

Análisis de la redundancia en la generación de vapor con parámetros inferiores en un monobloque de 64 MW

A. Paneque Matos, A. Calvo González

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CETER

Calle 114 esq. 127, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba

Teléfonos (537) 260-2267

E-mail: aegcalvo@mecanica.ispiae.edu.cu

(Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000)

Resumen

La necesidad del país de mantener la generación eléctrica a fin de evitar los cortes de servicio planificados e imprevistos, debido a la difícil situación económica actual, obliga a buscar soluciones que al menos sirvan de paliativo temporal a esta desagradable situación. En una central termoeléctrica ubicada en el perímetro de la ciudad, se presentó la situación de que producto de un accidente, un bloque quedó sin turbogenerador, estando su generador de vapor en magníficas condiciones de explotación; y que otro bloque presentaba muchas salidas forzadas fuera de servicio producto de una insuficiente reparación de su generador de vapor. La carencia de fondos para acometer una efectiva reparación, hizo pensar en el análisis de la posibilidad de utilizar la caldera de una unidad para alimentar el turbogenerador de la otra. En el presente trabajo se muestran los cálculos correspondientes para determinar aproximadamente el comportamiento de la turbina en las nuevas condiciones impuestas, se realizó un análisis de fiabilidad del sistema propuesto y se utilizó la simulación como herramienta para modelar el proceso.

Palabras claves: centrales termoeléctricas, fiabilidad, eficiencia, turbina de gas, caldera.

1. Introducción

El monobloque en estudio, de 64 MW de potencia nominal, es la unidad No.7 de una Central Termoeléctrica, ubicada dentro del perímetro de la ciudad. Recientemente cuando se hizo la reparación capital; por razones de falta de tiempo y de recursos no fueron sustituidas las tuberías de las paredes, del horno, de los sobrecalentadores, ni del economizador del generador de vapor. Esto hizo que la unidad presentara una disponibilidad baja, sufriendo a menudo fallos en este equipo fundamental. Su turbogenerador está prácticamente en excelentes condiciones, salvo pequeñas dificultades que son comunes en la explotación de cualquier planta.

Posteriormente, la unidad No.6 de la misma Central Termoeléctrica (CTE) donde está ubicado el monobloque en estudio (unidad No.7), a un mes de haber recibido un mantenimiento capital sufrió una avería en el turbogenerador, que lo inutilizó completamente. El generador de vapor, en lo fundamental quedó intacto. Éste sufrió solamente algunos daños en los cables de alimentación a los

ventiladores de los tiros B y en su automática, pues estaba localizada en el control de unidad, contiguo a la sala de máquinas.

La necesidad del país de mantener la generación para evitar los cortes de servicio planificados e imprevistos, obliga a buscar soluciones que al menos sirvan de paliativo temporal a esta desagradable situación. Una posibilidad de resolver este problema sería parar la unidad No.7 y colocar tuberías nuevas en su generador de vapor, pero esto no es posible ya que ni la empresa, ni el país están en condiciones económicas para enfrentar esta tarea, pues los pocos fondos disponibles son invertidos en la modernización de las unidades mas eficientes del sistema electroenergético nacional. Tampoco es posible carecer de ese suministro eléctrico en el transcurso de los dos o tres meses que se llevaría esta reparación.

El hecho de tener el generador de vapor de la unidad número 6 en buen estado técnico; hizo pensar en analizar la posibilidad de utilizar la caldera de la unidad 6 para alimentar el turbogenerador 7, durante los periodos de averías del generador de vapor de la unidad No.7. Esta propuesta fue planteada por el director de la central a sugerencia del nivel superior. Eso sería una

cosa lógica y común si ambas unidades fueran de la misma presión; lo inusual y aparentemente ilógico, es utilizar en una turbina de 90 ata un vapor con una presión mas baja, ya que esto trae como consecuencia una menor generación eléctrica y un mayor consumo específico de combustible. Pero, dado la situación crítica del sistema electroenergético, sobre todo en el lazo donde esta ubicada la CTE, y necesitando más la disponibilidad que la eficiencia, se podría utilizar la caldera de la unidad 6 de 60 ata como paliativo. Solamente sería utilizada entre averías del generador de vapor de la unidad 7. De esta forma se mantendría la generación, aunque con un mayor consumo específico. Esto es totalmente inusual en la industria eléctrica por ser el generador de vapor un equipo muy costoso. En centrales azucareros o centrales suministradoras de vapor a proceso o calefacción es donde único se acostumbra a tener reserva en la generación de vapor. En ese caso las calderas son mucho más pequeñas, en el orden de las decenas, así como su costo.

