

## Traducción del modelo de planta de CN Cofrentes del código TRAC-BF1 a SNAP-TRACE

A. Escrivá<sup>(1)</sup>, J.L. Muñoz-Cobo<sup>(1)</sup>

A. Concejal<sup>(2)</sup>, J. Melara<sup>(2)</sup>, M. Albendea<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Ingeniería Energética. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. Tel.: 963877631, Email: aescriva@iqn.upv.es

<sup>(2)</sup> Iberdrola Ingeniería y Construcción, S.A.U., Avenida de Manoteras 20 28050-Madrid

<sup>(3)</sup> Iberdrola Generación c/ Tomás Redondo 1 28033 Madrid

*Las herramientas de simulación SNAP-TRACE están siendo desarrolladas y actualizadas por la NRC y el grupo de usuarios de las mismas, con el fin de que simulen el comportamiento termohidráulico de una instalación o central nuclear.*

*Dentro de las líneas de investigación del Grupo de Termohidráulica e Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Valencia, así como IBERDROLA, se encuentra el estudio, análisis y utilización de estas nuevas herramientas. En esta ponencia se presenta el trabajo realizado conjuntamente para la obtención de un modelo de planta de la CN de Cofrentes que se pueda utilizar con estas nuevas herramientas.*

*Se pretende desarrollar un modelo tridimensional de CN Cofrentes cuyos resultados sean consistentes comparándolos con los programas de uso actual (TRAC-BF1, RETRAN) validados con datos de planta. Esta comparación no debe hacerse globalmente ya que puede llevar a compensación de errores. Para comprobar la correcta traducción se han comparado los resultados obtenidos con TRACE y los programas actualmente en uso y se han realizado los correspondientes ajustes, teniendo en cuenta que las correlaciones y modelos de ambos códigos son diferentes.*

*Durante la realización de este trabajo se han detectado diversos errores que deberán ser subsanados en las futuras versiones de estas herramientas.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La traducción del modelo de planta de CN Cofrentes del código TRAC-BF1 [1] a SNAP-TRACE [2-3] es un trabajo de I+D+i que se está realizando conjuntamente entre IBERDROLA y el Grupo de Termohidráulica e Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Valencia.

El modelo de partida de TRAC-BF1 se basa en el modelo de planta licenciado para análisis de LOCA con las modificaciones necesarias para la ampliación del espectro de transitorios posibles a simular. Los datos obtenidos con este modelo se utilizan como base para las comparaciones entre ambos modelos.

La traducción se realiza en varias fases, mediante la subdivisión del modelo de partida en modelos simples que son traducidos de manera aislada. Posteriormente se realiza el ensamblaje completo del modelo y su ajuste en estado estacionario. En una primera fase se tradujeron las líneas de vapor y líneas de recirculación [4].

En esta ponencia se describe la traducción de la vasija, las bombas de chorro, el ensamblaje del modelo completo así como la introducción de algunos modelos nuevos (como los secadores y separadores) no presentes en el modelo de partida.

Una vez ajustado el modelo estacionario se procederá a la ejecución de diferentes casos transitorios, para verificar si el comportamiento de ambos modelos y códigos es similar.

## 2. MODELO DE PARTIDA

En las figuras 1 y 2 se muestra un esquema del modelo de la CN de Cofrentes utilizado como base en este trabajo de I+D+i, en la primera se muestra la vasija y en la segunda la línea de vapor. Como se puede apreciar la vasija está dividida en 11 niveles axiales y 4 anillos radiales, e incluye los sistemas de refrigeración de emergencia.

