

Simulación con TRACE del Transitorio de Parada Automática por Transferencia de 400 KV a 132 KV (RESA) en la Central Nuclear de Trillo

¹A.Romero, ¹J.L.Muñoz-Cobo, ²S.Chiva, ³J.M.Posada, ³J.C.Martinez-Murillo

¹Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera 14, Valencia 46022

²Universitat Jaume I, Campus Peñeta Roja, Castellón

AIE C.N. Almaraz-Trillo, Avenida Manoteras 46, Madrid

Resumen – La presente ponencia presenta un análisis realizado con el código TRACE del transitorio RESA que tuvo lugar en la Central Nuclear de Trillo en el año 2001. La comparación de los resultados de TRACE con los de planta puede considerarse satisfactoria, por lo que el código TRACE es una buena herramienta predictiva para este tipo de transitorios.

1. INTRODUCCIÓN

El código TRACE es el nuevo código consolidado de la NRC e incorpora un código auxiliar SNAP que es una inter-fase que permite crear los ficheros de entrada y visualizar los resultados del código TRACE. La presente ponencia presenta un análisis realizado con el código TRACE del transitorio RESA que tuvo lugar en la central nuclear de Trillo. La comparación de los resultados de TRACE con los de planta, nos permite evaluar las capacidades de de modelación de TRACE como herramienta predictiva.

El objetivo primero de este trabajo es completar y mejorar el modelo de TRACE para la C.N. de Trillo en los siguientes aspectos, i) incorporación de la cinética puntual al modelo de Trillo, ii) Mejorar la modelación de las líneas de vapor a la turbina y al bypass, iii) Mejorar la modelación del downcomer, iv) incorporación de distintos sistemas de control (calentadores, alimentación del secundario, válvula de bypass, energía de las bombas etc...), con el fin de simular apropiadamente el transitorio RESA.

El disparo no programado del reactor DNP-015 /R01/ del día 22/06/2001 en C.N. de Trillo, se produjo como consecuencia de una transferencia de 400 kV a 132 kV. El objetivo del presente trabajo es estudiar la capacidad predictiva de TRACE para este transitorio, tanto en el primario como en el secundario ya que se dispone de datos de planta de la evolución de las magnitudes termo-hidráulicas más importantes. Igualmente al disponer de los resultados de RELAP para este mismo transitorio se puede efectuar un análisis comparativo en que caso de que se desee de los resultados obtenidos con ambos códigos con el fin de analizar las fortalezas y debilidades de cada uno.

2. EL TRANSITORIO RESA

2.1 Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo es el de simular el comportamiento de la planta frente a un transitorio de parada automática por transferencia 400KV/132KV (RESA). Al dispararse la

turbina se producen una serie de actuaciones automáticas en la planta derivadas de dicho disparo.

En primer lugar, todos los sistemas principales de la planta que se alimentan de la energía eléctrica de la turbina dejan de actuar. Las bombas principales se paran, al igual que la alimentación del secundario. Prácticamente de forma inmediata se produce la inserción de las barras de control con lo cual solo queda la potencia residual debida a la desintegración de los productos de fisión.

En cuestión de segundos se reconecta el sistema RR, que consiste en dos bombas que alimentan el secundario de los tres lazos con la finalidad de recuperar el nivel de agua en los generadores de vapor.

Por otro lado, también actúan los calentadores del presionador, con la finalidad de amortiguar la caída de presión en el circuito primario.

El objetivo de este trabajo consiste en simular el comportamiento de la planta con el código TRACE, de forma que se ajuste la evolución de las variables a los datos obtenidos en el transitorio real.

2.2 Mejoras introducidas en el modelo de la central de Trillo para simular el transitorio RESA

En este apartado describimos una serie de mejoras que se han efectuado en el modelo de la central nuclear de Trillo con el fin de simular de forma adecuada el transitorio RESA.

2.2.1 Módulo RA modelos en RELAP y TRACE

Este módulo simula el sistema de vapor principal. Éste sistema es el encargado de conducir el vapor vivo, obtenido en los generadores de vapor por evaporación del agua de alimentación, hasta el cuerpo de alta presión de la turbina. Está formado por tres líneas una por cada generador de vapor.

La simulación del sistema de vapor principal RA dentro del módulo [ra] del modelo de Trillo con RELAP5/Mod3 /R04/, incluye las líneas de vapor principal desde los generadores de vapor ([yb]), la estación de válvulas y las líneas de turbina hasta las válvulas de parada y regulación de la turbina de alta presión.

En el modelo de TRACE para Trillo, se simulan únicamente las líneas de vapor principal, así como las líneas a la turbina, el colector, la entrada a turbina y el bypass tal y como se muestra en los apartados siguientes. La línea de vapor principal consiste en la línea que va desde la salida del generador de vapor y conduce el vapor hasta las llamadas "líneas a turbina".

Las líneas a turbina son aquellas que conducen el vapor hasta el colector. En este punto hay que comentar el hecho de que se han añadido en el modelo de TRACE dos componentes TEE para realizar la conexión entre estas líneas y el colector.

El modelo del colector a turbina en TRACE consiste en una tubería de mayor sección la cual se encarga de llevar el vapor producido en los tres generadores de vapor desde las líneas de vapor hasta la turbina. La admisión a turbina se simula mediante una única componente VALVE que condensa las cuatro líneas de admisión existentes. Se simula mediante esta componente la válvula de cierre rápido 911.

2.2.2 Renodalización del DOWNCOMER del generador de vapor

Se observó durante el estudio del disparo de turbina que en el secundario del generador de vapor había problemas con la recirculación del líquido del riser al downcomer. Se buscó una solución y se observó que mejoraba el resultado realizando una renodalización. Con este objetivo se eliminaron las componente PIPE 640, 740, 840 incluyéndose en las componentes 600, 700, 800 respectivamente.