Esta solución debe ser estudiada técnica y económicamente ya que es un esquema bibloque “sui generis”; pues el turbogenerador no es alimentado simultáneamente por dos calderas iguales como ocurre en los bibloques usualmente. En este caso es alimentado normalmente por su correspondiente caldera, la de la unidad 7, y en caso de avería, por una caldera de más baja presión, la de la unidad 6.

Para su factibilidad técnica, es necesario estudiar el comportamiento del turbogenerador 7 de 90 ata, en las condiciones nuevas de menor presión y menor temperatura inicial. Primero, por el peligro que representa si con estos parámetros aumentara de la humedad en las últimas etapas destruyendo los álabes de ésta, y segundo, por la reducción en producción de trabajo (potencia eléctrica) debida a la disminución del salto entálpico. Es necesario a su vez el cálculo de fiabilidad para el sistema propuesto y la simulación del comportamiento del mismo.

El objetivo general de este trabajo es el análisis o estudio del empleo de un generador de vapor de 60 ata y 480°C como equipo de reserva para un monobloque de parámetros iniciales de 90 ata y 535°C, lo cual se desglosará en: *Cálculo de la turbina en las nuevas condiciones de trabajo con parámetros iniciales inferiores, cálculo de la fiabilidad para el sistema propuesto, y la simulación del comportamiento del sistema propuesto*

2- Análisis del comportamiento de la turbina con parámetros inferiores

El cálculo del comportamiento de la turbina para los nuevos parámetros iniciales, requiere del cálculo para los parámetros iniciales de diseño, que normalmente entrega el fabricante como parte del cumplimiento de

sus obligaciones cuando deja la turbina trabajando en las condiciones de garantía. Para el caso de las turbinas checas SKODA de 64 MW se carece del mismo, pues no aparece en el Archivo Técnico Nacional, tampoco aparece en el Archivo Técnico de la Central, ni en las empresas de ingenierías o de mantenimiento nacionales, ni tampoco ha sido vista nunca por los especialistas de esas instituciones. Por lo tanto se realizará el mismo de forma aproximada utilizando varios criterios.

Para la determinación de la disminución de trabajo debido a la utilización de unos parámetros iniciales más bajos, $P_0 T_0 = 60 \text{ ata (59 bar)}$ y $482^\circ \text{C (900 }^\circ \text{F)}$, se hicieron las siguientes suposiciones [1]:

1.- El flujo volumétrico se mantiene igual a la entrada de la turbina, es decir, (255 ton/ hr de vapor a 90 ata y 535°C). La eficiencia relativa interna se mantiene constante para cada etapa de la máquina. Esto significa semejante o igual alejamiento de las condiciones ideales en la expansión del vapor.

2.- El trabajo (potencia) de la turbina en condensación pura se afecta de igual forma que cuando emplea extracciones regenerativas. Es decir que el coeficiente β de aumento del consumo de vapor debido a las extracciones, $\beta = D_{\text{extracciones}} / D_{\text{condensación}}$, permanecerá constante por mantener el mismo número de extracciones.

A partir de estas condiciones son efectuados los siguientes cálculos.

Cálculo de la disminución del trabajo por disminución del salto de entalpía disponible, de 90 ata y 535°C hasta 60 ata y 482°C.

Mediante el empleo del diagrama i-s de Mollier, se aprecia que para una misma eficiencia relativa interna, no existirán dificultades con la humedad final, ya que a 60 ata en la expansión isoentrópica es menor la magnitud de humedad. No obstante, normalmente a flujos menores se empeora la eficiencia relativa interna lo que lo aleja de la situación de humedad. El problema que podría aparecer a bajas cargas es determinar el sobrecalentamiento del vapor por empeoramiento de la eficiencia relativa interna. Esto puede ser determinado durante la prueba que se realice. La afectación por disminución de trabajo, debido a la reducción del salto entálpico, se puede apreciar en el diagrama i-s (Mollier) o puede ser calculada utilizando las tablas de las propiedades del vapor [2].

