluye hacia el elemento desaerador donde se mezcla con vapor que se extrae de la turbina y luego cae a la cámara de almacenamiento. De es-

ta manera el agua se calienta hasta una temperatura cercana a la del vapor y liberará todos los trazos de Oxígeno y gases no condensables que contenga.

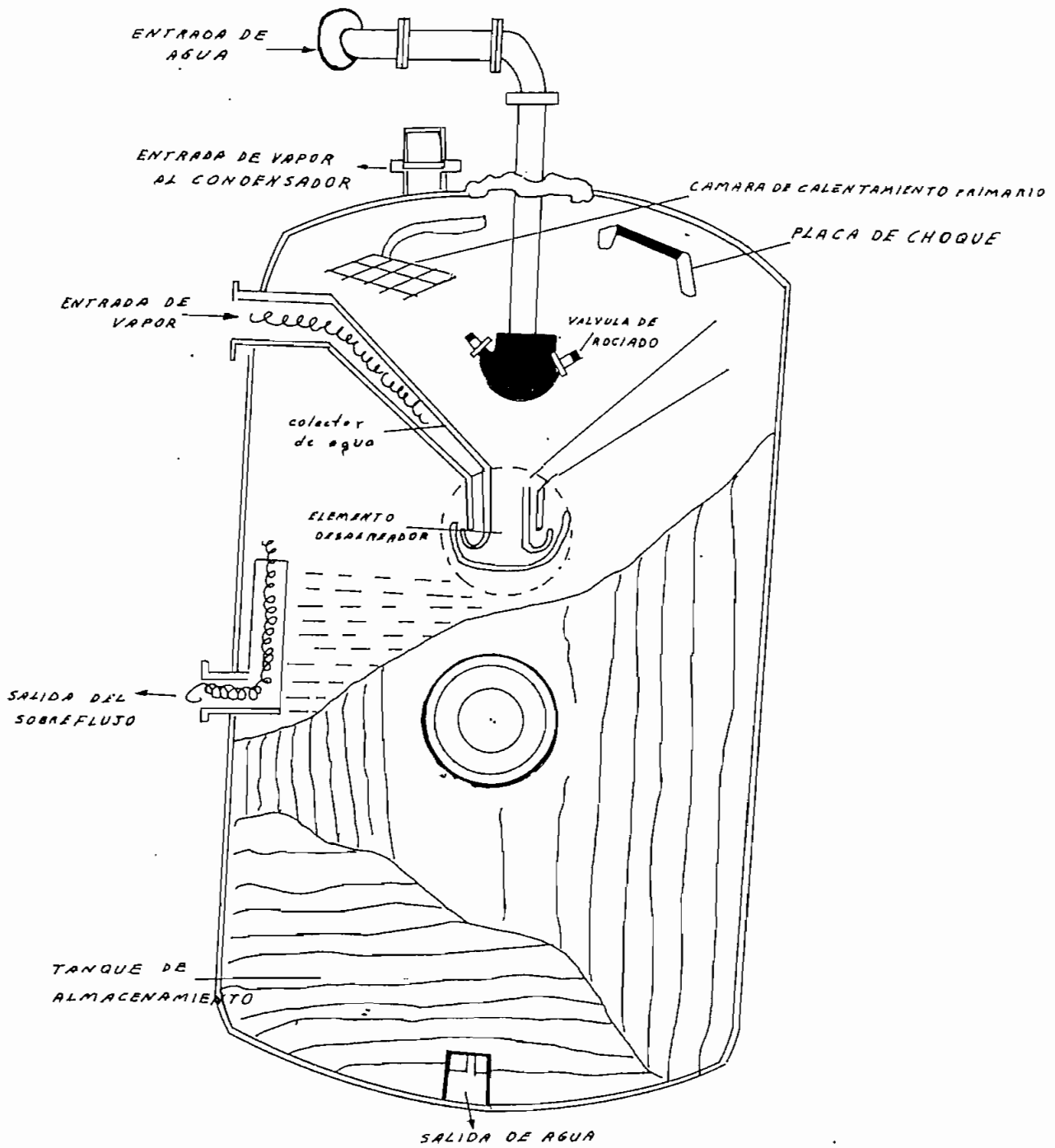
Después de la desgasificación debe protegerse contra la entrada de aire con un cierre hermético. La caldera deberá tener una purga continua a más de las periódicas, con el fin de disminuir la concentración de las sales o álcalis disueltos y eliminar los barros acumulados.

4.- EVAPORACION

Después de ser tratada para rebajar la dureza, el agua de alimentación de la caldera es evaporada y condensada seguidamente en el evaporador que es un recipiente cerrado de chapa de acero con cierto número de tubos que integran la superficie de transmisión calórica desde el vapor al agua.

El agua de alimentación después del tratamiento con la Zeolita pasa por los tubos y el vapor le baña exteriormente, evaporándose el agua.

El evaporador es también un depurador del agua de alimentación mediante un tratamiento térmico. El vapor es extrapido de la turbina. Se producirá 0,9 kg. de vapor por cada kg. de vapor suministrado.



ESQUEMA DEL DESGASIFICADOR

CAPITULO TERCERO

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD A INSTALARSE EN LA TERMOCLECTRICA DE BIBLIAN

1.- CAPACIDAD INSTALADA ACTUALMENTE

Del Censo eléctrico realizado en 1963, se ha podido obtener los siguientes datos :

1.- Provincia del Azuay

CANTON	NOMBRE DEL PROPIETARIO	POTENCIA EN KW
Cuenca	Cía. de Luz y Fuerza (Ramírez)	870 (hidro.)
"	Particulares	17 (term.)
"	E.E. Miraflores	4.450 (Hidr.)
"	E.E. Miraflores	540 (Term.)
"	E.E. Miraflores	<u>240 (Hidr.)</u>
	TOTAL	6.100 kw.
Girón	Municipio	24 (Hidr.)
"	Particular	<u>64 (Térm.)</u>
	TOTAL	88 (kw.)

Gualaceo	Particular	10 (Hidr.)
"	Municipio	80 (Hidr.)
"	Particular	<u>30 (Térm.)</u>
	TOTAL	120 (kw)
Paute	Municipio	96 (Hidr.)
"	Particular	<u>32 (Térm.)</u>
	TOTAL	128 (kw.)
Snta. Isabel	Municipio	5,6 (Hidr.)
" "	Particular	<u>20 (Térm.)</u>
	TOTAL	25,6 kw.
Sigsig	Municipio	80 (Hidr.)
"	Particular	<u>7 (térm.)</u>
	TOTAL	87 kw.

Total en la provincia del Azuay: 6.548 kw.

2.- PROVINCIA DEL CAÑAR

Cantón	Nombre del propietario	Potencia en kw.
Azogues	Municipio	510 (Hidr.)
"	Municipio	<u>20 (Térm.)</u>
	TOTAL	530 kw.
Biblián	Municipio	60 (Hidr.)
"	Partioular	<u>12 (Hidr.)</u>
	TOTAL	72 kw.

Cañar	Municipio	60 (Hidr.)
"	Particular	23 (Térm.)
"	Municipio	<u>42 (Térm.)</u>
	TOTAL	125 kw.

En la provincia del Cañar existe un total de 727 kw (instalados).

En las provincias de Azuay y Cañar existe un total de 7.275 kw.

II.- ESTUDIO DE LA DEMANDA ACTUAL

1.- Conceptos generales

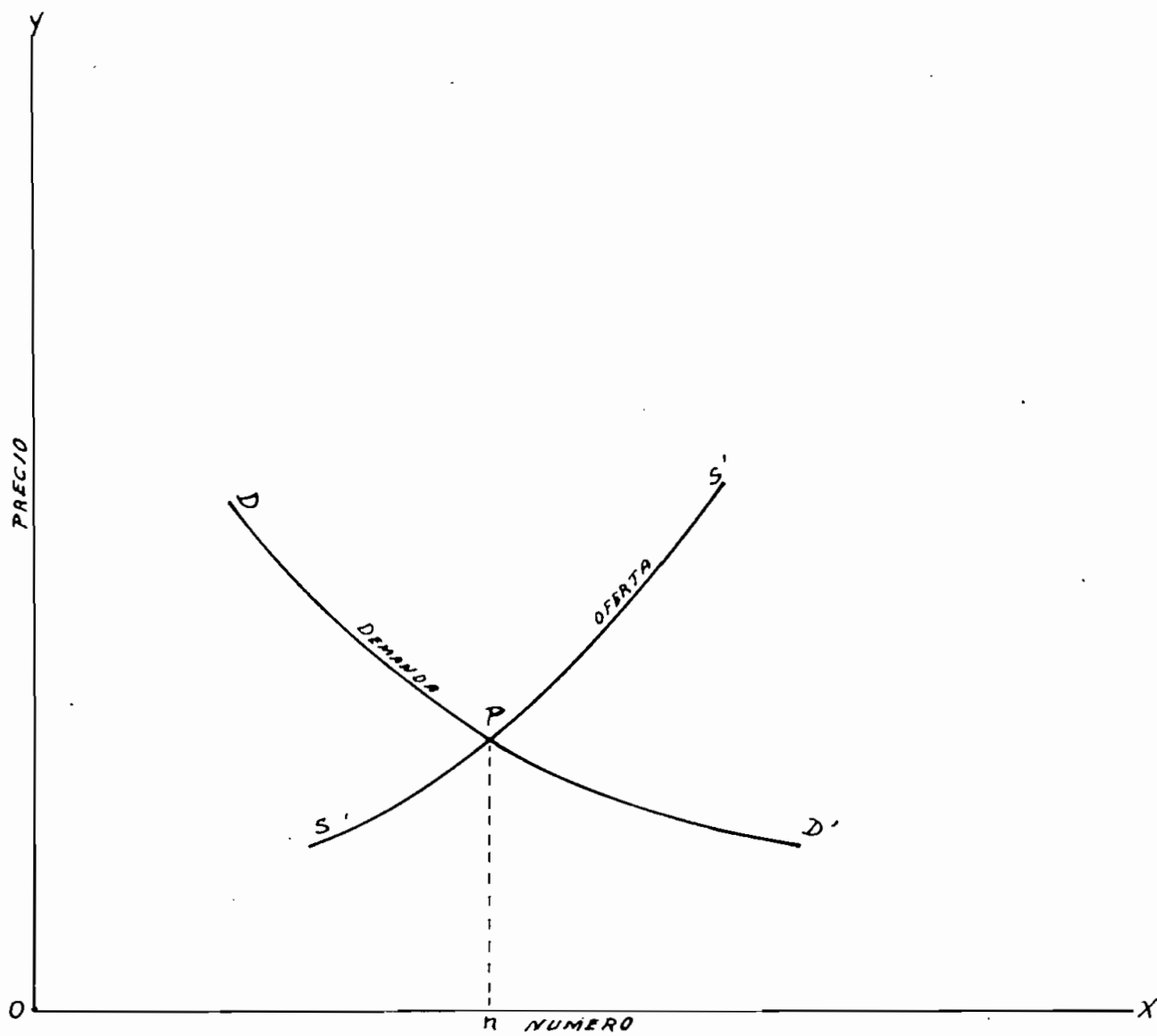
A).- Demanda y oferta.- La demanda de energía eléctrica se puede representar por el número de personas que lo desean y van a una empresa a solicitarla.

La oferta está representada por el número de productores de esta energía que ofrecen a los consumidores.- En el Ecuador como en todos los países, esta producción está monopolizada, es decir que no existe la llamada competencia en el mercadeo de la energía eléctrica. En este caso los precios o tarifas están fijados por un organismo regulador: el Ministerio de Fomento.

Ahora bien, se sabe que el público desea comprar más energía eléctrica mientras más barata es; es decir, que crece la demanda

mientras disminuye el precio y viceversa, estableciendo así una relación inversa entre oferta y demanda. Si se traza una curva que relacione el precio de la mercancía eléctrica (ordenadas) y el número de veces que cambia de mano (abscisas) la curva seguirá una forma general DD' según se puede ver en la figura No. 7. A un determinado precio el número de veces que cambia será "on". La curva será una hipérbola cuyas ramas extremas DD' serían asíntotas con los ejes. En todo caso el extremo D, si se eleva continuamente, esto significa que a pesar del alza de los precios la demanda aunque pequeña seguirá existiendo. Si D corta a eje Y, y esto significa que se corta la venta completamente para un determinado precio. Si la curva continúa hasta D' en el infinito, esto significa la existencia de un mercado eléctrico sin fin, a medida que los precios bajan, generalmente por hallarse nuevos usos o aplicaciones. Si la curva baja hasta cortar al eje X significa una completa saturación, sin que sea necesario ya la mercancía por más barata que se venda (cosa imposible).

Como se vió anteriormente, teóricamente la ley de la demanda es justamente opuesta a la ley de la oferta, un aumento de precio viene acompañado de la disminución de la demanda. Una curva representativa de la oferta sería SS' , tomando como base la cantidad ofrecida, muestra una tendencia a subir. Para cualquier precio "pn" la cantidad ofrecida es "on". El punto P donde las dos curvas de demanda y oferta, se cruzan, determina el precio para el cual la producción equilibra exactamente a las ventas. Los factores que afectan a la oferta y a la demanda son los costos y la utilidad, respectivamente.



OFERTA Y DEMANDA

FIG. Nº7

B.- Importancia de la demanda.- Anteriormente se vió que una Empresa de energía eléctrica, tiene un completo monopolio sobre los consumidores, teniendo así al consumidor a su merced, por lo tanto puede preguntarle la manera, el tiempo, la cantidad y para el objeto que será usado este producto, de manera que la Empresa podría planear un esquema que mantendría comercialmente a sí misma, y a la vez le capacitaría para servir en el mayor grado al bien del mayor número de consumidores.

Una empresa eléctrica en calidad de proveedor y virtualmente sin competencia, tiene como tarea y privilegio desarrollar su empresa hasta el máximo y extender lo más posible los beneficios de la electricidad.

Al estudiar la demanda se pueden diferenciar dos clases principales: demanda para cubrir necesidades básicas y demanda para cubrir necesidades extra, para lo cual se hará primeramente una distinción entre lo que es necesidad básica y lo que es necesidad extra, aunque estos términos son un tanto relativos.

Necesidades básicas son aquellos servicios requeridos de un modo urgente y por la mayoría de personas, que generalmente se usa en cantidades limitadas, así por ejemplo la alimentación y la indumentaria son cosas esenciales a todo individuo, pero nadie necesita grandes cantidades ni de productos alimenticios ni de trajes en un determinado momento; de esta manera se modifica la curva de la demanda, la cual llega a ser más inclinada, lo que quiere decir que por más elevados que sean los

precios no puede impedir al público de comprar aunque sea su mínimo irreductible.

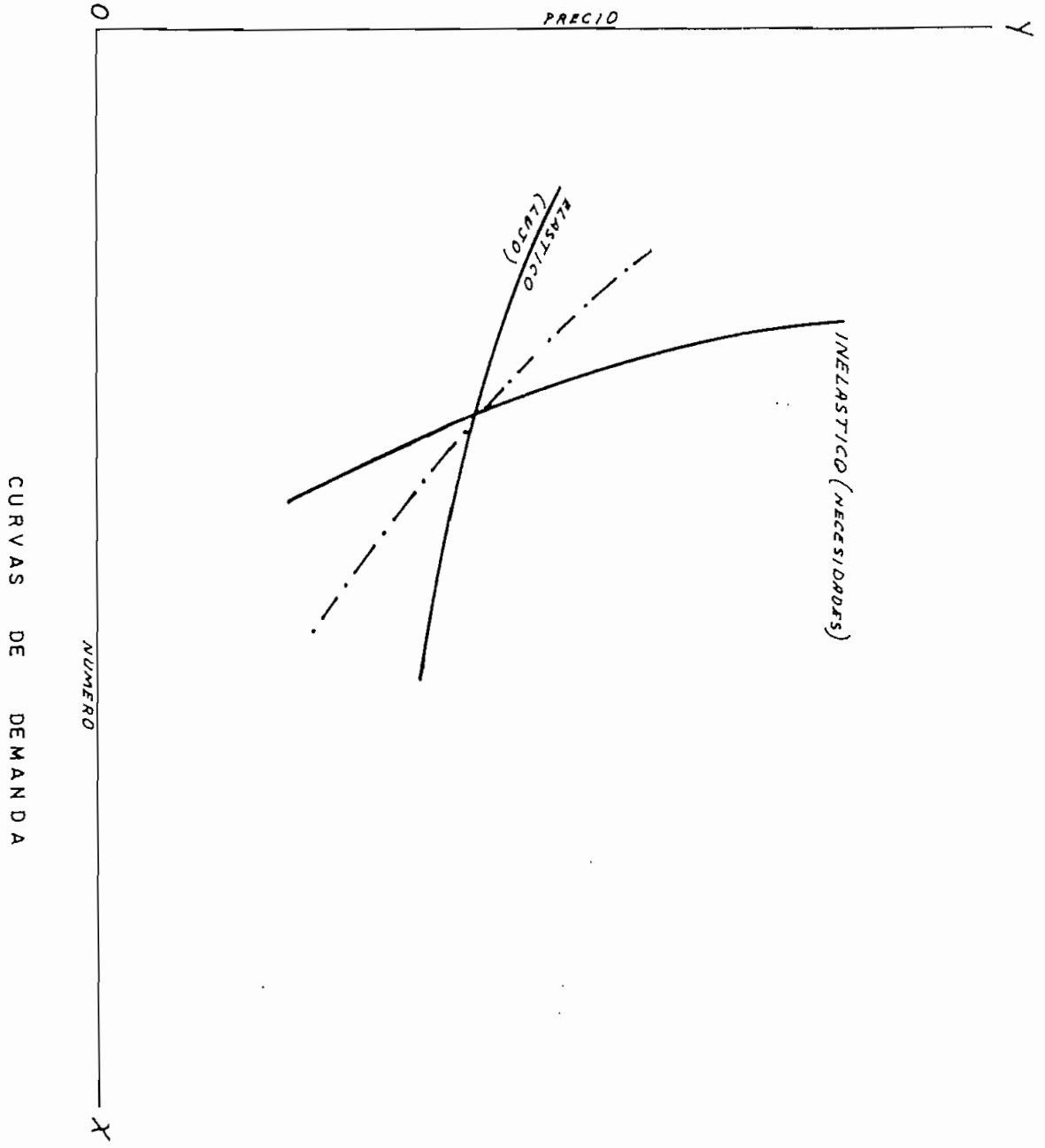
Lujo o servicios de lujo son aquellos que pueden prescindirse, y de hecho prescinden de ello un gran número de personas, aún entre aquellos que lo desearían, de ahí que si el precio de un artículo de lujo disminuye, las ventas aumentan rápidamente, porque existe un gran número de usuarios en estado potencial, y la curva de demanda en este caso es relativamente plano, figura No. 8, de aquí se puede observar que hay una elasticidad en los servicios de lujo y una elasticidad en los servicios de necesidad. Hay elasticidad en la venta de energía con el alza de precios en los servicios de lujo debido a que: a) pueden abstenerse. b) Pueden usar sustitutos; y c) Pueden producirlo individualmente. De donde se concluye que habrá diferenciación en el costo del kilowatio-hora, para los servicios de necesidad y los servicios de lujo, siendo menor para estos últimos.

Para hacer un estudio completo de la demanda de electricidad es necesario primeramente hacer una separación de las diferentes cargas, en dos grupos principales:

- a) Fuerza motriz
- b) Alumbrado y aplicaciones domésticas

El grupo industrial es relativamente uniforme y homogéneo.

El grupo doméstico incluye una variedad mucho mayor de aplicaciones que compiten a diferentes y variados precios.



CURVAS DE DEMANDA

FIG. Nº 8

Todas estas dificultades se han resuelto obteniendo una sola curva de demanda de donde se ha establecido unidades por cliente, unidades por habitante o consumidores por habitante. Para hacer un estudio completo y preciso de la demanda eléctrica es necesario hacer un censo eléctrico detallado y completo, averiguando cliente por cliente el estado actual en su servicio eléctrico, si tiene alguna posibilidad de ampliación en el consumo, si tiene proyectos de instalar alguna industria, etc., etc.

Como este censo no ha sido posible, se obviará este problema asignando un valor W/h (vatios por habitante) semejantes a otras ciudades que se encuentran más o menos bien servidas, como son Quito, Guayaquil, Latacunga.

Los W/h se encuentran de dividir el pico máximo registrado anualmente para el número de habitantes, y este pico máximo es el que se obtiene en las principales centrales (suma de picos) que muchas veces es único como EMELEC en Guayaquil, E.E. Quito, en Quito, despreciando las pequeñas capacidades particulares. Según esto en 1963 se ha registrado los siguientes valores:

Quito	85 W/h (E. E. Quito)
Guayaquil	60 W/h (EMELEC)
Latacunga	120 W/h (Municipio)

Al asignar un valor W/h. para los cantones de las dos provincias en estudio, estos se consideran por lo tanto como insidentes en

el pico y aplicados todos los factores de reducción: factores de carga, factores de simultaneidad, es decir que el valor asignado multiplicado por el número de habitantes actuales dará directamente la demanda actual en kw.

2.- CALCULO DE LA DEMANDA ACTUAL

Antes de hacer estas asignaciones se verá primeramente los w/h que tiene actualmente cada cantón, lo cual permitirá ver las condiciones en que se encuentra actualmente el servicio eléctrico.

Cuenca.- En la E.E. Miraflores de Cuenca se ha registrado en 1963 un pico máximo de 4.378 kw, a este se deberá sumar 500 kw. que es el poio de la Compañía Ramírez, dando así un pico máximo total de 4.878 (1963).

Girón	Se ha registrado un pico máximo en 1.963 de 24 kw.
Gualaoco	Se ha registrado un pico máximo en 1963 de 80 kw.
Paute	Se ha registrado un pico máximo en 1.963 de 96 kw.
Sigsig	Se ha registrado un pico máximo en 1.963 de 80 kw.
Azogues	Se ha registrado un pico máximo en 1.963 de 490 kw
Biblián	Se ha registrado un pico máximo en 1.963 de 58 kw.
Cañar	Se ha registrado un pico máximo en 1.963 de 100 kw.

Cabe anotar que en Cuenca como en los demás cantones, la

capacidad instalada está copada, es decir que el pico es igual a la potencia instalada y aún algunas de ellas están trabajando con sobre-carga sobre todo las centrales de Cañar y Azogues.

En Cuenca se ha registrado en 1963 un número de 600 solicitudes, entre ellas para la instalación de importantes industrias que beneficiarían al país, como son: la Cemento Guapán, la Fábrica de Plásticos, de Hierro, etc.

En el cuadro No. 1 se puede ver los w/h existentes y los asignados, dividiendo a la vez en categorías a los cantones, para lo que se tendrá en cuenta la población, la industria y el comercio.

En lo que se refiere a Cuenca, tiene actualmente un valor de w/h similar al que tiene Quito, pero sin embargo se sabe que no puede atender a la demanda actual, por lo cual se le asignará un valor bastante elevado de W/h y, se le clasificará en la primera categoría, lógicamente se trata de una ciudad donde la industria y el comercio están incrementándose rápidamente. Se asigna un valor de 120 w/h, lo cual se justifica debido a que las principales solicitudes son:

Fábrica de Cemento Guapán	(instalada)	2.000 kw.
Fábrica de llantas	(instalada)	1.500 kw.
Fábrica de Plásticos	(por instalarse)	2.500 kw.

Cuadro No. 1

Cantón	Habitantes 1962	rata de creci - miento %	Habitantes 1964	Pico máx. re- registrado en 1963 en kw	W/h. exis- tentes 64	Categ.	W/h Demanda asig-actual en nados kw.	Factor de re- serva	Potencia que debería tener instalada, en kw.
CUENCA	60.817	3,7	65.000	4.878	75,0	1a.	120 7.800	1,3	10.000
GIRON	1.921	1,2	1.980	24	12,2	3a.	60 120	1,2	144
GUAYACEO	3.070	0,0	3.070	80	26,0	3a.	60 180	1,2	230
PAUTE	1.515	0,8	1.564	96	60,0	3a.	60 95	1,2	115
AOZOGUES	8.271	2,1	8.600	490	55,0	2a.	70 600	1,2	720
BIBLIAN	1.825	0,0	1.825	58	31,5	3a.	60 108	1,2	130
CAÑAR	4.985	1,2	5.060	100	20,0	2a.	70 350	1,2	420

NOTA: En la provincia del Azuay se prescinde de los cantones Santa Isabel y Sigüig, por encontrarse muy distantes (80 kms) y la capacidad demandada es pequeña, lo cual no justifica la instalación de una línea de transmisión.

Aplicando un factor de carga 0,8 (bastante alto) para la		
Fábrica de Cemento	$2.000 \times 0,8 =$	1.600 kw.
Aplicando un factor de carga		
0,50 para las demás industrias	$4.000 \times 0,50 =$	<u>2.000 kw.</u>
	TOTAL	3.600 kw.

A estos 3.600 kw. se aplica un factor de diversidad de 0,78 dando una demanda coincidente de 2.800 kw., que se debe sumar al pico máximo que tiene actualmente Cuenca, cuya suma da la demanda aproximada actual 7.700 kw, lo cual equivale también a multiplicar 120 x 65.000 habitantes 7.800 kw.

Para la primera categoría se ha fijado 120 w/h
Para la segunda categoría, 70 w/h, y para la tercera 60 w/h.

En el cuadro No. 1 se podrá ver que la demanda actual de las dos provincias alcanza a la suma de 9.500 kw. = 10.000 kw.

Potencia instalada = pico máximo x factor de reserva
(factor de reserva está entre los valores 1,2 y 1,3)

II.- ESTUDIO DE LA DEMANDA FUTURA

Sabiendo la demanda actual, se calculará la demanda por lo menos para los 10 años posteriores con la siguiente fórmula:

$$C_n = C (1 + r)^n$$

C_n = Demanda en kw dentro de "n" años

n = Número de años

r = Índice de crecimiento eléctrico anual

C = Demanda, en kw, actual.

Según esto pues quedaría por analizar solamente el índice de crecimiento eléctrico el que debe tener en cuenta los siguientes factores;

- 1.- Porcentaje de crecimiento de la población
- 2.- Porcentaje de mejoramiento del standard de vida
- 3.- Porcentaje de crecimiento de industrias.

Normas americanas asignan los siguientes índices de crecimiento eléctrico:

- 1.- 15% para ciudades en desarrollo normal
- 2.- 8% para ciudades subdesarrolladas
- 3.- 4% para ciudades en etapa inicial de desarrollo.

LOS METODOS DE LA PROYECCION DE LA DEMANDA EN AMERICA LATINA

La extrapolación de la experiencia reciente, se emplea como elemento de información básico para las previsiones futuras, pero realizando los ajustes necesarios. Así, por ejemplo, debido a diversos factores pero teniendo en cuenta sobre todo la necesidad de cubrir los déficits de capacidad instalada existente en la mayoría de los países, es común encontrar en las proyecciones una doble hipótesis con respecto a la tasa de crecimiento de la capacidad y de la demanda eléctricas:

1.- Se supone que durante los próximos años, o sea durante el período de recuperación del déficit, registrará un primer valor bastante más alto que el promedio del quinquenio o decenio pasado - por ejemplo del orden del 12% o 13% anual.

2.- Una vez satisfecha la demanda, que no puede cubrirse actualmente, y por falta de equipos, sería válido un segundo valor, más bajo, generalmente del orden del 8% o 10%.

Dicho de otro modo, se divide el futuro en 2 etapas, una de crecimiento acelerado y otra de crecimiento normal o de equilibrio. Ejemplos de este tipo se encuentran en: Argentina, Chile, Colombia, Perú y Venezuela.

En nuestro caso, se tendrá en cuenta solamente la 2a. hipótesis puesto que ya se ha calculado la demanda actual, cubriendo el déficit existente, es decir se escoge una tasa de crecimiento del 8% (que sería el crecimiento normal).