2.2.3 Inclusión del modelo de cinética puntual

El siguiente paso fué introducir un modelo de cinética puntual. Éste modelo trata de reproducir de forma simplificada la potencia generada en el núcleo del reactor teniendo en cuenta los distintos tipos de realimentación que puede sufrir la reactividad: por temperatura del combustible (Doppler), por temperatura del moderador, por fracción de huecos, por inserción de barras de control y por boro disuelto. También se introdujo el calor residual debido a la desintegración de los productos de fisión, así como la historia de potencia del reactor.

En el modelo que se ha introducido en TRACE, se utiliza la aproximación de parámetros separados en la que las contribuciones a la reactividad global del núcleo de los siguientes parámetros se consideran independientes entre sí:

- Variación de la temperatura del moderador.
- Variación de la densidad del moderador.
- Variación de la temperatura del combustible.
- Variación de la concentración de soluto.

Se implementaron además los siguientes parámetros:

- Fracción total de neutrones diferidos.
- Fracciones (β_i) y constantes de decaimiento (λ_i) de los 6 grupos de precursores de neutrones diferidos.
- Tiempo de generación de neutrones instantáneos (τ).
- Fracciones de potencia generada por los isótopos fisibles ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu .

2.2.4 Implementación en TRACE de los controles necesarios para reproducir de forma correcta en transitorio.

Se incluyeron los siguientes controles en el modelo de planta de TRACE:

i) Sistema de control de la alimentación del secundario

El control de alimentación del secundario, funciona de manera que en estado estacionario inyecta 550 Kg/s por generador. En el caso de disparo de turbina, al bajar el nivel del secundario por debajo del valor de 10.2 m tal y como se establece, se ponen en marcha las bombas del sistema RR, y se pasa a inyectar una cantidad en Kg/s y por lazo proporcionada por una tabla.

ii) Sistema de control de los calentadores

El control de los calentadores se realizó en una primera etapa de igual manera que aparece en el input del código RELAP que se nos había proporcionado. Se siguieron las operaciones que se realizaban en RELAP y se implementaron de igual forma en TRACE.

iii) Control de la válvula de bypass:

El control de la válvula de bypass se hizo en una primera fase de la misma forma que en el código RELAP. Éste control, en función de la presión en el colector y del valor del trip del disparo de turbina, proporciona la posición de la válvula.

Ya que mediante este control no lográbamos simular bien el pico inicial de la presión de vapor del secundario y el posterior steam-down del secundario, y dicho control nos producía oscilaciones de presión. Siendo la media de dichas oscilaciones entorno al valor correcto de 80 bares, pero oscilando ± 0.5 bares. Entonces, se optó por colocar un control más simple, el cual actúa en función del valor de la presión en la válvula de vapor principal (MSV). Se entra con este valor de la presión en una tabla y se abre o cierra la válvula en función de este valor. Con este control se lograron resultados correctos de la presión tanto del pico inicial como de la fase posterior.

3. CONDICIONES DEL ESTACIONARIO

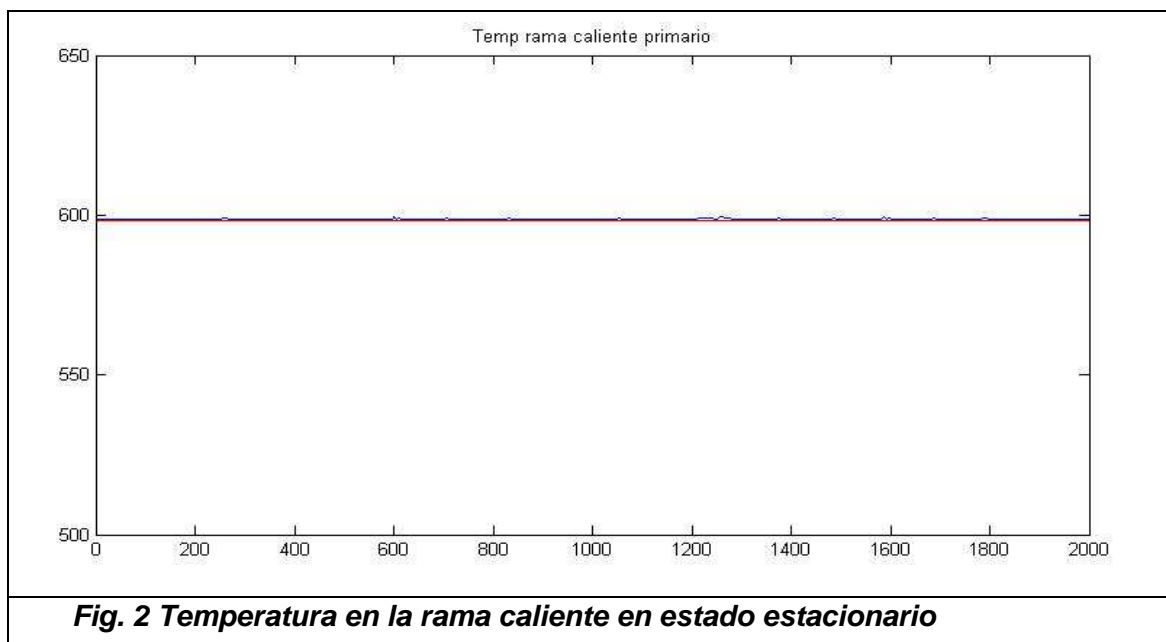
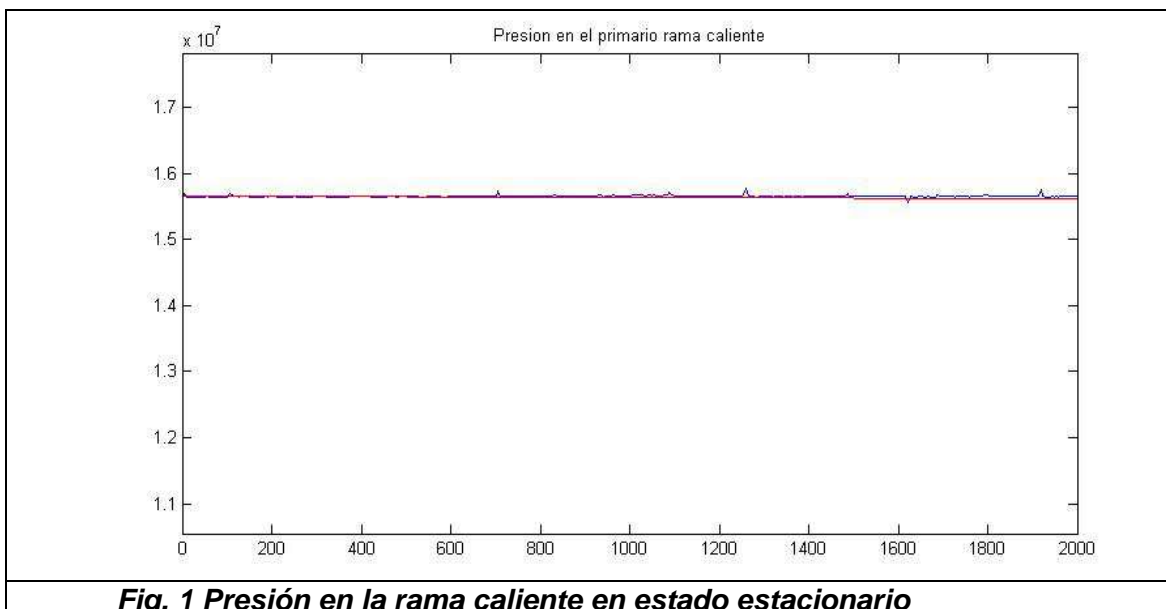
En primer lugar, ha habido que llevar el modelo de TRACE para Trillo a las condiciones del estacionario que se tienen en el régimen de funcionamiento normal de la planta es decir operando a 3023 MW y 156,7 bares en la rama caliente. Ya que anteriormente se había estado trabajando con las condiciones de la planta durante las pruebas del presionador que eran diferentes de las requeridas para este caso.