De aquí la relación de disminución de trabajo será:

$$\frac{\Delta h^{60}}{\Delta h^{90}} = 0.916 \quad , \text{ o sea, que el trabajo por este}$$

concepto será de solo el 92 %

Cálculo aproximado de la variación del flujo másico, suponiendo, a plena carga el mismo flujo volumétrico.

$$\frac{D_{60 \text{ ata}}}{D_{90 \text{ ata}}} = \frac{v_{90 \text{ ata}}}{v_{60 \text{ ata}}} = \frac{0.03974}{0.05616} = 0.7062;$$

Esta será la relación de gastos másicos a válvulas abiertas para 60 ata y 482°C y para 90 ata y 535°C.

El gasto másico a 60 ata será de:
 $D_{60 \text{ ata}} = 0.70762 * (255 \text{ ton/hr}) = 180.443 \text{ ton/hr}$

Si ambos efectos se conjugan, es decir, la afectación por gasto y por salto de entalpía, y suponiendo constantes las eficiencias mecánicas y del generador eléctrico $\eta_m \eta_g$ la potencia resultante podría ser calculada a partir de la relación:

$$\frac{W_{60}}{W_{90}} = \frac{D_{60}}{D_{90}} \cdot \frac{\Delta h^{60}}{\Delta h^{90}} = 0.70762 \cdot (0.9164654),$$

$$\text{luego } \frac{W_{60}}{W_{90}} = 0.64850927$$

$$W_{60} = 0.6485 \cdot (64 \text{ MW}) = 41.5 \text{ MW}$$

Otra variante de cálculo aproximado sería la utilización del teorema de Fügél-Stodola [3] para regímenes variables de la turbina.

$$\frac{D_1}{D_0} = \frac{p_{01}}{p_{00}} \sqrt{\frac{(p_0 v_0)_0}{(p_0 v_0)_1}} \approx \frac{p_{01}}{p_{00}} \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}$$

Donde:

$D_0, p_{00}, v_{00}, T_{00}$: Son parámetros del régimen de diseños (Gasto, presión, volumen específico, temperatura)

$D, p_{01}, v_{01}, T_{01}$: Son los parámetros del nuevo régimen

$$\frac{D_1}{D_0} = \frac{60 \text{ ata}}{90 \text{ ata}} \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} = \frac{60 \text{ ata}}{90 \text{ ata}} \sqrt{\frac{482 + 273}{535 + 273}} = 0.644$$

De esta forma se puede calcular la potencia resultante para $P_0 T_0$ de 60 ata y 482°C a partir del diagrama consumo-entrega (D vs MW) de la turbina SKODA [4], donde para un valor D_1/D_2 de 0.644, el consumo de vapor es de 164,29 ton/hr, y la potencia es un 65,17%, de la máxima de 64 MW, es decir 41,7 MW. Por ambos métodos se llega a un resultado similar con la diferencia de solo 0.005%.

En el epígrafe anterior, relativo a la disminución de potencia de la máquina por disminución de parámetros iniciales, se concluyó que por ambos métodos aproximados se llegaba al mismo resultado. Debe subrayarse no obstante que con el cálculo del consumo de vapor utilizando el diagrama del fabricante [6] la

temperatura es mayor, luego su trabajo específico en kcal/kg será mayor.

Para el cálculo aproximado del consumo de combustible, se determinó la temperatura aproximada del agua de alimentar a partir de la presión de la primera extracción de la turbina, utilizando también el teorema de Fügél-Stodola.

Resultó ser aproximadamente de 188°C.

A partir de la suposición que la eficiencia del generador de vapor 6 es de $\eta_{gv} = 85\%$, y que el flujo de agua de alimentar es el de vapor vivo más 5 ton/hr $D_{aa} = D_0 + 5T/hr$ y conociendo que el valor calórico bajo es de $Q_b = 9640 \text{ kcal/kg}$, es posible calcular el consumo de combustible mediante la conocida expresión de la eficiencia del generador. Resultando entre 12.4 y 13.6 ton/hr de combustible y el rango entre 298 y 327 gr/kW-hr siempre más elevado que el del monobloque original de 286 gr/kW-hr.