En el Ecuador se han registrado los siguientes índices de crecimiento eléctrico:

Para Quito 8,2% (en un período de 8 años)

Para Guayaquil 10% (en un período de 10 años)

Para Latacunga 17% (en un período de 9 años)

Cuyas curvas se podrá ver en la figura No. 9.

Tomando en cuenta todos estos factores y por similitud se puede asignar para Cuenca un índice de crecimiento eléctrico de 8%; para Cañar y Azogues un 6% y para los demás cantones un 4%.

Tratándose de calcular matemáticamente el índice de crecimiento eléctrico en función % de crecimiento vegetativo, del 5 por mejoramiento del standard de vida y % de crecimiento de industrias sería necesario tener estadísticas completas de los puntos mencionados y aplicar cálculo actuarial.

En el cuadro No. 2 se calcula la demanda, para 10 años, año por año en el cual se puede apreciar que la demanda para 1965 es alrededor de 10.000 kw., necesitándose como potencia instalada, aplicando un factor de reserva de 1,2, de 12.000 kw.

Para el año de 1974 la demanda será de 20.000 kw (en las dos provincias) que multiplicado un factor de simultaneidad bastante alto de 0,95 dará una demanda de 19.000 kw.

A esta demanda se la incrementará un 17% por pérdidas en las líneas de transmisión y distribución.

$$19.000 \times 1,17 = 22.000 \text{ kw.}$$

Aplicando un factor de reserva de 1,3 se tendrá la potencia que se debería instalar en la central termoeléctrica de Biblián proveyendo un buen servicio por lo menos de 10 años.

$$22.000 \times 1,3 = 28.500 \text{ kw} = 30.000 \text{ kw.}$$

Además se puede calcular aisladamente la demanda del cantón Cuenca, basándose en la historia de crecimiento, en este caso sí, diferenciándose los tres tipos de consumo: residencial, comercial e industrial. Cuadros No. 3, No. 4 y No. 5 en los cuales se puede ver que la demanda para 1974 será de 74.150.000 kw. Aplicando un factor de carga bastante bueno de 0,50, es decir, tomando un tiempo de utilización de 4.200 horas anuales, daría una demanda de: (figura No. 9' y figura No. 10).

$$\frac{79.150.000 \text{ kw/h}}{4.200 \text{ h.}} = 19.200 \text{ kw.}$$

A esta demanda del cantón Cuenca se suma la de los otros cantones y asciende a una demanda de 20.000 kw.

También se incrementa el 17% y se aplica el factor de reserva y da la potencia que se debería instalar.

D E M A N D A F U T U R A

Cantón	Demanda actual 1964 en kw.	"r" índice de crecimiento eléctrico %	1.965	1.966	1.967	1.968	1.969	1.970	1.971	1.972	1.973	1.974
Cuenca	7.800	8	8.400	9.100	9.800	10.600	11.400	12.300	13.300	14.400	15.600	17.000
Girón	120	4	125	130	135	140	145	150	156	162	168	174
Gualaceo	180	4	188	196	204	212	220	228	236	245	253	261
Paute	95	4	99	103	107	111	115	120	125	130	135	140
Azogues	600	6	635	670	710	750	790	840	890	940	1.000	1.050
Biblián	108	4	112	116	120	124	128	134	140	146	152	158
Cañar	350	6	370	390	410	435	460	485	515	545	575	610
			10.000	10.800	11.600	12.500	13.400	14.800				19.700
												≈ 20.000 kw.

1
5
6
1

ABONADOS RESIDENCIALES, COMERCIALES, INDUSTRIALES

Historia

CUENCA

Cuadro No. 3

	1.957	1.958	1.959	1.960	1.961	1.962	1.963	Promedio anual 4%
a) Abonados residencia								
1.- Número de abonados	2.684	3.777	4.624	5.217	5.958	6.205	6.402	16,2
2.- KWH x 10 ³ consumo	1.380	2.270	2.985	3.440	4.480	5.010	5.630	24,6
3.- KWH/abonado residencial	513	598	647	658	752	808	880	
b) Abonados comerciales								
1.- Número de abonados	147	193	265	305	285	259	434	22,4
2.- Consumo KWH x 10 ³	235	328	487	620	626	621	1.130	32,8
3.- KWH/abonado comercial	1.600	1.700	1.880	2.025	2.200	2.400	2.600	
c) Abonados industriales								
1.- Número de abonados	47	90	75	93	152	185	195	31,4
2.- Consumo KWH x 10 ³	434	601	759	862	1.003	1.118	4.060	76
3.- KWH abonado comercial	9.240	6.640	9.270	6.590	6.040	21.900		
TOTAL KWH VENDIDOS	2.040	3.189	4.964	5.615	6.395	6.649	7.031	
TOTAL DE ABONADOS	2.876	3.189	4.241	4.922	6.109	6.749	10.820	

1
8
1

Cuadro No. 4

	1.964	1.965	1.966	1.967	1.968	1.969	1.970	1.971	1.972	1.973
a) Abona. Res.										
1.- N. de abon.	7.930	8.550	9.220	10.700	11.600	12.500	12.800	13.340	13.820	14.400
2.- KWH x 10 ³ cons.	7.050	8.820	10.600	12.730	15.000	17.250	19.300	21.600	24.200	27.100
3.- KWH/abonado	950	1.030	1.150	1.190	1.290	1.380	1.500	1.620	1.750	1.880
b) Abona. comer.										
1.- N. de abond.	534	649	713	793	874	931	967	1.004	1.040	1.080
2.- Cons. KWH x 10 ³	1.500	1.950	2.340	2.810	3.340	3.840	4.300	4.820	5.400	6.030
3.- KWH/abonado	2.810	3.015	3.280	3.540	3.820	4.120	4.450	4.800	5.190	5.600
c) Abon. Indus.										
1.- N. de abond.	226	287	300	313	629	345	353	360	364	374
2.- Cons. KWH/x 10 ³	9.051	14.350	18.000	21.600	25.500	29.300	32.800	36.700	41.100	46.100
3.- KWH/abonado	90.000	50.000	60.000	69.000	77.300	85.000	93.000	102.500	113.000	124.000
Total abonados	8.190	9.912	10.233	11.806	12.803	13.776	14.180	14.704	15.224	15.854
Total KWH x 10 ³ vendidos	18.015	25.120	30.940	37.140	43.840	50.390	56.400	63.120	70.700	79.150

CURVA DE CRECIMIENTO DE CONSUMO DE CUENCA

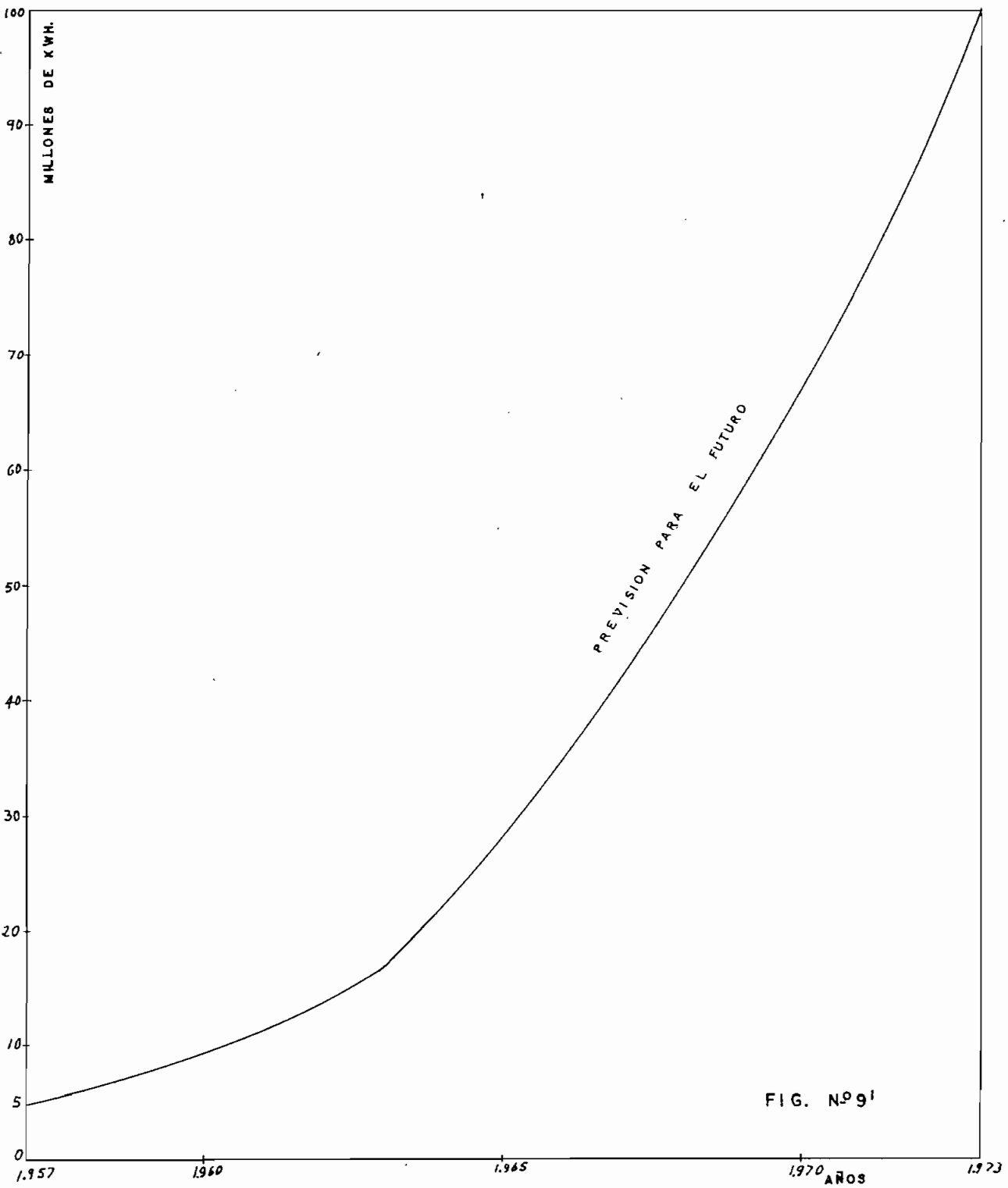
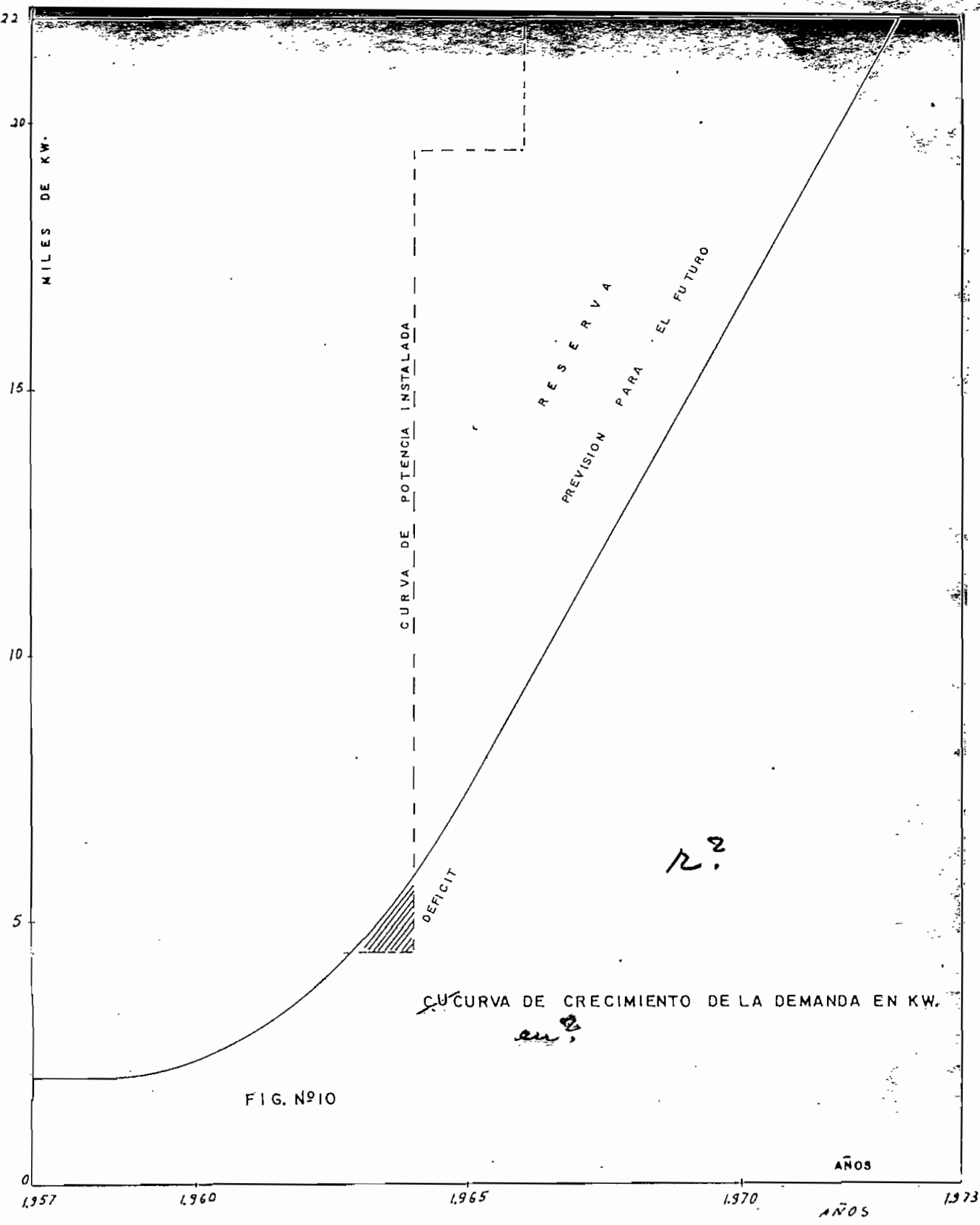


FIG. N° 91



primera etapa, quedando el segundo grupo como reserva del primero. Para las horas pico (1 o 2 años más a partir de 1.964) serviría la capacidad de la E.E. Miraflores de Cuenca que tiene una capacidad instalada de 4.500 kw. y que en estiaje da tan sólo unos 2.500 kw.

Según este mismo cuadro de demanda, se ve que después de unos 3 años comenzaría a trabajar el segundo grupo de la primera etapa con un 50% de carga, debiendo por tanto, instalarse después de unos 5 o 6 años la segunda etapa de 10.000 kw., que serviría como reserva de las dos unidades anteriores.

Y para 1974 debería entrar a funcionar ya otro proyecto hidroeléctrico (talvez el del río Dudas con 10.000 kw) para seguir asegurando un buen servicio a las dos provincias, quedando en 1974 este último como reserva de la termoeléctrica de Biblián y cuando se haga realidad, finalmente, los grandes proyectos hidroeléctricos (Pisayambo, Cola de San Pablo y Río Jubones) la termoeléctrica sería la reserva para que trabaje en horas de pico.

En el caso de que ya se instale la línea de transmisión Guayas-Azuay, que luego se justificará, toda la reserva de la termoeléctrica de Biblián se podría vender a Guayaquil, o a la costa en general.

JUSTIFICACION DE LA INSTALACION DE LA CENTRAL TERMICA DE BIBLIAN

Actualmente existen en el país grandes proyectos para la instalación de centrales hidroeléctricas, siendo las principales:

Con una capacidad de:

Pisayambo (Tungurahua)	150.000 kw.
Cola de San Pablo	100.000 kw.
Río Jubones	100.000 kw.

De estas posibilidades solamente para el proyecto de la laguna de Pisayambo, se está haciendo ya los estudios definitivos y la instalación de la central misma no será antes de unos 6 o 7 años.

Del río Jubones se tiene los estudios hidrológicos y geológicos, quedando como una incógnita el por qué no se realizan los estudios topográficos definitivos para la construcción de cada central, advirtiéndose que la topografía del terreno del río Jubones presenta grandes facilidades para construir presas ya que su cuenca es un completo encañonado y su caudal mínimo registrado es alrededor de $20 \text{ m}^3/\text{sg}$.

Del río Quijos y de la Cola de San Pablo aún no se tiene siquiera los estudios preliminares, es decir los estudios hidrológicos y geológicos, los que se requieren por lo menos 10 años.

Todos estos proyectos por su magnitud en la capacidad tienen actualmente dos factores en contra:

- 1.- Los grandes capitales de inversión (\$/ 6.000/kw)
- 2.- El largo tiempo para sus estudios y construcción.

Al comparar la generación térmica con la generación hidráulica se tiene:

Generación térmica:

- 1.- Menor costo de capital por kw instalado
- 2.- Mayores gastos anuales por concepto de depreciación e insumos para la producción.
- 3.- Menor plazo para la ejecución
- 4.- Flexibilidad mayor para la localización, lo que generalmente redundaría en un costo mucho menor por transmisión.
- 5.- Mayor componente en divisas extranjeras.

Generación hidráulica:

- 1.- Mayor costo del capital por Kw instalado
- 2.- Menores costos anuales por depreciación e insumos para la producción
- 3.- Plazo más largo para la ejecución
- 4.- Relativa inflexibilidad de la localización
- 5.- Menor componente en divisas.

Sin embargo, existen dos factores que merecen un comentario especial: el costo inicial de la potencia a instalar y el plazo de ejecución.

El costo inicial es el que está vinculado, en forma inmediata, a una determinada asignación de recursos.

Por ejemplo: si la asignación es escasa, pero las perspectivas futuras de financiamiento son favorables y el déficit de energía es muy agudo, se inclinaría por la generación térmica, la que permitiría proceder a una reducción más rápida del déficit, por su menor plazo de ejecución, aunque resultaran superiores los costos anuales futuros por funcionamiento (en nuestro caso no resulta muy costoso).

La forma de financiamiento también debería influir en la elección de los distintos tipos de generación. Si la obra puede financiarse con recursos externos en condiciones de tasa de interés y plazos de amortización favorables, cabería tal vez elegir un costo inicial mayor, entendiendo que las economías por los gastos anuales, compensen los servicios de dichos préstamos, esto último sería en el caso de que el combustible fuera importado (pero esto no sucede con la térmica de Biblián).

Como se puede ver, es muy difícil tratar en abstracto las posibilidades de elección, sin referirse a casos específicos, como el de las provincias de Azuay y Cañar, en el que, sin la menor duda, se ha adoptado la generación térmica conjugando todos los factores para que resulte un menor costo social, política que se sigue en América Latina.

El plazo de la ejecución, en este caso, juega un papel muy importante. Desde el punto de vista económico, cuanto más largo sea el plazo de ejecución, mayor será el lucro cesante del capital invertido en las sucesivas etapas de la obra, lo que encarece su costo, si se computa dentro del mismo, como corresponde, el interés que ese capital no produjo durante el período de ejecución.

Este caso de la central térmica de Biblián resulta ser un caso extremo, que aun disponiendo de abundantes anteproyectos hidroeléctricos talvez de fácil acceso y no muy alto costo unitario resulta ser ventajoso la generación térmica, por el plazo de ejecución y su costo inicial.

Para que los proyectos hidráulicos sean calculados sobre bases seguras es necesario por lo menos:

- | | | |
|-----|--------------------------|---------|
| 1.- | En estudios hidrológicos | 10 años |
| 2.- | En estudio geológicos | 2 años |
| 3.- | En estudios topográficos | 1 año |
| 4.- | Diseño de Obras civiles | 1 año |
| 5.- | Construcción misma | 3 años |

En los proyectos de Pisayambo y Jubones como ya se tiene los estudios hidrológicos y geológicos estos serían los más próximos a la instalación pero que como se ve tardará por lo menos unos 6 a 8 años.

Bajo estos puntos de vista la Central Térmica de Biblián sería la solución más acertada para atender la demanda actual, al menos de las dos provincias en referencia, en donde existe una escasez marcada de energía eléctrica, lo cual impide el desarrollo de numerosas industrias de gran porvenir para el País.

Esta central térmica sería instalada en un tiempo máximo de un año (la primera etapa que es de 20.000 kw.)

El costo de instalación de esta central térmica resultaría bastante económico, pues no pasa de \$/ 4.000/kw instalado ya que en ella se prescinde casi completamente de las obras hidráulicas que resultan ser bastante caras.

Para Centrales térmicas el kw. instalado cuesta de \$/ 3.500 a \$/ 4.000.

Para centrales hidroeléctricas el kw. instalado cuesta de \$/ 6.000 a \$/ 8.000.

El combustible para esta central térmica que es el carbón de piedra, recurso natural, no es muy caro, se ha calculado a \$/ 80/ton. de carbón.

LA LINEA DE TRASMISION AZUAY-GUAYAS.- La distancia media entre Biblián

y Guayaquil es de 120 km. en línea recta y llegando a ser realidad los proyectos mencionados, sería justificada la instalación de esta línea de transmisión, pues transportaría aproximadamente

1.- Central Térmica	10.000 kw. (la reserva)
2.- Central río Dudas	10.000 kw.
3.- Cola de San Pablo	<u>100.000 kw.</u>
TOTAL	120.000 kw.

Que es una potencia importante dentro del País.

Una vez justificada la instalación de la línea de transmisión Azuay-Quayas se sugeriría que su construcción comenzara ya junto con la instalación de la Central Térmica, lo cual permitiría vender como primera instancia la reserva de la misma.

Cabe anotar que cuando cualesquiera de los grandes proyectos hidroeléctricos se logren instalar necesariamente entonces se pensaría en una red de conexión interprovincial, y en ese caso la termoeléctrica serviría como reserva de estas grandes centrales.

Para terminar este capítulo en la figura No. 11 se presenta un esquema eléctrico de las conexiones de la central misma y de las diferentes centrales en el futuro (Cola de San Pablo, Pisayambo, Río Dudas, etc.).

El voltaje escogido para servir a las poblaciones vecinas (Azogues, Biblián, Fábrica de Cemento, minas de carbón, etc.) es de 13,8 kV., voltaje de generación prescindiendo de la transformación para la transmisión.

El voltaje para transmitir a Cuenca y Cañar será de 69 kV. por ser una distancia considerable (30 km.).

El esquema de conexiones de la central misma consta.

- 1.- Generadores con sus tableros de comando.
- 2.- Celdas de alta tensión con los siguientes circuitos:
 - a) Celdas de generadores a 13,8 kw.
 - b.- Celdas de protección y sincronización.
 - c).-Celdas de condensadores
 - d.- Celdas para transformadores de servicio interno con su distribución de baja tensión.
 - a) Para alumbrado de la central
 - b) Para talleres y bodegas.
 - c) Para viviendas
 - d) Para preparación de agua
 - e) Para accionamiento de bombas de alimentación a las calderas.
 - f) Para ventiladores y quemadores
 - g) Para controles automáticos
 - h) Para transporte de carbón y cenizas
 - i) Para la planta del lavado del carbón.
 - e.- Celda de alta tensión para la mina de carbón (13,8 kw).
 - f.- Celda de alta tensión para la fábrica de cemento Güapán (13,8 kw.)
 - g).- Celda de alta tensión para la red que servirá a las poblaciones vecinas (Azogues, Biblián, etc.)
 - h) Celda de alta tensión para la salida a la subestación, al aire libre, donde se conectarán las diversas centrales en el futuro y de donde se elevará a 69 kw. o a 132. kw.

C A P I T U L O C U A R T O

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CENTRAL TERMICA

GENERALIDADES.- Según el capítulo anterior la instalación de los 30.000 Kw, se hará en 2 etapas; la primera de 20.000 Kw. en dos unidades de 10.000 Kw; y la 2a. etapa en una unidad de 10.000, siendo por tanto tres unidades semejantes. En este estudio se hará los cálculos para una unidad de 10.000 Kw, que serán aplicables a las otras dos.

I.- EL HOGAR

1- GENERALIDADES.- El hogar para esta central será diseñado para quemar carbón pulverizado, con lo cual se obtendría una combustión eficiente y rápida, compensando así el bajo poder calorífico inferior del carbón (4000 Kcal/kg). La inyección del polvo combustible en la cámara de combustión, se efectúa mediante quemadores especiales. El polvo es transportado desde el molino al quemador con una parte de aire llamado aire primario a presión, en estado que podría llamarse de flotación.

Luego se añade aire secundario a presión por medio de unas lumbreras especiales, situadas en el tramo del quemador, donde se produce la combustión y también se añade en el mismo quemador, en cuyo caso se adopta para producir remolinos muy intensos, esparcir el combustible y ayudar a la combustión.

El aire, tanto primario como secundario será calentado previamente,

y se mezcla con el combustible ya en la boquilla del quemador. (Detalle del Quemador, fig. No. 12).

2.- PREPARACION DEL POLVO DE CARBON. - Cada unidad, es decir cada caldera tendrá un molino independiente.

El carbón luego de ser extraído será transportado a la planta de lavado, donde se eliminarán casi todas las impurezas superficiales. Luego del lavado se triturará hasta un diámetro de 25 mm.

Solamente en este estado es conducido al molino o molinos donde se molerá hasta una finura tal que en el cedazo de 4.900 mallas, el residuo no sea mayor del 15%.

En el camino, de la trituradora al molino, se podrá adoptar dispositivos para poder secar el carbón, ya sea aprovechando los humos de la combustión o ya sea mediante inyección de vapor. En nuestro caso sería de mucha importancia el secado por tener un alto porcentaje de humedad el carbón de Biblián.

Los quemadores serán basculantes en un plano vertical, pudiendo la llama inclinarse a voluntad hacia arriba o hacia abajo en $\pm 30^\circ$ con relación a la posición media.

3.- RESERVAS DE CARBON. - Según estudios hechos por un ingeniero americano, se sabe que se puede obtener como explotación inicial las siguientes cantidades: (Ingeniero de Minas EVAN BENNET, de Naciones Unidas).

BLOQUE DE LA FORTUNA	Vetas 1,2,3	284.000 Tn.
	Veta # 4	150.000 Tn.
BLOQUE CAÑARI	Veta Cañari	340.000 Tn.
BLOQUE DELIG		200.000 Tn.

Sumando un total de 974.000 Tn.
=====

Como se verá posteriormente, la Central en la primera etapa necesitará de 7,2 Tn./hora (3.6 Tn/h. cada unidad), con un factor de carga=0,50:
 $7.2 \times 12 = 84 \text{ Tn/día.}$

En el año se necesitará:

$$84 \times 365 = 30.000 \text{ Tn/ año}$$

y como la Central deberá trabajar por lo menos 20 años, la reserva para la primera etapa deberá ser:

$$30.000 \times 20 = 600.000 \text{ Tn/20 años}$$

Para las dos etapas se necesitará aproximadamente 1'000.000 Tn. De donde se concluye que la reserva es suficiente como para la instalación de la Central Térmica de 30.000 Kw.
Además las 974.000 Tn. de reserva calculadas son teniendo en cuenta solamente la explotación inicial , y suponiendo que se mantenga la misma calidad del carbón.

4.- CALCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE PARA LA COMBUSTION

La experiencia ha demostrado que el aire necesario para una buena combustión es aproximadamente de 12 Kg. por Kg. de carbón.

$$G_y = G_x \frac{n_y}{n_x} \frac{U_y}{U_x} \quad (G_x = 1 \text{ Kg. de carbono})$$

Los requisitos para una buena combustión son:

- a) Admisión de aire suficiente,
- b) No debe suministrarse aire con exceso, esto produciría pérdidas de calor.
- c) El aire debe introducirse en el tiempo apropiado y de tal manera que el oxígeno del aire se ponga en contacto con el combustible.
- d) Los gases deben mantenerse a una temperatura superior al punto de ignición hasta que la combustión sea completa, para lo cual será necesario instalar un regulador de aire, del aire secundario.

Como se supone, una combustión completa, los diversos componentes del combustible se combinarán con el oxígeno del aire en la siguiente:

El carbono forma con el oxígeno del aire en dióxido de carbono.