Para ello se realizaron unos controles interactivos para ir aumentando la potencia a la vez que se iba jugando con la alimentación del secundario y con la potencia entregada a los calentadores. De esta forma se consiguió que el modelo de TRACE tuviese las condiciones de partida nominales de planta.

Además en estas condiciones el modelo se mantiene en estado estacionario con las magnitudes en su valor de referencia, tal como puede verse en la figura 1, en la cual la presión que se muestra en azul es la de la rama caliente justo a la salida de la vasija tal como se obtiene con el código TRACE. El valor que se debe tener en estacionario, para las condiciones previas al transitorio que se trata de reproducir en este trabajo según los

datos de planta, es de 156.7 bares en la rama caliente (en rojo). Vemos como se mantiene ese valor constante a lo largo del tiempo en la figura 1.

Vemos igualmente en la figura 2 como se mantiene constante la temperatura en la rama caliente, siendo el valor de referencia de planta (en rojo) de 598 °K.



4. EL TRANSITORIO RESA

El disparo no programado del reactor DNP-015 /R01/ del día 22/06/2001 en la C.N. de Trillo, se produjo como consecuencia de una transferencia desde el parque de 400 kV a 132 kV, desde condiciones del 100% de potencia.

El disparo de las bombas principales YD10/20/30D001 conduce al disparo del reactor, mientras que el disparo de las bombas de agua de alimentación RL01/02/03D001 deja en manos del sistema de arranque y parada (RR) el aporte de agua a los GG.VV., y la evacuación del vapor se realiza con el bypass de turbina (SF).

El disparo de turbina es detectado por el sistema de limitación de forma que inicia la inserción síncrona de 2 bancos D de barras de control.

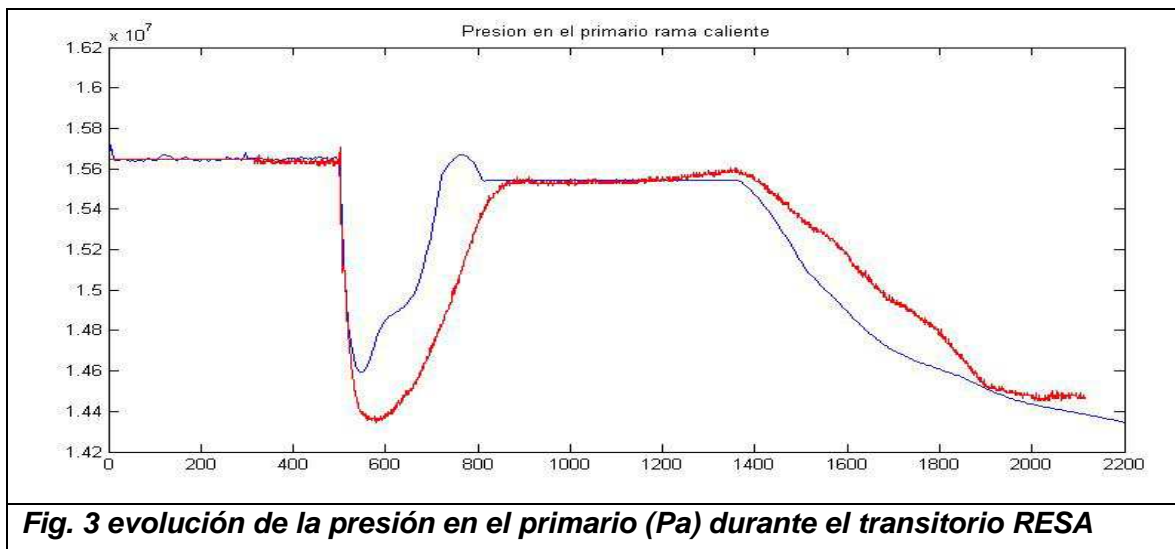
A continuación se muestra una tabla con la cronología de los sucesos de planta y los resultados obtenidos con el modelo de la CN de Trillo para el código RELAP (2001).

