

REPÚBLICA DE CUBA
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
MOA-HOLGUÍN

Trabajo de diploma

TÍTULO: Evaluación del bajo vacío de los turbogeneradores y su influencia en el consumo de petróleo.

DIPLOMANTES: Armando Torres Durán

TUTOR: Ing. Aldo Parodi Espinosa

Curso 1984-1985
Año del Tercer Congreso del Partido

AGRADECIMIENTO

Agradecemos la ayuda prestada para la realización de este trabajo, a los Ingenieros Aldo Parodi Espinosa, Manuel Bisset y Rafael Rosales.

Y muy especialmente al profesor guía Ingeniero Angel Columbié por su valiosa colaboración en las metodologías y organización de este trabajo.

A todos los trabajadores de la Termoeléctrica y el Departamento Energético que cooperaron con nosotros cada vez que fué requerida su ayuda.

A los especialistas cubanos de TECENERGO por la ayuda técnica prestada.

DEDICATORIA

- A nuestra Revolución Socialista, fuente de inspiración de todo joven revolucionario.
- A nuestro pueblo trabajador, que cada día lucha por construir un mundo mejor.
- A todos los que han colaborado para hacer posible la realización de este trabajo.
- A nuestro Tercer Congreso del Partido

INDICE

		<u>Página</u>
	Introducción	
	Breve reseña histórica de la Empresa "Cmde. Pedro Sotto Alba".	
	Descripción general del proce- so tecnológico.	
	Descripción general de la Ter- moeléctrica.	
I	Inicio de los cálculos	6
1.	Calor entrando a las turbinas	7
2.	Calor extraído de las turbinas	8
3.	Calor para producir electrici- dad.	9
4.	Consumo específico de calor en las turbinas.	9
5.	Eficiencia de las turbinas	10
II	Eficiencia de Calderas	11
1.	Generación de calor bruto en las calderas	11
2.	Combustible equivalente consu- mido.	18
III	Consumo de combustible en tur- bogeneradores para producir electricidad.	20
2.	Consumo específico de combusti- ble.	20

INDICE

		<u>Página</u>
IV	Sobreconsumo de combustible por alta presión en el esca <u>pe</u> o bajo vacío.	21
1.	Calor perdido por bajo va- cío.	21
V	Valoración Económica	25
VI	Recomendaciones	26
	Bibliografía	27
	Anexos	

INTRODUCCION

¿Debemos o no debemos nosotros preocuparnos por los problemas energéticos?. ¿Debemos o no debemos preocuparnos nosotros por ahorrar que no tenemos esos recursos hidráulicos, ni de gas, ni de carbón, ni de petróleo?. ¿Nosotros, que traemos el petróleo de más de 10 000 kilómetros de distancia, debemos o no debemos preocuparnos por ahorrar energía en este mundo de hoy, donde el petróleo ha subido tan fabulosamente de precio?. No solo es una cuestión de gran importancia económica, sino también de elemental sentido común, de elemental disciplina en el uso de los recursos a disposición del hombre.

¿Cómo debemos nosotros enfrentar los problemas energéticos del futuro?. Esa es una pregunta que tenemos que hacernos todos, todo nuestro pueblo, todos los trabajadores, todos nuestros jóvenes, nuestros estudiantes, incluso nuestros pioneros tienen que tomar conciencia de la energía, de sus perspectivas futuras, y preguntarse cómo vamos a producir electricidad, vapor y transportaciones en el futuro. Esa pregunta tienen que hacérsela hasta los niños en nuestro país más que en cualquier otro país.

Fidel

I FORUM NACIONAL DE ENERGIA

El contenido de este trabajo es la evaluación del bajo vacío en los turbogeneradores y su consumo específico de petróleo por esta causa.

Se ha desarrollado como una necesidad de nuestra economía en la Termoeléctrica ubicada dentro de la planta de níquel "Cmde. Pedro Sotto Alba", situada en Moa, región minera de Holguín en Cuba, de vital importancia como renglón económico que aporta grandes divisas al país.

La Termoeléctrica consta de tres turbogeneradores que son especificados como 303-TG-1, 2 y 3, sin embargo el trabajo tiene como centro los TG -1 y 3 por ser los que operan en el período escogido para el análisis, el cual se trata de la tercera decena del mes de Abril de 1985.

Analizando las palabras iniciales de nuestro Comandante en Jefe, podemos comprobar que nuestro país se encuentra enfrascado en una campaña nacional de ahorro de energía y por ello la importancia de buscar variantes más económicas con las que se obtengan la óptima efectividad.

Con esto indicamos lo útil del análisis desarrollado, debido a que mediante éste se podrá conocer en forma más concretas y reales las pérdidas económicas causadas por esta deficiencia en la explotación de estas máquinas.

Además quedan confeccionadas tablas y curvas las cuales permitirán conocer con bastante aproximación los consumos específicos de las máquinas para distintas presiones absolutas en el escape de las mismas, también se presentan recomendaciones adecuadas que en todos los casos van a la superación y solución de las pérdidas tratadas.

Los cálculos se han realizado basados en metodologías muy actuales, a pesar de usar en algunos casos bibliografías

americanas. Los datos en su mayoría son resultados de las 24 horas tomados de los reportes de operación diarios y otros datos que se encuentran en las tablas de datos han sido precisados para el trabajo que tratamos.

BREVE RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA "CMDTE. PEDRO SOTTO ALBA".

La empresa niquelífera "Cmdte. Pedro Sotto Alba" situada en Moa, al noroeste de la provincia Holguín, es un complejo hidrometalúrgico productor de sulfuros de Ni+Co.

Fué construída en 1958 por la Moa Bay Company, compañía norteamericana que sólo pudo apropiarse del fruto de esta fábrica hasta el triunfo de nuestra revolución, el 1ro. de enero de 1959, ya que fué nacionalizada en 1960 por el Gobierno Revolucionario recién instaurado.

La Empresa "Cmdte. Pedro Sotto Alba" de Moa, constituyó al principio de la década del 60 un reto de la técnica norteamericana a los técnicos, obreros e ingenieros de Cuba, ya que se proclamaba por la administración de la compañía expropiataria de la fábrica, que los cubanos no serían capaces de mantenerla funcionando a largo plazo. La fábrica de Moa ha mantenido, sin embargo, su producción ininterrumpida y en ritmo ascendente, a pesar de las necesidades de piezas de repuestos para equipos y tecnologías americanas, convirtiéndose en firme baluarte de nuestra economía.

Esta planta tiene como objetivo producir el sulfuro de Ni+Co a partir del mineral laterítico, lo cual hace que se convierta en la primera parte del proceso de obtención del Ni+Co metálico, el cual es enviado a la Unión Soviética donde se realiza el proceso final para obtener el níquel metálico.

DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO TECNOLOGICO.

En el proceso general de la fábrica intervienen las plantas que le dan tratamiento directo al mineral y las que producen ciertas materias primas o brindan servicios energéticos. Cada una de estas secciones o plantas poseen funciones específicas.