El Hidrógeno + oxígeno = Agua

Azufre + Oxígeno = Anhídrido Sulfuroso.

Si el aire no fuera suficiente, en vez de dar bióxido de Carbono CO₂, daría un monóxido de carbono, CO, el cual es aún un gas combustible que saldría por la chimenea.

El carbón de Biblián tiene los siguientes componentes en peso:

	REACCION	PESO MOLECULAR
C = 0.5700	C más O ₂ --- CO ₂	12 más 32 = 44
O ₂ = 0.0125		
H ₂ = 0.0631	H ₂ más 1/2 O ₂ -- H ₂ O	2 más 16 = 18
S = 0.0541	S más O ₂ ---- SO ₂	32 más 32 = 64
Ceniza = 0.2600		
<hr/>		
1.000 Kgr.		

CANTIDAD DE OXIGENO NECESARIO :

C	32/12	x	0.57	=	1.51
H ₂	16/2	x	0.063	=	0.500
O ₂			= - 0.0325	(hay que restar el oxígeno que ya se tiene)	
S	32/12	x	0.0541	=	0.0541
<hr/>					
2.505 Kgr.					

LA CANTIDAD DE OXIGENO NECESARIO 2,50 Kg/Kg. de Combustible.

1 Kgr. de aire 23.2 % de oxígeno
 76.8 % de nitrógeno

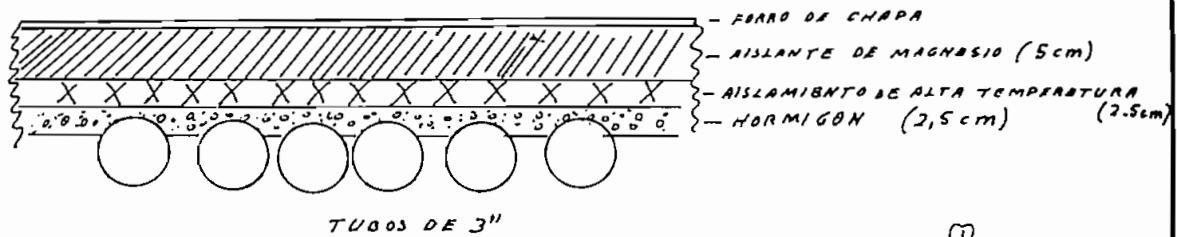
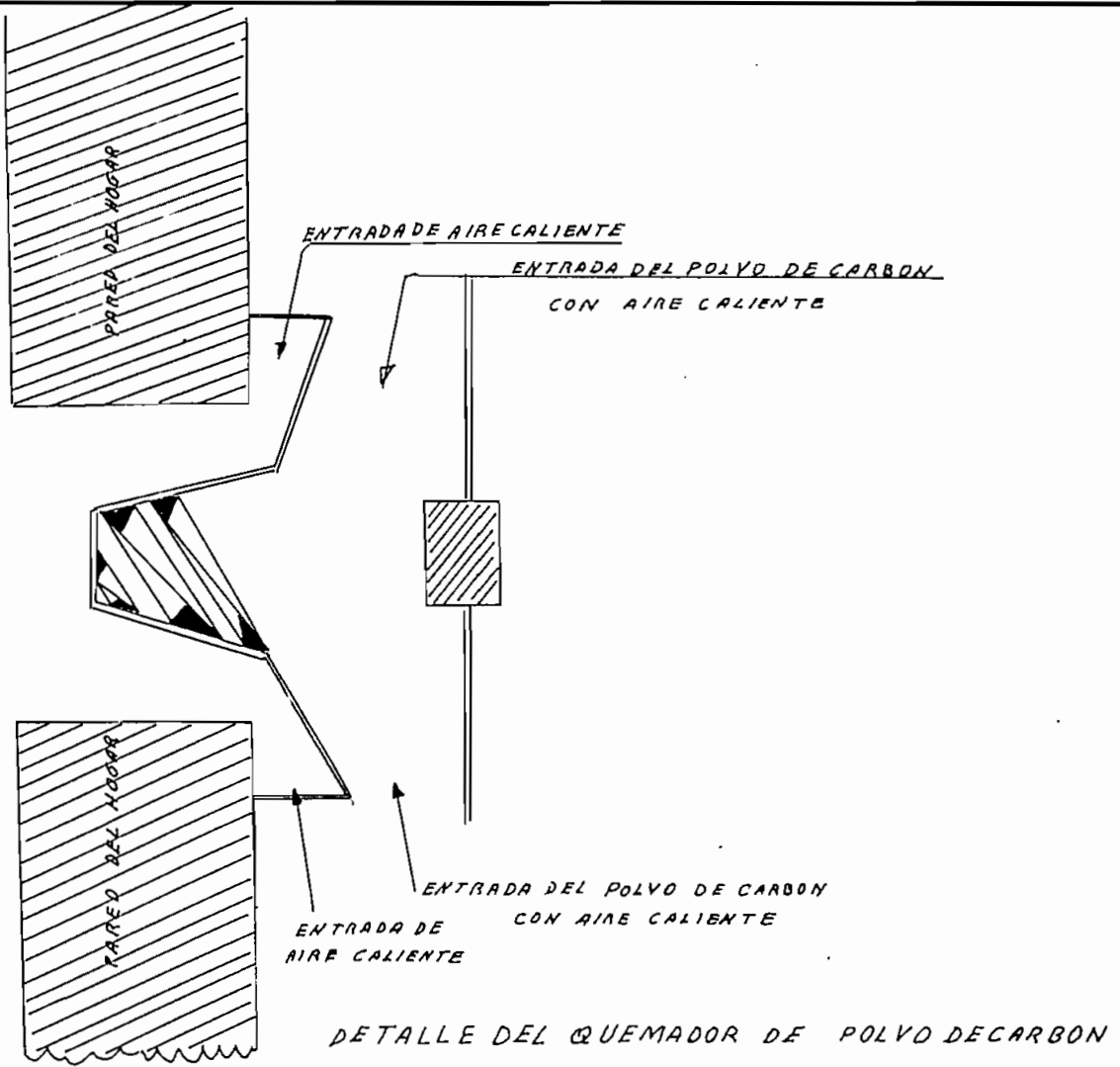
Nitrógeno asociado con oxígeno = $\frac{0.768}{0.232} \times 2.505 = 8.25$ Kgr. de aire.

8,25 + 2,500 = 10.8 Kgr. de aire/ Kgr. combustible.

Pero para una buena combustión, un exceso de 20% aconseja la experiencia para carbón pulverizado.

1,2 x 10,8 14 Kgr. de aire/Kgr. combustible.

HOGAR



DETALLE DE LA CONSTRUCCION DE LAS PAREDES DEL HOGAR

El aire deberá ser en lo posible puro y limpio para lo cual usaremos unos filtros especiales que funcionen en dirección contraria a la del viento.

Los residuos de la combustión son en peso:

$$\text{CO}_2 \quad 0.61 \text{ más } 1.61 \quad = 2.220$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad 0.344 \text{ " } 0.043 \quad = 0.384$$

$$\text{N}_2 \quad \quad \quad = 0.010$$

$$\text{SO} \quad 0.054 \text{ más } 0.054 \quad = 0.108$$

$$\text{N}_2 \quad \text{exterior} \quad = 6.450$$

$$9.172$$

También se tomará un exceso de 20% para el cálculo de los conductos y chimeneas:

$$9.17 \times 1.3 = 12 \text{ Kgr. de Humos/Kgr. de carbón.}$$

5.- PRODUCCION DEL TIRO.- Las funciones que tiene que cumplir el tiro, son:

- a) Hacer llegar al combustible la cantidad de aire necesaria para una buena combustión.
- b) Obligar a los gases de combustión a recorrer los distintos conductos hasta la chimenea.
- c) Evacuar los humos hacia capas muy altas de la atmósfera y repartirlas de manera de evitar molestias a la vecindad.

Según las experiencias en Alemania, para un lignito inferior, igual al carbón de Biblián, el tiro en la parte inferior del hogar será de 12mm. y al final, es decir, en la parte superior de 25 mm. de la columna de agua.

Luego el tiro para la cámara de combustión será 45 mm. de columna de agua, que resulta de sumar (12 + 25), más un 20% debido al economizador y calentador de aire.

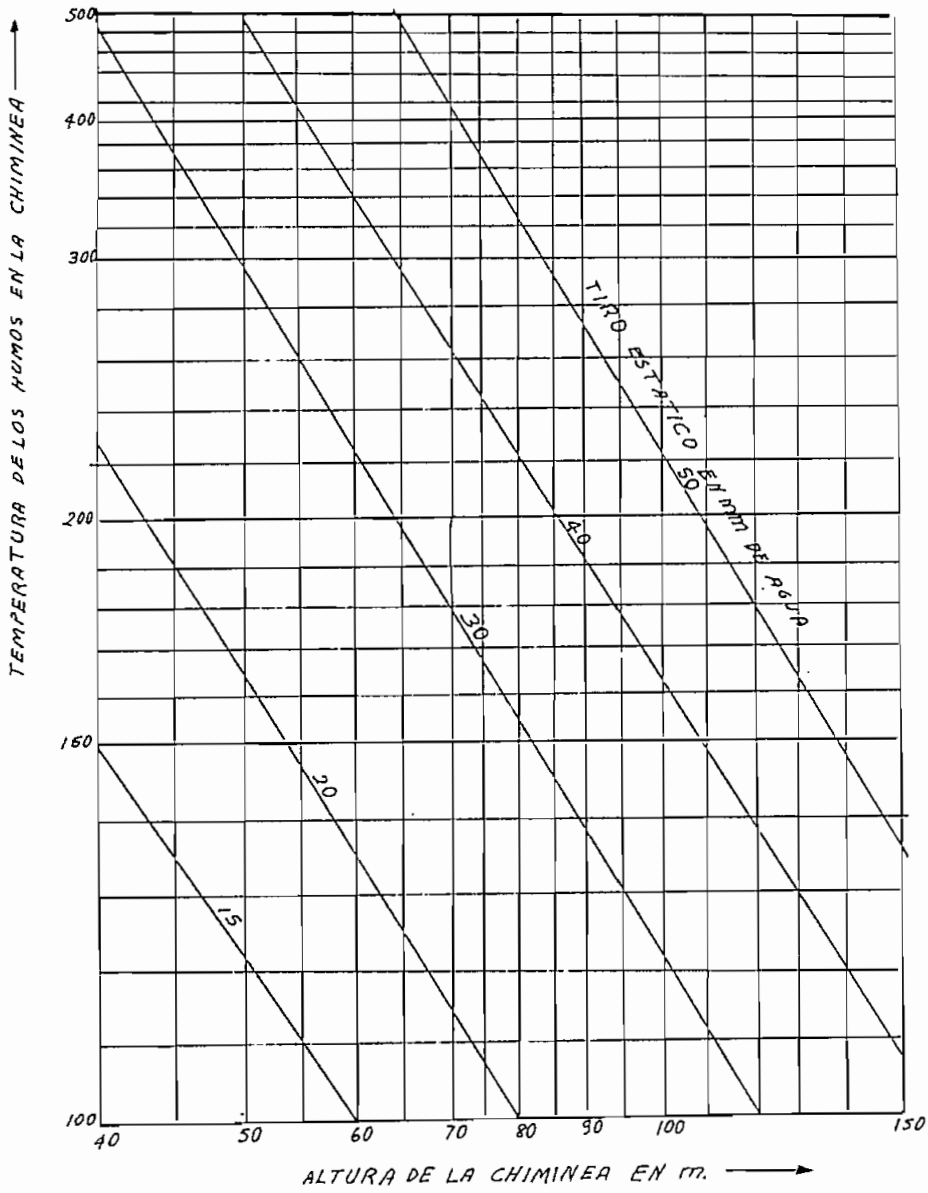
(El tiro siempre se acostumbra a medir en mm. de columna de agua o Kgr/ m2.)-

Para este hogar se usará el tiro natural por ser el más económico al comparar con el tiro artificial, en el que se emplean ciertas máquinas soplantes.

Con este tiro se calcula que vencerá todas las resistencias que se oponen a la salida de los gases. Estas resistencias son: economizador, calentador, de aire, sobrecalentador, conductos de los humos, compuertas registros, etc. Se usará una chimenea para cada unidad.

6.- ALTURA DE LA CHIMENEA.- La acción de la chimenea se funda en la diferencia de peso específico que existe entre la columna de humos calientes que se encuentra en el interior de aquella y el aire frío del exterior. En la Fig. 13 , que tiene como abscisas la altura (H) en m de la chimenea y como ordenadas la temperatura media de la chimenea en °C, se podrá encontrar directamente la altura de la chimenea.

La temperatura en la parte inferior de la chimenea será aproximadamente 350°C, sabiendo que en el hogar mismo estos humos tienen una temperatura de 750 °C, y se supone la pérdida de 400°C al pasar efectuando el trabajo en el economizador y en el calentador de aire. En la parte



TIR·O ESTATICO (En las Chimineas)

FIG. Nº13

inferior 350°C.

En la parte superior, es decir a la salida de los humos no deberá ser menor de 150 °C de temperatura, debido al alto % de azufre que contiene el carbón de Biblián.

Luego la temperatura media de la chimenea será:

$$\frac{400 + 150}{2} = 275^\circ \text{ C.}$$
 que si es una temperatura media aconsejable por las normas.

De esta manera recurriendo a la figura o diagrama N- 13 , con la temperatura media de 275 ° C y con el tiro de 45 mm. gráficamente determinamos que la altura de la chimenea es 80 m = H.

Además tenemos un cuadro que nos permite calcular también la altura de la chimenea, el cual dice:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1) Para temperaturas medias de | 175 °C a 200°C.
Z = 0,4 H |
| 2) Para temperaturas medias de | 250°C
Z = 0.5 H |
| 3) Para temperaturas medias de | 275°C- 300°C
Z = 0,55 H |

Z = es el tiro en mm.

H = altura de la chimenea en m.

$$\begin{aligned} Z &= 0.55H \\ 45 &= 0.55H \end{aligned}$$

$$H = \frac{45}{0.55} = 80 \text{ m.}$$

Quedando perfectamente bien determinada la altura de la chimenea.

La velocidad de salida de los humos será de 0.1 H, es decir $8 \text{ m/sg.} = V_s$, que es la velocidad límite superior aconsejable para la salida de los humos.

7.- REGULACION AUTOMATICA DEL FUEGO DEL HOGAR. - Las oscilaciones de la carga deben ser reguladas constantemente por el fogonero, a más del regulador automático, es decir se tendrá regulación manual y automática.

Como punto de partida para la regulación se tomará la presión en la tubería de vapor. Cualquier variación de aquella ya sea en más o en menos mediante mecanismos pilotos, se regularán simultáneamente:

- A)- La entrada o carga del combustible.
- B)- La entrada del aire de combustión.
- C)- El tiro o presión en el hogar.

A- REGULACION DE LA CARGA DE COMBUSTIBLE. - De los cuatro quemadores que tendrá cada unidad, los tres serán regulados automáticamente y el cuarto será regulado manual y automáticamente.

La conexión para esta regulación será en cascada es decir que de acuerdo a la necesidad se irán conectando a la regulación los quemadores.

El funcionamiento de este regulador estará basado en la conexión de un circuito, que se cerrará cuando la aguja indicadora de la presión, haga contacto con cuatro resistencias, correspondiendo una a cada que-

mador. Cerrado el circuito actuará un relé de tiempo que instantaneamente dará un comando a un mecanismo de cierre o apertura de un disco en la entrada del combustible. (Fig. 14).

La regulación automática será en $\pm 3\%$ de la presión, es decir, tolerará un incremento o una disminución cuando más de 1.5 Kgr/cm².

Una vez que haya pasado de este porcentaje tolerable y aceptable, el cuarto relé estará dimensionado para disparar un último relé, el cual hará parar la central misma.

B- REGULACION DEL AIRE DE COMBUSTION.- De la misma manera que en la anterior al cerrarse en cascada los circuitos, actuarán relés simultaneamente con los relés que actúan para la regulación de la carga del combustible como se podrá observar en el esquema de la figura No. 14. Estos relés darán un mando a los discos para el cierre o apertura, dejando pasar menor o mayor cantidad de aire. Es decir el cierre de cada circuito hace que opere dos relés, el uno para la regulación del combustible y el otro para la regulación del aire de combustión.

C- REGULACION DEL TIRO O PRESION EN EL HOGAR.- Para regular el tiro, se instalará en el hogar dos ventiladores con álabes orientales, el primero será solamente automático, y el segundo será de regulación manual y automática. Del mismo modo, al cerrarse los circuitos, cuando lleguen al punto 2, es decir después de

haber operado un relé de las regulaciones anteriores, operará simultáneamente un relé de los ventiladores, dando un mando para cerrar o abrir un interruptor en los ventiladores.

8.- DIMENSIONES DE LA CAMARA DE COMBUSTION.- De la siguiente tabla se podrá deducir las dimensiones medias del hogar en función de la capacidad (Kg/h)-

C U A D R O No. 6

(1)

CAPACIDAD Kg/h	DISTANCIA ENTRE CUERPOS CILINDRICOS.-	H O G A R			DIAMETROS CILINDRICOS	
		Altura	Ancho	Profund.	Superior	Infer.
45.400	7,32 m.	8.24	5.54	4.42	1.52	1.07
68.200	7,93 m.	8.85	6,3	4.95	1.52	"
91.000	8.54 m.	9.45	7.0	5,5	1.67	"
113.800	8.54 m.	9.45	7.5	6,0	1,67	"

De donde se puede ver que para la capacidad que tiene cada unidad de 45.000 Kg/h' las dimensiones para el hogar serán:

Altura = 8,24 m

Ancho = 5,54 m.

Profundidad = 4,4 m.

9.- PAREDES DEL HOGAR.- Se usará paredes de tubos adosados de 3" con

(1) KNOWLTON (Manual del Ing. Electricista).

una separación entre ellos de 10 cms. estos tubos estarán encargados de la refrigeración del hogar, por donde correrá agua fría.

Este detalle se podría ver en la figura No. 12.

Inmediatamente de los tubos irá una capa de hormigón de 2,5 cm., luego 5 cm. de aislante de magnesia y finalmente un forro de chapa.

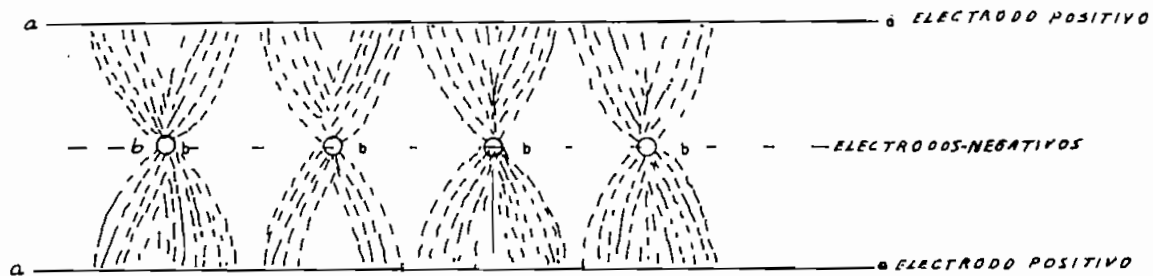
10.- FILTRO ELECTROSTATICO.-Antes de ser evacuados los gases res#duos de la combustión por la chimenea, se hará pasar por un deshollinador electrostático, llamado filtro electrostático, en el cual se retendrán algunos res#duos, que no fueron completamente quemados, para volverlos a inyectar en el hogar; mejorando así el rendimiento térmico del hogar; o se puede utilizar en la fabricación del cemento y como se tendrá en la vecindad la Fábrica de Cemento Guapán se podría aprovechar de una manera absoluta estos res#duos.

En la Fig. No. 15 se puede ver un esquema de este filtro electrostático.

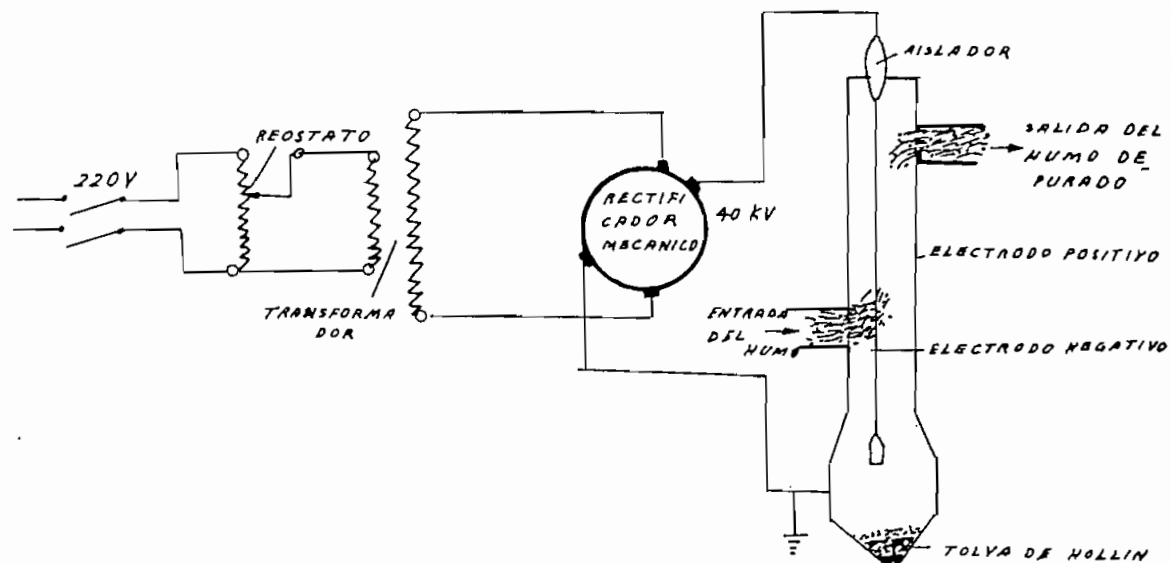
La precipitación de las partículas de humo se efectuará mediante la ionización.

Para la ionización se tendrá unas placas "a"- positivas y unos hilos "b" negativos. Los iones positivos son atraídos por los hilos negativos neutralizados por ellos. Los electrones de carga negativa se dirigen a las placas positivas donde también son neutralizados.

Las partículas de humo al pasar por este campo ionizado adquieren, por contacto, con los electrones, cargas eléctricas negativas y se dirigen a las placas "a", donde se depositan cayendo luego al fondo, a un



IONIZACION Y DEPOSITO DE LAS PARTICULAS (DE CARBON)



ESQUEMA DEL DESHOLLINADOR ELECTROSTATICO

depósito llamado Tolva de hollín.

La alimentación eléctrica se hará por medio de un transformador que elevará la tensión a 40 Kw. y una intensidad de 250 mA. Además se usará un rectificador mecánico para poder obtener corrientes de signos conocidos, es decir corriente continua. Este filtro estará dimensionado para un grado de separación de hollín de un 96 %.

Como se dijo anteriormente, este hollín, resultado de la precipitación se conducirá neumáticamente a unos silos, dedonde se puede volver a inyectar al hogar, o utilizar para la fabricación del cemento como material adicional.

- II - L A C A L D E R A

1- CICLO TERMICO. - El agua que alimenta a la caldera al ser transformada en vapor y viceversa, evolucionará según el ciclo teórico de Rankine Fig. N- 16-

El tramo AB indicará la expansión del vapor sobrecalentado en la turbina desde la presión $p = 45 \text{ Kgr/cm}^2$ y la temperatura 450° C , hasta la presión $p = 0.063 \text{ Kgr/cm}^2$ y la temperatura existente en el condensador. (35°).

La expansión teóricamente se puede considerar como adiabática por lo que está representada, por la recta AB, paralela al eje de las ordenadas.

Asimismo, la condensación del vapor en el condensador, se puede considerar como " a presión constante " y "temperatura constante" y sería BC paralela al eje de las abscisas, correspondiente a la temperatura $T_2 = t_2 + 273^\circ \text{ K}$, donde t_2 es la temperatura de saturación en el punto C, correspondiente a la presión p_2 (0.063 Kgr/cm^2); y "x" es el índice de sequedad del vapor saturado.

La compresión adiabática del agua se efectúa, mediante la bomba de alimentación, desde 0.063 Kgr/cm^2 hasta 45 Kgr/cm^2 y es el tramo CD.

En la caldera el agua se calentará según el tramo DE a presión constante $p = (45 \text{ Kgr/cm}^2)$ - hasta la temperatura de vaporización "ts" correspondiente a la misma presión 45 Kgr/cm^2 .

El aumento de temperatura del agua en el tramo CD durante la compre-

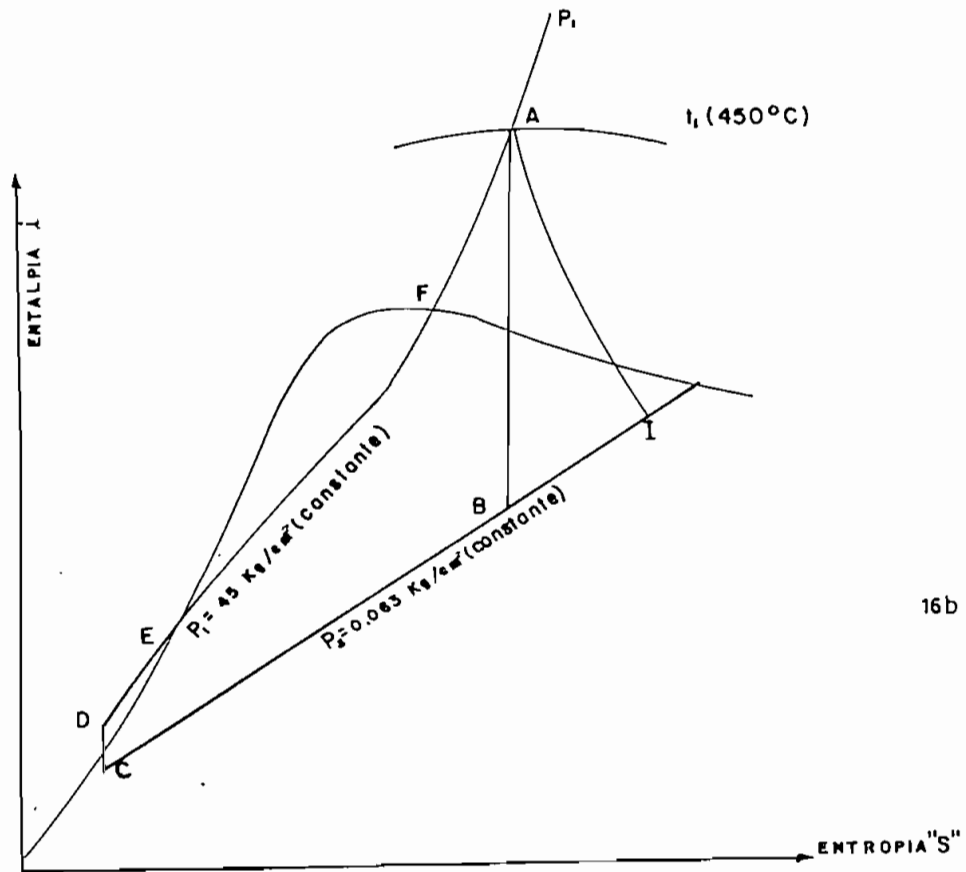
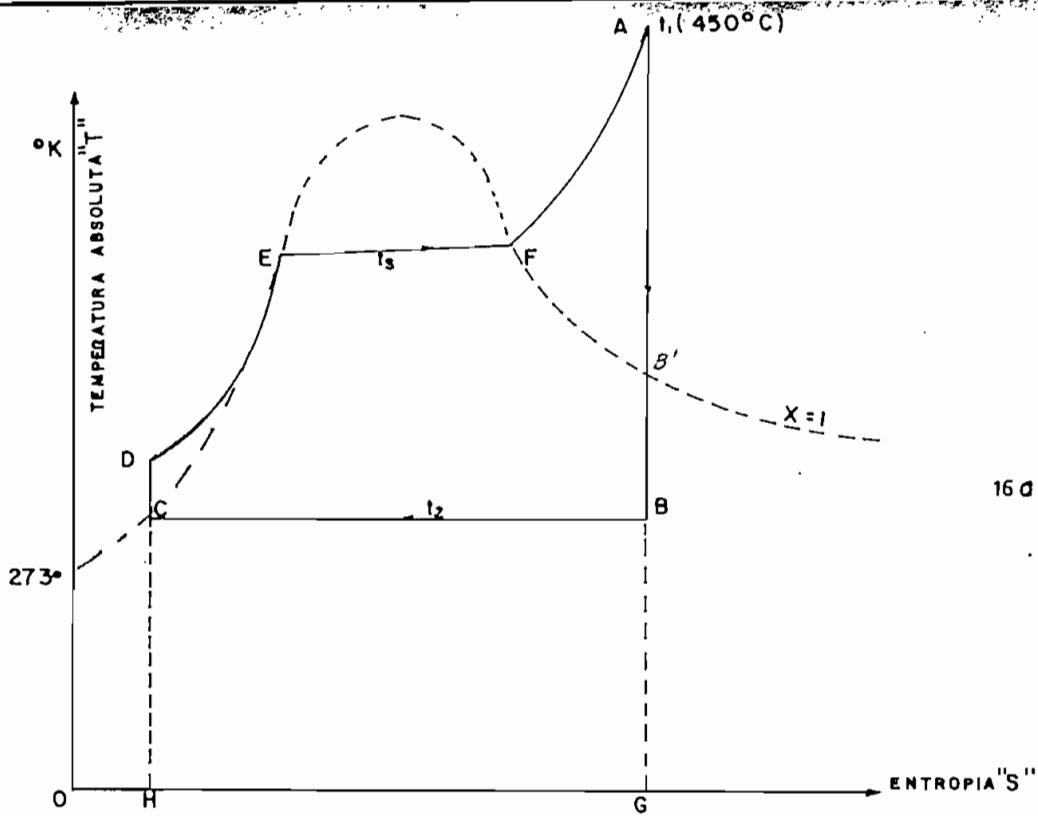


FIG. Nº 16

sión adiabática es muy pequeño por lo cual la curva isobárica DE se aparta muy poco del tramo CE ($x = 0$).