Tabla 1 Condiciones iniciales y secuencia de sucesos en RESA

| C.Iniciales: Planta al 100% de potencia C-14: | | | |
|---|--------------|-----------|---|
| PRIMARIO (N.P.=7.8m, P=157 bar, Tm=310°C, 1 Bomba del TA en operación) | | | |
| SECUNDARIO (PGV=69.5 bar, Nivel=12.m, PACT= 1060Mw, Caudal RL=552kg/s/GV, RL01/02D001) | | | |
| PLANTA | RELAP | | Suceso Inicial: (t=20seg) |
| mm:sg | mm:sg | sg | Transferencia de 400kV a 132 kV. |
| 00:00 | 00:00 | 0 | Desconexión de consumidores (YD,RL,RM,RR,TA..) Disparo de turbina por vigilancia hidráulica. |
| 00:00.87 | 00:00.95 | 0.95 | Caída de barra: STAB 51,52,53,54 Caída de barra: STAB 61,62,63,64 |
| 00:01 | 00:00.98 | 0.98 | RESA / TUSA por Velocidad 2/3 BRRs < 94%. |
| 00:09 | 00:08.6 | 8.6 | Nivel en 1/3 GG.VV. < 10.2 m. |
| 00:13 | 00:13 | 13 | Arranque RR01/02 D001 (2º escalón transferencia) |
| 00:35 | 00:34 | 34 | Nivel mínimo en GG.VV. (7.56m / 7.34m). |
| 22:00 | 23:00 | 1380 | Nivel YB10L951 recuperado (> 12 m.) |

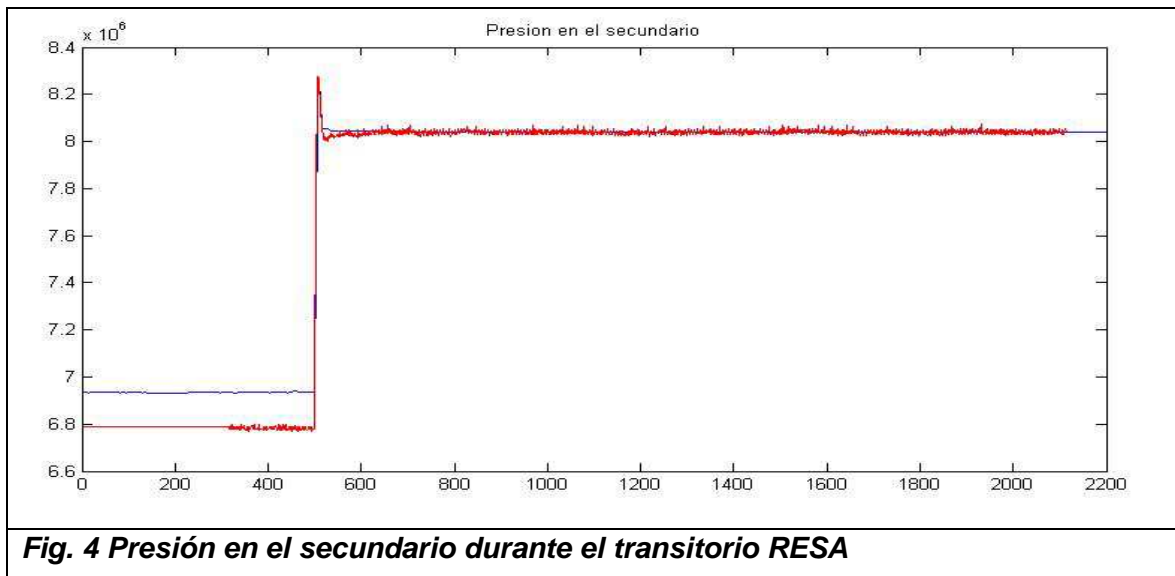
A continuación se muestra la gráfica de la evolución de las magnitudes mas importantes en el primario y secundario, obtenidas con el código TRACE, durante el transitorio RESA. La primera gráfica que se muestra es la de la evolución de la presión con el tiempo. En este caso lo que ocurre es que el disparo de turbina, es detectado por el sistema de limitación, de forma que se inicia la inserción de las barras D de control, obsérvese el pequeño pico de presión al comienzo del transitorio, que se corta en seco debido a la

inserción de las barras de control. El descenso en las revoluciones de las bombas principales origina la inserción del resto de barras de control. Debido a que al inicio de transitorio las bombas no se han parado del todo pero la potencia ha disminuido prácticamente a la residual por la inserción de las barras de control, existe una disminución de la presión en el primario que depende fundamentalmente de la transferencia de calor primario-secundario que viene gobernada por el número de Nusselt en el interior de los tubos de los generadores de vapor en el primario que a su vez depende del número de Re en el interior de dichos tubos y del número de Prandtl por la ecuación de Dittus-Boelter, al irse parando las bombas del primario llega un momento en que la presión en el primario deja de disminuir, por ser menor la transferencia de calor primario-secundario, y comienza a aumentar tal como se observa en la figura 3. La presión aumenta hasta que las condiciones pasan de circulación forzada a circulación natural, en el momento en que se establece la circulación natural se produce una transmisión de calor constante primario secundario que origina que la presión se estabilice tal como se observa en la figura 3. En el secundario se observa que la presión de vapor presenta un pico al principio del transitorio, que origina la apertura de las válvulas de bypass de turbina.

