

Señor
Rodrigo Espinoza V.
Subgerente Aseguramiento de la Operación
Coordinador Eléctrico Nacional
Teatinos N°280 – Piso 12
PRESENTE

MATERIA: RESPUESTA A CARTA DE N° 05242-18 – OBSERVACIONES AL INFORME DE MÍNIMO TÉCNICO DE UNIDAD 5 DE CENTRAL HIDROELÉCTRICA RAPEL.

De mi consideración:

De acuerdo con lo indicado en vuestra Carta DE N°05242-18, le informamos lo siguiente:

A modo de contextualizar la presente carta de respuesta, es importante aclarar que, en el año 2010, el rodete de la U5 de Rapel fue rediseñado por American Hydro, lo que implica que su comportamiento hidráulico sea distinto al resto de las 4 unidades Hitachi de la casa de máquinas. Lo anterior justifica que las restricciones o condiciones operacionales no sean similares al resto de las unidades en lo que respecta a:

- Potencia Máxima.
- Mínimo Técnico.
- Pulsaciones de Presión.
- Rangos de cavitación.

En relación con lo indicado anteriormente, a continuación comentamos las consultas realizadas por el Coordinador Eléctrico Nacional en su Carta DE N° 05242-18:

Comentario N°1 del Coordinador:

Para Rapel Unidad 5, se establece que la justificación para un mínimo técnico de 65 MW se reduce a sostener que la cavitación es baja sobre los 65 MW y se manifiesta en mayores vibraciones en el tubo difusor entre 20 MW y 60 MW, como se observa en la Fig. 9.7 del informe técnico, sin embargo, pese a que las amplitudes de las aceleraciones en el difusor son mayores a las registradas en otras potencias, no existe un valor umbral definido objetivamente que justifique una cavitación alta.

Efectivamente, existen normas internacionales para evaluar la severidad de vibraciones medidas en los descansos de las unidades. La severidad de las vibraciones en los descansos, se utiliza para evaluar fuerzas sobre el rotor de la unidad. Sin embargo, no existen normas internacionales para evaluar en forma absoluta la severidad de las vibraciones medidas en partes de su estructura, como es el tubo difusor. Al igual que en el caso de los descansos, al evaluar las vibraciones del tubo difusor, buscamos evaluar las fuerzas a las que está sometida dicha estructura. Para establecer un criterio de evaluación de severidad para las vibraciones del tubo difusor, es necesario establecer una evaluación

relativa a un punto o rango de operación en el que sea conocido que la unidad opera en forma segura, que corresponde al comportamiento de la unidad cerca de su potencia nominal. Se observa en la Fig. 9.7, que las amplitudes vibratorias bajo los 65 MW aumentan hasta tres veces la vibración medida en el rango en que se ha mantenido una operación segura de la unidad.

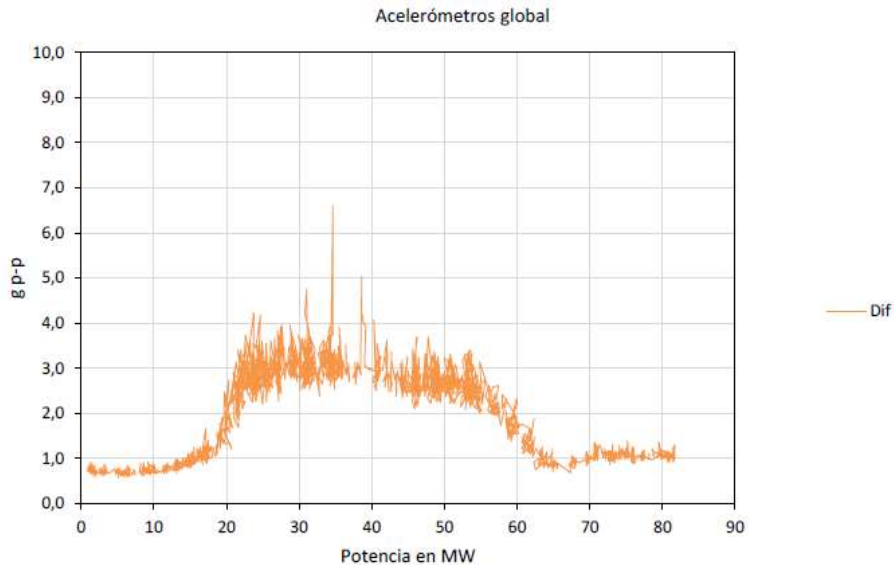


Figura 9.7. Amplitud pico a pico de la aceleración vibratoria en el difusor para distintas potencias

Debido a que los niveles entre 20 MW y 60 MW son del orden de hasta tres veces mayores que sobre 65 MW, entonces existirá una diferencia significativa en las expectativas de vida, por efecto de la fatiga en los pernos de la tapa turbina, en los pernos de la escotilla de hombre del difusor, o en la estructura del difusor.