Teóricamente en los tubos hervidores de la caldera, el agua se evapora a presión constante $p = 45 \text{ Kgr/cm}^2$ y temperatura constante " t_s " y está representada por el tramo EF, hasta alcanzar el punto F.

El vapor saturado es conducido al sobrecalentador 1 y 2 donde es sobre-calentado el vapor a presión constante hasta una temperatura de 450°C y está representado por el tramo FA, quedando así cerrado el ciclo térmico.

El ciclo térmico efectivo como se verá difiere del teórico (ABCDEF) por las siguientes razones:-

- a)- El sobrecalentamiento no es isobárico como indica el tramo FA, sino que se realiza más bien a una presión decreciente por existir una caída de presión en el sobrecalentador y aumento de presión debido a .
- b)- En la cañería que conecta la caldera con la turbina también hay una caída de presión, que se emplea en producir el movimiento del vapor, además hay una ligera pérdida del calor. (Se entiende que las uniones de las tuberías están bien hechas y no hay purgas).
- c)- Las pérdidas termodinámicas de la turbina provoca una expansión con entropía creciente siendo el tramo AI, en vez de AB, que es el teórico, esto se puede ver en el diagrama de Mollier.

d)- Pérdidas por la transmisión del calor.

2- RENDIMIENTO DEL CICLO TERMICO.- Según la figura No. 16-

$$n = \frac{\text{Area ABCDEFA}}{\text{Area AGHDEFA}}$$

El área ABCDEFA es igual al calor teóricamente transformado en energía mecánica durante el ciclo de trabajo del vapor.

AGHDEFA = Es igual al calor recibido, en el ciclo durante el calentamiento, vaporización y sobrecalentamiento.

$$n = \frac{i_a - i_b}{i_a - i_c - i}$$

Siendo i_a , i_b , i_c entalpías en los puntos A, B y C y i es el trabajo de compresión de la bomba de alimentación:

A = equivalente térmico del trabajo y vale

$$A = 1/427 \text{ Kcal/ Kgm.}$$

n_b = Rendimiento de la bomba = 0,87.

V = Volumen específico del vapor sobrecalentado = 0.08 m³/Kgrs.

P = Presión absoluta = 450.000 Kgr/m²

Por ser el agua poco comprensible se puede calcular con buena aproximación:

$$i = \frac{A \times V \times p}{n_b} = \frac{1}{427} \times \frac{0.08 \times 450.000}{87} = 45 \text{ Kcal/kg}$$

$$A_i = 97 \text{ Kcal/ Kg.}$$

Luego el rendimiento del ciclo térmico será:

$$n = \frac{i_a - i_b}{i_a - i_0 - A_i}$$

$$n = \frac{800 - 505}{800 - 452 - 97} = \frac{295}{385}$$

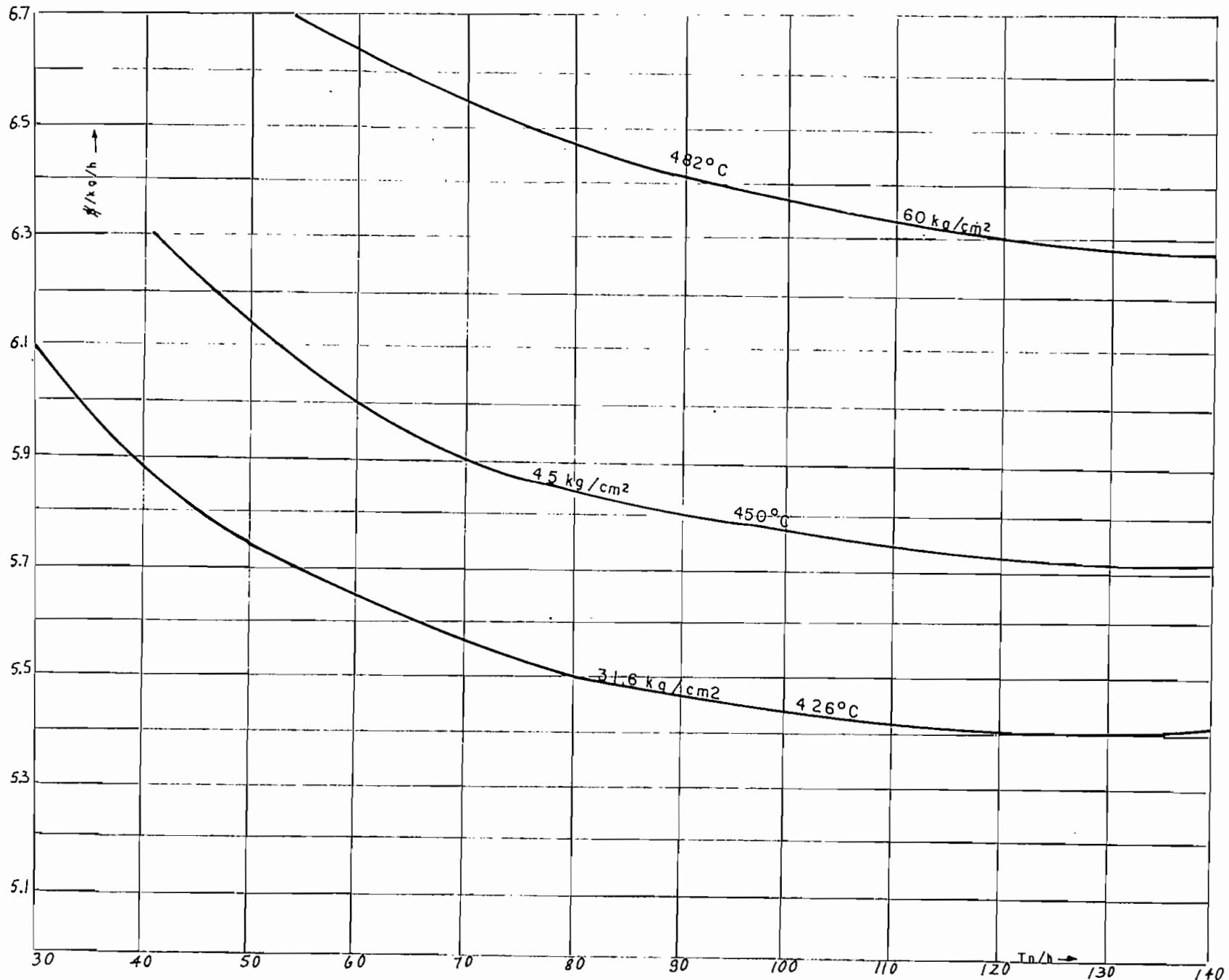
$$n = \frac{295}{385} = 0.75 = 75\%$$

$$n = \underline{75\%}$$

Para aumentar el rendimiento del ciclo térmico se puede usar los siguientes métodos:

- 1.- Disminuir P_2 en el condensador.
- 2.- Aumentar P_1 en la caldera.
- 3.- Aumentar t es decir la temperatura de sobrecalentamiento.
- 4.- Mediante la regeneración.
- 5.- Sobrecalentamiento intermedio
- 6.- Ciclo binario.

Para la caldera se ha escogido ya la presión y la temperatura según la figura No. 17 en la cual se ve que, si se sube la presión y la temperatura, sube el costo de instalación, en este caso específico cuesta \$/ 150,00 /kgr/h, por lo cual no se puede aplicar los puntos 2, y 3;



COSTO DE LAS CALDERAS (en función de la presión y la temperatura)

FIG. Nº 17

y el 5 y el 6 por ser demasiado costosos quedan descartados por completo.

Para aumentar el rendimiento, se usará la regeneración, que es la más generalizada y aconsejable. (Punto 4)-

3- REGENERACION.- En este ciclo regenerativo la mayor parte del vapor fluirá por la turbina y llegará al condensador, mientras que una fracción del vapor será extraída de tomas intermedias y empleadas para precalentar el agua de alimentación de la caldera, (Fig. No. 18-)

En este caso la regeneración se hará mediante 4 extracciones como mínimo, para que tenga un buen rendimiento. Debido a esta regeneración se precisará un mayor caudal de vapor y será un poco más costosa la instalación, pero en cambio la cámara de combustión resultará más pequeña y la cantidad de vapor a condensarse será menor, por lo cual vale la pena el ciclo regenerativo con cuatro extracciones y con ellas se obtiene un aumento de rendimiento termodinámico de la turbina y un incremento del caudal del vapor.

Con este ciclo regenerativo se podrá calentar el agua de alimentación de la caldera hasta 180° C.-

4.- CAPACIDAD DE VAPORIZACION DE LA CALDERA.-La caldera, que es un recipiente donde se transforma el agua en vapor a una presión de 45 Kgr/ cm², será de circulación natural, a irradiación y monotubular. Esta circulación está asegurada por la diferencia de peso específico que existe entre la columna ascendente, cons-

tituída por una mezcla de vapor y agua, y la columna descendiente de agua.

La caldera de la central térmica tendrá las siguientes características:

Presión de timbres 45 Kgr/ cm².
del vapor
Temperatura 450° C

En el diagrama de Mollier para esta presión y para esta temperatura corresponde una entalpía de 800 Kcal/Kg. Después de la expansión del vapor sale a una presión de 0.063 Kg/cm² que corresponde a una entalpía en el mismo diagrama de 505 Kcal/Kg.

El salto término será: 800- 505= 295 Kcal/Kg.

Corresponde a una entropía de 1.65 Kcal/Kg °K. (diagrama de Mollier)

Volumen específico: 0.08

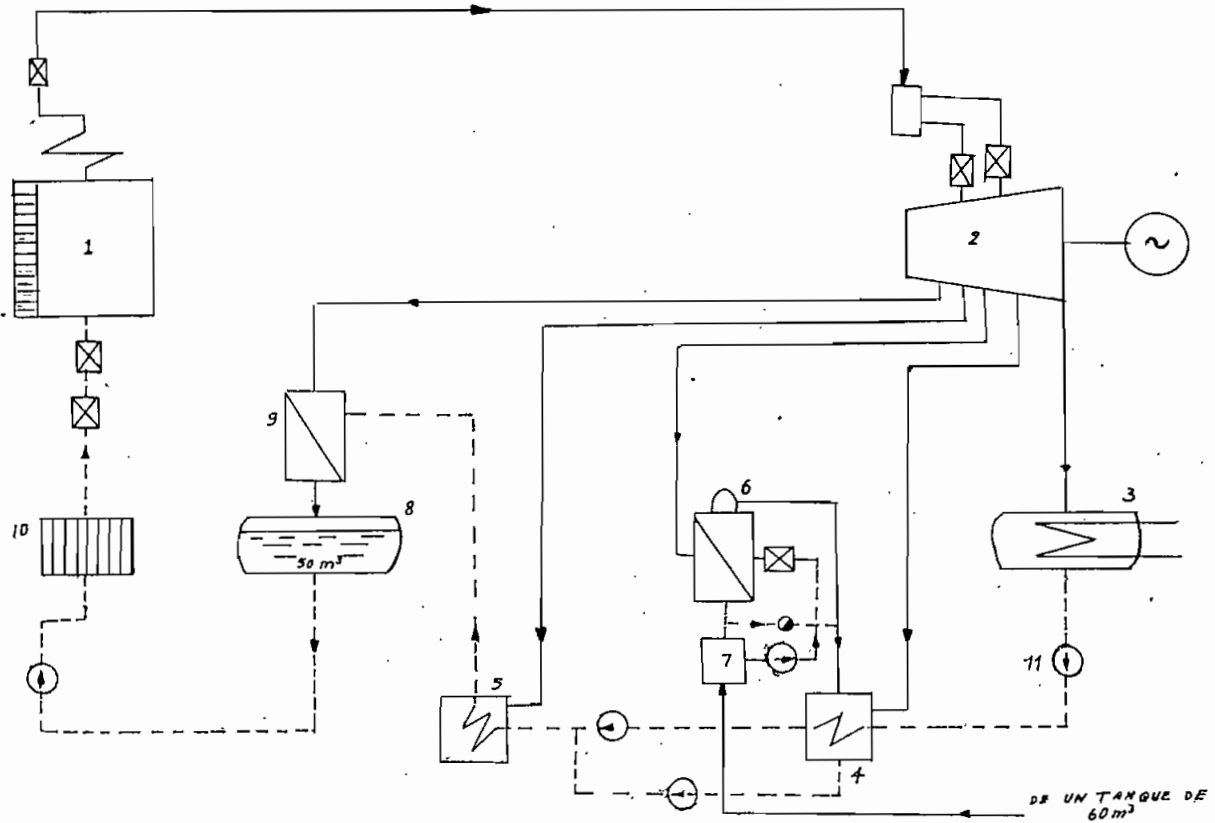
El consumo o gasto específico será, admitiendo un rendimiento del ciclo térmico de 0.75:

$$\frac{860 \text{ Kcal} / \text{Kw h.}}{295 \text{ Kcal/Kg} \times 0.75} = 3.92 \text{ Kg} / \text{Kw h.}$$

Este consumo multiplicado por 10.000 Kw, dará la capacidad de vaporización necesaria en la caldera.

$$3.92 \text{ Kg/Kwh} \times 10.000 = 39.200 \text{ Kg/h.}$$

Admitiendo un 10% de pérdidas, es decir, considerando como que ten-



ESQUEMA DE CONEXIONES DE LA CENTRAL CON SUS CUATRO EXTRACCIONES

- 1 Caldera monotubular para 45 ton/h a 45 kg/cm² abs y 180°C
- 2 Grupo turboalternador de 1000 Kw a 3600 r. p. m
- 3 Condensador
- 4 Precalentador de agua de alimentación
- 5 " " " "
- 6 Evaporador
- 7 Depurador de agua
- 8 Depósito de alimentación (50 m³)
- 9 Desgasificador
- 10 Economizador

- ⊗ Válvulas de regulación automáticas
- ⊙ Recipiente de purga

FIG Nº 18

ga un 90% de rendimiento, el proceso de vaporización; se tendría una capacidad:

$$\frac{39.200 \text{ Kg/h}}{0.9} = 45.000 \text{ Kg/h} = 45 \text{ Tn/h.}$$

Las pérdidas del 10% es debido a las purgas y prensaestopas, y es un porcentaje aceptable.

La capacidad de vaporización para la primera unidad es de 45 Tn/h.

La carga térmica específica según las tablas dan los siguientes valores para el hogar:

Lignito (Baja calidad)	750.000 Kcal/m ² x h
Lignito (Mediana ")	850.000 "
Lignito (Optimo ")	950.000 "

Para lignito de Biblián que es de baja calidad se toma 750.000 Kcal/m² x h. y 2.520 Kcal/Kwh.

5.- CALCULOS PARA LA INSTALACION DE LA CALDERA.-

Combustible; polvo de carbón, de un poder calorífico inferior
4.000 Kcal/Kg.

Consumo de vapor, 45 Tn/h

Rendimiento de la vaporización = 0.90

DATOS Presión del vapor (de timbre) 45 Kg/cm².

Temperatura del vapor sobrecalentamiento 450°C

Temperatura del agua de alimentación, 180° C

Calor de producción o salto térmico = 295 Kcal/Kg.

La caldera será monotubular y de tubos verticales.

El índice de vaporización "v" = $\frac{\text{peso del vapor producido} \times \text{rendimiento}}{\text{peso del carbón}}$

$$v = \frac{0.90 \times Hu}{1} = \frac{0.90 \times 4.000 \text{ Kcal/kg}}{296 \text{ Kcal}} = 12,2 = v \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \right]$$

n = rendimiento de la bomba

i = Salto térmico.

Hu = Salto térmico.

$$v = 12,2 \text{ (kg de vapor/Kg. de combustible)}$$

El peso del combustible por hora "B" será:

$$B = \frac{\text{consumo de vapor} \times i}{0.90 \times Hu}$$

$$B = \frac{\text{consumo de vapor}}{\frac{0.90 \times Hu}{i}} = 45.000 \text{ Kg/h} = 3.700,0 \text{ Kg/h}$$

$$B = 3.700 \text{ Kg/h (peso de combustible por hora)}$$

$$B = 3,70 \text{ Tn/h.}$$

Q = Cantidad de calor total cedido por el hogar.

$$Q = B \times Hu = 3.700 \text{ Kg/h} \times 4.000 \text{ Kcal/Kg} = 15'000.000 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = 15'000.000 \text{ Kcal/h}$$

Para el hogar ya se había tomado como carga específica de acuerdo a la clase de carbón.

$$= 750.000 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{h.}$$

$$b = \frac{750.000}{Hu.} = \frac{750.000}{4.000} \frac{Kcal/m^2 h}{Kcal/Kg} = 187 Kg/m^2 x h.$$

$$b = 187 Kg/m^2 x h$$

La superficie del fondo se calculará:

$$\frac{B}{b} = \text{superficie del fondo del Hogar.}$$

$$\frac{3.700 Kg/h}{187 Kg/m^2 x h} = \frac{20 m^2}{-----} = 20 m^2.$$

La carga térmica admitida en hogares según las normas oscila entre 300.000 y 400.000 Kcal/m³ x h.

Para este hogar se escoge 250.000 Kcal/m³ x h, por tratarse de un carbón de baja calidad.

De aquí se procede a calcular el volumen del hogar.

$$\text{Volumen del hogar} = \frac{Q}{\text{carga térmica admitida en el hogar}}$$

$$V = \frac{15'000.000 Kcal/h}{250.000 Kcal/m^3 x h} = 70 m^3 =$$

El hogar tendrá un volumen de 70 m³ y si ya se calculó la superficie del fondo = 20 m², la altura del hogar será:

$$\frac{70}{20} = 3,5, \text{ que por seguridad se podría aproximar a } 5 \text{ m.}$$

La cantidad de aire, por hora, para el hogar se calculará de la siguiente

manera:

Se sabe que se necesita 14 Kg. de aire por Kg. de carbón (para la altitud de Biblián).

14 Kg/kg (de carbón).

$14 \times B = 14 \text{ Kg/Kg} \times 3.700 \text{ Kg/h} = 52.000 \text{ Kg/h. de aire.}$

La cantidad necesaria de aire según se ve es de 52.000 Kg/h.

De acuerdo a esta cantidad, se dimensionará el ventilador necesario para la aspiración del aire;

Cantidad de humos: según se calculó anteriormente = 12 Kg/Kg de carbón.

La cantidad total será: $12 \text{ Kg/Kg} \times B$.

$12 \times 3.700 = 45.000 \text{ Kg/h}$ de humos (esta cifra servirá para dimensionar la chimenea).

CALCULO DE LOS SOBRECALENTADORES. - Se usará dos sobrecalentadores el uno de radiación y el otro de convección, es decir el primero irá intercalado entre las paredes de la caldera, absorbiendo directamente el calor del hogar y el segundo aprovechará el calor a la salida de los humos.

En el hogar se admite una temperatura media de 770°C ; puesto que para buenos combustibles llega hasta los 900 . En la salida de los humos, es decir, para el segundo sobrecalentador se admite unos 700°C .

A).- Para el sobre calentador de alta temperatura o sea para el que está en la caldera misma.

La cantidad de calor tramitado " Q " .

$Q_s = \text{consumo de vapor} \times (i_1 - i_2)$

$i_1 = \text{entalpía para } 450^\circ \text{ C}$
y 45 Kg/cm. de vapor

$i_1 = 750 \text{ Kcal/Kgr. (Diagrama de Mollier)}$

$i_2 = \text{entalpía para el vapor saturado, a la temperatura de saturación}$
(225 °C.) y 45 Kg/ cm² de presión.

$i_2 = 670 \text{ Kcal/Kg. (Diagrama de Mollier)-}$

$Q_s = 45.000 \text{ Kg/h (} 750 - 669 \text{)}.$

$Q_s = 45.000 \text{ Kg/n (} 80 \text{ Kcal/Kg) = } 3'600.000 \text{ Kcal /h.}$

$$Hr = \frac{Q_s}{K \times m}$$

K = Coeficiente de transmisión del calor.

$t_s = \text{Temperatura del vapor saturado} = 225^\circ \text{ C (Tablas)-}$

$t_r = \text{temperatura del vapor sobrecalentado.}$

$t_1 = \text{temperatura en el hogar de los humos aproximadamente } 800^\circ \text{ C}$

$t_2 = \text{temperatura de los humos después de pasar por el sobrecalentador}$
aproximadamente = 700 ° C

Se usará solamente media aritmética porque sus corrientes están en oposición.

$$\Delta t' = t - t_r = 800 - 450 = 350^\circ \text{ C.}$$

$$\Delta t'' = t - t_s = 700 - 225 = 475^\circ \text{ C}$$

$$\Delta t_m = \frac{350 + 475}{2} = 412^\circ \text{ C.}$$

$K = 36 \text{ Kcal/m}^2 \text{ C}^\circ \text{ h}$ (según las experiencias) alemanas (Kutte), tomo II, pg. 427.

Hr = Superficie del sobrecalentador de alta temperatura.

$$Hr = \frac{31600.000}{412 \times 36} = 250 \text{ m}^2$$

B)- Para el segundo sobrecalentador :

$$i_1 = 770 \text{ Kcal/Kg}$$

$$i_2 = 670 \text{ Kcal /Kg.}$$

$$Qs2 = 45.000 \text{ Kg/h (730-670)} = 21700.000 \text{ Kcal/h.}$$

$$t_s = 225^\circ \text{ C}$$

$$t_r = 425^\circ \text{ C}$$

$$t_1 = 700^\circ \text{ C.}$$

$$t_2 = 600^\circ \text{ C}$$

$$\Delta' t = t_1 - t_r = 700 - 425 = 275^\circ \text{ C}$$

$$\Delta'' t = t_s - t_2 = 600 - 225 = 375^\circ \text{ C}$$

$$\Delta t_m = \frac{275^\circ \text{ C} + 375}{2} = 325^\circ \text{ C}$$

$$Hr2 = \frac{21700.000 \text{ Kcal/h}}{325 \times 30} = 280 \text{ m}^2.$$

Hra = superficie del 2° sobrecalentador.

$$K = 30 \text{ Kcal/ m}^2 \text{ C}^\circ \text{ x h (Kutte)- (Tomo II pg. 428)}$$

La superficie del sobre calentador de baja temperatura será: 280 m².

CALCULO DEL CALENTADOR DE AIRE. - El aire será calentado hasta unos 300°C;

(para hogares de polvo de carbón y de baja calidad, el aire se calienta hasta 400°C).

Temperatura del aire en el ambiente (media) = $t_{1a} = 300^{\circ}\text{C}$
 $t_{1e} = 15^{\circ}\text{C}$

t_2 = temperatura de los humos después de pasar por el calentador de aire = 250 °C. puesto que de allí ya sale a la chimenea y a la salida de la chimenea, no debe tener una temperatura menor de 150 °C por razones anteriormente citadas:

La cantidad de calor transmitida al aire, será: " Q_1 " .

$$Q_1 = L (T_{1a} - t_{1e}) C_{pm}$$

$$L = \text{peso del aire por hora} = 52.000 \text{ Kg/h.}$$

$$C_{pm} = \text{Capacidad calórica media} = 0.314 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C.}$$

$$Q_1 = 52.000 \text{ Kg/h } (300 - 15 ^{\circ}\text{C.}) 0.314 = 4'600.000 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_1 = \underline{4'600.00 \text{ Kcal/h.}}$$

Según los cálculos anteriores, se sabe que la cantidad del calor total del hogar es de 15'000.000 Kcal/hora.

De estos 15'000.000 se admite un total del 3% de pérdida, es decir:

$$15'000.000 \text{ Kcal/h } \times 0.03 = 450.000 \text{ Kcal/h.}$$

De estas pérdida-s se puede asumir que el:

75% se pierde en la caldera misma.

15% en el economizador.

10% en el calentador de aire:

Luego para el calentador de aire la pérdida es de: 450000 Kcal/h

$$\times 0.1 = 45.000 \text{ Kcal/h.}$$

Luego el valor cedido por los humos es:

$$Q \text{ cedido} = Q_1 + 45000 \text{ (Kcal/h)}$$

$$Q \text{ cedido} = 4'600.000 + 45.000 \text{ (Kcal/h.)}$$

$$Q \text{ cedido} = 4'645.000 \text{ (Kcal/h.)}$$

Hl = Superficie del calentador de aire.

$$Hl = \frac{Q \text{ cedido}}{K \times \Delta t_m} = \frac{4'645.000 \text{ Kcal/h}}{16 \times \Delta t_m}$$

K = Coeficiente de transmisión del calor para el calentador de aire,
= 16 Kcal/m²°C h. (Hütte, Tomo II)

$$\Delta' t = t \text{ (antes del calentador)} - t \text{ (del aire calentado)}$$

$$\Delta' t = 400^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}.$$

$$\Delta'' t = t_2 - t_1 = 250^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 235^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = \frac{100 + 235}{2} = 117^\circ\text{C}$$

$$Hl = \frac{4'645.000 \text{ Kcal/h}}{16 \times 117^\circ\text{C}} = 1.750 \text{ m}^2.$$

$$Hl = 1.750 \text{ m}^2$$

La superficie del calentador de aire = 1.750 m².