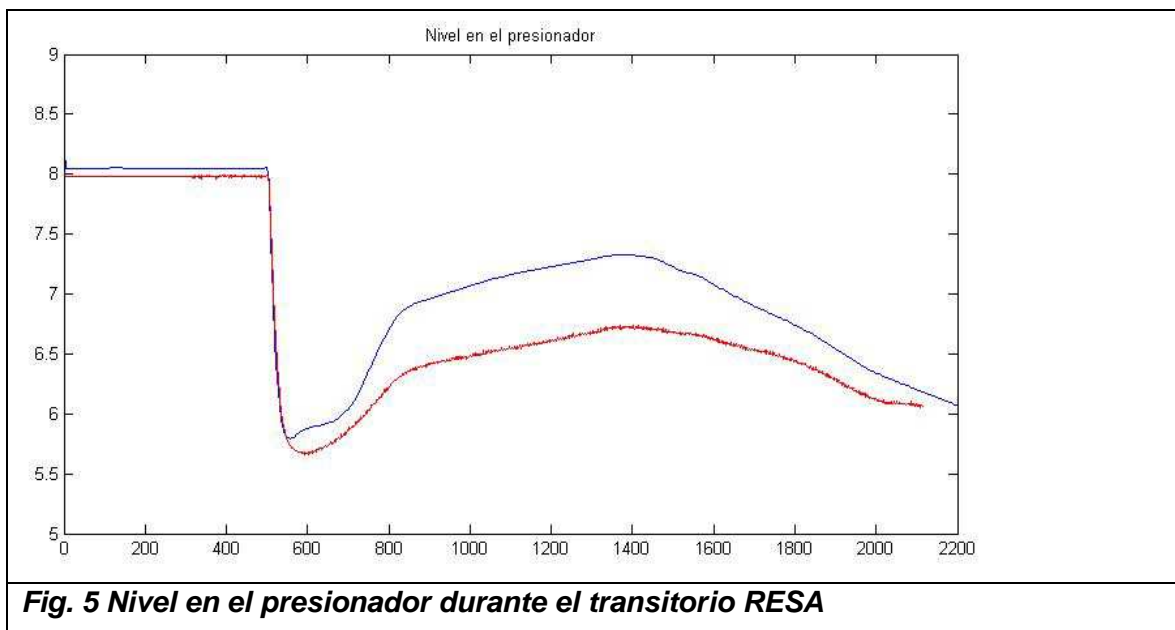


En rojo se muestra la presión medida en la rama caliente durante el transitorio de planta. En azul aparece la presión de la rama caliente que se obtiene con el código TRACE.

La presión del secundario está gobernada, al producirse el disparo de turbina, por el control que gobierna la posición de apertura de la válvula de bypass. Éste control se ha implementado siguiendo el control existente en el input de RELAP de que se dispone. Con este control se obtenía una gráfica de presión que oscilaba mucho y debido a ello se ha implementado otro algo más sencillo. Se observa en la figura 4 que se reproduce bien el pico de presión inicial, y también la inmediata bajada posterior. Tras esta bajada la presión se estabiliza bien en el mismo valor que los datos de planta.

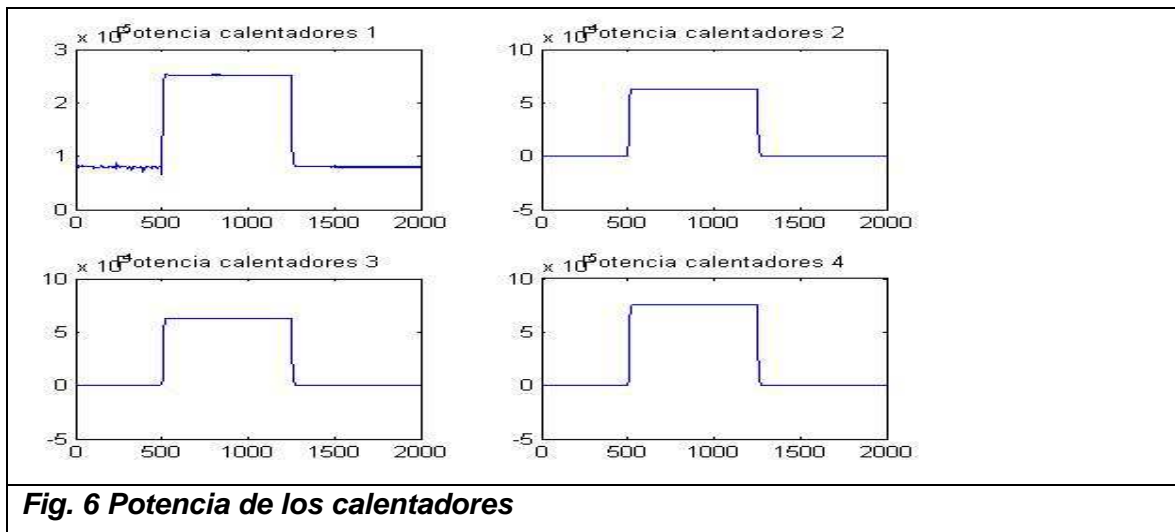


A continuación se muestran las gráficas del nivel de agua del presionador de planta (azul) y calculada con TRACE (roja):



Se observa como el nivel del presionador simulado con TRACE baja aproximadamente lo mismo que lo medido en planta, aunque posteriormente se recupera algo más el nivel del presionador en el modelo de TRACE que en la planta.