Después de haberse extraído el mineral, éste es transportado a la planta de Preparación de Pulpa, la cual prepara una mezcla acuosa de mineral laterítico de 25 a 30 % de sólido y 0,58 mm de tamaño en sus partículas, esta pulpa es conducida por gravedad a través de una tubería hasta los - Espesadores cuya función es aumentar la concentración de sólidos hasta un 47,8% de sólido, luego enviada a Lixiviación donde se disuelven los óxidos de Ni+Co en forma de sulfatos, mediante el - ácido sulfúrico que actúa como reactivo químico. Este resultado es llevado a los lavaderos, en el cual se aplica el principio a contracorriente por decantación con el objetivo de separar la parte líquida (licor), de la sólida (minerales no disueltos) y lavar el mineral sedimentado para extraerle la mayor cantidad de níquel más cobalto posible, - permitiendo botar la menor cantidad. De aquí se envía a Neutralización, donde por medio de carbonato

de calcio (coral), se neutraliza el licor crudo, rebajando el contenido de ácido sulfúrico que poseen los sulfatos de Ni+Co, éstos se precipitan - al llegar a la planta de Precipitación de Sulfuros de Ni+Co mediante la inyección de ácido sulfhídrico (H_2S). Por último se envían al Puerto donde se lavan y se secan los sulfuros desde un 75% a un 80% almacenándose para su posterior embarque al exterior.

DESCRIPCION GENERAL DE LA TERMOELECTRICA.

La Termoeléctrica de la fábrica "Cmdte. Pedro Sotto Alba" consta de los siguientes equipos fundamentales:

Tres calderas de la BABCOCK & WILCOX COMPANY con horno integral, de 68 TM/hr, presión designada 51 atm y 398°C de temperatura del vapor, fabricadas en 1958, otra que forma la cuarta de la URSS, marca E-75 - 47 TM de la BELGOROD WORKS OF POWER ENGINEERING, designada para producir 75 TM/hr de vapor a 46,7 atm y 400°C, fabricada en 1978. En estos momentos se reconstruyen las calderas BABCOCK & WILCOX con equipos y materiales de la firma COMBUSTION ENGINEERING - SUPERHATER L.T.D. del Canadá. Internamente en la fábrica son designadas como 303-B0 - 1, 2, 3 y 4.

Tres turbogeneradores WORTHINGTON de 6000 KW cada uno, el número 1 con doble extracción, una de 6 atm, la otra de 1 atm, regulables las dos, con la primer etapa curtis y 13 pasos Rateau. Los turbogeneradores #2 y #3 con tres extracciones incontrolables cada uno de las que sólo se están explotando las de alta presión; todas las máquinas alimentadas con vapor de 45,5 atm y 400°C para 0,17 atm en el escape y son designadas internamente como 303- TG #1, 2 y 3 respectivamente.

Además se tienen las demás plantas y equipos auxiliares entre la que se encuentra la Planta de Agua Suavizadora, la Desmineralizadora, la Torre de Enfriamiento, intercambiadores de calor, bombas y - compresores.

Una descripción general puede hacerse siguiendo el flujo de agua en su mayor parte. Comenzando en el río Moa, el agua es enviada al embalse, de éste es bombeada por las bombas a planta de Agua "A" y - otra gran parte para el proceso metalúrgico en - planta "A" es suavizada, clarificada, clorinada y filtrada, siendo distribuída a diferentes puntos - y entre ellos una gran parte a la planta "B" donde es descationizada, descarbonatada y desaionizada, produciendo un efluente libre de sales disueltos u otras materias ajenas al agua.

Esta agua ya desmineralizada es bombeada a los dea- readores - calentadores donde se mezcla con el con- densado de los turbogeneradores, con el de los ca- lentadores de agua y vapor de 1 atm, de aquí llega a la succión de las bombas alimentadoras de agua a las calderas pasando antes de entrar a las calderas por el calentador de baja presión (vapor de 6 atm producido por la extracción del TG #1). Luego al - calentador de alta presión (vapor de las extraccio- nes incontrolables en los TG # 2 y # 3).

Esta agua llega a las calderas en la cual mediante la combustión del fuel-Oil (Mazut-AD) es convertido en vapor sobrecalentado siendo descargado a un colector maestro que alimenta a los tres turbogeneradores, otra parte continúa hasta llegar a los desupercalentadores donde se le reduce la temperatura pasando una parte de 44 atm hacia la Planta de Lixiviación, la otra continúa a la estación reductora en cascada bajándole la presión a 10,5 atm para consumos internos de la Termoeléctrica, a 6 atm para ser suministrado al proceso y 1 atm también para el proceso.

El vapor llega como fué dicho anteriormente desde el colector maestro a los turbogeneradores con 44 atm y 400°C de sobrecalentamiento, aquí se convierte la energía térmica del vapor en eléctrica pasando al cuadro eléctrico donde es distribuida para las diferentes partes de la fábrica.

Al inicio brindamos un esquema general de la Termoeléctrica para su mejor comprensión.

Para comenzar calcularemos la eficiencia de las I turbinas, la cual se base fundamentalmente en la relación entre la energía eléctrica generada y el calor consumido para generarla, teniendo en cuenta y eliminándose los calores consumidos para otros servicios, así como en el ciclo regenerativo.

Buscar referencia en texto M. Lucini: Turbomáquinas de vapor y de gas. Editorial Labor S.A. Barcelona, Madrid.

Nota: Los sub-índices 1 y 3 se refieren al turbogenerador que se trate.

$$\eta = \frac{\text{Energía Eléct. generada}}{\text{Rendim. gener. eléct.}} \cdot \frac{3600}{\text{Calor para prod. electricidad.}}$$

Para el cálculo de esta eficiencia se toman los datos como sigue:

Energía eléctrica generada: es tomada de la diferencia diaria de los metros integradores situados en cada máquina.

Rendimiento del generador eléctrico: tomado del libro de pruebas del fabricante y corregido por los años en servicio mediante las tablas del ASME en texto: Power Plant Theory and design Phillip J. Potter.

Calor para producir electricidad (Q_{EL}) será calculado mediante la sustracción del calor extraídos a las turbinas con fines ajenos a la producción eléctrica, calculados a través de las masas

de vapor por sus entalpías.

1 - Calor entrando a las turbinas (Qt)

$$Qt_1 = Gvsr_1 \cdot hvs_1$$

$$Qt_3 = Gvsr_3 \cdot hvs_3$$

1-a) Masa real de vapor sobrecalentado que entra a las turbinas Gvsr calculándola mediante las lecturas diarias des de las - cartas gráficas integradoras, corrigiéndolas a través de las desviaciones en los - volúmenes específicos de diseño de los me - tros de flujo.