Aunque de todas formas se calculó el consumo de combustible a partir de ambos resultados, se considera más lógico el de 327 gr/kW-hr

Es necesario recalcar que la turbina en cuestión para la carga nominal de 64 MW (carga máxima continua) no abre completamente la válvula del último bloque de toberas. Esto solo se ha hecho cuando por dificultades en la operación ha tomado 70 MW, por supuesto momentáneamente, ya que es inadmisibles. Esta condición podría aprovecharse para poder llevar la máquina hasta al menos 50 MW lo que podría comprobarse en el régimen de prueba a 60 ata.

Por otra parte la turbina 7 cuando arranca o para, con parámetros deslizantes, pasa por la condición de 60 ata, pero solo momentáneamente. Esto podría utilizarse para la realización de una prueba de 3 horas de duración y comprobar el razonamiento relativo a las aperturas de la última válvula y las demás suposiciones planteadas.

3.-Análisis de fiabilidad para el sistema propuesto de calderas en paralelo

Para realizar este trabajo, fue necesario acopiar toda la información disponible sobre la planta. Para ello fue posible acceder al programa ENERGIA, que es una base de datos donde se recogen todas las incidencias ocurridas en la termoeléctrica, las salidas de servicio, mantenimientos y causas de las roturas.

De este programa se obtuvo, para un periodo de un año y medio, la fecha y hora de las fallas ocurridas por cada una de las calderas, el turbogenerador y el generador eléctrico de la unidad No. 7. Esta información sirvió para conocer el tiempo en horas entre fallos para cada uno de los equipos, así como los tiempos que demoró la restauración de las fallas en cuestión.

Estos valores de tiempo se utilizaron como datos para introducirlos en otro software denominado DISMA, que ofrece como resultado, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a estos valores, los parámetros de diez distribuciones principales referidos a los datos y los resultados de las pruebas de χ^2 , Kolmogorov-Smirnov y Renyi.

El sistema que se propone es acoplar ambas calderas en paralelo con redundancia no cargada, es decir, tener una caldera funcionando mientras la otra se encuentra en mantenimiento o disponible para entrar en servicio. A su vez, este sistema de calderas en paralelo se acopla en serie con el turbogenerador y el generador eléctrico para formar el sistema general combinado.

De esta forma se llega a la expresión para el cálculo de la fiabilidad del sistema en paralelo, la cual no aparece recogida en la bibliografía consultada sobre este tema de fiabilidad[5,6]. Este problema surgió debido a que las leyes teóricas de distribución que rigen el comportamiento de cada caldera son distintas, y fue necesario desarrollar el cálculo de integrales impropias para llegar a las condiciones impuestas para el sistema. Posteriormente se realiza el cálculo de fiabilidad para el sistema general de la planta y es comparado con el sistema simple que actualmente existe, es decir, la unión en serie de la caldera, turbina y generador eléctrico de la unidad No.7.

3.1 Propuesta de sistema general combinado

Los índices de fiabilidad de un sistema se calculan a partir de los índices de la fiabilidad de sus elementos componentes. La capacidad de trabajo del sistema depende de los fallos de sus elementos y estos pueden encontrarse conectados en serie, paralelo o la combinación de ambos. El sistema con la conexión de los elementos en serie es aquel en el que el fallo de cualquier elemento conduce al fallo del sistema. Para estos casos no aparecen las redundancias y a condición de que los fallos de los elementos sean independientes, la probabilidad de trabajo sin fallo del sistema en los límites del volumen de trabajo T , se determinan por el producto:

$$P(T > t) = \bar{F}_s = \prod_{j=1}^m \bar{F}_j(t) \quad (1)$$

Los sistemas combinados, como es el caso del propuesto, contienen elementos conectados en serie y en paralelo. Para el caso se calculará la fiabilidad del subsistema creado por las dos calderas conectadas en paralelo con redundancia no cargada y el resultado formará un segundo sistema en serie, que constituye el sistema general como se indica en la Figura 1.

