

ESBWR. DISEÑO DEL CONDENSADOR Y BYPASS. MODO DE OPERACIÓN EN ISLA

M. A. Cristóbal

J. Soriano

Empresarios Agrupados, A.I.E.

SINOPSIS

Durante el desarrollo del proyecto ESBWR de General Electric (GE) se estableció como objetivo en el diseño que la planta pudiese operar en isla, es decir, evitar el disparo del turbogruppo y reactor tras un rechazo completo de carga, además de evitar la apertura de ninguna de las válvulas de seguridad.

En este modo de operación la turbina funciona a muy baja carga, por tanto consumiendo muy poco vapor (se estima que los auxiliares de planta suponen alrededor del 5% de potencia). Teniendo en cuenta que el reactor se sitúa en un nivel de potencia de aproximadamente del 60%, el resto de la energía deberá ser rechazada por el condensador directamente a través del Sistema Bypass de Turbina de Vapor. Esta situación (que es la situación final del rechazo de carga) no presenta problemas de diseño para el condensador ya que la energía que le llega en esta situación similar a la de operación normal. Sin embargo, en el instante inicial, la energía rechazada al condensador equivale a toda la energía térmica del reactor más la potencia de agua de alimentación. Esto supone que el 100% del vapor principal será derivado al condensador.

Durante la parte inicial de este transitorio se producirán picos de presión y temperatura en el condensador, pero para evitar el disparo de turbina el diseño del condensador y del bypass deberá cumplir que:

- *La temperatura cercana al escape de turbina deberá ser inferior a 65°C,*
- *La presión de condensación deberá ser inferior a la presión de disparo de turbina.*

Con el diseño inicial del condensador y sistema de bypass la presión máxima en condensador superaba ampliamente la presión de disparo de turbina ya que el condensador es de triple presión y la temperatura de agua de circulación elevada. Por lo tanto ha sido necesario modificar el diseño de estos sistemas. Se han analizado diferentes opciones de diseño para cumplir con estos requisitos utilizando un modelo dinámico del condensador que tiene en cuenta su inercia térmica. Finalmente se ha llegado a una solución de diseño que permite limitar la presión máxima del condensador durante el transitorio a valores aceptables sin tener que aumentar el caudal de agua de circulación. Para limitar la temperatura del vapor dentro del condensador se ha prediseñado un sistema de atemperación del vapor de bypass mediante la inyección de condensado.

.....

INTRODUCCIÓN

El ESBWR es un reactor BWR de GE que incorpora sistemas pasivos pertenecientes al grupo de Reactores Avanzados de Generación III⁺. El diseño contiene una importante reducción del número de bombas, válvulas, motores, tuberías y cables, ya que se reducen los sistemas de seguridad activos introduciendo el uso de sistemas de seguridad pasivos. Otra simplificación relevante es la eliminación del sistema de recirculación, mediante la circulación natural del refrigerante en operación.

Los datos principales del reactor son los siguientes:

Potencia térmica	4500 MWt
Presión del vapor	71.7 bar
Humedad del vapor	0.1%
Temperatura de agua de alimentación	~ 215 °C
Caudal de vapor principal	~ 8760 t/h

Durante el desarrollo del proyecto ESBWR de General Electric (GE) se estableció como objetivo en el diseño que la planta pudiese operar en isla, es decir, evitar el disparo del turbogruppo y reactor tras un rechazo completo de carga, además de evitar la apertura de las válvulas de seguridad en dicho transitorio solicitando a Empresarios Agrupados el diseño conceptual y los cálculos de apoyo de este modo de operación.

En este modo de operación la turbina funciona a muy baja carga, por tanto consumiendo muy poco vapor (se estima que los auxiliares de planta suponen alrededor del 5% de potencia). Teniendo en cuenta que el reactor se sitúa en un nivel de potencia de aproximadamente del 60%, el resto de la energía deberá ser rechazada por el condensador directamente a través del Sistema Bypass de Turbina de Vapor. Esta situación (que es la situación final del rechazo de carga) no presenta problemas de diseño para el condensador, ya que la energía que le llega en esta situación es similar a la de operación normal. Sin embargo, en el instante inicial, la energía rechazada al condensador equivale a toda la energía térmica del reactor más la potencia de agua de alimentación. Esto supone que el 100% del vapor principal será derivado al condensador.