$$Gvsr_1 = Gvs_1 \sqrt{\frac{\gamma'_1}{\gamma_1}}$$

$$Gvsr_3 = Gvs_3 \sqrt{\frac{\gamma'_3}{\gamma_3}}$$

Des de los datos presentados en las tablas y mediante el diagrama de vapor de agua por M. Vukalóvich tenemos:

$$\text{a } 47,5 \text{ ata y } 404^\circ\text{C} \rightarrow \gamma'_1 = 0,065 \text{ m}^3/\text{Kg} \quad \text{y}$$

$$hvs_1 = 3213,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$\text{a } 47,4 \text{ ata y } 395^\circ\text{C} \rightarrow \gamma'_3 = 0,066 \text{ m}^3/\text{Kg} \quad \text{y}$$

$$hvs_3 = 3196,97 \text{ Kj/Kg}$$

$\gamma'_1 = 0,067 \text{ m}^3/\text{Kg}$ por diseño del elemento
primario del flujómetro

$$\begin{aligned} Gvsr_1 &= 12957 \times 10^3 \text{Kg} \sqrt{\frac{0,067 \text{ m}^3/\text{Kg}}{0,065 \text{ m}^3/\text{Kg}}} = \\ &= 13154,827 \times 10^3 \text{Kg} \end{aligned}$$

$$G_{vsr_3} = 11043 \times 10^3 \text{Kg} \sqrt{\frac{0,067 \text{ m}^3/\text{Kg}}{0,066 \text{ m}^3/\text{Kg}}} =$$

$$11\ 126,343 \times 10^3 \text{Kg}$$

$$Q_{t_1} = 13\ 154 \times 10^3 \text{Kg} \cdot 3213,73 \text{ Kj/Kg} \times 10^{-3} =$$

$$= 42\ 276\ 062 \text{ Gj}$$

$$Q_{t_3} = 11\ 126,343 \times 10^3 \text{Kg} \cdot 3196,97 \text{ Kj/Kg} \times$$

$$\times 10^{-3} = 35570584 \text{ Gj}$$

2 - Calor extraído de las turbinas (Q)

Nota: (Los sub-índices 1 y 6 se refieren a las extracciones tratadas del TG #1, y la extracción del TG #3 se le hace referencia con las iniciales E.inc).

$$2-a) \quad Q_1 = G_{ext_1} \cdot h_{ext_1}$$

$$2-b) \quad Q_6 = G_{ext_6} \cdot h_{ext_6}$$

$$2-c) \quad Q_{e.inc} = G_e \cdot inc \cdot h_e \cdot inc$$

donde:

G_{ext} son las masas de vapores para cada extracción, tomadas des de las tablas de datos.

h_{ext} . Las entalpías de los vapores extraídos tomados des de el diagrama de vapor de agua por M Vukalovich mediante los datos presentados en las tablas.

$$a \quad 1,8 \text{ ata y } 149^\circ\text{C} - h_{ext_1} = 2,757 \text{ Kj/Kg}$$

$$a \quad 7,5 \text{ ata y } 250^\circ\text{C} - h_{ext_6} = 2945,57 \text{ Kj/Kg}$$

$$a \quad 28,9 \text{ ata y } 288,8^\circ\text{C} - h_{ext.inc} = 2987,5 \text{ Kj/Kg}$$

$$\begin{aligned} 2-a) \quad Q_1 &= 3369 \times 10^3 \text{Kg} \cdot 2757 \text{ Kj/Kg} \times 10^{-3} = \\ &= 9\ 288\ 333 \text{ Gj} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2-b) \quad Q_6 &= 5715 \times 10^3 \text{Kg} \cdot 2945,57 \text{ Kj/Kg} \times 10^{-3} = \\ &= 16\ 833\ 932 \text{ Gj} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2-c) \quad Q_{e.inc} &= 4805 \times 10^3 \text{ Kg} \cdot 2987,5 \text{ Kj/Kg} \times 10^{-3} = \\ &= 14\ 354\ 937,5 \text{ Gj} \end{aligned}$$

3 - Calor para producir electricidad (Q_{el}).

Como se planteó anteriormente haremos la sustracción de los calores calculados en las extracciones a los calores calculados que entran a las turbinas.

$$Q_{el_1} = Q_{t_1} - (Q_1 + Q_6)$$

$$Q_{el_1} = 42276062 \text{ Gj} - (9288336 \text{ Gj} + 16833932 \text{ Gj})$$

$$Q_{el_1} = 16\ 153\ 797 \text{ Gj}$$

$$Q_{el_3} = Q_{t_3} - Q_{e.inc.}$$

$$Q_{el_3} = 35\ 570\ 584 \text{ Gj} - 14\ 354\ 937,5 \text{ Gj}$$

$$Q_{el_3} = 21\ 215\ 646,5 \text{ Gj}$$

4 - Consumo específico de calor en las turbinas (q_t)

$$q_t = \frac{Q_{el}}{E. \text{ Gener.}}$$

tomando la energía eléctrica generada des de las tablas de datos y el calor para producir electricidad calculados en los pasos anteriores tenemos:

$$qt_1 = \frac{16\,153\,797 \times 10^3 \text{Kj}}{1\,094,4 \times 10^3 \text{Kw.h}} = 14\,760,41 \text{Kj/Kw} \cdot \text{h}$$

$$qt_3 = \frac{21\,215\,646,5 \times 10^3 \text{Kj}}{1\,488,00 \times 10^3 \text{Kw-h}} = 14\,257,83 \text{Kj/Kw} - \text{h}$$

5 Eficiencia de las turbinas.

Como planteamos en la primera parte de este cálculo

$$\eta = \frac{\text{Energ. Eléct. Gner.}}{\text{Generador eléc. trico}} \cdot \frac{3600}{\text{Calor para producir electricidad}}$$

$$\eta_{t_1} = \frac{1094,4 \times 10^3 \text{Kw-h}}{0,98} \cdot \frac{3600}{16153797 \times 10^3 \text{Kj}} \times$$
$$\times 100 \% = 24,49 \%$$

$$\eta_{t_3} = \frac{1488 \times 10^3 \text{Kw-h}}{0,98} \cdot \frac{3600}{5063434 \times 10^3} \times$$
$$100 \% = 25,78 \%$$

II EFICIENCIA DE LAS CALDERAS POR EL METODO DIRECTO.

Aquí nos basaremos en la relación entre el calor bruto generado en las calderas y la cantidad física del combustible consumido por su valor calórico, teniéndose en cuenta todos los consumos propios de calor por diseños tecnológicos en el cálculo de (Q_{cb}). Esta eficiencia es calculada con el objetivo de conocer la cantidad de combustible necesario para satisfacer la demanda de calor en los turbogeneradores, siendo ésta la razón del por qué usamos un método directo y no uno indirecto.

Referido al texto "Generadores de vapor" del Ministerio de Educación Superior y Metodología de confección del informe de producción, Departamento de Cálculos y Análisis del Viceministerio de (Centrales Eléctricas).

$$\eta_b = \frac{Q_{cb}}{B_e \cdot V_{ce}} \cdot 100\%$$

1 Generación de calor bruto en las calderas (Q_{cb}).

$$Q_{cb} = (Q_{vs} + Q_{vic} + Q_{vr} + Q_{ar}) - (Q_{ext} + Q_a + Q_e + Q_{ot})$$

1-a) Calor del vapor sobrecalentado generado en las calderas.

$$Q_{vs} = G_{vsr} (h_{vs} - h_{aa})$$

donde:

Gvsr - es la masa de vapor real generada por las calderas y corregida des del flujo de vapor de las cartas gráficas situadas en cada caldera (Gvs) por la desviación del volumen específico de diseño en el elemento primario del flujómetro.