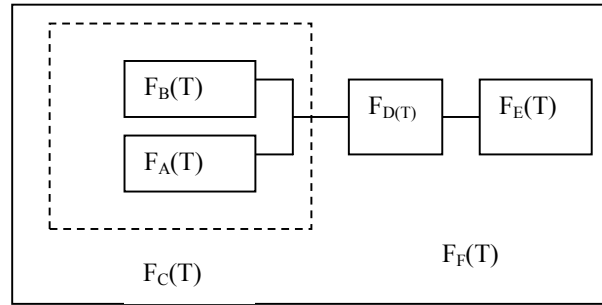


Figura 1. Sistema propuesto de conexión de calderas en paralelo.

- $F_A(t)$ - Fiabilidad de la caldera No. 6
- $F_B(t)$ - Fiabilidad de la caldera No. 7
- $F_C(t)$ - Fiabilidad del sistema de calderas en paralelo
- $F_D(t)$ - Fiabilidad de la Turbina
- $F_E(t)$ - Fiabilidad del generador eléctrico
- $F_F(t)$ - Fiabilidad del sistema propuesto

Para el caso del sistema de calderas, se propone que sea con redundancia no cargada, es decir, que funcione una sola caldera mientras la segunda se encuentra de reserva o en mantenimiento. Debido a que no son iguales las leyes de distribución que rigen el comportamiento de cada caldera, fue necesario llegar a la expresión de fiabilidad para este caso particular. Más adelante se desarrollan los pasos seguidos para llegar a esta expresión.

3.2 Cálculo de fiabilidad de la caldera no.6

Para realizar un análisis probabilístico es muy importante la definición de la ley teórica que define al evento dado. Como el trabajo con los parámetros de la ley real es muy engorroso, sobre todo por su difícil determinación, la vía empleada es la aproximación de ésta a una de las leyes probabilísticas ya definidas, con un nivel de confianza determinado. Este procedimiento se denomina ajuste de curvas y se puede realizar, entre otros, por los métodos o criterios de Kolmogorov-Smirnov y de Pearson.[1]

Según el programa utilizado, para los valores de tiempo en horas suministrados como datos, la distribución de mejor ajuste es la: *distribución weibull*

La probabilidad de trabajo sin fallos para este tipo de distribución para un tiempo t determinado, se puede calcular por la siguiente expresión:

$$P_A(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2)$$

En el *calculo de fiabilidad de la caldera no.7* según el programa utilizado, para los valores de tiempo en horas suministrados como datos, la distribución de mejor ajuste es la: *distribución exponencial* se sustituye el valor de tiempo en la expresión

$$P_B(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (3)$$

La idea de diseñar el sistema en paralelo tiene como condición que funcione una caldera mientras la segunda se encuentra en reserva o en mantenimiento. Se supone que la primera caldera funcione hasta un tiempo t determinado, a partir del cual entraría a funcionar la segunda caldera mientras se realiza la revisión de la primera. Existe la probabilidad de que la primera caldera falle antes del tiempo t impuesto. Sobre estas bases fue determinada la expresión para calcular la probabilidad de trabajo sin fallos del sistema de calderas.

La probabilidad del sistema se calcula mediante:

$$P(t_s > T) = P(t_B > T) + P(t_B < T, t_A > T - t_B) \quad (4)$$

t_s : Tiempo hasta el fallo del sistema

t_A : Tiempo hasta el fallo de A (Caldera No. 6. Weibull)

t_B : Tiempo hasta el fallo de B (Caldera No. 7. Exponencial)

Para el *cálculo de la primera integral*, se parte de que la caldera No.7 sigue una Distribución Exponencial, de ahí que la función que se integra sea la función de densidad de dicha distribución evaluada de acuerdo a la región de integración planteada. En este caso, se busca la probabilidad de que la caldera No.7 trabaje sin fallar un tiempo mayor que el tiempo t especificado.

$$P(t_B > T) = \int_T^{+\infty} \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t_B} \cdot d(t_B) \quad (5)$$

$$P(t_B > T) = e^{-\lambda \cdot T} \quad (6)$$

Para esta segunda integral, se calcula la probabilidad de que la caldera No. 6 trabaje un tiempo mayor que $T - t_B$, una vez que haya fallado la primera antes del tiempo t impuesto

$$P(t_B < T, t_A > T - t_B) \quad (7)$$

Sustituyendo en la expresión para calcular la integral desde (0-T) obtenemos una integral que no tiene primitiva, por lo tanto se resuelve por métodos

numéricos. La mejor aproximación la brinda el método de Simpson

Los resultados obtenidos [1] permiten apreciar que la probabilidad de trabajo sin fallos para la caldera No.7 es muy baja a partir de las 100 horas. Esto quiere decir que con seguridad fallará antes de este tiempo. Las causas de esta frecuencia de fallos se deben al estado actual en que se encuentra este equipo. Es necesario aplicar la técnica del análisis causa-raíz y el mantenimiento centrado en la fiabilidad para disminuir paulatinamente la frecuencia de fallos.