Durante la parte inicial de este transitorio se producirán picos de presión y temperatura en el condensador, pero para evitar el disparo de turbina, el diseño del condensador y del bypass deberá cumplir que:

- -La temperatura cercana al escape de turbina deberá ser inferior a 65°C
- -La presión de condensación deberá ser inferior a la presión de disparo de turbina.

Con la descarga de vapor al condensador iniciada al producirse el rechazo completo de carga (más del 100% de operación normal), resulta necesario un diseño del condensador específico para afrontar el modo de operación en isla. Es decir, el condensador se diseña para que con un 100% de bypass, la presión de condensación no alcance el valor de disparo del turbogruppo. Esto hace necesario aumentar el caudal de agua de circulación y el tamaño del propio condensador.

Para reducir las fuertes restricciones de diseño que implica la operación en isla (condensador, y agua de circulación) se hace necesario modificar el transitorio del reactor, ya que modificaciones en el diseño del bypass, condensador y agua de circulación no son suficientes para evitar el aumento desmesurado de los parámetros de diseño (principalmente caudal de agua de circulación).

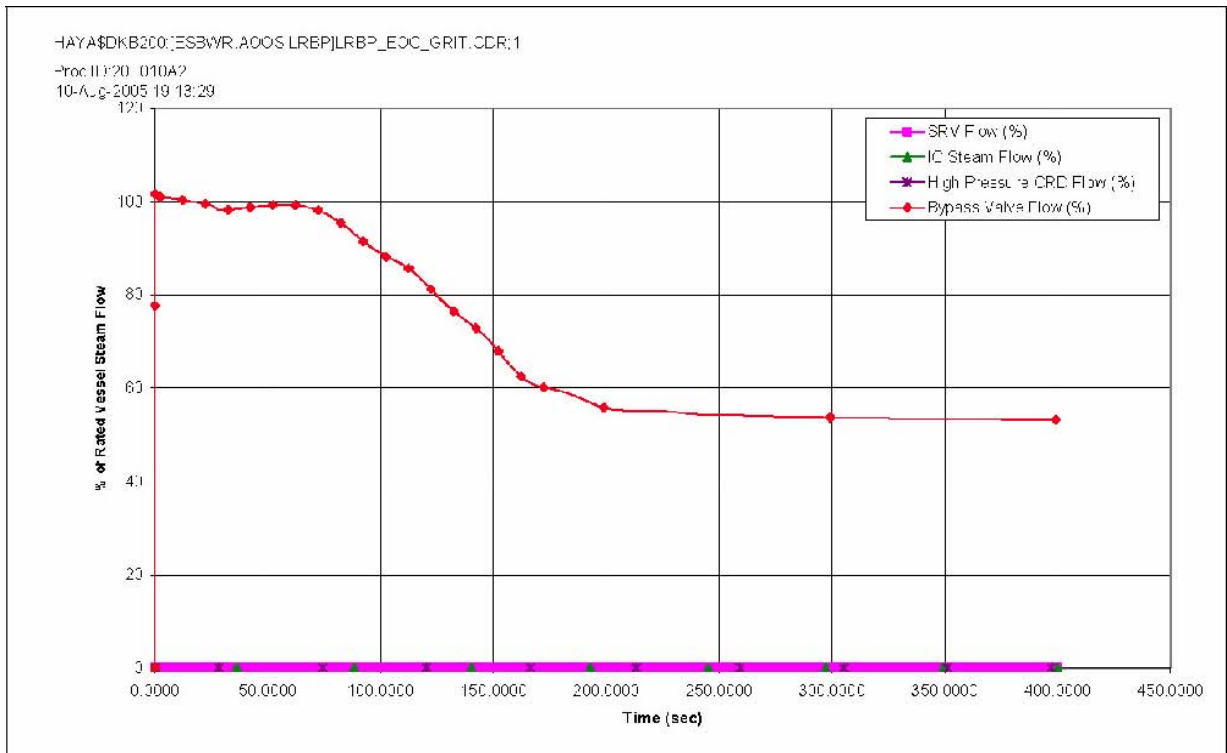
El condensador deberá ser diseñado para los parámetros de operación normal, y comprobar que la presión no alcanza la del disparo del turbogruppo en situación de rechazo completo de carga. Es necesario por tanto un estudio dinámico del comportamiento del reactor. Empresarios Agrupados ha apoyado a GE en el diseño de este modo de operación y en concreto, en la realización del modelo del condensador de triple presión con agua de circulación en serie se ha desarrollado bajo la herramienta EcosimPro. El modelo contiene tanto el condensador como las válvulas de atemperación accionadas mediante las variables de vapor de bypass y las condiciones del condensador.