hvs - entalpía del vapor sobrecalentado a la salida de las calderas calculado mediante el diagrama vapor de agua por M. Vukalovich a partir de los datos brindados en las tablas.
 haa - entalpía del agua a la entrada de las calderas calculada o extraída de las tablas para vapor de agua por M. Vukalovich a partir de los datos (temperatura del agua alimentación) brindada en las tablas de datos.

$$Gvsr = Gvs \sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

$$a \quad 45 \text{ ata y } 398,5^\circ\text{C} - \gamma_1 = 0,067 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$a \quad 47,5 \text{ ata y } 395^\circ\text{C} - \gamma_2 = 0,064 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$hvs = 3196,97 \text{ Kj/Kg}$$

$$a \quad 64 \text{ ata y } 190,5^\circ\text{C} \quad haa = 829,6 \text{ Kj/Kg}$$

$$Gvsr = 42917,9 \times 10^3 \text{ Kg} \cdot \sqrt{\frac{0,067 \text{ m}^3/\text{Kg}}{0,064 \text{ m}^3/\text{Kg}}} =$$

$$= 44929676 \text{ Kg}$$

$$1-a) \quad Qvs = 44929,676 \times 10^3 \text{ Kg} (3196,97 \text{ Kj/Kg} - 829,6 \text{ Kj/Kg})$$

$$Qvs=106362021,99 \text{ Gj}$$

1-b) Calor del vapor para servicios propios (Q_{vic})

$$Q_{vic} = G_{vic} (h_{vi} - h_{aa})$$

$G_{vic} = 0$ Por solo tener consumos propios en sopladores de hollín(5) no considerándose en los cálculos

$$Q_{vic} = 0$$

1-c) Calor del vapor recalentado (Q_{vr})

$$Q_{vr} = G_{vr} (h_{vt_2} - h_{vt_1})$$

$Q_{vr} = 0$ Por no usarse recalentadores de vapor en el sistema.

1-d) Calor debido a los arranques (Q_{ar})

$Q_{ar} = 0$ Por no efectuarse arranques en el período analizado.

1-e) Calor de extracciones (Q_{ext})

$$Q_{ext} = G_{ext} (h_{a \text{ ext.}} - h_{aa}) \text{ donde:}$$

G_{ext} - Es la masa de las extracciones realizadas e los domos de las calderas para mantener las condiciones químicas en el vapor producido, tomando para este valor como el 2% del vapor generado por ser el valor de diseño y también el normalmente utilizado en la explotación diaria.

$h_{a \text{ ext}}$ - Entalpía del agua en los domos tomada por la temperatura de saturación a la presión de los domos encontrados en tablas de datos.

haa - Entalpía del agua alimentación encontrada en el paso II-1-a.

$$G_{ext} = G_{vsr} \times 2\% = 42917,9 \times 10^3 \text{ Kg} \times 2,0\% \\ = 858,36 \times 10^3 \text{ Kg}$$

$$a \quad 48,2 \text{ ata} \quad h_{a \text{ ext}} = 1135,5 \text{ Kj/Kg}$$

$$1-e) \quad Q_{ext} = 858,36 \times 10^3 \text{ Kg} (1135,5 \text{ Kj/Kg} - \\ - 829,6 \text{ Kj/Kg}) \times 10^3$$

$$Q_{ext} = 262 \ 572,32 \text{ GJ}$$

1-f) Calor físico del aire para la combustión.

(Qa).

Nota: Este solo se calculará para la caldera soviética por ser la única que consume vapor del sistema para precalentar el aire de la combustión.

$$Q_{a_4} = G_{n_4} \cdot V_o \cdot \alpha \cdot h_4 \cdot C_a \cdot \Delta t_{a_4}$$

donde:

G_{n_4} - masa del combustible consumido en la caldera soviética durante el período analizado tomado de las tablas de datos y esto a partir de la diferencia

diaria de los metros integradores. -

V_o - Valor de la cantidad de aire necesaria para combustionar 1 Kg de combustible, en nuestro caso se toma 10,6

Kg/Kg des de la tabla 2-1 del

texto-generadores de vapor por utilizar

combustible líquido (Fuel-oil M-40) de

bajo contenido de azufre.

αh - Coeficiente de exceso de aire en el horno calculada mediante la fórmula empírica del O_2 y CO , tomando estos valores de las tablas de datos, (referencia de la fórmula en metodología de confección de informes producción de Viceministerio).

Ca - Productos del calor específico por la temperatura del aire, para nuestro caso con la temperatura de salida del aire del precalentador (en tabla de datos) buscando en Tabla A-6 del texto generadores de vapor, tenemos que :

$$Ca = 1,32 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

Δta - Incremento de temperatura del aire al pasar por el precalentador considerando temperatura ambiente en 28°C .

$$\alpha h_4 = 21 - 0,05 \times 0 \\ 21 - (0_2 - 0,5 \times CO - 0,3 \times H_2 - \overline{2xCha})$$

Nota: De los análisis de Orsat realizados en los gases productos de la combustión de la caldera #4 (soviética) tenemos que O_2 se comporta en 3% promedio el CO en 0,18% y tomando como referencia el texto generadores de vapor página 98 con estos valores de O_2 y CO el H_2 y CH_4 no existen en los gases.

$$\alpha h_4 = \frac{21 - 0,05 \times 3}{21 - (3 - 0,5 \times 0,2)} = 1,15$$

$$\Delta t_a = 105^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C} = 77^\circ\text{C}$$

$$1-f) \quad Q_{a_4} = 1\,164\,000 \text{ Kg} \times 10,6 \text{ Kg/Kg} \times 1,32 \times \\ \times 1,15 \times 77^\circ\text{C} \times 10^{-3}$$

$$Q_{a_4} = 1\,442\,186,22 \text{ Gj}$$

1-g) Calor físico del combustible (Q_p)

$$Q_p = G_n \cdot C_p \cdot \Delta t_p$$

donde:

G_n - Cantidad física de combustible consumido en el período analizado por todas las calderas, tomado de las tablas de datos.

C_p - Valor del calor específico del petróleo a presión constante y será calculada través de fórmula empírica con referencia en texto generadores de vapor a partir de la temperatura del petróleo encontrada en las tablas de datos.

Δt_p - Incremento en la temperatura del petróleo considerando la temperatura ambiental en 28°C y tomando la del petróleo a la entrada de las calderas de las tablas de datos.

$$C_p = 0,415 + 0,0006 \times 96^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1,98 \frac{\text{Kj}}{\text{KgoC}}$$

$$\Delta t_p = 96^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_p = 68^{\circ}\text{C}$$

$$1-g) \quad Q_p = 2939,876 \times 10^3 \text{Kg} \times 1,98 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 68^{\circ}\text{C} \times \\ \times 10^{-3}$$

$$Q_p = 395\,706,96 \text{ Gj}$$

1-h) Calor para otros usos (Q_{ot})

En nuestras calderas dentro de este término sólo tenemos el vapor para atomizar petróleo.

$$Q_{ot} = G_v \text{ atom} \times h_v \text{ atom.}$$

Donde:

$G_v \text{ atom}$ - Cantidad física del vapor utilizado en la atomización del petróleo, y será tomado des de los catálogos de las calderas y pruebas de garantía para quemadores (450 Kg/h).