CALCULO DEL ECONOMIZADOR. -

$$Q_e = D (t_a - t_e) \quad (\text{Kcal/h})$$

D = 45.000 Kg/h (peso del agua por hora).

t_e = temperatura del agua a la entrada = 135° C

t_a = temperatura del agua a la salida = 180 C

$$Q_e = 45.000 \text{ Kg/h} (180 \text{ C} - 135 \text{ C}) = 45.000 \times 45 \text{ C}$$

$$Q_e = 2'000.000 \text{ Kcal/h}$$

$$H_e = \text{Superficie del economizador.} = \frac{Q_e}{K \times \Delta t_m}$$

$$= \frac{2'000.000 \text{ Kcal/h}}{K \times \Delta t_m}$$

$$K = 18 \text{ Kcal/ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

$$t_m = \frac{t + "t"}{2}$$

t = t(temperatura antes del economizador de los humos) -t (temperatura del agua en el economizador).

$$\Delta t' = 450 - 180 \text{ } ^\circ\text{C} = 270 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t'' = t \text{ (temperatura del agua a la salida)} - t \text{ (temperatura del agua a la entrada)} -$$

$$\Delta t'' = 180 - 135 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_m = \frac{270 + 45}{2} = 165 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$He = \frac{21000.000 \text{ Kcal/h}}{18 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} \times 170 \text{ } ^\circ\text{C}} = 21000.000 = 540 \text{ m}^2$$

Superficie del economizador = 540 m²

6- RENDIMIENTO DE LA CALDERA-

Sabiendo que la cantidad del calor total del combustible es:

$$Q_t = 151000.000 \text{ Kcal/h} = 100\%$$

Cantidad de calor aprovechado por la caldera:

$$Q_c = 45.000 \text{ Kg/h (670 - 470)} = 91000.000 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q_c = 91000.000 \text{ Kcal/h} = 60\% \text{ (includido el sobre calentador de alta)}$$

Cantidad de calor aprovechado en el sobrecalentador:

$$Q_{r1} = 2.700.000 \text{ Kcal/h} = 17\%$$

$$Q_{r2} = 21000.000 \text{ Kcal/h} = 13\%$$

$$\begin{array}{r} 60\% \\ 13\% \\ 17\% \\ \hline 90\% \end{array}$$

CARACTERÍSTICAS DE CALDERAS MODERNAS (Calderas para carbón pulverizado y circulación natural) -

C T A D R O No. 7

Cámara de combustión	Dimensiones de la caldera (interiores)							
	Presión de timbre (atm)	40-80	40-80	125	80-125	125	125	125
PRODUC. MAX. CONTIN. T/h.	40	50	80	125	125	160	160	160
Presión de timbre (atm)	40-80	40-80	125	80-125	125	125	125	125
Ancho en m.	5,5	6	7	8,5	9			
Profund. en m.	11,0	12	14	16	17			
Altura	23,0	23,5	25	26,5	28			
Sófano	6,0	6,5	7,0	7,5	8			
Altura m.	11	11	11,5	12	13			
Sección m ²	16	20	31,4	49	56			
Volumen m ³	176	223	360	588	730			
Carg. Térmico kcal/m ² h.	180	177	175	168	163			

(Centrales eléctricas a vapor de Franco Idoeni)

7- PARTES DE LA CALDERA.-

Las partes de la caldera son:

- 1- Los cuerpos colectores los que funcionan como cámaras y como separadores de vapor.
- 2- Sobre-calentadores que serán dos: (uno de baja temperatura y otro de alta)-
- 3- Economizador.
- 4- Calentador de aire.-
- 5- Tubos de agua.-

1)- CUERPOS COLECTORES.-

Son tanques cilíndricos que tienen una doble misión, almacenar agua y colectar el vapor saturado. También se les llaman calderines; superior e inferior.

El calderín SUPERIOR o tambor separador tendrá un diámetro de 1.5 m. y una capacidad de 25 toneladas dentro del cual va un aparato llamado separador de vapor.

El calderín INFERIOR tendrá un diámetro de 1.0 m. y una capacidad de 20 toneladas, según el cuadro No. 6.

La separación entre cuerpos cilíndricos o calderines será 9 m.-Según cuadro No. 6 también.

El material usado para estos calderines o colectores será el acero de Molibdeno o Acero B 7 M, que tienen alta resistencia a la corrosión a elevadas temperaturas.-

Además de estos dos calderines, existen colectores parciales colocados en

las paredes laterales y frontales de la caldera, serán en total 8 colectores parciales, dos para cada pared.

También se dispone dos colectores para el sobrecalentador-1- y 2 para el sobrecalentador -2-.

2- SEPARADOR DE VAPOR.- En el calderín superior irá colocado interiormente un depósito llamado separador de vapor, cuya función es disminuir la humedad del vapor, que fluye hacia los sobrecalentadores.

El separador de vapor a más de disminuir la humedad, disminuye el contenido de materias sólidas en el vapor, las que producirían sedimentaciones de diversa índole en los sobrecalentadores, o en la turbina, las que producen corrosiones y disminución en el rendimiento.

Se usará un separador de vapor a ciclón, donde las materias sólidas y las gotitas de agua son eliminadas por efecto de fuerza centrífuga.

En Fig. N- 19 se podrá ver el calderín superior y el separador de vapor. El material usado para este separador será acero B 7 M.

El separador ciclónico es un cuerpo cilíndrico hueco con una entrada tangencial de la mezcla de agua y vapor, en cuyo interior, esta mezcla adquiere un movimiento ciclónico.

Como por medio de la fuerza centrífuga no se elimina la humedad en su totalidad; se completa el proceso de separación del vapor, haciendo pasar finalmente por una serie de láminas corrugadas.

El equipo auxiliar del calderín superior sería:
un indicador de nivel, un termómetro, un manómetro y una válvula de seguridad.

SALIDA DEL VAPOR

LAMINAS CORRUGADAS

TAMBOR SEPARADOR DE VAPOR Y AGUA

DRENAJE

SEPARADOR
CICLONICO

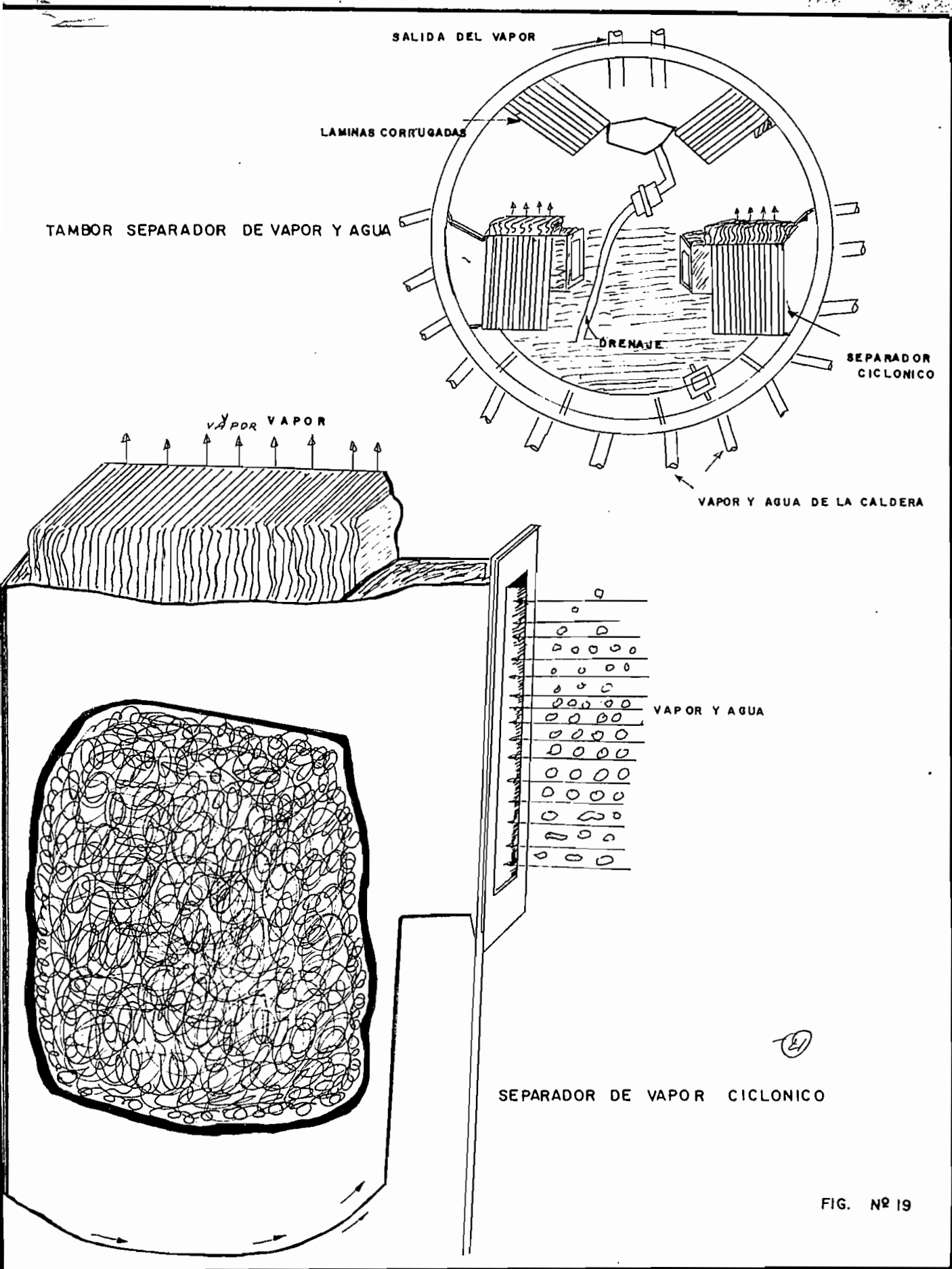
VAPOR Y AGUA DE LA CALDERA

VAPOR VAPOR

VAPOR Y AGUA

SEPARADOR DE VAPOR CICLONICO

FIG. Nº 19



3- SOBRECALENTADORES. - Se usará dos sobrecalentadores de vapor, primario y secundario y recibirán calor, por radiación (N° 1) y el otro por convección (N° 2) .

Los sobrecalentadores son los que cumplen la función más importante de la caldera, en donde el vapor saturado se transforma en vapor sobrecalentado sin que varíe la presión.

El calentamiento por convección aprovecha el calor de los humos.

El calentamiento por radiación aprovecha el calor radiante de la capa del combustible, de las llamas, y paredes del hogar.

El sobrecalentador primario irá suspendido y el secundario irá apoyado.

El sobrecalentador en general está formado por una serie de haces tubulares en forma de helicoidal.

El material usado será Acero B 7 M o acero al cromo-molibdeno (13 Cr. Mo44.)

El diámetro interior de los tubos será = 4,5 cm.

4.- REGULACION DEL SOBRECALENTAMIENTO

Tiene un papel muy importante la regulación exacta de la temperatura en los sobrecalentadores, ya que de otra manera se deterioraría la turbina.

Lo ideal sería mantener la temperatura del vapor constante para todas las cargas de la caldera.

La regulación se puede efectuar por diferentes métodos:

1)- Por medio de placas giratorias o registros que solamente permiten el paso por el sobrecalentador primario, de una parte de los humos calientes.

2)- Por inyección de agua caliente en el vapor sobrecalentado por medio de un inyector automático.

3)- Por refrigeración de la superficie por medio de un intercambiador de calor.

El método más efectivo y usado es el (1) con el cual se puede mantener una temperatura constante, usando una válvula de compuerta de by-pass para los gases de combustión.

El coeficiente de transmisión del calor es $40 \text{ Kcal/h}^{\circ}\text{C m}^2$. La regulación de la caldera también juega un papel importante, debe ser segura y precisa. El impulso de regulación debe ser emitido por medio de termostatos detectores instalados en varias partes de los haces turbulentos, luego la señal se amplía por mecanismos y dispositivos servo-motores.

A la salida del sobrecalentador se colocará una estación reguladora con válvulas de by-pass, las que estarán colocadas sobre la tubería de alta presión.- El equipo para la regulación del sobrecalentador será:

A)- Juego de válvulas de cierre para que pueda desconectarse de la caldera siempre que con venga.

b)- Válvulas de seguridad.

c)- Válvula de desagüe.

Manómetro para salida de vapor y termómetro para la salida del vapor.

La pérdida de presión de estos sobrecalentadores debe ser la menor posible, se tolerará $\frac{1}{20}$ de la presión nominal.

El sistema de regulación tanto de la caldera, de los sobrecalentadores y

turbinas se podrá ver en la fig. N. 20.

La superficie del sobrecalentador depende:

- a) Cantidad de vapor a sobrecalentarse.
- b)- Temperatura final de sobrecalentamiento ($^{\circ}\text{C}$).
- c)- Diferencia de temperatura entre humos y vapor.

Sobrecalentador Primario aproximadam.-	250 m ² (calculado)
Sobrecalentador secundario " .-	280 m ² (calculado)

5- ECONOMIZADOR.- El rendimiento termodinámico de la turbina es una función creciente del precalentamiento del agua de alimentación. Pues el economizador tiene como función precalentar el agua de alimentación. Pero a más del economizador, se usarán unos dos precalentadores de agua, con extracciones de vapor, con lo cual la superficie del economizador disminuirá.

Para la potencia de 10 MW el precalentamiento del agua debe ser hasta una temperatura de 180°C ; ésta alcanzará en los precalentadores y en el economizador.

Al aumentar la temperatura del precalentamiento del agua, disminuye el caudal del vapor descargado en el condensador.

El economizador, está formado por una haz de tubos en cuyo interior circula el agua, calentándose ésta, aprovechando el calor residual de los humos. La temperatura media alcanzada por los humos, en la cámara de combustión, es alrededor de 800°C .

El economizador estará colocado a continuación del sobre calentador de baja temperatura y el calor que recibe será por convección. La velocidad del agua dentro de los tubos será de 0.8 m/sg ; el diámetro será de $2\frac{1}{2}''$.

El material usado será Acero auténtico.

El coeficiente de transmisión del calor será de: $K = 18 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

La superficie del economizador (calculada) es de 540 m^2 y tendrá la forma de un serpentín continuo.

6- DIMENSIONES DE LA CALDERA (interiores).- Del cuadro N- 7 interpolando se ve que las dimensiones serán:

Ancho	6. m
Profundidad	12. m
Altura.	23 m
Sótano.	6.5 m.

7- DIMENSIONES DEL HOGAR.- Del cuadro N- 7 se ve que:

Ancho	5.54
Altura	5,5 m.
Sección	20 m ²
Volumen	70 m ³

8) CALENTADOR DE AIRE.- Es un dispositivo para calentar el aire previamente antes de ser introducido al hogar, en donde es necesario para la combustión. Este dispositivo consta de un sistema de tubos en cuyo interior recorre el aire, y son calentados exteriormente por los humos producidos de la combustión, los que entregan el "calor residual".

En la caldera tendrá su ubicación detrás del economizador. El aire será aspirado mediante un ventilador para cuyo dimensionamiento es necesario el peso de aire por hora (52 Tn/h).

Con el calentamiento previo del aire se mejora el rendimiento total de la instalación, pero principalmente del hogar.

El aire como se vió en los cálculos, será calentado hasta 300°C, temperatura aconsejable para combustibles pulverizados. La experiencia ha demostrado que para combustibles de baja calidad, solamente pueden combustionarse con aire calentado.

Con el calentador de aire, además se logra disminuir la temperatura alta que tienen, a la salida, los gases; pero siempre se deberá cuidar también que a la salida de la chimenea no tenga una temperatura menor de 150°C por tratarse de un carbón con alto porcentaje de azufre.

Para la limpieza de la parte exterior de los tubos será necesario instalar un soplador de hollín.

El diámetro para estos tubos será de 2 1/2 ", y un espesor de 3 mm, teniendo la forma de un serpentín continuo. La superficie será de 1.750 m² (calculada).

El material que suele usarse para estos tubos es el acero austénico.

El coeficiente de transmisión térmica = $K = 16 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

La altura del calentador de aire no deberá exceder a los 10 m.

La separación entre tubos cuando más será el diámetro de los tubos.

El ventilador que sirve para la aspiración del aire servirá para impulsar también el aire caliente, al hogar.

9)- TUBOS HERVIDORES DE LA CALDERA.- En estos tubos, el calor se transmite al agua para su evaporación.

Hay que diferenciar los tubos elevadores y los tubos alimentadores.

Los ELEVADORES llevan el líquido caldeado o vapor y siempre son ascen-

dentes.

Los ALIMENTADORES llevan el líquido antes del caldeo y siempre son descendentes.

La velocidad máxima para los elevadores será: 4 m/seg.

" " " " " alimentadores será: 3 m/seg.

La sección de los alimentadores estará determinada por el volumen del agua y la de los elevadores por el volumen del vapor. Es decir deberá haber mayor número de tubos alimentadores.

10)- MATERIALES A USARSE.- Los materiales, la construcción y la instalación de la caldera deben sujetarse a las normas técnicas sancionadas por la experiencia; las paredes de la caldera y todas sus partes que están en contacto con los productos de la combustión, serán las aleaciones de acero, acero al Molibdeno o al Cromo, puesto que solamente estas aleaciones resisten a la corrosión a elevadas temperaturas. (Entre las partes de la caldera están: los sobrecalentadores, a más de la caldera misma como se podrá ver en la Fig. No. 21.).

III TURBINA

1.- CLASIFICACION.- Las turbinas pueden clasificarse por los siguientes puntos:

tos:

A).- Por el modo de actuar el vapor en el rodete:

- a) acción
- b) reacción
- c) ambas maneras a la vez = mixtas.

B).- Por el número de escalonamiento:

- a) rodete único
- b) de varios rodetes
 - 1) Con escalonamientos de presión (reacción)
 - 2) Con escalonamientos de velocidad (acción)
 - 3) Con ambas a la vez = mixtas.

C).- Por el número de álabes: guías para admisión.

- a) De admisión total (cuando se ocupa por completo la corona de álabes).
- b) De admisión parcial.

D).- Por las condiciones de vapor de escape:

- a) Turbina de escape libre
- b) Turbina de condensación
- c) Turbina de contrapresión
- d) Combinada de condensación y contrapresión.

E).- Por el estado del vapor antes de entrar:

- a) Turbinas a vapor vivo

- b) Turbinas a vapor de escape
- c) Turbinas a vapor saturado
- d) Turbinas de vapor sobrecalentado.

Se escoge para la central térmica de Biblián una turbina:

- 1.- De acción y reacción a la vez (en el primer salto un rodete acción).
- 2.- De varios rodetes de reacción cuyo número calcularemos más adelante.
- 3.- De admisión total lo cual justificaremos después.
- 4.- Turbina de condensación.
- 5.- Turbina con vapor sobrecalentado.

2.- ACCION DEL VAPOR EN LA TURBINA.- Fig. N° 22 (A). Al hacer expansionar el vapor en una tobera, de modo que la evolución sea adiabática, desde una presión, P_a hasta una presión P_o , prescindiendo del rozamiento, a causa de la energía total L^* , la masa de vapor experimenta una aceleración, de modo que la velocidad pasa de un valor inicial C_a hasta otro final C .

En el caso de suponer una expansión adiabática sería:

$$\frac{C_a^2}{2g} + L = \frac{C^2}{2g} \quad ; \quad C^2 = C_a^2 + 2gL$$

C_a = velocidad de entrada

C = velocidad de salida de la tobera.

Depreciando a causa de su relativa pequeñez la velocidad C_a .

$$C = \sqrt{2gL}$$

Si se conduce el vapor animado por la velocidad "C" al salir de la tobera, sobre una rueda de álabes, cuya velocidad periférica tenga un cierto valor U, puede utilizarse la casi totalidad de energía $C^2/2g$ contenida en 1 Kg. de vapor; esta energía transmitida a la rueda de álabes o rodetes es capaz de producir un trabajo exterior. Según esto se puede distinguir:

A.- Dispositivo de expansión, en la que la presión del vapor se transforma en energía cinética, el cual consiste en una o varias toberas en reposo = directrices .

B.- Rodete, que es una rueda giratoria provista de álabes en su periferia, sobre los que incide el chorro del vapor. También puede repetirse la expansión del vapor entre las directrices y los álabes. En las primeras se expande el vapor solamente desde "Pa" hasta "P", produciendo una velocidad $C_1 = \sqrt{2gL_1}$ correspondiente a la energía L_1 . Con la presión P_1 y la velocidad C_1 , incide el vapor en el rodete, en el que la presión cae desde P_1 hasta P_0 , lo cual produce un nuevo aumento en la velocidad, correspondiente a la energía L_2 , (energía parcial).

Las turbinas de acción son aquellas en las que la expansión tiene lugar exclusivamente en las toberas, órganos fijos. Las turbinas de reacción son aquellas que tienen escalonamientos de presiones, siendo

$$P_a > P > P_0.$$

El inconveniente y tal vez único, en las turbinas de reacción es el empuje axial, debido a las diferencias de presiones que existen entre las dos caras de la rueda de álabes, empuje que no pudiendo ser soportado en buenas condiciones por los cojinetes del árbol motor, requiere uso de dispositivos especiales de compensación.

La turbina de reacción trabajará con admisión total, ya que de no ser así, por los canales no llenos de vapor se produciría la compensación de presiones entre ambas caras del rodete.

3.- CALCULO DEL NUMERO DE ESCALONAMIENTOS. - En este caso se reunirá en una sola turbina los escalonamientos

de velocidad y de presión, pudiendo para ello adoptar dos soluciones:

1.- Dividir la caída total de presión $P_a - P_o$ en dos o tres escalonamientos de presión, utilizando la energía cinética de cada uno de ellos, en uno o más escalonamientos de velocidad.

2.- Dividir la caída total $P_a - P_o$ en dos partes, de las cuales, la de la alta presión $P_a - P$, se utiliza solamente en escalonamiento de velocidad (acción) y la de baja $p - p_o$ en escalonamiento de presión (reacción) Fig. No. 22 (B). Se adoptará el segundo punto ya que es el más usado.

La experiencia ha demostrado que para turbinas baratas, de pequeñas dimensiones, se adoptará el escalonamiento de velocidad ya que en éstas no se exigen grandes rendimientos. En cambio los escalonamientos de presión nos permite alcanzar mayores rendimientos y por lo tanto tiene su aplicación en turbinas de grandes capacidades.

Una vez anotados estos detalles se puede calcular el número de escalonamientos. De la caída total, la tercera parte se empleará para que mueva un primer rodete de acción y el resto se utilizará en escalonamientos de presión, es decir para que mueva rodetes de reacción. La caída sobrante sería 30 Kg/cm^2 que se podría dividir en 30 escalones, teniendo en cada escalón una caída $p_n - p_m = 1 \text{ Kg/cm}^2$. Fig. No. 22 (B).

Luego resumiendo, la turbina se compondrá:

- 1) en el primer salto un rodete de acción con una caída de 15 Kg/cm².
- 2) 30 rodetes de reacción (escalonadamente de presión) teniendo cada escalón una caída de 1 kg/cm².

4. - CALCULO DEL VOLUMEN ESPECIFICO. -

- 1) Volumen específico en la admisión:

La admisión se realiza según la línea AB.

Llamando V_a , el volumen específico en estado inicial, el cual viene determinado (para una presión 45 Kg/cm² y 450°C) según la fórmula:

$$V_a = s + 0.00514 \frac{t - t_s}{p}$$

V_a = Volumen específico a la entrada m³/Kg.

S = Volumen específico para vapor saturado, que en las tablas Zeuner es = 0.051 m³/Kg (valor que se encuentra también en el diagrama de Mollier).

t = temperatura del vapor en la admisión = 450°C

t_s = temperatura del vapor saturado (tablas de Zeuner) = 250°C

p = presión en la admisión = 45 Kg/cm².

$$V_a = 0.05 + 0.00514 \frac{450 - 250}{45}$$

$$V_a = 0.05 + 0.00514 \times 4.45$$

$$V_a = 0.05 + 0.020 = 0.07 \text{ m}^3/\text{Kg}.$$

$V_a = 0.07 \text{ m}^3/\text{Kg}$ (este valor se determina también en el diagrama de Mollier).

2) Volumen específico después del rodete de acción, o sea antes de entrar al escalonamiento de presión.

$$V_m = V_a \frac{P_a}{P_m}$$

V_a = Volumen específico a la entrada = 0.07 m³/Kg.

P_a = presión a la admisión = 45 Kg/cm².

P_m = presión después del rodete de acción = 30 Kg/cm².

n = 1.333 (coeficiente de expansión adiabática)

$$V_m = 0.07 \left(\frac{45}{30} \right)^{\frac{1}{1.33}}$$

$$V_m = 0.07 \times (1.5)^{0.75}$$

$$V_m = 0.07 \times 1.35 = 0.0945 \text{ M}^3/\text{Kg. (fig. N}^\circ 22 \text{ (C))}$$

3) Volumen específico a la salida del condensador, o sea en el último rodete.

$$V_o = 0.07 \times \left(\frac{45}{0.065} \right)^{0.75}$$

$$V_o = 0.07 (695)^{0.75}$$

$$V_o = 0.07 \times 138$$

$$V_o = 9.66 \text{ m}^3/\text{Kg.} \quad 150 \text{ veces } V_a, \text{ (emple según las normas estandarizadas).}$$

El trabajo efectuado por el vapor desde $p_a = 45 \text{ Kg/cm}^2$ hasta $p_o = 0.065$

Kg/cm^2 , será:

$$L = \frac{n}{n - 1} \times (P_a V_a - P_o V_o)$$

$$L = \frac{1.33}{1.33 - 1} (450.000 \text{ Kg/m}^2 \times 0.07 - 650 \text{ Kg/m}^2 \times 3.3)$$

$$L = \frac{1.33}{1.33 - 1} (450.000 \text{ Kg/m}^2 \times 0.07 \text{ m}^3/\text{kg} - 650 \text{ kg/m}^2 \times 3.36 \text{ m}^2/\text{kg}).$$

$$L = \frac{1.33}{0.33} (31.500 \text{ Kg}^2/\text{m}^3 - 2.200 \text{ Kg}^2/\text{m}^3).$$

$$L = 117.200 \text{ Kgm.}$$

$n =$ es una constante que depende de la naturaleza del gas; así para el aire es $1.4 = n$

En la expansión adiabática del vapor de agua:

$n = 1.33$ vapor sobrecalentado.

$n = 1.135$ vapor saturado

$n = 1.035$ vapor húmedo.

5.- CALCULO DE LAS CUATRO EXTRACCIONES DE LA TURBINA.-

El vapor después de mover la turbina es condensado y enfriado hasta 35°C . Esta agua condensada, la compensación debido a las pérdidas en las purgas y prensaestopas, serán precalentadas antes de llegar al economizador mediante 4 extracciones de vapor, como se verá en la figura.

Con estas extracciones de vapor, a más de calentar el agua, se estaría efectuando un tratamiento químico del agua, como es en el desgasifica-

dor y evaporador.

De estas cuatro extracciones:

- 1 para el desgasificador (tratamiento químico)
- 1 para el precalentador de alta temperatura
- 1 para el evaporador (tratamiento químico)
- 1 para el calentador de baja temperatura.

El agua será precalentada o calentada desde 35°C (en el condensador) hasta 135°C, y en el economizador llegará hasta 180°C (temperatura del agua de alimentación a la caldera). Estas extracciones siempre es bueno hacerlas después que el vapor haya efectuado algún trabajo en la turbina.

La primera extracción para el desgasificador se haría en el primer escalón de reacción, es decir después del primer salto que ocurre rodete de acción.

1° - Escalón a 30 Kg/cm².

La segunda extracción será del 10° escalón es decir a una presión de 20 Kg/cm², y será para el calentador de alta temperatura.

La temperatura extracción se haría del 20° escalón es decir a una presión de 10 Kg/cm², y servirá para el evaporador.

La cuarta extracción lo haríamos del 25° escalón, es decir, a una presión de 5 Kg/cm², y serviría para el calentador de baja temperatura.

Estos dispositivos son semejantes a un condensador, es decir, el agua circula interiormente por los tubos y el vapor los baña exteriormente; se llaman calentadores cerrados.

El desgasificador es un calentador a mezcla o sea de contacto directo.

6.- SUPERFICIE DE LOS CALENTADORES.-

$$S = \frac{D \text{ (agua)} \times \Delta t}{K \times t_m.}$$

t_m = temperatura media

S = superficie

D = Kg/h de agua

t = diferencia de temperatura

K = coeficiente de transmisión del calor en Kcal/m²xb x °C.