Para el calculo de fiabilidad de la turbina. La distribución de mejor ajuste es la: *distribución exponencial*

$$P_D(t) = 0.7710$$

En el cálculo de fiabilidad del generador eléctrico La distribución de mejor ajuste es la: *distribución exponencial*

$$P_E(t) = 0.8607$$

Una vez calculada la probabilidad del sistema de calderas en paralelo, nos queda entonces un sistema general en serie, cuya probabilidad se calcula según la ecuación:

$$P(T > t) = \bar{F}_s = \prod_{j=1}^m \bar{F}_j(t) \quad (8)$$

De aquí tenemos que:

$$P(T > t) = \bar{F}_s = \prod_{j=1}^m \bar{F}_j(t) \quad (9)$$

$$P(T > t) = 0.6635$$

Puede ser comparada la probabilidad de trabajo sin fallos para el sistema simple que actualmente existe, evaluada para un mismo tiempo t , y comprobado que aumenta la fiabilidad de la planta con el sistema propuesto de calderas en paralelo.

$$P(T > t) = \bar{F}_s = \prod_{j=1}^m \bar{F}_j(t) \quad (10)$$

$$P(T > t) = 0.4629$$

La probabilidad de trabajo sin fallo del sistema propuesto es mayor que el sistema que existe actualmente. Pero esto no basta para asegurar que el sistema propuesto es conveniente llevarlo a cabo. A continuación se hace un análisis para este sistema propuesto con dos variantes, utilizar la caldera No.7 como principal teniendo la caldera No.6 de reserva y

viceversa. La comparación se realiza después de haber hecho una simulación para un tiempo de seis meses de funcionamiento del sistema. Se hace esta comparación debido a que el bloque propuesto podría funcionar también de igual forma.

4.-Simulación del sistema propuesto

Una vez que fue analizado el comportamiento de la turbina para las nuevas condiciones iniciales y obteniendo por lo tanto el valor aproximado de la generación al utilizar la caldera No.6, se procedió a simular el sistema por un periodo de seis meses.

El lenguaje de simulación SIMAN fue utilizado para elaborar un programa capaz de comparar dos variantes posibles para utilizar el sistema resultante de calderas en paralelo, las cuales son:

- Utilizar la caldera No.7 como principal y la caldera No.6 como auxiliar.
- Utilizar la caldera No.6 como principal y la caldera No.7 como auxiliar.

La comparación se realizó a partir de los tiempos medios entre fallos para cada caldera, tiempos medios de restauración de sus fallas y la capacidad de generación que permiten lograr estos equipos. Estos datos fueron suministrados por el grupo de disponibilidad, a partir de los registros históricos almacenados en la base de datos ENERGÍA. El programa realiza la simulación de 20 periodos de seis meses. Los resultados de estas corridas con los valores que representan los MW-hr de cada caldera en las respectivas variantes, así como el valor promedio de los MW-hr generados por cada una de las variantes aparecen en la tabla 1. De esta tabla se tomaron los valores de generación en MW-hr correspondiente a la utilización de cada caldera y se multiplicó por el consumo específico de combustible correspondiente al monobloque resultante con cada caldera.