$h_v \text{ atom.}$ - Entalpía del vapor para atomización sacada del diagrama de vapor de agua por M. Vukalovich.

$$G_v \text{ atom.} = 450 \text{ Kg/h} \times 3 \text{ calderas} \times 11 \text{ días} \times \\ \times 24 \text{ horas.}$$

$$G_v \text{ atom.} = 356,4 \text{ TM}$$

$$h_v \text{ atom.} = 2836,6 \text{ Kj/Kg} \text{ a partir de 11 ata} \\ \text{y } 202^{\circ}\text{C}.$$

$$1-h) \quad Q_{ot} = 356,4 \times 10^3 \text{Kg} \cdot 2836,6 \text{ Kj/Kg} \times 10^{-3}$$

$$Q_{ot} = 1\,010\,964,24 \text{ Gj}$$

$$1 \quad Q_{cb} = (Q_{vs} + Q_{vic} + Q_{vr} + Q_{ar}) - \\ - (Q_{ext} + Q_a + Q_p + Q_{ot})$$

$$Q_{cb} = 106362021,99 \text{ Gj} + (262572,32 \text{ Gj} + \\ + 11442186,22 \text{ Gj} + 395706,96 \text{ Gj} + \\ + 1010964,26 \text{ Gj})$$

$$Q_{cb} = 103\ 250\ 592,3 \text{ Gj}$$

2 Combustible equivalente consumido (Be)

$$Be = \frac{G_n \cdot V_{cs}}{V_{ce}}$$

donde:

G_n - como dijimos en pasos anteriores es la cantidad de combustible físico consumido en el período analizado y es tomado de las tablas de datos.

V_{cs} - Valor calórico superior del combustible consumido tomándolo a partir de resultados en análisis realizados en Santiago de Cuba (Refinería Hermanos Díaz) y está en valor de 43 131,86 Kj/Kg.

V_{ce} - Valor calórico equivalente utilizado en las termoeléctricas del país y es de 41 900 Kj/Kg equiv.

$$Be = \frac{2\ 939,876 \times 10^3 \text{ Kg} \times 43\ 131,86 \text{ Kj/Kg}}{41\ 900 \text{ Kj/Kg equiv.}} =$$

$$Be = 3\ 026,3 \text{ ton} - \text{equiv.}$$

$$\eta_b = \frac{Q_{cb}}{Be \cdot V_{ce}}$$

$$\eta_b = \frac{103250592,3 \times 10^3 \text{ Kj}}{3026,3 \times 10^3 \text{ Kg-equiv.} \times 41900 \text{ Kj/Kg-equiv}}$$

$$\eta_b = 81,42 \%$$

III CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN TURBOGENERADORES PARA
PRODUCIR ELECTRICIDAD. (BC).

$$BC = \frac{Q_{el}}{\eta_b} \cdot \frac{1}{V_{cs}}$$

donde:

Q_{el} - Calor consumido en las turbinas para producir electricidad, calculado en el paso I-3.

η_b - Rendimiento bruto de las calderas calculado en la Parte # II.

V_{cs} Valor calórico superior del combustible utilizado dado en el paso II-2 .

$$Bc_1 = \frac{16153 \times 10^3 \text{Kj}}{0,8142 \times 43131,86 \text{ Kj/Kg}} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 459,98 \text{ TM}$$

$$Bc_3 = \frac{21215646 \times 10^3 \text{Kj}}{0,8142 \times 43131,86 \text{ Kj/Kg}} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 604,12 \text{ TM}$$

2 Consumo específico de combustible (CE)

$$CE_1 = \frac{BC_1}{EG_1} = \frac{459,98 \times 10^6 \text{ g}}{1094,4 \times 10^3 \text{ Kw-h}} = 420,3 \text{ g/Kw}$$

$$CE_3 = \frac{BC_3}{EG_3} = \frac{604,12 \times 10^6 \text{ g}}{1488 \times 10^3 \text{ Kw-h}} = 406 \text{ g/Kw}$$

IV Sobreconsumo de combustible por alta presión en el escape o bajo vacío (B_{cv}).

$$B_{cv} = bc$$

1. Calor perdido por bajo vacío (Q_{bv})

Teniendo en cuenta el texto turbinas de vapor por A.S. Scheliáiev, Moscú - Parte 2 - Capítulo VIII .

El cual plantea que el incremento de la presión en el escape solo afecta las últimas etapas, y en cálculos prácticos se debe considerar en el último escalón podemos plantear que:

$$Q_{bv} = G_v \text{ cond} \left[(h_a - h'_a) \times \eta_i \right]$$

donde:

$G_v \text{ cond}$ Cantidad física del vapor que llega al condensador y será calculada mediante la sustracción de los vapores de extracciones a los vapores de entrada a las turbinas, a partir de los datos de las tablas.

h_a entalpía final del vapor, analizando la expansión adiabática y será tomada de las tablas de datos.

h_a entalpía final que debía de haber por diseño o entalpía normativa (también referida la expansión adiabática y es tomada como 2,5 pulgadas de Hg igual a 0,087 ata,

según los catálogos de la Worthington y Westhinghouse propios de las máquinas.

η_i - Rendimiento interno de la turbina y será calculado por la relación entre calor útil y calor disponible

1a) Masa de vapor que llega al condensador (Gv cond)

$$Gv \text{ cond}_1 = Gc_{sr}_1 - (G \text{ ext}_1 + G \text{ ext}_G)$$

$$Gv \text{ cond}_1 = 13 \ 154,827 \text{ TM} - (3369 \text{ TM} + 5715 \text{ TM})$$

$$Gv \text{ cond}_1 = 4 \ 070,827 \text{ TM}$$

$$Gv \text{ cond}_3 = Gv_{sr}_3 - G_{e \text{ inc}}$$

$$Gv \text{ cond}_3 = 11 \ 126,343 \text{ TM} - 4 \ 805 \text{ TM}$$

$$Gv \text{ cond}_3 = 6 \ 321,343 \text{ TM}$$

1b) Entalpías producto de la expansión adiabática, de diseño y las reales teóricas del período - analizado.

$$P_{c1} = 0,087 \text{ ata} - h_{a1} = 2 \ 103,4 \text{ Kj/Kg}$$

$$P_{c1} = 0,38 \text{ ata} - h_{a1} = 2 \ 660 \text{ Kj/Kg}$$

$$P_{c3} = 0,19 \text{ ata} - h_{a3} = 2 \ 535 \text{ Kj/Kg}$$

1c) Rendimiento interno de las turbinas (η_i)

$$\eta_i = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calor disponible}} = \frac{h_{vs1} - h_1}{h_{vs1} - h_a}$$

donde: h_{vs1} = Entalpia del vapor entrando a las turbinas encontradas en pasos anteriores y que nos dio 32TM4 Kj/Kg.

h' - Entalpia final real que tiene en cuenta las pérdidas de calor por aumento de la entropia y será calculado por el vapor promedio que llega al condensador mediante las curvas de pruebas de las máquinas.

h_a' - Planteado anteriormente como la entalpia final producto de la expansión adiabática.

h_1' - Para 4 070 827 Kg de vapor que llega al condensador en la decena por las curvas de pruebas propias de las máquinas h_1' es igual a 2 375,73 Kj/Kg

h_3' - Para 6 321 343 Kg de vapor que llega al condensador en la decena, h_3' es igual a 2 350 Kj/Kg .