A continuación se muestran las gráficas de la potencia de los calentadores durante el transitorio:



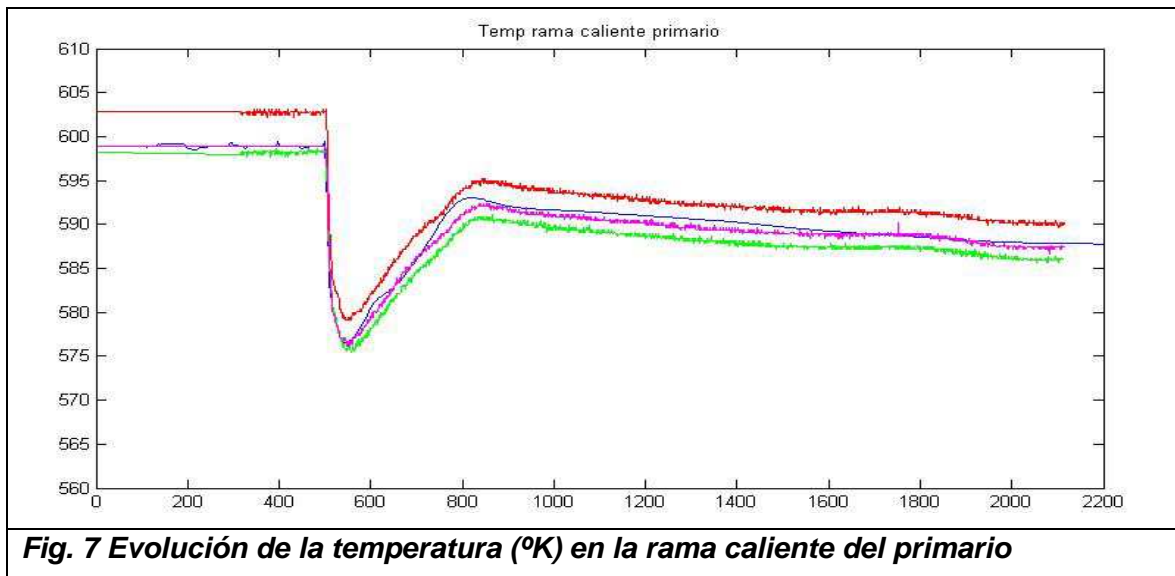
En la gráfica, podemos ver la potencia proporcionada por los calentadores. En primer lugar está la etapa de básicos, la cual aporta 80 Kw en estacionario, pasando a 252 Kw en el transitorio. Por otro lado están la primera y segunda etapa de 63 Kw cada una a partir del disparo de turbina. Éstas actúan al bajar la presión por debajo del valor nominal en 0.9 y 1 bares respectivamente.

También actúa la cuarta etapa de 756 KW, a partir de bajar la presión por debajo de la nominal en una cantidad igual a 4.5 bares según aparece en el módulo que se dispone.

A continuación se muestra la tabla de set-points para las etapas de los calentadores que se nos proporcionó:

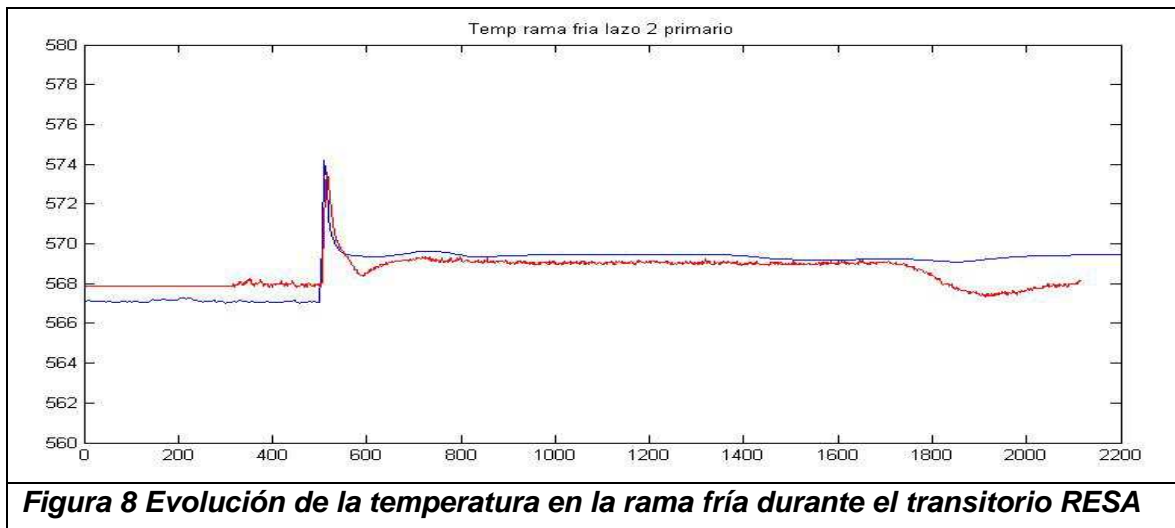
| | ON | OFF |
|----------|----------------------|----------------------|
| 1ª Etapa | Diff. Presión < -1.0 | Diff. Presión > -0.9 |
| 2ª Etapa | Diff. Presión < -1.5 | Diff. Presión > -1.0 |
| 3ª Etapa | Diff. Presión < -4.5 | Diff. Presión > -3.0 |

A continuación se muestran las gráficas de planta de las temperaturas en las ramas calientes de los lazos del primario. Se muestra una de las calculadas por TRACE en color azul, observándose que los resultados son similares a los de planta. En este caso la comparación debe hacerse entre la línea azul y la línea morada para que las temperaturas correspondan al mismo lazo.



