

ADECUACION DEL CAUDAL DE LA CAJA DE SELLADO DE LAS TURBINAS DE ITAIPU

Luis Mariano Rodríguez Lopez
Itaipú Binacional

José Amado Vera Leon
Itaipú Binacional

Luis Mariano Rodríguez López
Itaipú Binacional, Teléfono: 061- 5992688 y pinche@itaipu.gov.py

RESUMEN

Desde el inicio de operación de las turbinas de la I.B., presentaron problemas del sellado del eje de la turbina. Después de grandes crecidas del Río Paraná ya sea por el represamiento que producía el Río Yguazu o bien por la crecida de ambos, y, por ocasión de la vuelta del río al nivel normal se descubría que algunas cajas de las turbinas presentaban defectos, los mismos eran traducidos en una mayor pérdida de agua en el sistema de drenaje, o bien por el aumento del nivel del agua infiltrada en la tapa de la turbina.

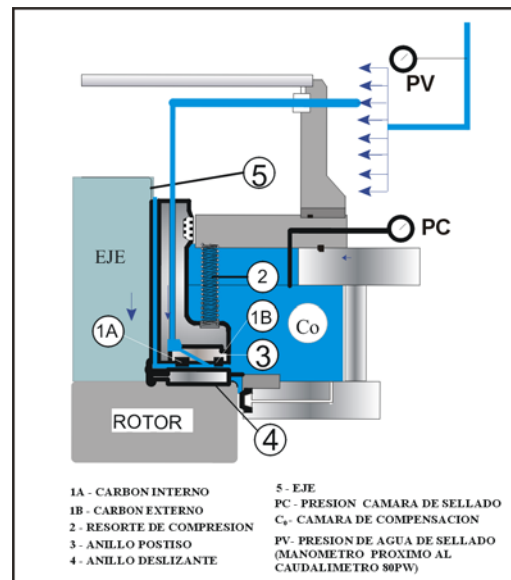
Esto llevo a estudios que determinaron que el aumento del nivel del río aguas abajo en el canal de fuga, ocasionaba una disminución del caudal de agua que alimentaba la caja de sellado, ocasionando ruptura de los carbones de sellado como consecuencia del toque que existe entre la parte móvil y la parte fija o anillo fluctuante.

Palabras claves: Flujo – Caja de sellado – Filme – Fluctuación – Sellado – Quebra.

1. INTRODUCCION

La caja de sellado tiene por finalidad el sellado del eje de la turbina, a fin de no permitir la infiltración de agua del tubo de succión, cuando la maquina esta parada o girando.

Debido al gran tamaño de las maquinas de la Itaipú Binacional, la aplicación de selladores radiales se torna impracticable, por ser la “**velocidad x presión**” extremadamente grande, en consecuencia de esto fue utilizado



un sello hidrodinámico “AXIAL”, con un arreglo de “CAMARA DE CONTRAPRESION”, para permitir la obtención del “BALANCEAMIENTO HIDRAULICO” a través del cual el factor “**P x V**” pierde su inflexibilidad. Constructivamente la cámara C₀ es presurizada con el agua oriunda de la línea del sistema de refrigeración PV, dosada a través de una placa de orificio regulable y tratada en un filtro hidrociclón. Específicamente, es el sistema de “CONTRAPRESION” C₁ que secundariamente actúa como “SISTEMA DE REFRIGERACION”, su caudal varía de 200 a 235 l/mín.

En este conjugado de “PRESIONES” y de “FUERZAS” activas y reactivas, donde son considerados también los resortes de compresión 2 y el peso del conjunto 3 la variable controlada es “**P x V**”, esto es, la fuerza de compresión en Kg/cm² actuante en la superficie de ASENTAMIENTO x VELOCIDAD de deslizamiento en m/s. Como la velocidad

V es un valor fijo. Del punto de vista del proyecto, es sobre la presión **P** que recae todo el control.

Existe una faja ideal de operación del sistema en el cual la relación “ **δ x P**” (**δ** espesura de la película de agua), se torna, altamente compatible, con las condiciones de los materiales.

La mala formación de “ **δ** ” no tornara el sellado eficiente. La cámara **C₁** esta presurizada con una presión **PV**, esta, actuando en conjunto con **PC**, es la que determina la formación de “ **δ** ”. Si “ **δ** ” se incrementa, el coeficiente de rozamiento “ **μ** ” inicialmente decrece en el régimen elastohidrodinámico y se incrementa en el régimen hidrodinámico. A esto hay que agregarle el hecho de que las superficies del anillo deslizante y superficies del carbón no son perfectamente planas.

2. TEMARIO DE TRABAJO

2.1 Cuando se eleva el canal de fuga el mismo refleja un aumento de la presión del sistema de contra presión de la caja de sellado **C_o**, con el agravante de que la misma acarrea consigo la disminución del caudal de agua refrigerante/sellado del sistema, siendo el bajo caudal un indicador de la disminución de la espesura del filme de agua, formado entre la pista girante y el carbón.