$$\eta_{i_1} = \frac{h_{vs_1} - h_1'}{h_{vs_1} - h_a'} = \frac{3214 \text{ Kj/Kg} - 2375,73 \text{ Kj/Kg}}{3214 \text{ Kj/Kg} - 2103,4 \text{ Kj/Kg}} =$$

$$= 0,755$$

$$\eta_{i_3} = \frac{h_{vs_3} - h_3'}{h_{vs_3} - h_a'} = \frac{3196,97 \text{ Kj/Kg} - 2350 \text{ Kj/Kg}}{3196,97 \text{ Kj/Kg} - 2103,4 \text{ Kj/Kg}} =$$

$$= 0,77$$

$$Q_{bv_1} = Gv \text{ cond}_1 \left[(h_{a_1} - h_{a_1}') \times \eta_{i_1} \right]$$

$$Q_{bv_1} = 4\,070,827 \times 10^3 \text{ Kg} \left[(2661 \text{ Kj/Kg} - 2103,4 \text{ Kj/Kg}) \times 0,755 \right] \times 10^{-3}$$

$$Q_{bv_1} = 1\,713\,769,3 \text{ GJ}$$

$$Q_{bv_3} = Gv \text{ cond}_3 (h_{a_3} - h'_a) \times \eta_{i_3}$$

$$Q_{bv_3} = 6\,321,343 \times 10^3 \text{ Kg} \left[(2534,9 \text{ Kj/Kg} - 2103,4 \text{ Kj/Kg}) \cdot 0,77 \right] \times 10^{-3}$$

$$Q_{bv_3} = 2\,100\,297,81 \text{ Gj}$$

$$B_{cv} = \frac{Q_{bv}}{bc} \cdot \frac{1}{V_{cs}}$$

$$B_{cv_1} = \frac{1713769,3 \times 10^3 \text{ Kj}}{0,8142 \times 43131,86 \text{ Kj/Kg}} =$$
$$= 48770 \text{ Kg}$$

$$B_{cv_3} = \frac{2\,100\,297,81 \times 10^3 \text{ Kj}}{0,8142 \times 43\,131,86 \text{ Kj/Kg}} =$$
$$= 59810 \text{ Kg}$$

Como podemos ver hemos llegado al objetivo principal de nuestro trabajo, cumpliendo así la parte final de los cálculos técnicos, los que nos permitirá hacer la valoración económica y con esto conocer de forma concreta y precisa cuanto afecta a la economía del país la desviación de este parámetro, y a la vez brindaremos ciertas recomendaciones encaminadas todas a mejorar o erradicar las dificultades planteadas.

V VALORACION ECONOMICA.

Como podemos observar en la decena analizada, que se compone de 11 dias operacionales, tenemos un exceso en el consumo de combustible de 108,58 TM a consecuencia de la desviación del parámetro analizado (bajo vacío en el escape de las turbinas), teniendo en cuenta que la tonelada de fuel-oil que es el combustible de que se trata en el mercado internacional cuesta 167,000 \$ (moneda libremente convertible), nos arrojará un valor de 18 132,86 \$ MLC en la decena analizada, y sucesivamente se incrementará en el mes a 49 453,25 \$ MLC y en el año a 593 439 \$ MLC.

VI RECOMENDACIONES.

- 1.- Restablecer los indicadores de flujo de aire y gases no condensables en las descargas de los eyectores.
- 2.- Introducir el sistema de cálculos energéticos utilizados en las termoeléctricas del país - con resúmenes mensuales, trimestrales y anuales.
- 3.- Establecer limpiezas periódicas a los condensadores principales, de los eyectores y de vapor de sellos en dependencia de los resultados arrojados por los cálculos energéticos.
- 4.- Restablecer equipos defectuosos en torre de enfriamiento, así como equipos en general relacionados con el sistema de vacío.
- 5.- Contratar visitas de especialistas de TECENERGO para realizar trabajos investigativos profundos y metodología a seguir en la Termoeléctrica para mantener estos parámetros.

BIBLIOGRAFIA.

1.- Centrales Termoeléctricas.

V. Ya. Rizhkin

2.- Generadores de vapor.

Departamento de Textos y Materiales didácticos
U.C.L.V.

3.- Steam turbine theory and practise.

W. J. Kearton (E.L.B.S.).

4.- Turbomáquinas de Vapor y gas, su cálculo y construcción.

M. Lucini, Barcelona, Madrid.

5.- Metodología de cálculo de los sobreconsumos de combustibles.

Dpto. Técnico de Producción. Dirección de Operación de C.E.

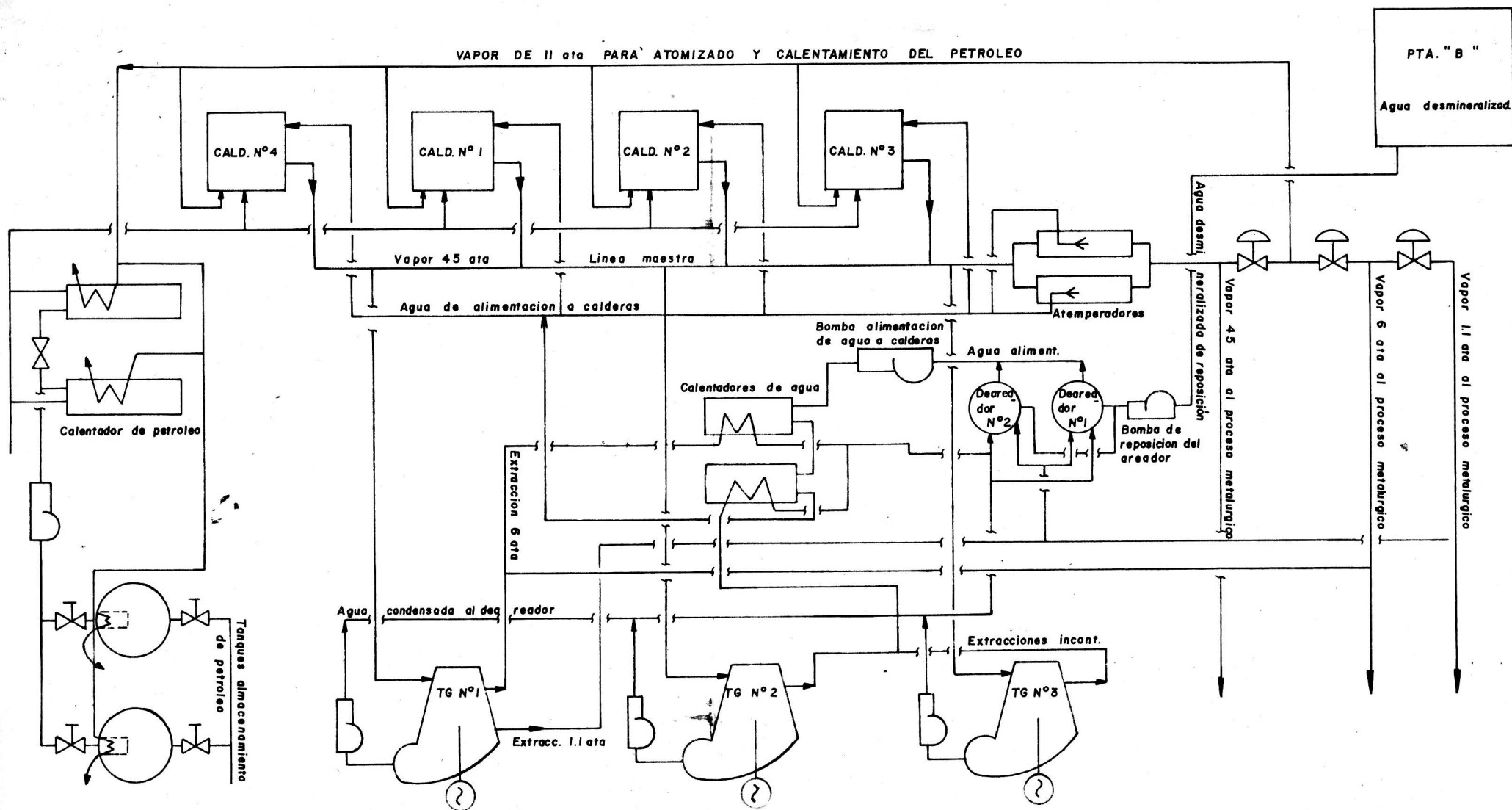
6.- Energía mediante vapor, aire o gas.