La gráfica de la temperatura de la rama caliente se asemeja bastante a la variable de planta en cuanto al punto de inicio, a la bajada inicial, y la recuperación posterior, lo cual quiere decir que la transmisión de calor primario secundario se comporta adecuadamente. Se observa que la bajada inicial y la posterior recuperación se ajusta perfectamente a los datos de planta, lo cual lleva a pensar que el modelo de cinética, los calorifugados en el primario, y el calor transferido al secundario se han modelado correctamente.

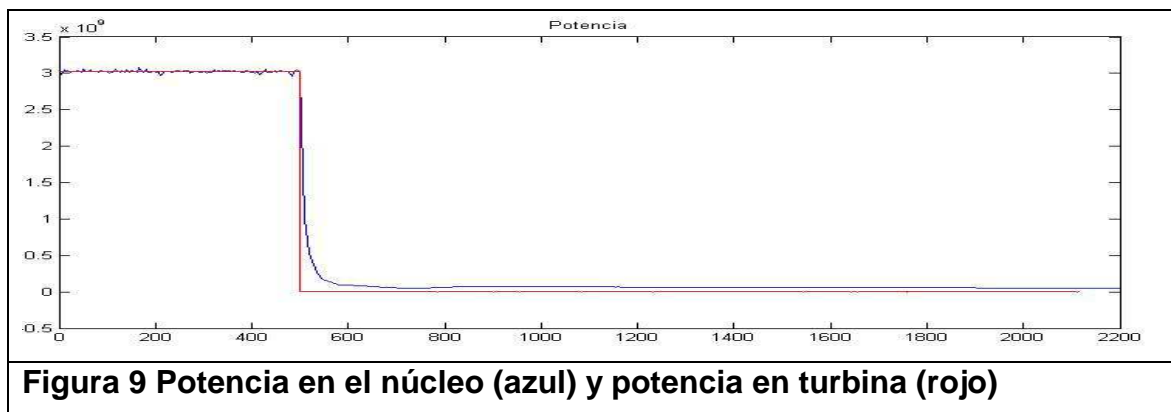
En la siguiente figura se muestra la gráfica comparativa de la temperatura en la rama fría obtenida mediante TRACE (azul) y el dato de planta (rojo).



Se observa al principio del transitorio un aumento de la temperatura en la rama fría debido a que el aumento de la presión y la temperatura en el secundario antes de abrirse la válvula de bypass hacen que disminuya la transferencia de calor y por lo tanto aumente la temperatura en la rama fría al principio del transitorio. Por lo tanto la temperatura en la rama fría la fija la regulación del sistema de bypass de turbina. A medida que aumenta la temperatura en la rama caliente disminuye la densidad en la zona de subida de los tubos

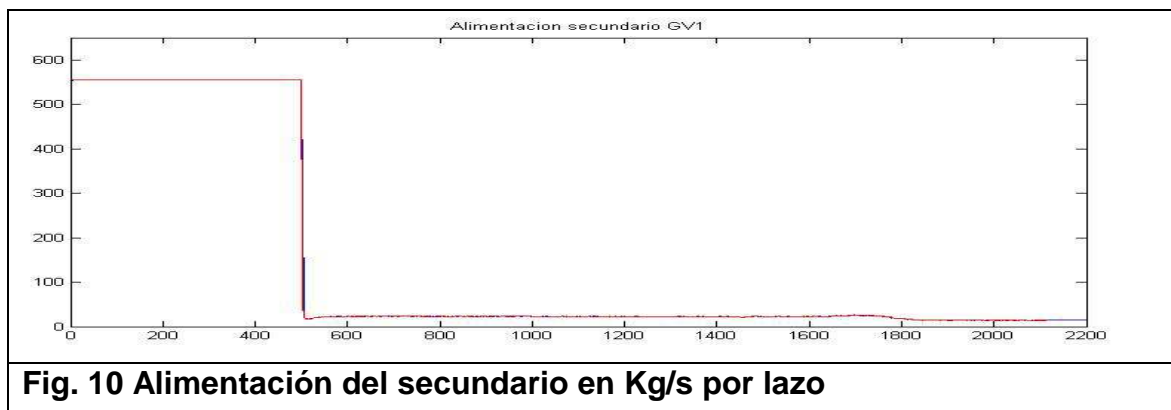
en U de los generadores de vapor, lo que aumenta la fuerza impulsora de la circulación natural, y por lo tanto aumenta su caudal lo que favorece la transferencia de calor primario secundario, lo que favorece la disminución de temperatura en la rama fría y a su vez provocará una posterior disminución de la temperatura en la rama caliente lo que tiende a autorregular el caudal y el ΔT para de esta forma transferir al secundario el calor residual generado y el estructural.

En la siguiente gráfica se muestra la potencia del núcleo que tenemos con el modelo de TRACE y el valor de planta.



Se observa que se ajusta exactamente la caída de potencia en el núcleo en Relap y Trace (verde y negro respectivamente). La curva en rojo es la potencia en la turbina, la cual baja directamente a cero al cerrarse la válvula de vapor a la misma. Sin embargo la curva en azul da la potencia generada en el núcleo que tiene en cuenta la potencia diferida generada por los productos de fisión. Se asume por lo tanto que las tarjetas de la cinética puntual se han implementado con éxito para este transitorio, y simulan la potencia generada en el núcleo correctamente.