Este coeficiente variará según la extracción es decir según el escalón de donde se extrae el vapor.

En el Calentador de baja temperatura, es decir, para la cuarta extracción: el agua se calentará desde 35°C que tiene en el condensador, hasta 60°C.

$$S = \frac{45.000 \text{ Kg/h} \times (60 - 35)^\circ\text{C}}{3.200 \text{ Kcal/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \times \text{h} \times 10^\circ\text{C}} = \frac{45.000 \times 25}{32.000}$$

$$S, = \underline{35 \text{ m}^2}$$

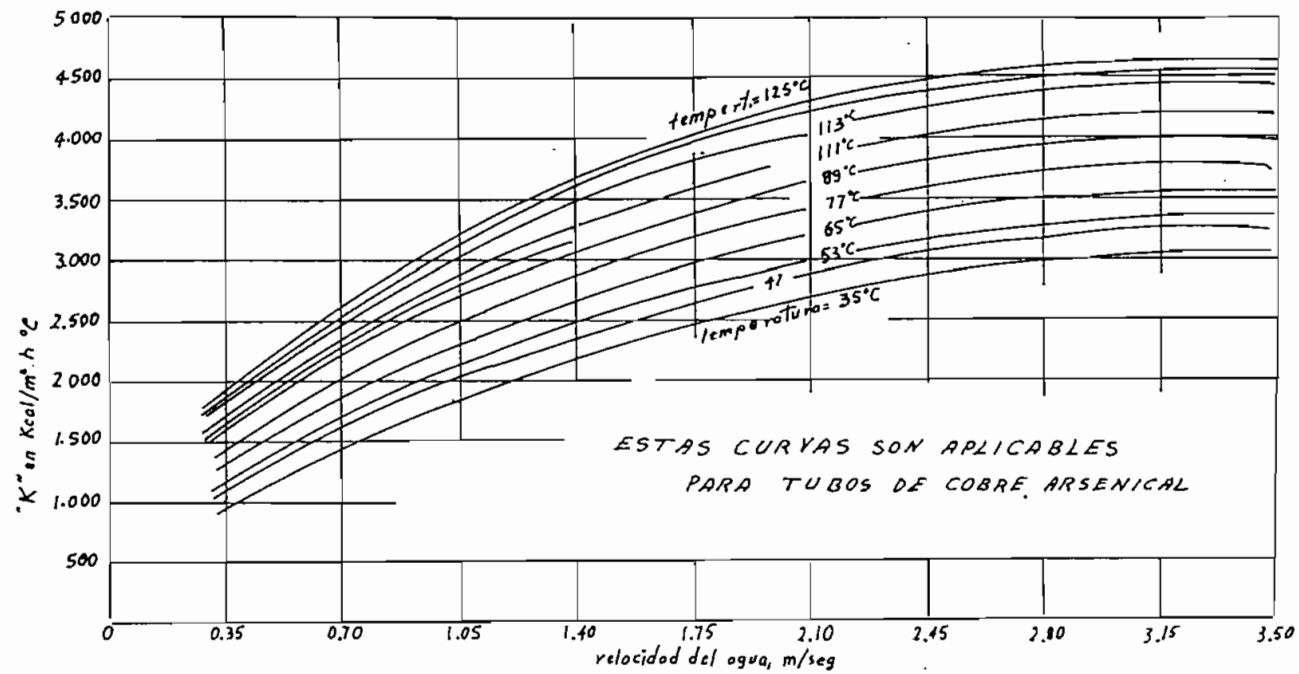
La longitud de los tubos será de 4 m.

K = 3.200 (curvas de transmisión térmica para calentadores cerrados). Fig. N° 22 (D) (Gaffert).

La Superficie exterior, sabiendo que el diámetro exterior es de 2,54 cm; será 0.34 m² (por tubo de 4 mts.) $\frac{D^2}{0.34} = 100$ tubos.

Calentador de Alta: entra al agua a 80°C y sale a 105°C

I = 3.900 (curvas de transmisión térmica) (GAFFERT).



CURVAS DE TRANSMISION TERMICA PARA CALENTADORES CERRADOS

FIG. Nº 22 (D)

$$S_2 = \frac{45.000 \text{ Kgr/h} (105 - 80)}{3.900 \text{ Koal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h} \times 10} = 30 \text{ m}^2 = 100 \text{ tubos (de 1")}$$

O sea que las superficies de los calentadores se podría decir que está entre 30 y 35 m² con una longitud efectiva de 4 metros. En el desgasificador el agua llegará hasta una temperatura de 125°C, para luego subir hasta 180°C en el economizador, siendo la temperatura requerida para la alimentación de la caldera.

7.- MATERIALES A USARSE.- Para los calentadores se puede usar: bronce de aluminio, níquel, cuproníquel (70 Cu y 30 Ni), acero extradulce, y cobre arsenioal.

De estos materiales el que mejor rendimiento proporciona es el cobre arsenioal, se usará este con un espesor de 1,7 mm.

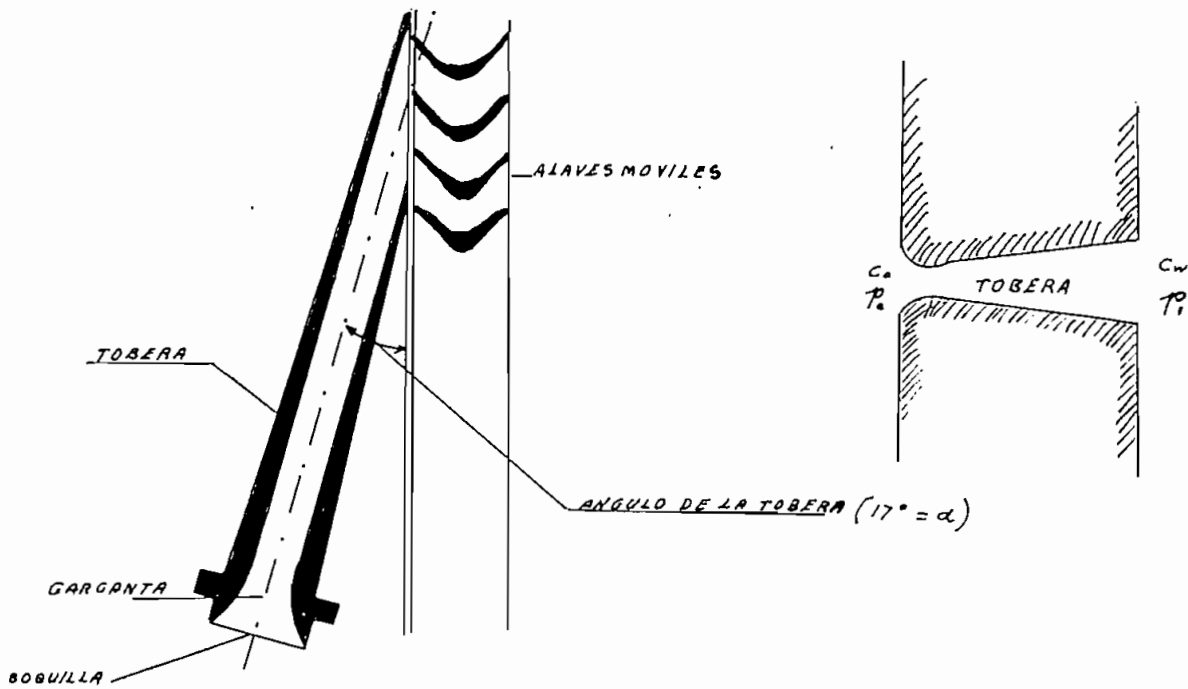
8.- CALCULO DE LAS VELOCIDADES.- Para el cálculo exacto de la turbina de vapor, es necesario tomar en cuenta ya el rozamiento del vapor (ψ). Este rozamiento para las turbinas de gran capacidad es 0.92 (turbinas a condensación).

Adquiriendo, la velocidad del vapor, al expansionar el vapor en la tobera, el valor de:

$$C_w = \psi \sqrt{2gL} \quad (\text{m/sg})$$

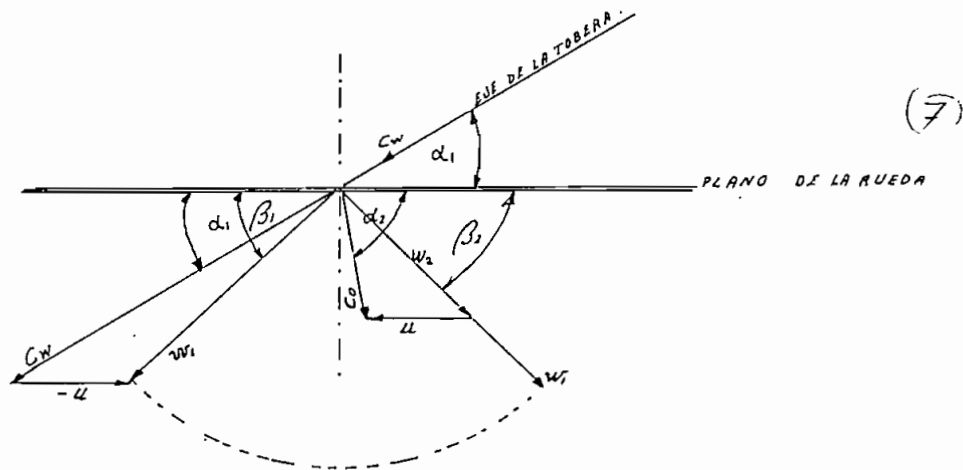
La tobera a usarse constará de dos trozos, el primero cónico convergente y el segundo cónico divergente. Fig. No. 23 (A).

a.- La velocidad del vapor después de expansionarse en la tobera (al entrar al primer rodete).



DETALLE DE LA TOBERA (CONVERGENTE - DIVERGENTE)

(A)



COMPONENTES DE LA VELOCIDAD EN EL PRIMER RODETE (de accion)

(B)

La velocidad efectiva a la salida de la tobera C_w .

$$C_w = \psi \sqrt{2gL} \quad [m/sg.]$$

ψ = coeficiente de rozamiento = 0.92

L = energía correspondiente al primer salto que como se vió anteriormente y es 15 Kg/cm2.

$$L = \frac{n}{n-1} (p_a v_a - p v) \quad \text{Kg-m}$$

p_a = presión en la admisión = 45 Kg/cm2 = 450.000 kg/m2.

v_a = volumen específico en la admisión = 0.07 m3 /Kg.

p = presión después del primer salto = 300.000 Kg/m2.

v = volumen específico después del primer salto.

n = 1.33.

$$L = \frac{1.33}{1.33-1} (450.000 \text{ Kg/m}^2 \times 0.07 \text{ m}^3/\text{kg} - 300.000 \times 0.0954)$$

$$L = 4.05 (31.500 - 28.350) \text{ Kg-m} = 8.600 \text{ kg-m.}$$

$$C_w = 0.92 \quad 20 \times 8.600 = 400 \text{ m/sg.}$$

La velocidad periférica: "U" será:

$$u = 0.5 C_w \cos \alpha \quad (17^\circ = \alpha)$$

$$u = 200 \text{ m/sg. (velocidad periférica del rodete de acción).}$$

En este rodete tiene lugar los siguientes procesos:

La velocidad efectiva C_w , compuesta con la periférica (-u), da la velocidad relativa W, y el ángulo β , con que incide el chorro sobre el álabe.

En este, el chorro es desviado, saliendo con una velocidad determinada por el ángulo β_{2r} y la velocidad relativa será $W_2 = \psi W_1$, debido al rozamiento de

del vapor en los álabes.

$$\psi = 0.92$$

=====

El diagrama de la velocidad Fig. N° 23 (B) y N° 24

$$\beta_1 = 24 \frac{1}{2}^\circ$$

$$W_1 = \frac{\cos \alpha_1 \times C_w - U}{\cos \beta_1} = 210 \text{ m/sg.}$$

$$\alpha_1 = 17^\circ$$

$$\beta_2 = 24 \frac{1}{2}^\circ \quad W_2 = \frac{0.97 \cdot 400 - 200}{0.91} = 210 \text{ m/seg.}$$

$$\alpha_2 = 63^\circ$$

La velocidad relativa de salida del rodete sea $W_2 = 0.92 \times 210 = 194$
m/seg.

C_{o1} = velocidad efectiva de salida del vapor después de mover el primer rodete.

$$W_2 \text{ Sen } \beta_2 = C_{o1} \text{ Sen } \alpha_2 \quad ; \quad C_{o1} = \frac{W_2 \text{ Sen } \beta_2}{\text{Sen } \alpha_2}$$

$$C_{o1} = \frac{194 \times \text{Sen } 24^\circ}{\text{Sen } 63^\circ} = \frac{81}{0.89} = 92 \text{ m/sg.}$$

$$C_w = 400 \text{ m/sg.}$$

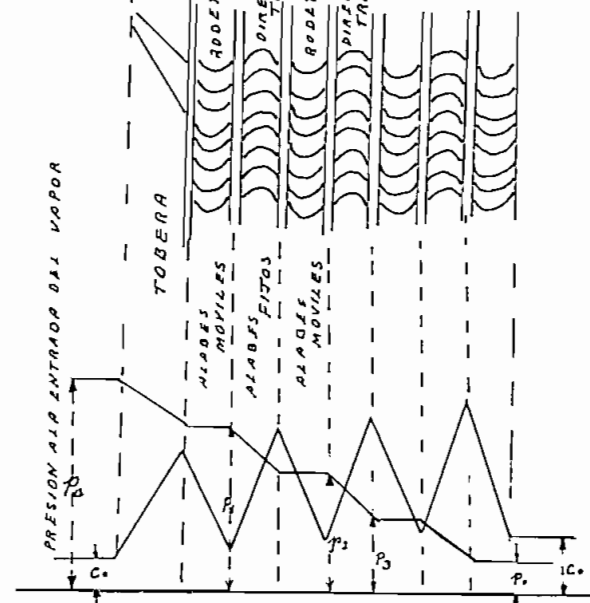
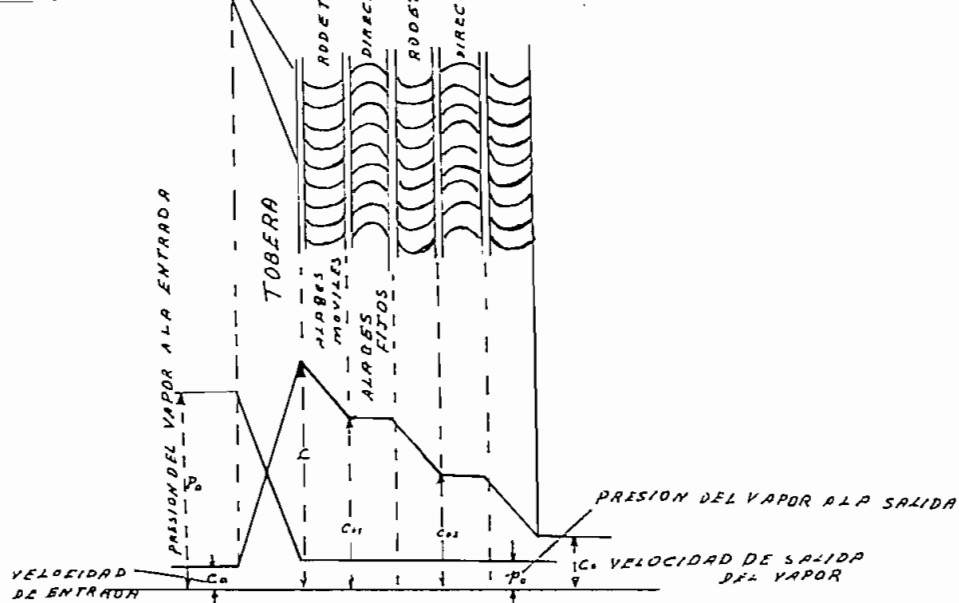
$$u = 200 \text{ m/sg.}$$

$$W_1 = 210 \text{ m/sg.}$$

$$W_2 = 194 \text{ m/sg.}$$

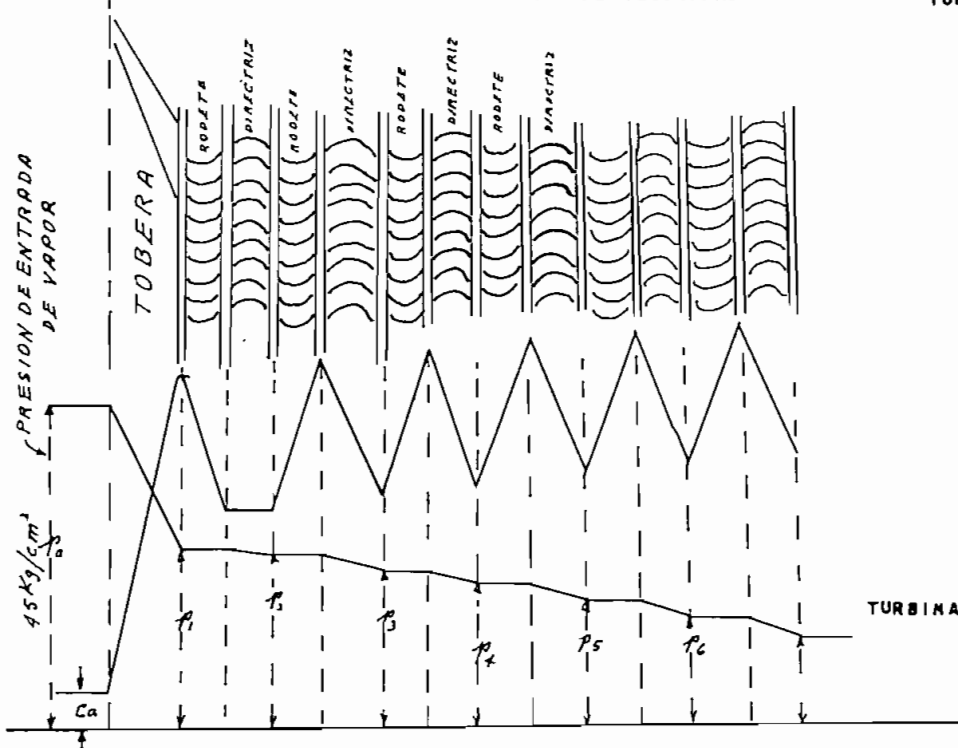
$$C_o = 92 \text{ m/sg. (que se aprovecha para el siguiente rodete).}$$

El vapor sale del primer rodete (de acción) con una velocidad C_o a la cual se sumará la velocidad correspondiente al siguiente salto, según la fórmu-



TURBINA DE ACCION O ESCALONAMIENTO DE VELOCIDAD

TURBINA DE REACCION O ESCALONAMIENTO DE PRESION



TURBINA CON EL PRIMER SALTO DE ACCION

FIG. Nº 24

DIAGRAMAS DE LA PRESION Y LA VELOCIDAD EN LA TURBINA

la:

$$C_w = \sqrt{C_o^2 + 2gL_2}$$

Para este escalonamiento de presión, el perímetro de la corona de los álabes en la zona de alta presión será muy corto, por lo tanto el diámetro de los rodetes, será bastante inferior al de los rodetes de baja presión, de modo que las velocidades periféricas tendrá diversos valores.

Se aconseja dar saltos de 3 o 4 escalones, dividiendo así en zonas de un mismo diámetro de rodete, teniendo en cada zona una velocidad periférica constante.

Una caja de engranajes en baño de aceite reducirá todas las velocidades a una velocidad sincrónica para 60 ciclos/seg. (3.600 RPM) necesaria para el generador.

CALCULO DE LOS DIAMETROS DEL RODETE.-

Para su dimensionamiento se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- El último rodete no debe causar excesiva pérdida de escape.
- 2.- La altura de las paletas de la primera rueda no deberán ser tan pequeñas que pueda originar muchas pérdidas por rozamiento.
- 3.- El ángulo de entrada (24 1/2°) en las paletas, irá aumentando hacia el escape llegando a un ángulo máximo de 40°. El diámetro para el primer rodete de acción:

$$u = 200 \text{ m/sg.} \qquad n = 3.600 \text{ R P M}$$

$$u = \frac{D \cdot n}{60} ; D = \frac{u \times 60}{n} = \frac{200 \times 60}{11.400} = D = \underline{\underline{1.06 \text{ m}}}$$

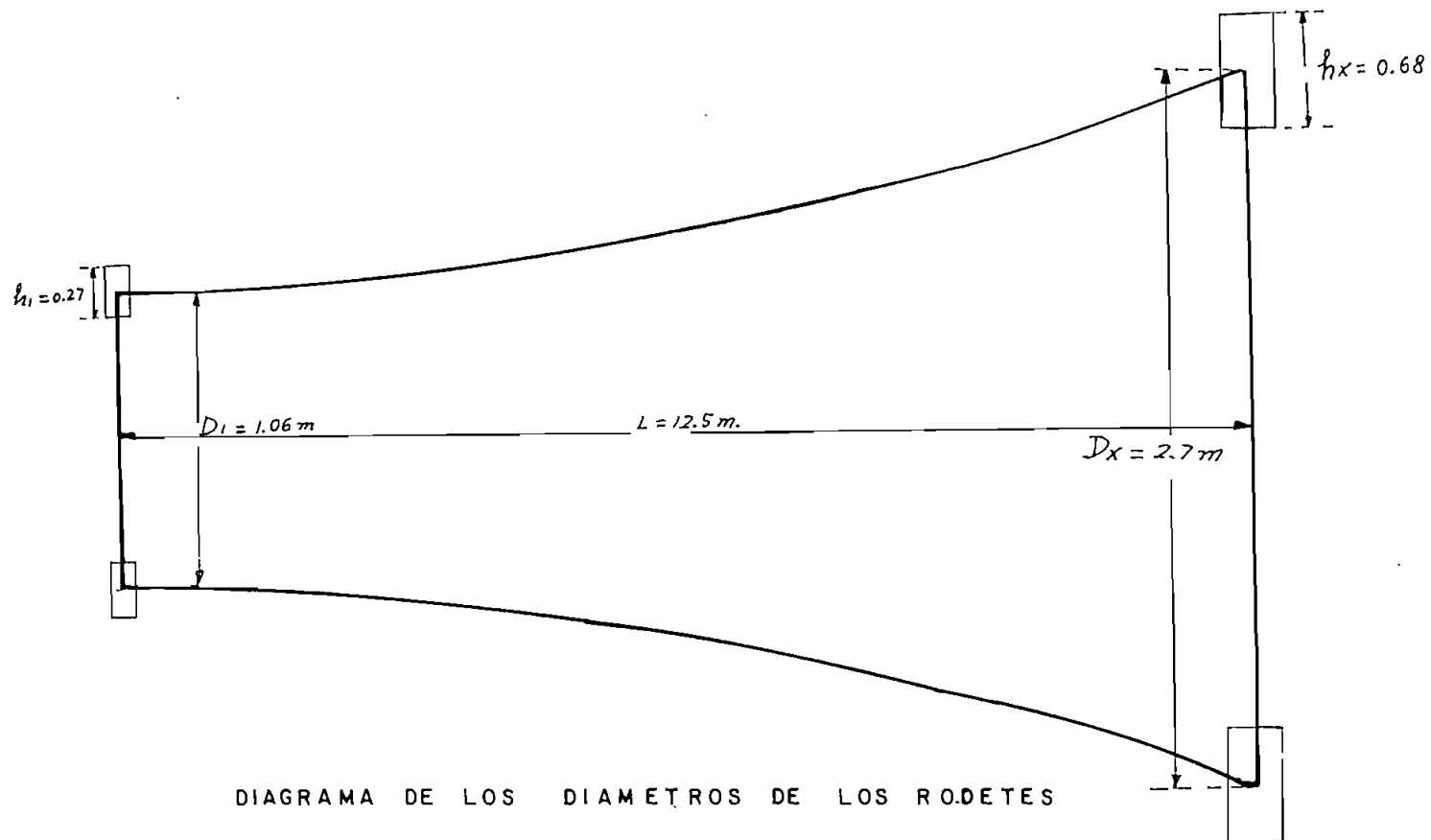


DIAGRAMA DE LOS DIAMETROS DE LOS RODETES

FIG. N°25

El diámetro del último rodete según las normas:

$$D_x = 2.5 \times D = 2.5 \times 1,06 = 2,70 \text{ m}$$

$$D_x = 2.70 \text{ m} \quad \text{Fig. No. 25}$$

9.- CALCULO DE LAS ALTURAS DE LAS PALETAS. -:

$$h = 0,25 D = 0,27 \text{ m} \quad \text{ancho} = 25 \text{ mm.}$$

(Fig. No. 26)

$$h_x = 0,25 D_x = 0,68 \text{ m.} \quad \text{ancho} = 40 \text{ mm.}$$

(Hütte II Tomo)

10.- CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS. - Para la construcción de estas turbinas de alta presión (45 Kg/cm²) se emplean aceros de carbono tratados técticamente y aceros al cromo-molibdeno, al níquel-cromo-molibdeno, que han mejorado la fundición y el forjado de las grandes piezas. Con esta clase de acero se consiguió un grande coeficiente de seguridad.

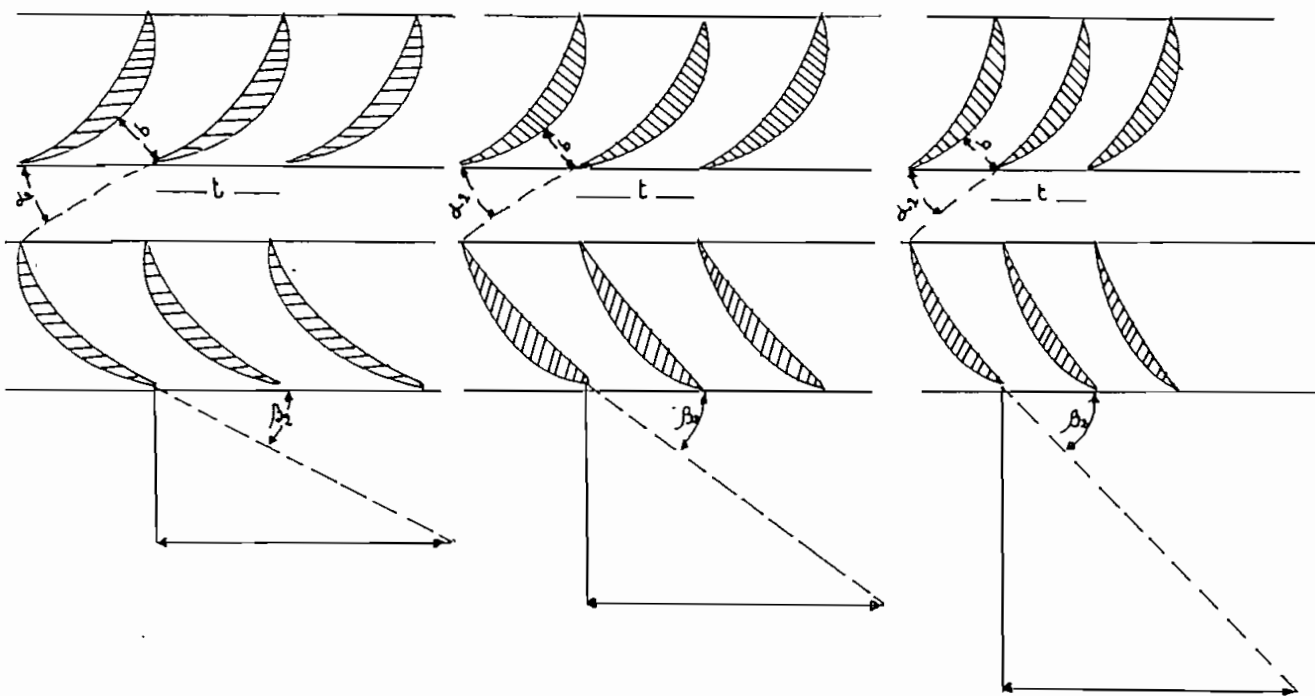
Para la temperatura de 450°C, sería aconsejable el acero al cromo, que representaría una gran resistencia a la corrosión.