La disminución del filme, permite que partes del carbón entren en contacto con la pista deslizante, esta es la causante del desplazamiento del anillo fluctuante, y en algunos casos quiebra del carbón con el agravante de parar la unidad como consecuencia de la perdida de estanqueidad del eje. Con la disminución del flujo, la posibilidad de que la caja de sellado entre en colapso, es aumentando, durante la partida de la maquina, por ese motivo se implemento la partida paso a paso de la unidad generadora, a fin de evitar un colapso instantáneo de la misma, ya que en la partida es el momento en que se produce la mayor parte de la ruptura de los carbones.

2.2 La ruptura de los pinos de guía del anillo fluctuante, había sido observada, por entonces en varias unidades. El mismo se debe a que, al disminuir el filme de agua formado, existían puntos del anillo de carbón, que entraban en contacto, con la pista produciendo un arrastre (lubricación Elastohidrodinamica) del anillo fluctuante, habiendo caso, en el cual el anillo, una vez quebrado los pinos guía se deslizo, quedando preso por las mangueras. Ya con valores menores que **190 (l/min)**., existen puntos en el cual no se forma totalmente el filme **$\delta > 10 \mu\text{m}$** de espesura. Esto como consecuencia de una subida no uniforme del anillo.

2.3 Sabiendo que el anillo fluctuante sube en forma inclinada, y que cuando el caudal de agua a la caja de sellado cae a 180 l/min. El caudal no garante la formación del filme mínimo requerido en algunos puntos. Ya que los valores de “ **δ** ” en la entrada de agua a la caja, con relación al valor mínimo es de 50 % del “ **δ** ” máximo.

El valor mínimo de “ **$\delta_{\text{min}} \geq 10 \mu\text{m}$** ” debe asegurarse, ya que al subir el anillo en forma irregular y que “ **$\delta_{\text{min}} \cong \delta_{\text{max}}/2$** ”. Deberá ser de “ **$\delta_{\text{max}} \geq 20 \mu\text{m}$** ” que corresponde a **210 l/min.** y **El: 138 m.** aguas abajo.

2.4 fue también observado que en Unidades que sufrieron ruptura del anillo de carbón también presentaron anillos despegados, los anillos internos, se encontraron despegados totalmente, en cuanto, que los externos casi en su totalidad. Como consecuencia de esto fue determinado, que el anillo fluctuante no sería mas levantado, para que no cayese el carbón del alojamiento, hecho que propicia la ruptura del carbón y ulterior desmontaje de la caja de sellado para el cambio del anillo postizo.

3. Necesidad de la formación del filme de agua mínimo.

El caudal de agua tienen 2 (dos) propósitos que sustentan el principio de equilibrio de la caja de sellado.

3.1 Elevación y fluctuación del carbón de la caja de sellado (**ANILLO DE SELLADO**).

3.2 Sellado del eje y refrigeración del carbón.

La presión en la cámara de presión de la caja de sellado, vence a la contra presión del canal de fuga **C_o**, mas los esfuerzos de los resortes 2, el sellado del labio “**U**”, los pesos del anillo de sellado, el anillo postizo y los anillos de carbón. De todos estos el único que es variable es la contra presión del canal de fuga, ya que el esfuerzo de sellado del labio “**U**” es función del anterior, teniendo su mayor valor cuando la maquina esta parada con el canal de fuga elevado. Con maquina parada estos esfuerzos no poseen grandes oscilaciones y el periodo que la maquina permanece parada no influyen significativamente sobre la variación de las cargas de modo a afectar la caja.

A) Es en la partida después de una parada el momento mas crítico de operación de la caja de sellado, en ese momento se producen los esfuerzos dinámicos máximos con coeficientes de rozamiento μ maximizados, en ese instante se producen las mayores perturbaciones en el ámbito hidrodinámico que colaboran a maximizar los esfuerzos, después de un rechazo de carga, momento en que realizan conjuntamente la mayor sollicitación sobre la tapa de la turbina y la caja.

Es en ese instante, que existe la mayor posibilidad de un súbito colapso, que puede ser quiebra de los carbones, si los mismos se encuentran despegados de la pista y en el alojamiento, o giro de los mismos. Esto ocasiona un rápido colapso de los carbones, caso, no se perciba rápidamente esta anomalía, pudiendo afectar la pista deslizante.

En caso de que los carbones se encuentren perfectamente colados podría producirse, él quiebre de uno de los extremos de los carbones de la pista interna, produciendo de esta manera el inicio de una falla que llevaría a erosionar el carbón en ese lugar, produciendo un descenso del anillo fluctuante. Con ello un cambio de estado

hidrodinámico, trayendo como consecuencia el rozamiento, entre la pista deslizante y el carbón, esto gastaría el carbón y también la pista. Inutilizando su uso ulterior de esas condiciones. (Lubricación Parcial).