Primera Variante

$$248900 \times 0.286 = 71185.4 \text{ ton} \quad \mathbf{77267.6 \text{ ton}}$$

$$18600 \times 0.327 = 6082.2 \text{ ton}$$

$$248900 \times 0.286 = 71185.4 \text{ ton}$$

$$18600 \times 0.298 = 5542.8 \text{ ton} \quad \mathbf{76728.2 \text{ ton}}$$

Segunda variante

$$215100 \times 0.298 = 64099.8 \text{ ton} \quad \mathbf{64633.18 \text{ ton}}$$

$$1830 \times 0.286 = 533.3 \text{ ton}$$

$$215100 \times 0.327 = 70337.7 \text{ ton}$$

$$1830 \times 0.286 = 533.3 \text{ ton} \quad \mathbf{70871 \text{ ton}}$$

Una vez obtenidos los consumos de combustibles más probables en el periodo de seis meses, estos se dividen entre la generación probable correspondiente y de esa forma se obtienen los consumos específicos de combustible de cada variante.

Tabla 1. Generación eléctrica, consumo total y consumo específico de combustible en el periodo (6 meses)

	MW- [hr en 6 meses]	Consumo de combustible [ton]	Consumo específico de combustible [Kg/kW-hr]
C.7 Ppal C 6Aux	267500	76728.2 - 77267.6	0.286 – 0.288
C 6 Ppal C7 Aux	216930	70871 – 64633.18	0.324 – 0.297

De la tabla 1 se observa que la primera variante es mejor, en cuanto a generación se refiere, debido a una mayor disponibilidad; y en economía debido a que el consumo específico de combustible es menor dado por sus valores extremos.

5.-Conclusiones

Se puede concluir que es técnicamente posible la utilización de la caldera con parámetros inferiores, la turbina puede trabajar en esas condiciones, pero con una generación eléctrica inferior. El consumo específico de combustible aumenta como podía preverse al disminuir los parámetros iniciales: PoTo. La disponibilidad aumenta notablemente; pero a una eficiencia menor. La solución de utilizar la caldera de 60 ata como redundante es la mejor desde el punto de vista del aumento de la disponibilidad y de la eficiencia económica, comparada a su no utilización y a su empleo como principal.

Se recomienda la evaluación económica inmediata de la solución, a partir del aumento de la generación en contraposición del costo de interconexión y de la reposición de la alimentación eléctrica a los tiros B y la instrumentación dañadas por la avería. Para generar 37200 MW-hr adicionales, lo que significa un 7% más de producción de energía eléctrica, se consume un 8% adicional de combustible; pero significa un 99% de disponibilidad. Es en este punto donde radica la importancia de esta solución.

6.- Bibliografía

1. Paneque Matos, A. Análisis del empleo de un generador de vapor en desuso de 60 ata como reserva para un monobloque de 64 MW de 90 ata.

- Trabajo de Diploma, ISPJAE. Habana. 2000, Tutor Dr. Alberto Calvo
2. Rivkin, C.L., Alexandrov, A.A. Propiedades Termofísicas del Agua y el Vapor de Agua. Energía, Moscú, 1980.
 3. Troyanovski, B.M.; Turbinas de Vapor y de Gas de las centrales nucleoelectricas, Editorial MIR, Moscú 1987.
 4. Skoda- (Technoexport Checoslovaquia) Tepelné Schema Bloku *PRĚ* 64 MW (20/11/1963)
 - Central Termoeléctrica Tallapiedra unidad de ampliación. Manual Técnico 1963.
 5. Bonet Borjas; Carlos M. Explotación Técnica y Montaje de los equipos de Elevación de las Cargas, Editora ISPJAE, Ciudad de la Habana, 1987.
 6. Luna Lauzurique, H. Explotación Técnica de Automóviles, Ediciones ENPSES, La Habana, 1982

Analysis of redundancy in the steam generation with inferior parameters in an unit of 64 MW.

Abstract:

The necessity of Cuba to maintain the electric generation in order to avoid the interruption of service in planned or accidental way, due to the difficult current economic situation, forces to solutions that at least serve for temporary palliative to this unpleasant situation. In a thermoelectric power station located in the perimeter of the city, a situation was presented due to an accident, a block with fail in the turbogenerator and the steam generator in good conditions of exploitation; and that another block, the No.7, presented many mandatory out of service product of an insufficient repair of its generator. This situation lead to analyze the possibility of use the boiler of one unit to feed the another one turbogenerator. In the present work, the corresponding calculations to determine the behavior of the turbine under the new imposed conditions are shown, it was carried out an analysis of reliability of the proposed system using the simulation like a tool for modeling the process.

Key words: thermoelectric plant, reliability, efficiency, steam turbine, boiler.