Para las paletas se aconseja acero con 12% de cromo.

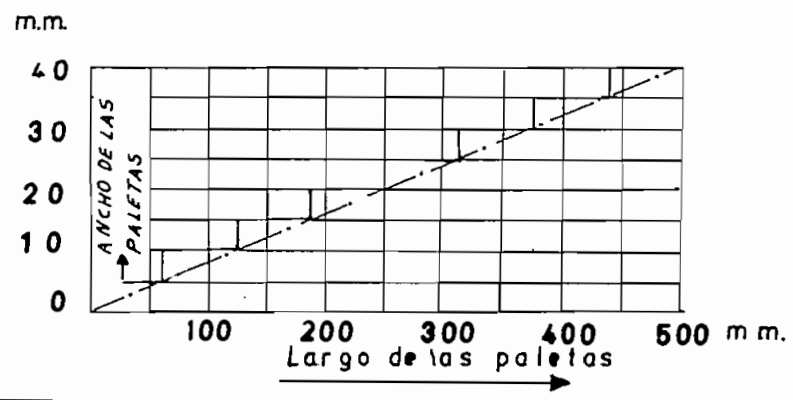
11.- REGULACION DE LA TURBINA. - Como la turbina debe mantener necesariamente la velocidad constante, el regulador debe ser sensible para pequeñas variaciones de la velocidad.

En este caso, en que la turbina de una capacidad relativamente grande, se usará un regulador hidráulico con válvula piloto, llamado también regulador con servomotor hidráulico. Fig. N° 27.

FUNCIONAMIENTO: Un impulso primario debido a una variación de velocidad, se origina en el regulador centrífugo, éste se



h



DIMENCIONES DE LA PALETAS

FIG. Nº 26

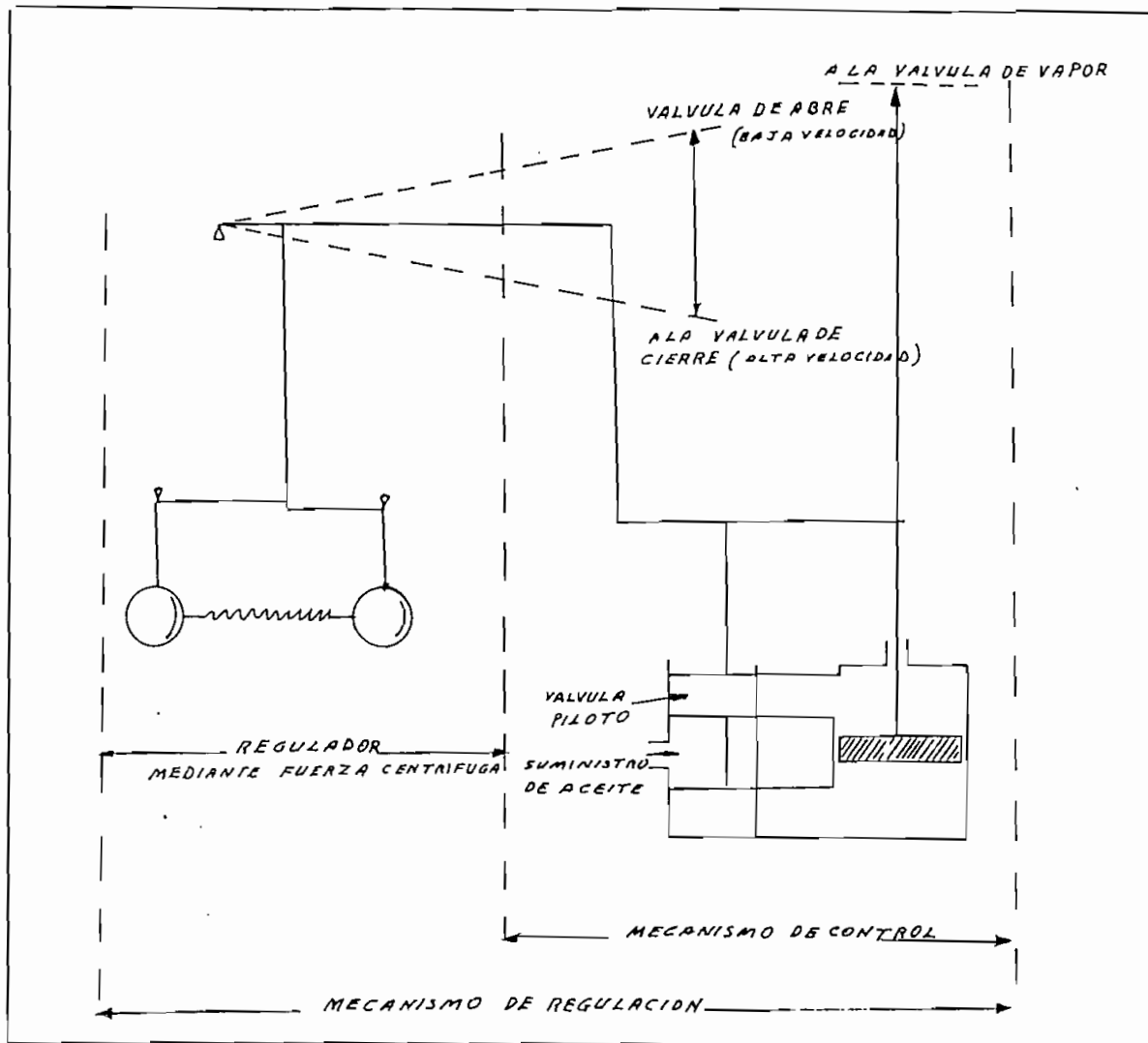


FIG. Nº27

REGULADOR DE LA TURBINA CON SERVOMOTOR HIDRAULICO

transmite a la válvula piloto, ésta última admite aceite a uno u otro lado de un émbolo de gran diámetro, que a su vez abre o cierra las válvulas de admisión del vapor.

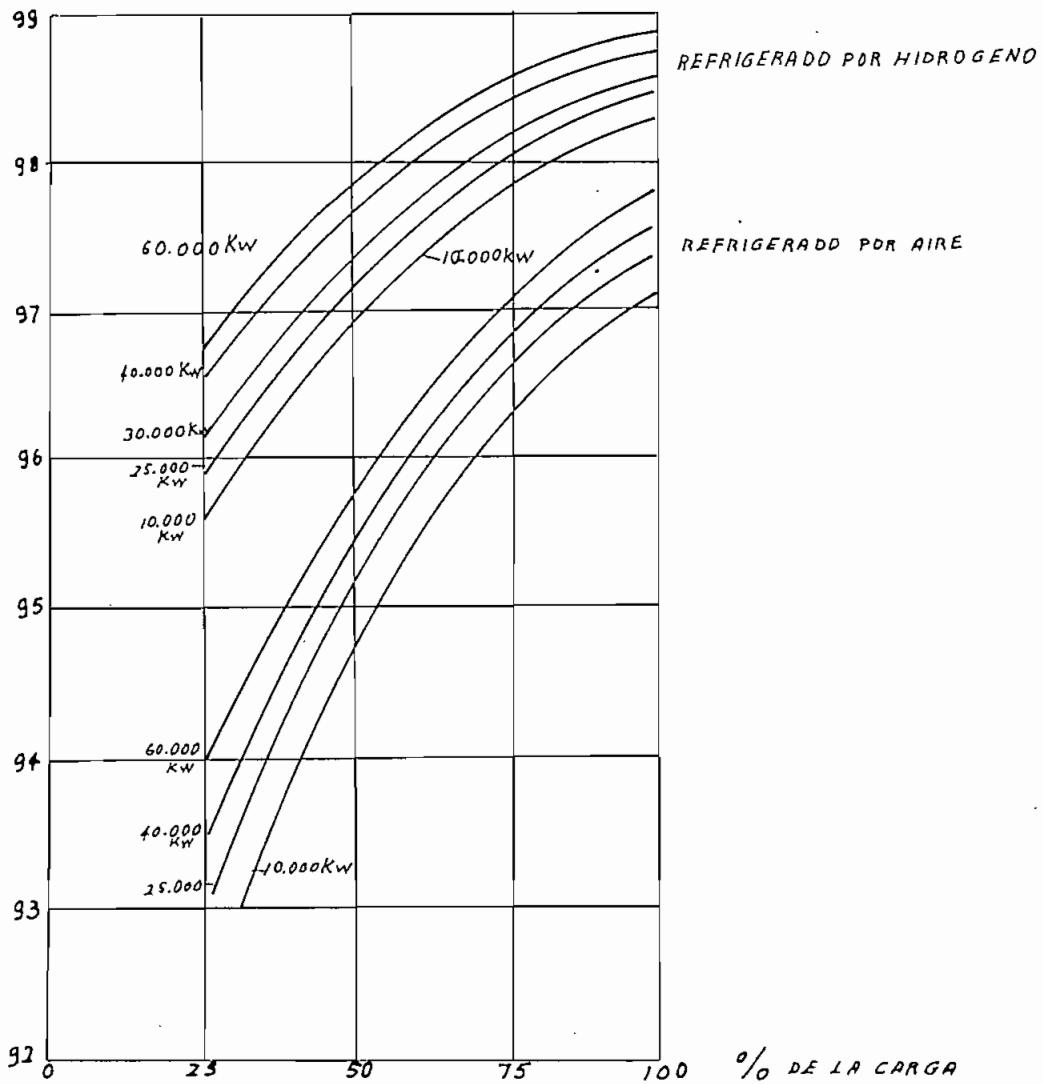
Se recomienda para grandes potencias que los reguladores llenen las siguientes condiciones:

- 1) Que la sensibilidad del regulador permita su reacción con una variación de $\pm 2\%$ de velocidad.
- 2) Que el regulador pueda ajustarse hasta una variación del $\pm 6\%$ de la velocidad normal.
- 3) Que la velocidad de la turbina no exceda al 110% (casos de descarga brusca) de la velocidad inicial.

Como emergencia, se instalará otro regulador llamado de socorro, que automáticamente cerrará las válvulas de admisión en el caso de sobrepasar al 110% de la velocidad normal. La función del regulador es mantener lo más constante posible el número de revoluciones. El regulador de velocidad se basa en un sistema de masas pendulares, que giran arrastradas por la máquina, desarrollando fuerzas centrífugas que tienden a alejar dichas masas del eje de giro, a lo que se oponen unas fuerzas antagonistas constituidas por pesos o por resortes, de tal manera que cada número de revoluciones de la máquina corresponde una posición de equilibrio del sistema.

Si llamamos N al número de revoluciones normal de la máquina en marcha de régimen, si la potencia, que la máquina debe desarrollar, baja, el exceso de vapor que admite hace que se acelere el movimiento con lo cual las masas del regulador se separan y por el mecanismo anterior-

η
%



EFFECTO DE LA
REFRIGERACION DE GENERADORES

FIG. Nº 28

mente enunciado disminuye la entrada del vapor hasta obtener N_0 y se establece una posición de equilibrio entre la potencia desarrollada y el vapor admitido.

Si la máquina se ve obligada a desarrollar una potencia mayor, la disminución de la velocidad hace que las fuerzas antagonistas de las fuerzas centrífugas de las masas, las obligue a acercarse a su eje de giro, abriendo la entrada del vapor, hasta obtener una nueva posición de equilibrio correspondiente a N'' .

12.- CARACTERISTICAS DEL GENERADOR.-

Como voltaje de generación se ha escogido 13.8 Kv, debido a la alta capacidad. Además con este mismo voltaje se podrá servir a las poblaciones vecinas y Fábrica de Cemento; sin necesidad de alguna transformación. Claro está, el generador será bastante costoso por el aislamiento que deben llevar las bobinas pero se ahorraría una estación transformadora.

La refrigeración de este generador se hará por medio de hidrógeno a presión, obteniendo por esto un mayor rendimiento que si fuera refrigerado por aire como se verá en la Fig. 28. Las poblaciones a servir con 13.8 Kv, serán: Azogues, Biblián, Cañar, la Fábrica de Cemento Guapán, y las minas de carbón como se indica en la Fig. 11.

En este caso que se usará el hidrógeno como medio refrigerante, el generador deberá ser purgado primeramente con anhídrido carbónico (CO_2) antes de ser llenado con el hidrógeno evitando que se produzca una mezcla explosiva (aire con hidrógeno).

Potencia nominal del generador = 10.000 Kw o 12.400 KVA.

Potencia máxima del generador = 12.650 Kw o 15.600 KVA

Cos = 0.85 Frecuencia 60 c/sg. 3.600 R.P.M. (1 par de polos)

Relación de cortecircuito = 0.80

El generador refrigerado por hidrógeno a 1.05 Kg/cm².

La potencia nominal de la turbina será = 13.600,0 HP tomando el rendimiento alternador = 98%.

13.- RENDIMIENTO DEL TURBOALTERNADOR.-

A). El rendimiento de la turbina;

L_u = energía que el vapor cede a la rueda o rodete será:

$$L_u = \frac{u}{g} (C_w \cos^2 \alpha_2 C_2 \beta_2 - u)$$
 denominado trabajo tangencial.

En el caso de álabes simétricos $\beta_1 = \beta_2$.

$$L = \frac{u}{g} (1 + \psi) (C_w \cos \alpha_1 - u)$$

El rendimiento termodinámico de la turbina será.

$$\eta_u = \frac{L_u}{L} = 2 \varphi^2 (1 + \psi) \left(\cos \alpha_1 - \frac{u}{C_w} \right) \times \frac{u}{C_s}$$

$$\varphi = 0.92$$

$$\psi = 0.8$$

$$\eta_u = 2 \times 0.92^2 (1 + 0.8) (\cos 17^\circ - 0.5) (0.5)$$

$$\eta_u = 2 \times 0.99 (1.7) (0.47) (0.5) = 0$$

$$\eta_u = 80\%$$

η_u = como se verá depende principalmente de la relación $\frac{u}{C_w}$

El máximo rendimiento se obtendrá para un valor $U_{\text{máx}}$ que anule la derivada $\frac{d\eta}{du} = 0$ en la suposición de que φ, ψ, α_1 y C_w sean constantes.

$$U_{\text{máx}} = 0.5 C_w \cos \alpha_1$$

$$U_{\text{máx}} = 0.5 \varphi^2 (1 + \psi^2) \cos^2 \alpha_1,$$

De las fórmulas anteriores se podrá afirmar que el η_u en los primeros rodets es bajo, aumentando paulatinamente en los últimos rodets, puesto que cada rodete a partir del "2", aprovecha a más de su salto térmico, la velocidad del anterior rodete.

En los primeros rodets $\eta_u = 0.62$

En los últimos $\eta_u = 0.78$

$$\eta_u \text{ medio será } \frac{0.62+0.78}{2} = 70\%$$

A este rendimiento se debe agregar el 10% del aumento en el rendimiento del ciclo debido a las extracciones, quedando un $\eta_u = 0.80$

$$\eta_u = 0.80$$

B.- RENDIMIENTO DEL GENERADOR. - De la Fig. No. 28 se podrá ver que el rendimiento del generador por estar refrigerado por hidrógeno será el 98% a plena carga.

c) El rendimiento del conjunto será (turboalternador)

$$0.80 \times 0.98 = 80\% \text{ (a plena carga).}$$

El rendimiento al 50% de carga será multiplicado por un factor de corrección

$$f = 0.95$$

N al 50% se carga = $0.80 \times 0.95 = 0.75$

Las pérdidas en el rendimiento se deben a:

1.- Rozamiento en las toberas	5
2.- Rozamiento en los álabes	5
3.- Rozamiento aerodinámico	2
4.- Velocidades de escape	3
5.- Fugas	2
6.- Pérdidas mecánicas	$\frac{2.5}{20\%}$

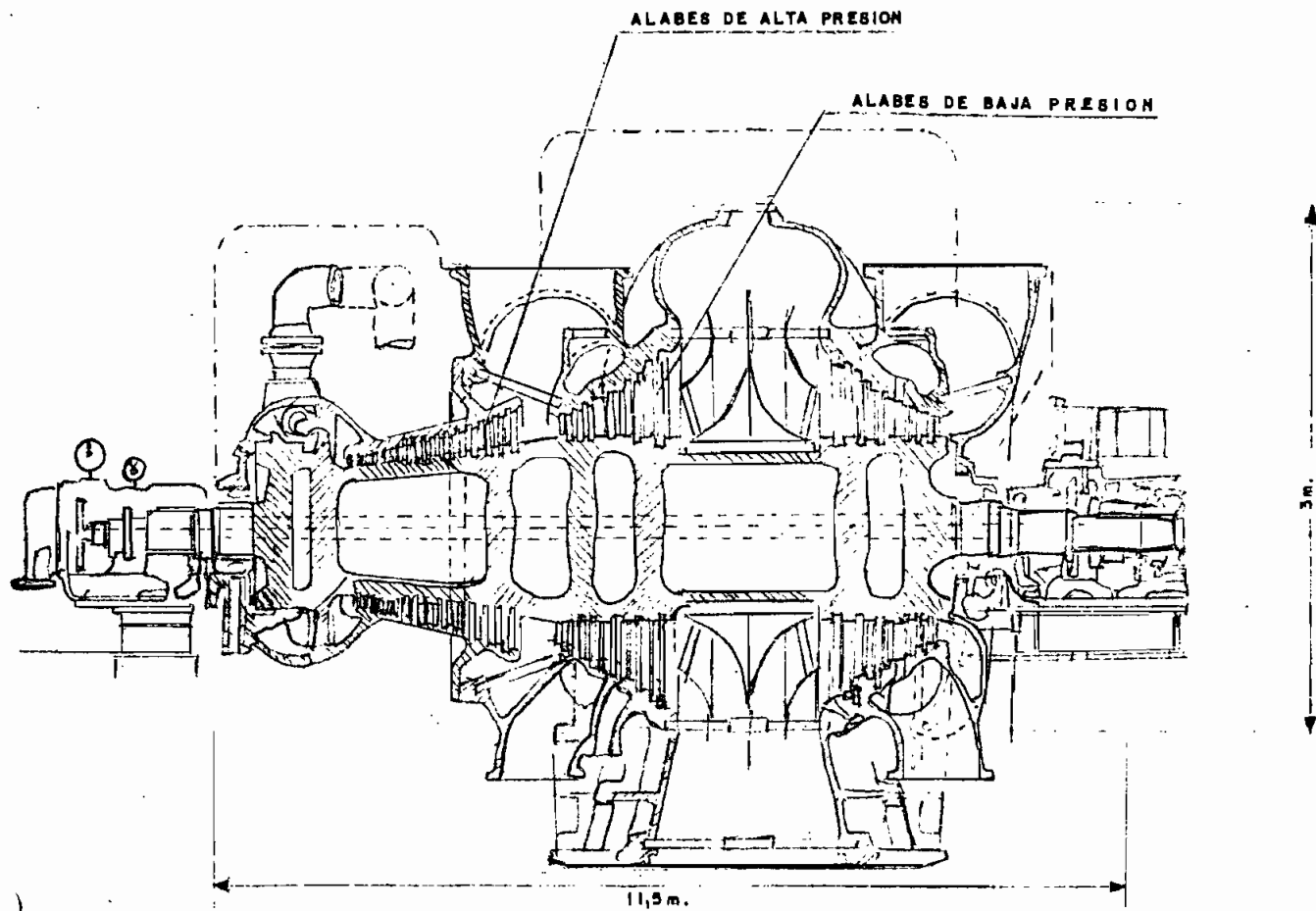
Consumo de calor según la carga y temperatura del agua de alimentación

Carga %	Consumo de energía Calórica Kcal/KWh	Temperatura del agua de a- limentación °C
25	3.098	127
50	2.704	149
75	2.573	164
100	2.521	175
110	2.509	181

C.-. DIMENSIONES DEL TURBO-ALTERNADOR DE 10 MW.-

Largo	14 m
Ancho	4 m.
Altura	3 m.

La turbina sola: FIG. No. 29 (Knowlton)



SECCION TRANSVERSAL DE UNA TURBINA DE 10MW. (a vapor) DE UN CILINDRO

.FIG. Nº 29

CUADRO No. 8

Características de la turbina de 15 MW, alimentada por vapor de 45 Kg/cm. de presión y 450°C de temperatura. (General-Electric).

(GAFFERT)

P R E S I O N	4 EXTRACCIONES			3 extraoc.	
	C A R G A	TEMPERA- TURA FI- NAL DEL AGUA	CONSUMO ESPECI-	V A P O R C O N D E N S A - D O	
ata	%	°C	Kg/KWh	Kcal/KWh	Kg/KWh
0.034	25	123	4.64	3.085	3.86
	50	143	4.24	2.739	3.44
	75	158	4.16	2.620	3.38
	100	171	4.18	2.578	3.22
	110	175	4.20	2.571	3.21
0.052	25	124	4.88	3.243	4.17
	50	145	4.41	2.839	3.62
	75	159	4.27	2.690	3.41
	100	172	4.26	2.627	3.32
	110	176	4.27	2.612	3.30
0.063	25	126	5.05	3.353	4.85
	50	146	4.57	2.934	3.78
	75	161	4.40	2.764	3.52
	100	173	4.36	2.685	3.42
	110	177	4.36	2.664	3.40

C U A D R O No. 9

CARACTERISTICAS DE UNA TURBINA WESTINGHOUSE. - Alimentada por vapor de 45 Kg/cm², cuyo alternador de 10 MW (está refrigerado por hidrógeno) (GAFFERT)

P O T E N C I A	N° de Tomas o Extracciones	0.063 ATMOSFERAS			Temperatura final o agua de ali-
		C O N S U M O E S P E C I F I C O			
MW		Ks/Kwh	Kcal/Kwh	Kg/Kwh	°C
10	0	3.61	2.774	3,61	33
	2	4.03	2.542	3.16	174
	3	4.07	2.510	3.09	188
	4	4.17	2.485	3.06	198
20	0	3.53	2.749	3.55	33
	2	3.96	2.502	3.10	174
	3	4.00	2.470	3.04	188
	4	4.03	2.444	3.00	198
	5	4.06	2.432	2.97	206

NOTA:

Cuadro en función de la potencia y el número de extracciones.

C U A D R O No. 10

Entalpía del vapor sobrecalentado en Kcal/Kg. según las tablas internacionales y Volumen Especifico en m³/Kg (GAFFERT)

<u>PRESSION</u>	<u>TEMPERATURA °C</u>	<u>VOLUMEN ESPECIFICO</u> m ³ /Kg
20	808,8	0.166 m /Kg
22	800,2	0.151
24	799,6	0.138
26	799,0	0.1274
28	798,0	0.118
30	797,7	0.110
32	797,1	0.102
34	796,4	0.091
36	795,8	0.086
38	795,2	0.083
40	794,6	0.081
42	793,9	0.077
44	793,3	0.073
46	792,7	0.070
48	791,4	0.067
50	790,0	0.064

C U A D R O No. 11

DIMENSIONES Y PESOS APROXIMADOS DE TURBINAS DE 3.600 R P M (KNOWLTON)

(I Tomo)

POTENCIA	LONGITUD	ANCHO	ALTURA	PESO TOTAL	PESO ESTATOR
Kw	m	m	m	Kg	Kg.
2.000	6.9	2.6	2.2	30.845	6.000
3.000	8	2.7	2.1	34.836	8.000
5.000	9.3	3.0	2.1	48.000	13.000
7.500	9.9	3.6	2.1	70.000	18.000
10.000	11.4	3.9	2.4	91.000	24.000
15.000	12.5	4.27	2.4	117.000	34.000
20.000	12.9	4.4	2.7	149.000	59.000
25.000	13.26	3.50	3.0	181.000	67.000
30.000	15.40	3.96	3.9	235.000	75.000
35.000	16.47	4.11	4.27	285.000	81.000
40.000	17.38	4.42	4.57	281.000	91.000
50.000	18.60	4.72	4.72	344.000	103.000
60.000	20.4	4.85	4.88	408.000	87.000

C U A D R O No. 12

NORMAS RECOMENDADAS PARA TURBOGENERADORES DE VAPOR DE GRAN POTENCIA A
CONDENSACION. (3.600 R P M - 60 o/sg) NOWLTON (I Tomo)
TRIFASICOS

	Generadores refrigera- dos por aire	Generadores refrigerados por hi- drónogeno a Q.035 Kgr/cm2.				
Potencia nominal del grupo KW	11.500	15.000	20.000	30.000	40.000	60.000
Capacidad máxima de turbina KW	12.650	16.500	22.000	33.000	44.000	66.000
Potencia aparente nominal del generador KVA	13.529	17.647	23.529	35.294	47.000	70.588
Factor de potencia	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Relación de cortocircuito	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Presión de vapor en la válvula de admisión	42.2	45	60	60	88	88
Temp. de vapor en °C	440	450	482	482	510	510
Número de puntos de extracción.	4	4	4	5	5	5
Temperatura de saturación en los puntos de extracc.	1 80 2 113 3 141 4 177	80 113 141 177	80 113	80 113	80 80	5
Presión de descarga en mm. absolutos de Hg.	38					

IV CONDENSADOR

Existe dos tipos principales de condensadores:

- 1).- de superficie
- 2).- de mezcla

En los primeros el agua de condensación no se pone en contacto con el vapor a condensar, quedando una y otro separados por una pared metálica. En los condensadores de mezcla por el contrario, se inyecta el agua refrigerante en la cámara donde se reúne el vapor, de modo que ambos elementos se ponen en contacto.- Se usará para la central térmica un condensador a superficie por su alto rendimiento como se verá en las figuras Nos. 30 y 31.

El vapor llega al depósito, el cual está atravesado por un gran número de tubos que serán de latón o Duroce.

El agua refrigerante será impulsada por una bomba llamada "Bomba de circulación".- Entra el agua a una temperatura t_1 y sale a t_2 . El vapor se condensará sobre la superficie extrema de los tubos.- El agua condensada caerá al fondo y será evacuada mediante otra bomba, llamada "Bomba de aire húmedo".

Esta agua caliente, que sale del condensador, tiene un circuito cerrado, pasando por una torre de refrigeración, con lo cual se obtendrá un aumento de 30% el caudal del agua.

El diámetro interior de los tubos será de 25 mm. y el espesor de 1,5 mm., la distancia entre ejes será 30 mm.

La velocidad será igual a 2,3 m/seg (del agua).

Cada Kg. de vapor exige 60 Kg de agua para la condensación.

Según las tablas No. 8. El vapor condensado por Kwh es 3,15 Kg/Kwh.

$3,15 \times 10.000 \text{ Kw} = 31.500 \text{ Kg/h}$ de vapor condensado.

El agua necesaria para la condensación es:

$$31.500 \text{ Kg/h} \times 60 = 2.000.000 \text{ Kg/h.}$$

Por tratarse del agua cuyo peso específico es uno:

$$2.000.000 \text{ dm}^3/\text{h} = 2.000 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Este volumen de agua necesaria para la condensación se puede también encontrar, sabiendo que la potencia específica en Kwh/m³, es decir la potencia eléctrica por m³/h de agua de refrigeración que puede desarrollar una turbina a condensación en función de la presión del vapor. En la curva se podrá apreciar que para la presión de 45 kg/m² la potencia específica Fig. No. 32 es de 5,8 Kw/m³ y como la capacidad es 10.000 Kw el volumen por hora de agua necesaria para el condensamiento de 47.000 Kg. de vapor es :

$$\frac{10.000 \text{ Kw}}{5,8 \text{ Kw/m}^3} = 1.800 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Las normas basadas en la experiencia dan un valor de 2,46 m³. (de agua refrigerante)/m²(superficie) x h.