B) La formación del filme varía en una faja que va desde la “**frontera de lubricación $\delta < 1\mu\text{m}$** ” hasta la “**lubricación hidrodinámica $\delta < 100\mu\text{m}$** ”.

Es por consiguiente una realidad que la caja pasa por todos los tipos de formación de película de agua o colchón de agua “ δ ”:

B.1) **Frontera de lubricación $\delta < 1\mu\text{m}$** , maquina parada y sin flujo de agua a la caja.

B.2) **Lubricación Parcial, $1\mu\text{m} \leq \delta \leq 5\mu\text{m}$** , falta de fluctuación del anillo, por traba en los elementos de fijación o caudal extremadamente bajo. La traba en la subida produciría un chorro abrasivo para los carbones de la parte interna. Operando en esta faja la caja, surgirán surcos en los carbones internos como consecuencia del contacto con la pista y en el anillo deslizante, con quiebre del carbón cuando los mismos se encuentren despegados (Protección por Trip)

B.3) **Lubricación Elastohidrodinamica, $3\mu\text{m} \leq \delta \leq 10\mu\text{m}$** , en esta región existen puntos del carbón que entran en contacto con el anillo deslizante, en este caso, al trabajar en la región más baja de la escala.

B.4) **Lubricación Hidrodinámica $5\mu\text{m} \leq \delta \leq 100\mu\text{m}$** , esta región es la que presenta mejores condiciones de operación para este tipo de sello. Como al inicio fué establecido por el proyecto trabajar en una faja de **$40\text{ m} \leq \delta \leq 55\mu\text{m}$** , para un caudal nominal de **200 l/min.**

Esa faja no se cumplió en realidad, y la caja no formaba dentro de esa faja y aun menos formaba una película uniforme.

La misma fluctuaba en forma inclinada con valores de **$30\mu\text{m} \leq \delta \leq 40\mu\text{m}$** , como máximo, en la entrada de la caja y **$10\mu\text{m} \leq \delta \leq 20\mu\text{m}$** , como mínimo.

Esto determino la necesidad de una nueva comprobación de la formación de película de agua, ya que cuando el nivel del canal de fuga aumenta, el caudal de **200 l/min.** disminuye y con ello cae la espesura de la película de agua lo que motivo la quiebra de algunas cajas a diferentes alturas del canal de fuga, a fin de adecuar los caudales para épocas de elevación del canal de fuga. Esto obliga a ampliar la faja de operación de la caja dando condiciones de escoger la mejor faja de operación; para cada nivel del canal de fuga, de modo a balancear la relación “**caudal de la caja x formación de película x nivel del canal de fuga**”.

Mejorando la situación de la fluctuación de la caja, se mejora la formación del colchón de agua, la inclinación y el propio arrastre del anillo fluctuante, ocasionando por

las “fuerzas hidrodinámicas, giro de la pista y oscilación de la presión del tubo de succión”, que producen esfuerzos de arrastre del anillo, descentrándolo, ocasionando con ello, esfuerzos variables de corte sobre los pernos guía. A manera de distribuir mejor los esfuerzos fueron aumentados de **4 a 8** los pernos guías; y para disminuir su descentrado se introdujeron bujes auto lubricantes, que por su vez minimizan la posibilidad de agarre del anillo en la subida de los carbones, de manera que la formación de la película se realice con menor resistencia, esto contribuye a disminuir la inclinación del anillo fluctuante a niveles admisibles y compatibles con la planicidad del carbón y la pista deslizante, cuyos valores son del orden de **7 μm** .

La región donde existe una operación satisfactoria se sitúa en la faja de **200 l/min. a 235 l/min.** garantizando un filme compatible con la inclinación, nivel del canal de fuga, oscilación hidráulica del tubo de succión, esfuerzos mecánicos sobre los pernos y los carbones despegados de su sede.

4. CONCLUSIONES

Mejorando la alimentación de la caja tornándolo más estable se mejora la fluctuación del anillo, así como se mejora la inclinación del mismo, se mejora la formación del filme de agua, evitando con ello que la pista de carbón entre en contacto con la pista deslizante, impidiendo de ese modo que los carbones que actúan como mecanismo de sellado conjuntamente con el agua se rompan o gasten, es mas en condiciones normales de operación prácticamente los carbones no sufren desgaste.

Mejora la posibilidad de que pueda ocurrir un agarre de la parte girante y la parte fija (carbones).

La región donde ocurre un mejor desempeño, mejor formación de filme de agua es entre 200 l/min. y 253 l/min. llegando a un valor mínimo de operación con 180 l/min. valor excepcional por debajo del mismo y en el orden de 170 l/min. ya empieza ha haber quiebra de carbones.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fundamentals of Fluid Film Lubrication.
Bernard J. Hamrock
Mc. Graw Hill
1994
- [2] Memorial de Calculo del Fabricante
Shaft Seal
5215-10-71371-1