A continuación se muestra las gráficas de la alimentación (kg/s) del secundario:



A continuación se muestra la gráfica del flujo de vapor por el colector a turbina:

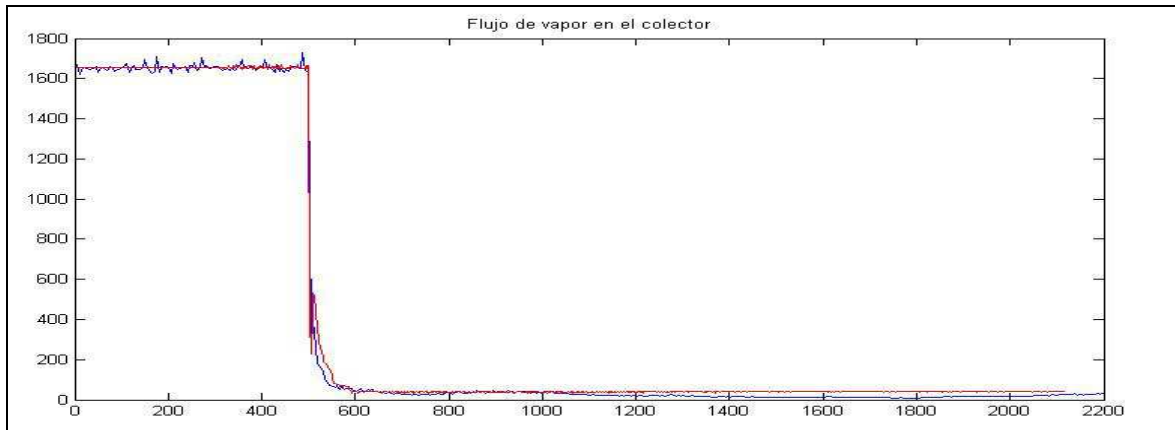


Fig. 11 Flujo de vapor (kg/s) por el colector en función de t (s)

Se observa que el flujo de vapor por el colector que proporciona TRACE, se ajusta bien a la gráfica de datos de que disponemos en el informe de planta. Esto nos indica que el calor transferido primario secundario debe ser correcto.

A continuación se muestran las gráficas del nivel de agua (m) del secundario en la planta y en TRACE:

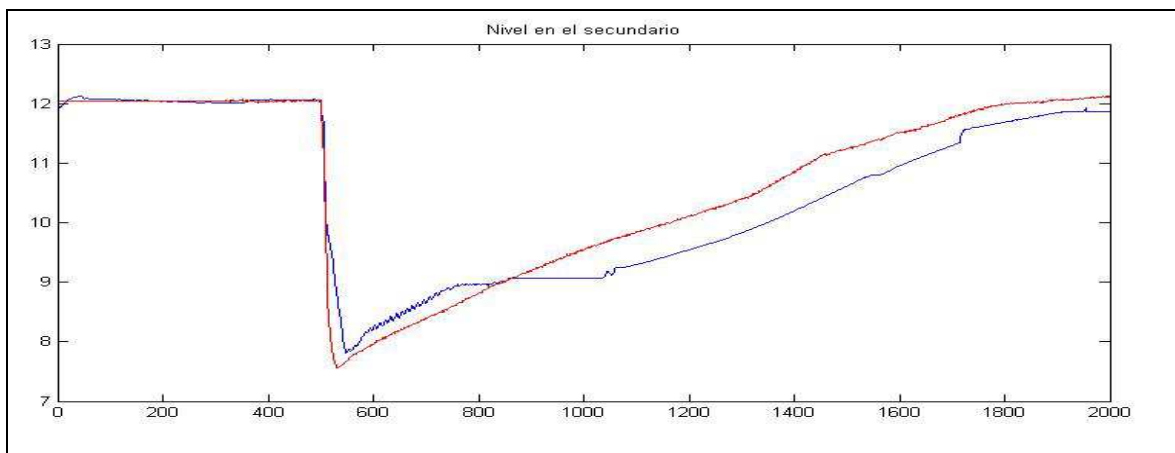


Fig. 12 Nivel en el secundario de los GV en m en función de t (s)

Se observa en la gráfica como el nivel del secundario es muy similar al obtenido durante el transitorio de planta. Al principio el nivel baja muy deprisa pero la actuación del sistema RR recupera el nivel en el secundario de los generadores de vapor.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en el presenta trabajo, después de realizar una serie de mejoras en el modelo para TRACE de la C.N. de Trillo, son las siguientes:

1- Con el modelo de TRACE para la CN de Trillo se reproduce correctamente la caída de nivel en los generadores de vapor y su posterior recuperación por el agua de alimentación inyectada por el sistema RR.

2- Con el modelo de TRACE se reproduce adecuadamente la temperatura en las ramas calientes de los lazos del primario, lo que implica que todos los sucesos relacionados con la generación de calor en el primario y la transferencia de calor primario secundario se encuentran adecuadamente simulados.

3 El flujo de vapor (Kg/s) en el colector se reproduce de forma adecuada, lo que quiere decir que la transferencia de calor primario secundario y las condiciones de presión del secundario son las correctas.

Por lo tanto podemos concluir que la serie de mejoras introducidas en el modelo de TRACE para la central nuclear de Trillo dan resultados aceptables para este transitorio.

AGRADECIMIENTOS

Se quiere agradecer el apoyo prestado por todos los componentes del proyecto CAMP.

REFERENCIAS

J.C.Martinez-Murillo, "C.Trillo. Parada automática del reactor por transferencia de 400 Kv a 132 KV. Reproducción del disparo DNP-015 con el código RELAP5/MOD3.2. Informe CNT1-TH-92 Archivo CO-01/003. (2001).

J.C.Martinez-Murillo, "Descripción del modelo de Simulación de Trillo con RELAP+NPA", Report CNT1-TH-111 (2000)

F.Odar, C.Murray, R.Shumway, M.Bolander, D.Barber, J.Mahaffy, "TRACE V4.0 User's Manual", U.S.Nuclear Regulatory Commission, (2004)

Relap5 Team, " RELAP5/MOD3 Code Manual", Report NUREG/CR-5535, INEL-95/0174, EGG-2586, (1995)