Luego la superficie del condensador será:

$$S = \frac{2.000 \text{ m}^3/\text{h}}{2,46 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{h}} = 840 \text{ m}^2$$

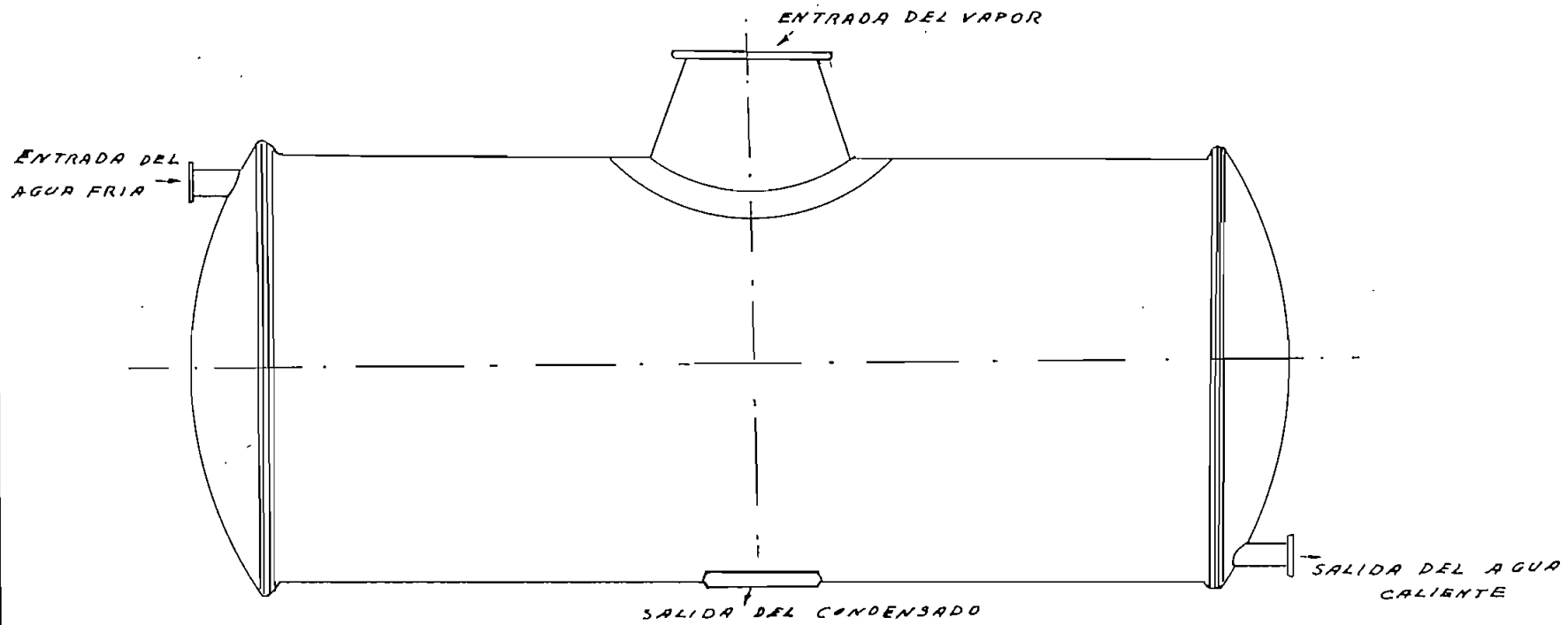
$$S = 840 \text{ m}^2$$

Además la experiencia aconseja usar 0,02-0,03 m² por Kg/h de vapor

$$S = 0,02 \text{ m}^2/\text{Kg/h} \times 45.000 \text{ Kg/h} = 900 \text{ m}^2$$

De estas dos podemos promediar y fijar en la superficie del condensador:

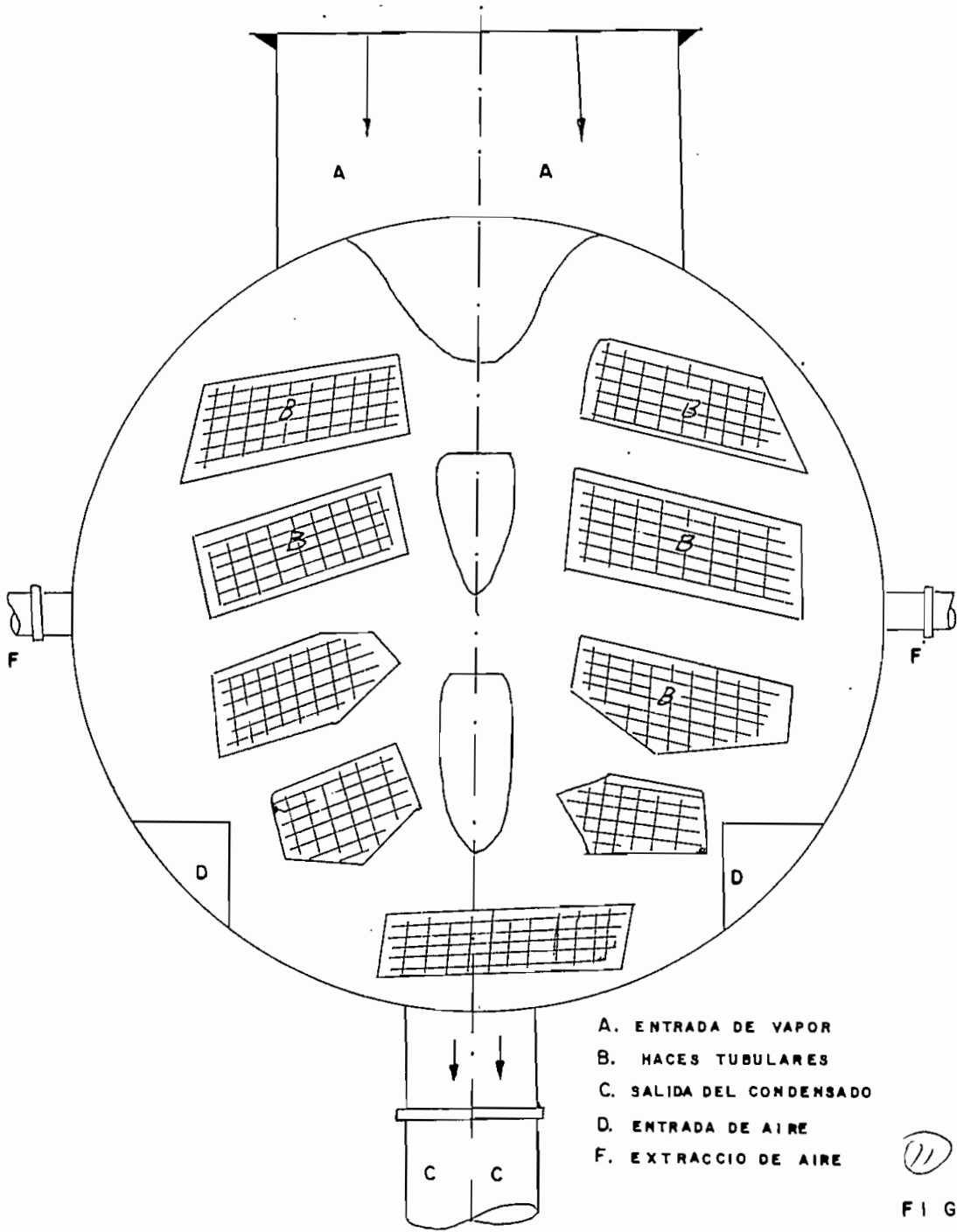
$$S = 900 \text{ m}^2$$



CONDENSADOR DE SUPERFICIE

FIG. N° 30

(11)



- A. ENTRADA DE VAPOR
- B. HACES TUBULARES
- C. SALIDA DEL CONDENSADO
- D. ENTRADA DE AIRE
- F. EXTRACCIO DE AIRE

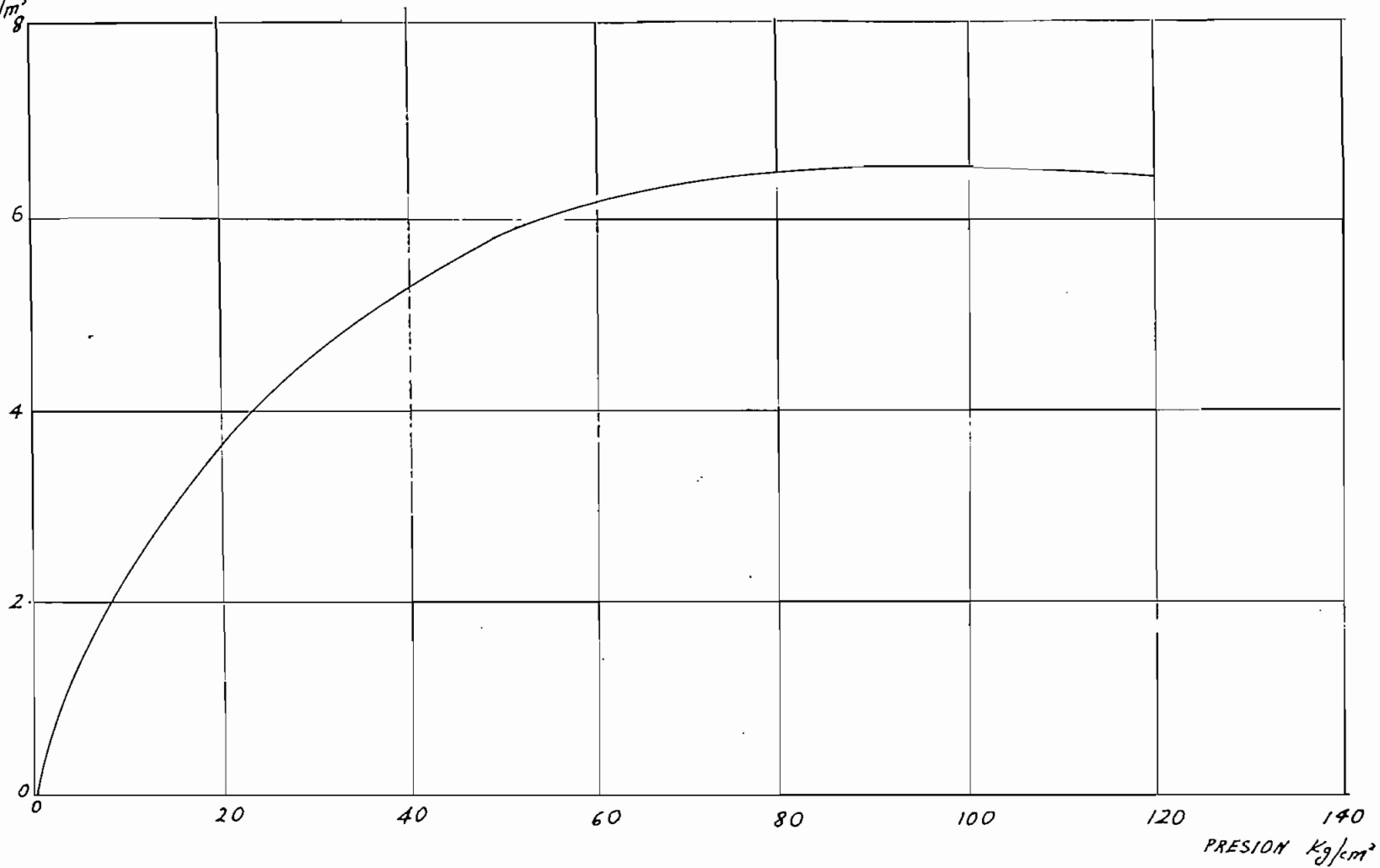


FIG. Nº31

CORTE TRANSVERSAL DEL CONDENSADOR

FIG. Nº31

Kwh/m^3



POTENCIA ESPECIFICA EN FUNCION DE LA PRESION

FIG. Nº 32

Materiales que se deben usar para la construcción de los condensadores.-

Primeramente la longitud de los tubos debe ser de 7,00 m (Longitud eficaz).

Para la construcción del condensador se usará solamente aleaciones y las más comunmente usadas son:

a-) Duronce (bronce-Aluminio) es una de las mejores aleaciones por la resistencia excepoinal a la corrosión, bajo severas condiciones de funcionamiento, empleando agua fresca o del mar .

b-) Cobre níquel (70%Cu y 30%Ni) se usa para centrales en los que utiliza agua del mar.

c-) Guzinal (latón de aluminio) también para agua de mar.

d-) Cobre arsenical, que es el cobre puro ligado con 30% de arsénico que es la mejor aleación para la construcción de los condensadores.

V - TORRE DE REFRIGERACION

Generalmente son de dos tipos, de tipo natural y de tipo artificial. El tipo natural dependerá del aire que oircula horizontalmente en el interior de la torre para refrigerar el agua por unos rellenos o empamillados de madera.

El tipo artificial tiene las siguientes veneajas:

a) menor superficie que el natural

b) la altura de elevación del agua es menor que el natural.

c) su funcionamiento no está a merced del viento.

El agua de refrigeración también debe ser depurada.

La altura en torres de tipo naturales de 14-17 m; y en torres de tipo artificial 6m.-8m.

Para esta central se calculará una bomba que eleve 8m., además para grandes

capacidades, por mayor seguridad debe ser de tipo artificial. El caudal a refrigerarse es de 2.800 m³/h.- El ventilador irá situado en la parte superior de la torre, como se podrá ver en la Fig. No. 33. La superficie de la torre se calcula, según ciertas experiencias que dan un valor de 4 dm²/litro y minuto.

La madera a usarse será pino y ciprés.

VI- CONDUCTOS Y TUBERIAS:

1.- Conductos

Se usarán conductos para los humos y para el aire.

Para el cálculo de los diámetros se suele admitir un 25% de exceso .

La velocidad del aire caliente no debe ser mayor de 80 m/seg.

La velocidad de los humos no debe pasar de los 15 m/seg.

Los conductos no van revestidos por economía.

Como el aire de combustión pasa a través de calentadores aumentando la temperatura de 25°C. a 35°C. y finalmente 300°C. por lo cual experimentan un aumento de volumen con el cual hay que dimensionar el conducto.

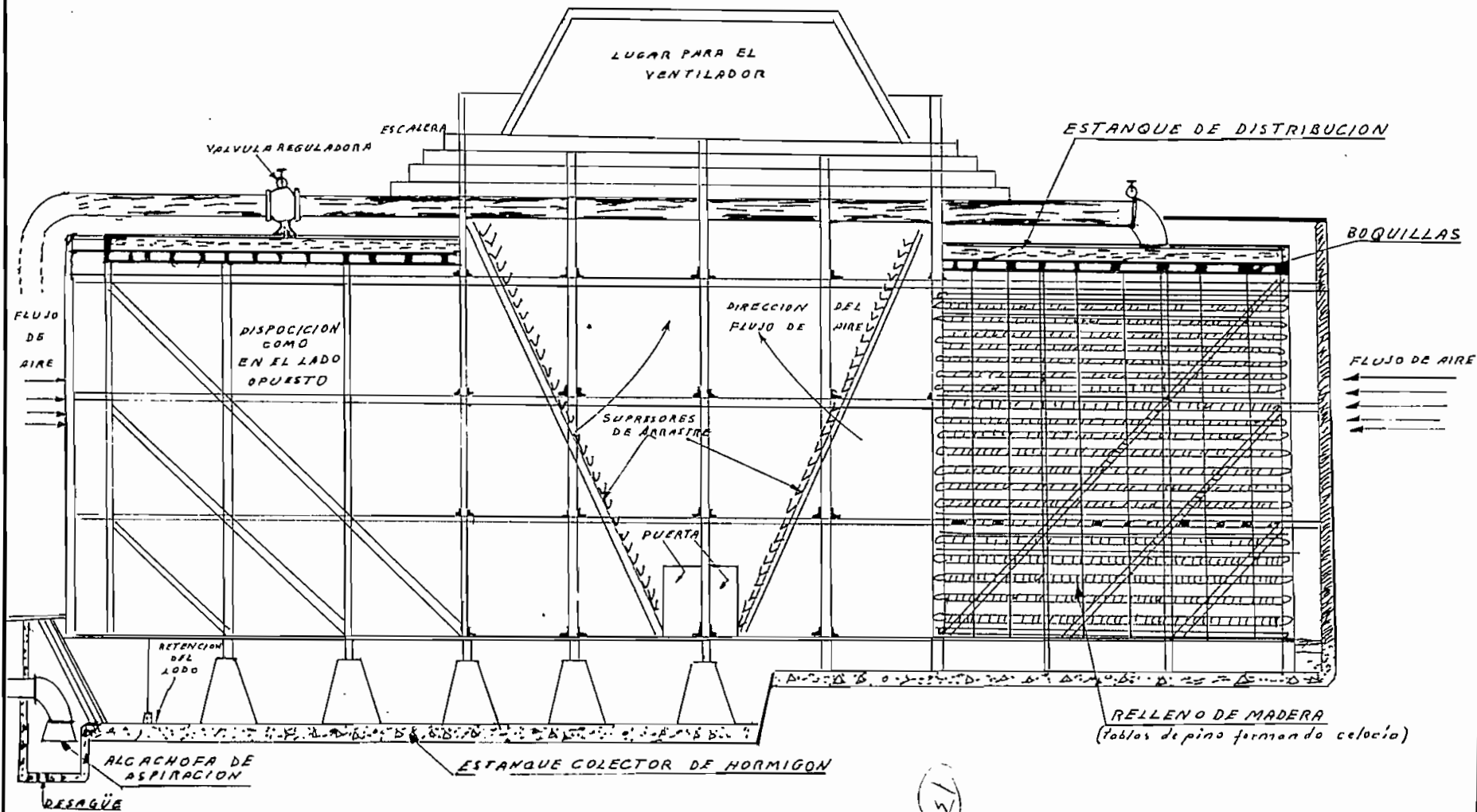
Los conductos deberán tener cierto margen de dilatación, ya sea en su forma o ya por juntas de dilatación.

Generalmente los conductos son rectangulares y el espesor será de 7 mm. de chapa de acero, lo cual hace necesario utilizar refuerzos de hierro en ángulo o perfiles en U a intervalos.

2.- Tuberías .-

Las tuberías pueden subdividirse de acuerdo al servicio que vayan a prestar.

a).- De vapor: vapor vivo, vapor sobrecalentado, vapor de extracción,



TORRE DE REFRIGERACION

vapor para recalentadores de agua, desgasificador, evaporador, etc.

b).- Tubería de condensado.

c).- Tubería de agua bruta (agua de refrigeración del condensador, para el transporte de ceniza), agua suplementaria para el circuito térmico y agua de incendio.

d).- Tubería de agua corriente para baños y para beber.

e).- Tuberías de purga (de la caldera, turbina del alternador y motores y aceite de refrigeración de los transformadores).

f).- Tubería de aceite (lubricante de la turbina, del alternador, del motor y de los transformadores).

Las velocidades en las tuberías son: para

a).- Para el vapor sobrecalentado 45 m/seg.

b).- Para el vapor saturado seco 40 m/seg.

c).- Para el vapor saturado hpumedo 20 m/seg.

El material utilizado para las tuberías que llevan el vapor, será una aleación de acero, (acero al cromo-molibdeno), que resisten hasta temperaturas de 510°C y tiene las siguientes características:

a).- Elevada resistencia a la deformación a altas temperaturas.

b).- Elevada relación de flexibilidad.

c).- Aptitud para ser trafilado en tubos.

d).- Aptitud para ser soldado.

El peso de todas esas tuberías deberá gravitar directamente sobre el piso principal.

CAPITULO QUINTO

COSTO APROXIMADO DE LA CENTRAL TERMICA DE BIBLIAN.-

En la 1ra. etapa se instalará 20.000 Kw (dos unidades de 10.000 Kw)

En la 2a. etapa se instalará 10.000 Kw (una unidad)

I.- REQUERIMIENTOS DE CAPITAL (Para las dos etapas)

A.- CAPITAL FIJO

1) Terreno y edificios	\$/ 20'000.000	
2) Equipo		
a) 3 Turbogeneradores (\$/750/Kw)	25'000.000	{ 3 turbinas \$/ 15'000.000 3 Generadores 10.000.000
b) 3 Calderas de 45 Tn/h c/u con todas las instalaciones para recuperación de calor (\$/150/Kg/h)	20'000.000	
c) Sistema de tratamiento de agua y toda clase de tuberías	8'000.000	
d) 3 condensadores (\$/2.000/m2 efectivo)	6'000.000	
e) Equipo eléctrico y cables	12'000.000	
f) Ventiladores	2'000.000	
g) Planta de lavado de carbón	3'000.000	→
h) Cintas transportadoras para combustible y cenizas	3'000.000	
i) Torre de refrigeración	2'000.000	
j) Emergencia (un grupo diesel- eléctrico de 1.000 Kw)	3'500.000	

Capital fijo total - - - - \$/ 105'000.000

Se hizo un cálculo aproximado también, para dos unidades de 15.000 Kw c/u, resultando así el capital fijo un tanto menor (\$/90'000.000), pero como una solución a la reserva se ha dividido en tres grupos de 10.000 Kw c/u.

El edificio y algunas otras obras serán construídas en su totalidad, en la primera etapa por tanto el Kw instalado de la misma, será mayor.

El costo de terreno y edificios \$/ 20'000.000

$$105.000.000 - 20'000.000 = \$/ 85'000.000$$

$$\text{Cada unidad costará } \frac{85'000.000}{3} = 28'500.000$$

Luego la 1ra. etapa requerirá un capital fijo de:

$$28'500.000 \times 2 + 20'000.000 = \$/ 77'000.000.$$

$$\frac{\$/ 77'000.000}{20.000 \text{ Kw}} = \$/ 3.850/\text{Kw instalado}$$

La segunda etapa requerirá un capital fijo de:

$$\$/ 30'000.000$$

$$\frac{\$/ 30'000.000}{10.000 \text{ Kw}} = \underline{\underline{\$/ 3.000/\text{Kw instalado}}}$$

B.- CAPITAL DE TRABAJO (2 etapas)

a) Gastos de administración	\$/	350.000	(anuales
b) Materiales directos y repuestos		500.000	"
c) Imprevistos		1'000.000	"
d) Costo del capital (8% interés)		8'500.000	"
e) Amortización		<u>2'750.000</u>	"

Total de capital de Trabajo \$/ 13'100.000

II - SUMINISTRO DE MATERIALES Y ABASTECIMIENTOS (2 etapas)

a) Materiales directos:

Cada unidad 3.6 Tn/h. (de carbón)

Requerimiento anual de combustible (factor de carga 50%)

$$3.6 \times 3 \times 12 \times 360 = 470.000 \text{ Tn (anual)}$$

Costo anual del combustible:

$$470.000 \times \$/80/\text{Tn.} = 3'750.000 \text{ (incluyendo explotación, transporte y lavado)}$$

b) Abastecimientos:

Alambres y tuberías	150.000
Lubricantes	100.000
	<hr/>
Total	4'000.000

III - ENERGIA ELECTRICA - COMBUSTIBLE - AGUA

a) Energía eléctrica y agua 100.000 anuales

b) Combustible (en materiales directos)

IV- TRANSPORTACION.-

El equipo de transporte estará constituido por varios camiones para el transporte del carbón desde la mina hasta la planta de lavado, y de allí mediante cintas transportadoras hasta el hogar.

Este costo por transportación está ya incluido en el costo de $\$/80/\text{Tn}$ de carbón.

V - MANO DE OBRA

a) Mano de obra directa (ninguna)

b) Mano de obra indirecta:

1 jefe	\$/	50.000 (anuales)	
6 fogoneros		150.000	"
6 Tableristas		150.000	"
3 para talleres		80.000	"
Cuidador de la bocatoma y tanques de sedimentación		12.000	"
Portero		8.000	"
Total		450.000	

c) Necesidades de adiestramiento.

Tanto el jefe como los operarios, deberán ser experimentados. Se tomará un tiempo de adiestramiento del personal cuyo costo se estima en

\$/ 500.000

VI.- COSTOS ANUALES TOTALES .- (las dos etapas)

Capacidad 30 MW - INVERSION \$/ 105'000.000

a) Combustible (\$/80/Tn)	\$/	4.000.000	
b) Interés y rentabilidad (8%)		8'500.000	
c) Depreciación (3.3%)		3'500.000	
d) Operación y Mantenimiento (\$/80/Kw)		2'400.000	
e) Costo por reserva de combust.		500.000	
f) Gastos por administración		800.000	
g) Imprevistos y seguros		2'000.000	
TOTAL DE COSTOS ANUALES	\$/	21'700.000	

KWH Generados con un factor de carga de 50%.

$$30.000 \text{ Kw} \times 8.760 \times 0,50 = 131.400.000 \text{ KWH}$$

El precio del KWH sería:

$$\frac{21'700.000}{131'400.000} = \text{\$/} 16,5 \text{ ctvs.}$$

El precio del KWH en la central misma es de 16,5 ctvs

CALCULO DE LOS COSTOS DE TRANSMISION DE

LA LINEA BIBLIAN -GUAYAQUIL

Longitud	150 Km.
Tensión	230 Kw.
Capacidad de Transporte	120 MW.
Conductor AGSR	795.000 C.M.
N° de circuitos	1
Torres de acero.	

1.- Inversiones:

a) Línea Biblián-Guayaquil

150 Km. a $\text{\$/}550.000/\text{Km}$ 82'500.000

b) Subestaciones: elevadora en

Biblián y reductora en Guayaquil

2 x $\text{\$/}200/\text{Kw}$ 24'000.000

Total de Inversiones $\text{\$/}$ 106'500.000

2.- COSTOS.

a) Depreciación (2,5% anual)	2'062.500
Subestación (3,3%)	799.200
b) Interés y rentabilidad (8%)	8'520.000
c) Operación y mantenimiento	1'900.000
d) Gastos administrativos	<u>100.000</u>
Total de Costos	13'381.700

El costo del Kwh en la **Subestación** reductora de Guayaquil será (con factor de carga 50%):

$$16,5 \text{ ctvs} + \frac{13.381.700}{131.400.000} = 26.5 \text{ ctvs.}$$

que sí es un precio razonable.

10 ctvs transmisión

F I N

B I B L I O G R A F I A

- HUTTE

Manual del Ingeniero (Tomos I y II)

2a. Edición, traducción de la 26a. alemana por Rafael Hernández (1950).

- D.J. BOLTON

Costos y Tarifas en suministros de Electricidad.

Editor: José Montesó (1.944)

- G. A. GAFFERT.

Centrales de Vapor - Estudio de la construcción, características de funcionamiento , e integración de toda la maquinaria pesada y ligera de una central (1.954).

- FRANCO - LICENI -

Centrales Eléctricas de Vapor - (Instalaciones Mecánicas),

Editorial Alsina 1.951

- PUBLICACIONES DE NACIONES UNIDAS

Estudios sobre Electricidad en América Latina,

(Volumen I)

Informe y documentos del Seminario Latinoamericano de energía eléctrica.

- DR. TH. BUCHHOLD.

Centrales y Redes eléctricas - Traducción de la segunda edición alemana ,
por Francisco Planell (1.959)

- NEWTON C. EBAUGH.

Engineering Thermodynamics - Seventh Printing New York.

- K. WINNACKER y E. WEINGAERTNER.

Tecnología Química (Tomo I) Química Industrial Inorgánica. Traducción por el Dr. Germán Steinkamps. 1.957.

- HUG BAHR

Esquela del Técnico Mecánico (Tomo I)

- A. E. KNOWLTON

Manual Standard del Ingeniero Electricista (Tomo I)

Editorial Labor S.A. 1953.

REVISTAS

- | | | |
|-------------------------------|---------------|-------|
| - REVISTA TECNICA S U L Z E R | { Año XI N° 4 | 1.956 |
| | " XVI N° 2 | 1.961 |
| | " XVI N° 4 | 1.961 |
| | " XVII N° 3 | 1.962 |
- Revista Técnica; ENGLISH ELECTRIC - Volumen 16 N° 5 Marzo 1.960
- Revista Colombiana . "SENA"

APUNTES

Dr. Westmayer

CENTRALES ELECTRICAS 1.962 - 1.963

Ing. Anibal Enríquez - Termodinámica 1960 - 1961