De acuerdo a lo indicado anteriormente, se debe mencionar que no necesariamente una alta cavitación implica un aumento en las pulsaciones de presión, sin embargo, ambos fenómenos se presentan en condiciones de carga bajo el 50% del caudal o potencia nominal para una turbina Francis. El incremento de alguno de estos fenómenos necesariamente implicará un efecto directo en la disponibilidad final de la unidad. Ya sea esto por reparación por daños por impacto (altas pulsaciones de presión), o por la necesidad de tener que reponer los perfiles hidráulicos que se pierdan por efecto de la cavitación de la unidad, además de la recuperación estructural propiamente tal que podría afectar la integridad del rodete.

Para evitar esta diferencia en la expectativa de vida respecto a la fatiga de los componentes, se define el umbral en forma relativa, estableciendo que no se superen los valores normales de amplitud vibratoria registrada cerca de la potencia nominal y que se acercan a valores admisibles indicados en normas internacionales para los descansos.

Comentario N°2 del Coordinador:

Se argumenta que las pulsaciones podrían producir fatiga en rodete, estructura del tubo intermedio o pernos, pero como no se ha operado en cargas bajas no hay antecedentes

empíricos de dichos fenómenos. En lo observado en los gráficos, se muestra la posibilidad de operar en cargas desde los 10 MW a los 25 MW.

Efectivamente, en cargas bajas, hasta los 20 MW, el comportamiento de la vibración del tubo intermedio es similar al encontrado por sobre los 65 MW. Este comportamiento es normal en turbinas Francis debido a que el distribuidor se encuentra lo suficientemente cerrado como para que el fluido ingrese en forma de spray, sin provocar zonas locales de alta velocidad (por la diferencia entre los ángulos de salida del distribuidor y de entrada a los álabes del rodete). Sin embargo, operando a estas cargas bajas, se mantiene una pulsación de presión alta en comparación con la presentada cerca de la potencia nominal (ver Fig. 9.8).

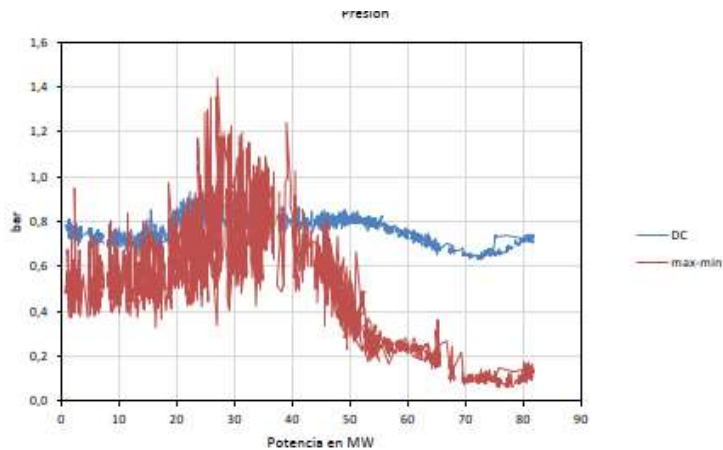


Figura 9.8. Presión media y presión máxima menos mínima en el tubo intermedio para distintas potencias

En estas condiciones de operación, nos encontramos con un fluido pulsante que provoca altas cargas. En el caso de turbinas hidráulicas, estas operan con un fluido de alta densidad distinto a otros tipos de turbinas, como las turbinas a vapor donde la densidad del agua es 500 veces mayor que la densidad del vapor saturado a 10 kg/m², o a las turbinas eólicas donde la densidad del agua es 800 veces mayor que la del aire.

Conocido es el desastre de la Central Hidroeléctrica Sayano en Rusia donde la unidad debido a las vibraciones de origen hidrodinámico y pulsaciones de presión, fatigó los pernos de la tapa turbina y ocasionó una de las fallas más emblemáticas en la historia de las centrales hidroeléctricas. Información sobre el desastre de la Central Hidroeléctrica Sayano se encuentra disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/271337225_What_Caused_the_Accident_at_the_Sayano-Shushenskaya_Hydroelectric_Power_Plant_SSHPP_A_Seismologist's_Point_of_View

y en:

<https://www.hydroworld.com/articles/print/volume-18/issue-1/Articles/Refurbishment/restoring-sayano-shushenskaya.html>.

En resumen tal como se ha expuesto en este informe, la operación bajo los 65 MW de la unidad N°5, presenta altos niveles de pulsaciones de presión en el difusor que pone en riesgo piezas y partes de la turbina debido a las cargas cíclicas se manifiestan. Tal como indica la teoría y la práctica, los fenómenos cíclicos de cargas acarrear irremediablemente las fallas por fatiga, que se presentarán de forma intempestiva y podrían ser catastróficas.

Es por lo anterior que se recomienda que la U N° 5 de Rapel, mantenga un valor de Mínimo Técnico de 65 MW.

Sin otro particular, saluda atentamente,

Miguel Buzunáriz

ENCARGADO
Enel Generación Chile