J.C. Milles, Buenos Aires.

7.- Turbinas de vapor.

A.V. Schegliáiev, Moscú.

ESQUEMA GENERAL DE LA TERMoeLECTRICA FABRICA COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA



RESUMEN DIARIO EN TURBO-GEN

Nº		U/M	RESUMEN							
			26		27		28		29	
			T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3
1	ELECTRICIDAD PRODUCIDA	MW	96	134,4	105,6	124,8	76,8	144	96	134,4
2	PRESION DE VAPOR ENTRADA	ATA	47,6	47,5	47,4	47,4	47,3	47,4	47,6	47,5
3	TEMPERATURA DE VAPOR DE ENTRADA	C°	402	397	400	393	405	395	408	396
4	FLUJO DE VAPOR ENTRADA (SIN CORREGIR)	TM	1123	905	1114	1014	1123	1050	1090	1030
5	PRESION DE VAPOR EXTRACCION 1,1 ata	ATA	1,7	—	1,9	—	1,8	—	1,6	—
6	PRESION DE VAPOR EXTRACCION 6,0 ata	ATA	7,3	—	7,4	—	7,4	—	7,6	—
7	FLUJO DE VAPOR EXTRACCION 1,1 ata	TM	250	—	339	—	402	—	228	—
8	FLUJO DE VAPOR EXTRACCION 6,0 ata	TM	448	—	507	—	501	—	496	—
9	TEMPERATURA DE VAPOR EXTRACCION 1,1 atm	C°	149	—	149,7	—	148	—	150	—
10	TEMPERATURA DE VAPOR EXTRACCION 6,0 atm	C°	245	—	250	—	250	—	245	—
11	VACIO EN CONDENSADORES	Hg	19,2	24,7	18,1	24,2	19,7	24,1	18,2	23,7
		MM	488	627	460	615	500	612	462	602
12	TEMPERATURA DE VAPOR EN EL ESCAPE	C°	54,1	49,25	65,9	49	63,2	48,36	66,2	49
13	TEMPERATURA ENTRADA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	C°	33,6	33,6	34	34	34,5	34,5	36	36
14	TEMPERATURA SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	C°	43	44,2	42,6	47	44,2	45,3	40	49
15	PRESION DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	ATA	—	27,5	—	26,8	—	30,2	—	29
16	PRESION DE EXTRACCION INCONTROLABLE	ATA	—	29,6	—	28,4	—	27,3	—	29,6
17	TEMPERATURA DE EXTRACCION INCONTROLABLE	C°	—	288	—	290	—	289	—	287
18	TEMPERATURA DE AGUA SALIDA DE AREADOR	C°	—	110	—	114	—	112	—	116
19	TEMPERATURA DE AGUA SALIDA CALENTADOR	C°	—	195	—	196	—	196	—	195,
20	INCONTROLABLE (CALCULADO CARTA FABRICANTE) PRODUCCION DE VAPOR POR EXTRACCION	TM	—	403,3	—	425	—	523,1	—	490

RADORES

POR DIAS

30		31		1		2		3		4		5	
T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3
105,6	134,4	105,6	144	96	134,4	115,2	144	105,6	134,4	86,4	124,8	105,6	134,4
47,4	47,4	47,7	47,5	47,5	47,4	47,6	47,5	47,4	47,4	47,5	47,4	47,5	47,4
407	396	400	393	402	394	404	394	408	397	407	396	408	395
1123	927	1123	1036	1202	1025	1358	1030	1363	1036	1167	1014	1171	1003
1,9	—	1,9	—	1,5	—	1,6	—	2	—	1,9	—	1,9	—
7,3	—	7,8	—	7,7	—	7,8	—	7,6	—	7,5	—	7,3	—
208	—	225	—	272	—	272	—	435	—	411	—	319	—
490	—	501	—	501	—	621	—	610	—	567	—	523	—
151	—	148	—	149	—	148	—	150	—	152	—	150	—
255	—	255	—	250	—	250	—	247	—	252	—	252	—
18,9	24,13	20,5	23,99	18,58	24	18,4	24	18,5	24,6	18,7	24,2	19,1	24,2
480	613	521	609	472	610	467	610	460	625	475	615	485	615
65,5	50,42	65,95	49,42	65,56	49,42	67,57	50,42	65,68	49,31	61,8	47,59	64,57	48,75
32,5	32,5	34	34	35,2	35,2	35	35,	36	36	34	34	34,7	34,7
51,4	43	45,3	48,6	47,4	50,3	40,2	48,2	42	55,	40	46	43,4	42,5
—	28,6	—	30,5	—	29,7	—	26,4	—	28,9	—	29,4	—	28,8
—	28,6	—	28,9	—	29,7	—	29,5	—	28,4	—	29,5	—	28,3
—	290	—	288	—	289	—	290	—	291	—	288	—	287
—	108	—	112	—	118	—	104	—	108	—	114	—	116
—	197	—	197	—	198	—	197	—	196	—	198	—	195
—	414,16	—	409,5	—	457,8	—	490,5	—	446,3	—	426,1	—	446,8