La figura 1 muestra el caudal de vapor enviado al condensador durante el transitorio de rechazo completo de carga en la situación inicial. La figura 2 contiene el caudal de vapor con las modificaciones que han sido necesarias para limitar la cantidad total de energía que es necesario rechazar en el condensador.

La figura 3 muestra el modelo desarrollado en EcosimPro para los cálculos de la presión máxima alcanzada por el condensador.

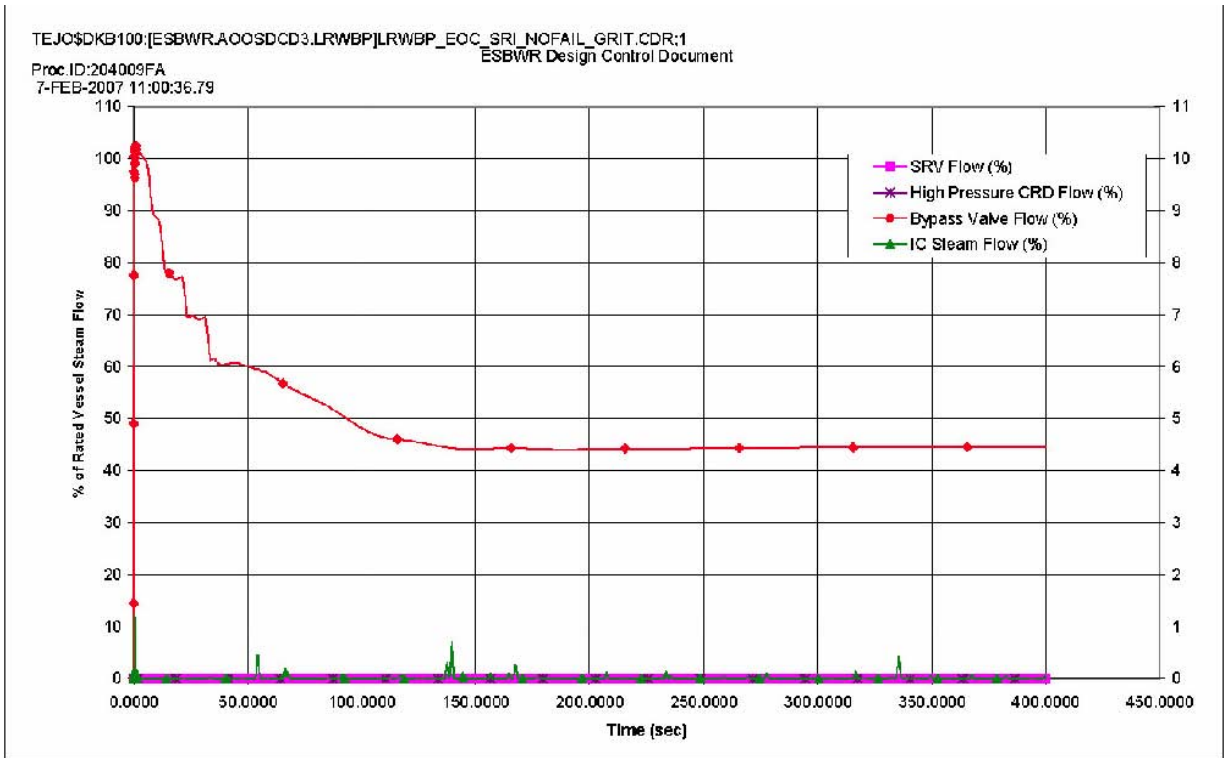
CONCLUSIONES

Los cálculos realizados por Empresarios Agrupados demuestran que no se alcanzan en el condensador los límites que producirían el disparo, demostrándose, por tanto, que este modo de operación es posible en el ESBWR.