TABLA DE RESULTADOS

AREA TURBO-GENERADORES

Nº		U/M	TG-1	TG-3
1	ELECTRICIDAD PRODUCIDA	MW	1094,4	1488
2	PRESION DE VAPOR ENTRADA	ATA	47,5	47,4
3	TEMPERATURA DE VAPOR ENTRADA	C°	404,6	395
4	FLUJO DE VAPOR ENTRADA SIN CORREGIR	TM	12957	11070
5	PRESION DE VAPOR EXTRACCION 1,1 ata	ATA	1,79	
6	PRESION DE VAPOR EXTRACCION 6,0 ata	ATA	7,5	
7	FLUJO DE VAPOR EXTRACCION 1,1 ata	TM	3361	
8	FLUJO DE VAPOR EXTRACCION 6,0 ata	TM	5765	
9	TEMPERATURA DE VAPOR EXTRACCION 1,1 ata	C°	149	
10	TEMPERATURA DE VAPOR EXTRACCION 6,0 ata	C°	250	
11	VACIO EN CONDENSADORES	Hg MM	18,9 479	24,2 613,9
12	TEMPERATURA DE VAPOR EN EL ESCAPE	C°	64,18	49,18
13	TEMPERATURA ENTRADA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	C°	34,5	34,5
14	TEMPERATURA SALIDA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	C°	43,6	47,2
15	PRESION DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	ATA		28,7
16	PRESION DE EXTRACCION INCONTROLABLE	ATA		28,9
17	TEMPERATURA DE EXTRACCION INCONTROLABLE	C°		288,8
18	TEMPERATURA DE AGUA SALIDA AREADOR	C°		112
19	TEMPERATURA DE AGUA SALIDA CALENTADOR	C°		196,42
20	INCONTROLABLE (CALCULADO CARTA FABRICANTE) PRODUCCION DE VAPOR POR EXTRACCION	TM		4933

Resumen diario de opero

Nº		U/M	26	27	28	29
1	TEMPERATURA DE VAPOR SOBRE-CALENTADO PRODUCIDO POR CALDERAS	°C	395,4	396,9	396	397
2	PRESION DE VAPOR PRODUCIDO EN CALDERAS	ata	47,6	47,5	47,3	47,6
3	TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION	°C	187,5	188,2	193	191,4
4	PRESION DEL AGUA DE ALIMENTACION	ata	67	63	63,5	65,2
5	VAPOR SOBRE-CALENTADO PRODUCIDO	TM	3867,6	3859,6	3703,6	3952
6	PRESION DE VAPOR EN DOMOS DE CALDERAS (PROMEDIO DE LAS 4)	ata	48,1	48,3	48	48,4
7	PETROLEO CONSUMIDO EN LAS 4 CALDERAS	TM	255,7	264,0	225,3	275,0
8	TEMPERATURA DE PETROLEO A LAS CALDERAS	°C	94,5	94,7	95,7	94,3
9	OXIGENO EN GASES DE LA COMBUSTION	%	2,9	2,9	3,2	3,1
10	CO EN GASES DE LA COMBUSTION	%	0,21	0,20	0,18	0,17
11	CO ₂ EN GASES DE LA COMBUSTION	%	14,2	14,4	15	14,8
12	PETROLEO CONSUMIDO EN LA CALDERA DE LA USRR	TM	107,4	106,2	107	103,8
13	TEMPERATURA DEL AIRE PARA COMBUSTION EN LA CALDERA Nº 4 (SOVIETICA)	°C	110	104	105	106

DATOS

iones y resultados de la decena

30	31	1	2	3	4	5	Resultados de la decena
398,6	397,4	397,6	394,2	396,9	397,5	397	395
47,1	47,5	47,3	47,9	47,6	47,4	47,8	47,5
192	190	192	185	188,4	195,2	192,8	190,5
64,5	63,4	64,1	61,4	63,7	64,3	63,8	64
3581,8	3869,2	4025	3734	3998,4	4421,9	3904,8	42917,9
48,3	48,2	48,5	48,3	48,1	48	47,9	48,2
257,1	276,4	279,2	299,2	298,5	264,8	264	2939,87
98,2	96,3	95,4	95,3	96,5	96,5	97	96
3,14	3,4	3	2,8	2,9	3,2	2,7	3
0,13	0,24	0,22	0,22	0,21	0,19	0,22	0,2
15,2	14,2	14,4	14	14,3	14,8	14,2	14,5
104,3	104,4	112,6	110,8	104,3	98	105	1164
108	104	107	103	101	104	105	105

TABLA DE RESULTADOS

Nº	PTOS CALCULADOS	SIGLAS	U/M	RESULTADOS
1	CALOR ENTRANDO A LA TURBINA # 1	Q _{t1}	Kj	42 276062 x 10 ³
2	CALOR ENTRANDO A LA TURBINA # 3	Q _{t3}	Kj	35 570 584 x 10 ³
3	FLUJO VAPOR ENTRANDO AL TURBOGENERADOR # 1 (REAL)	G _{vst1}	Kg	13 154 827
4	FLUJO VAPOR ENTRANDO AL TURBOGENERADOR # 3 (REAL)	G _{vst3}	Kg	11 126 343
5	CALOR EXTRAIDO DE LA TURBINA EN EXTRACCION DE 1.1 atm.	Q _{1.1}	Kj	9 288 333 x 10 ³
6	CALOR EXTRAIDO DE LA TURBINA EN EXTRACCION DE 6 atm	Q ₆	Kj	16 833 932 x 10 ³
7	CALOR EXTRAIDO TURBINA # 3 EXTRACCION INCONTROLABLE	Q _{e. inc.}	Kj	14 354 937,5 x 10 ³
8	CONSUMO ESPECIFICO DE CALOR EN LA TURBINA # 1	q _{t1}	Kj/Kw-H	14 760,41
9	CONSUMO ESPECIFICO DE CALOR EN LA TURBINA # 3	q _{t3}	Kj/Kw-H	14 257,83
10	CALOR PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD EN TURBOGENERADOR # 1	Q _{e11}	Kj	16 153 797 x 10 ³
11	CALOR PARA PRODUCIR ELECTRICIDAD EN TURBOGENERADOR # 3	Q _{e13}	Kj	21 215 646 x 10 ³
12	EFICIENCIA EN TURBOGENERADOR #	η _{t1}	%	24,49
13	EFICIENCIA EN TURBOGENERADOR # 3	η _{t3}	%	25,78
14	CALOR VAPOR SOBREALENTADO PRODUCIDO	Q _{vs}	Kj	106 362 021,99 x 10
15	VAPOR SOBREALENTADO REAL PRODUCIDO	G _{var}	Kg	44 929 676
16	CALOR DEL VAPOR PARA CONSUMO PROPIO	Q _{vic}	Kj	0
17	CALOR VAPOR RECALENTADO	Q _{ur}	Kj	0
18	CALOR PERDIDO EN ARRANQUES	Q _{ar}	Kj	0
19	MASA VAPOR EXTRAIDO	G _{ext}	Kg	858,36 x 10 ³
20	CALOR VAPOR EXTRACCION	Q _{ext}	Kj	262 572,32 x 10 ³
21	CALOR FISICO DEL AIRE PARA LA COMBUSTION EN CALDERA # 4	Q _{a4}	Kj	1 442 186,22 x 10 ³
22	CALOR FISICO DEL COMBUSTIBLE	Q _p	Kj	395 706,96 x 10 ³
23	CALOR PARA OTROS USOS	Q _{ot}	Kj	1 010 964,24 x 10 ³
24	CALOR BRUTO GENERADO EN CALDERAS	Q _{cb}	Kj	103 250 592,3 x 10 ³
25	COMBUSTIBLE EQUIVALENTE CONSUMIDO	B _e	Ton - Equiv.	3 026,3
26	EFICIENCIA BRUTA DE CALDERAS	η _b	%	81,42