Durante aproximadamente los primeros 60 segundos, el condensador recibe el 100% del caudal total de bypass. Esto implica que realmente no se produce un transitorio y el condensador y el caudal de agua de circulación deberían diseñarse para evitar el disparo del turbogruppo en estas condiciones, lo que implica un aumento del caudal de agua de circulación para afrontar la operación en isla.

Figura 1



El transitorio de caudal de vapor se hace más brusco mediante una modificación en los sistemas de control para acomodar el modo de operación en isla. En estas condiciones es necesario comprobar si un diseño del condensador orientado a la operación normal sería capaz de afrontar este transitorio evitando el disparo del turbogruppo. Por tanto se hace necesario un modelo dinámico de la situación.

Figura 2

ESBWR. DISEÑO DEL CONDENSADOR Y BYPASS. MODO DE OPERACIÓN EN ISLA

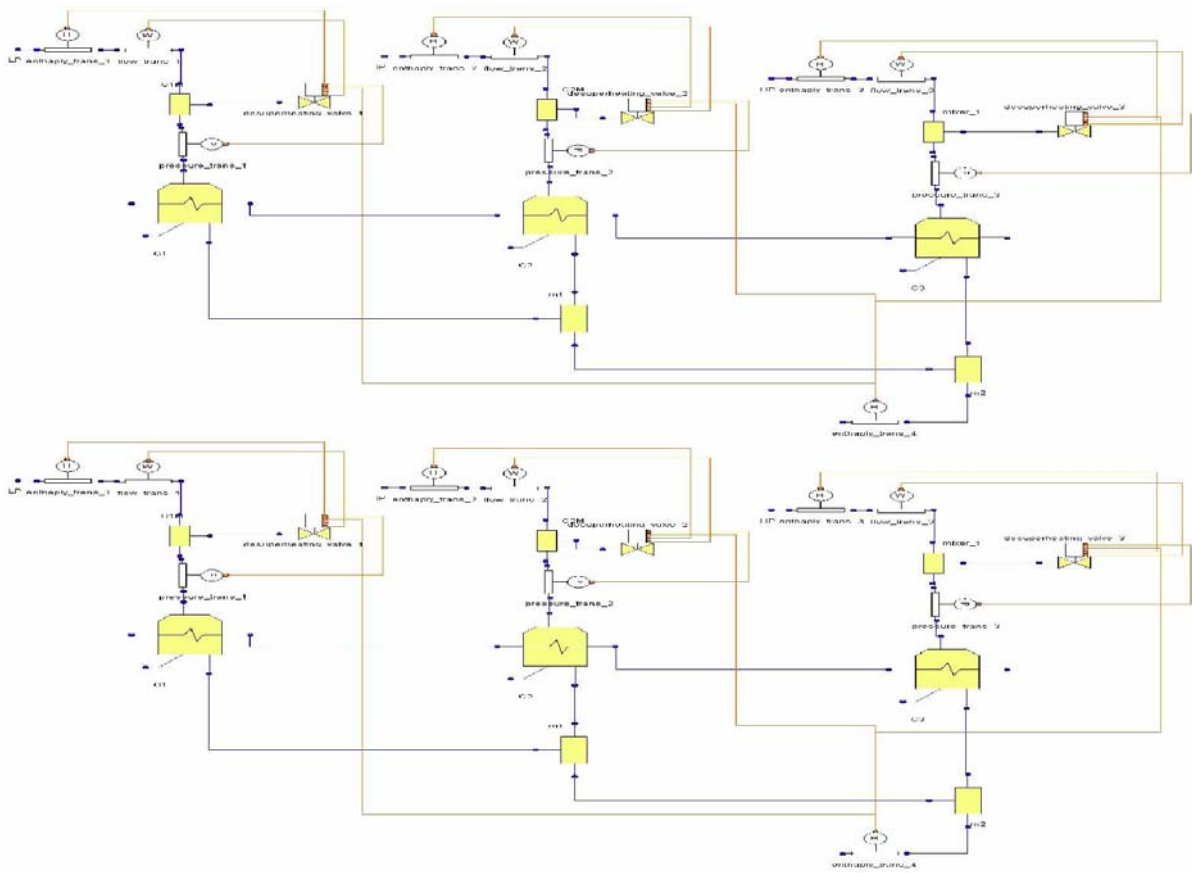


Figura 3. Modelo Dinámico de EcosimPro