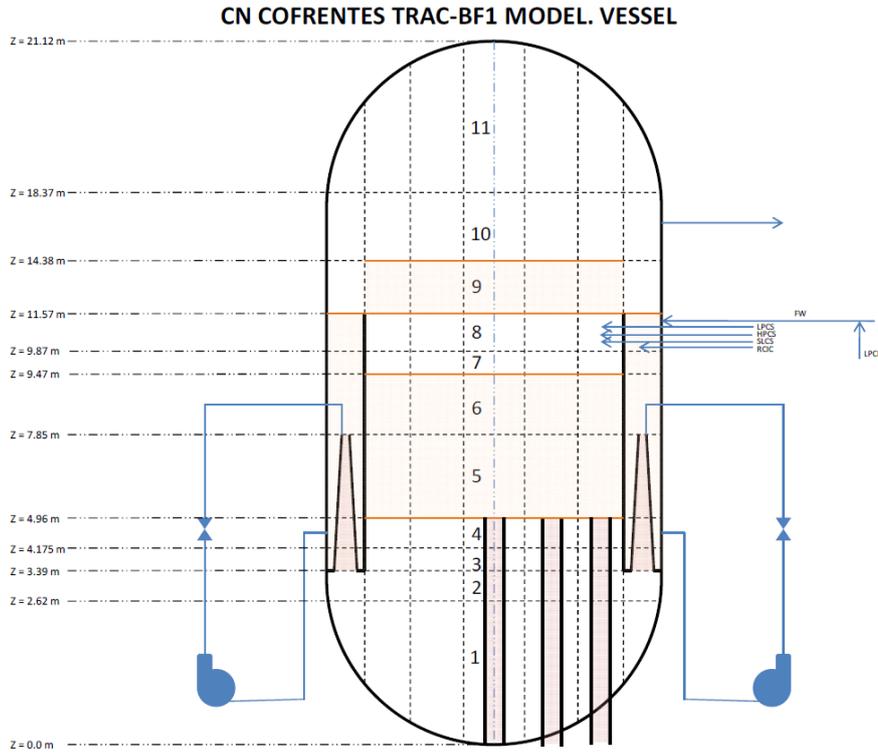


Figura 1. Modelo de la vasija de la CN de Cofrentes.

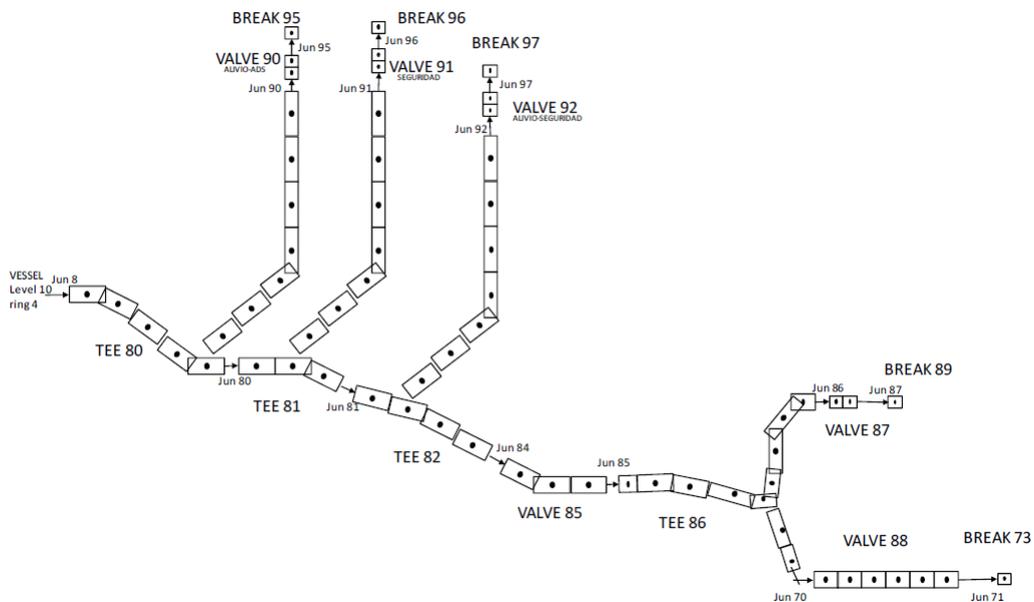


Figura 2. Modelo de línea de vapor de la CN de Cofrentes.

### 3. TRADUCCIÓN DE LOS SUBMODELOS

La planta se ha dividido en varios submodelos, como son:

- La línea de vapor, que comprende el tramo de tuberías desde la salida de la vasija hasta la entrada a la turbina.
- Lazos de recirculación, que comprende las bombas de recirculación y sus válvulas.
- Las bombas de chorro.
- Los elementos combustibles.
- La vasija.
- La contención.
- El sistema de control.

Normalmente el procedimiento seguido ha sido:

1. Obtención del submodelo aislado para TRAC-BF1.
2. Ejecutar el submodelo en TRAC-BF1.
3. Ejecutar el submodelo aislado de TRAC-BF1 con TRACE.
4. Obtención del submodelo aislado de TRACE.
5. Ajuste del submodelo en TRACE.

En una primera fase ya se tradujeron las líneas de vapor (figura 3) y líneas de recirculación (figura 4) por lo que en esta ponencia describimos el trabajo realizado para la traducción de la vasija, las bombas de chorro, la contención y el sistema de control.

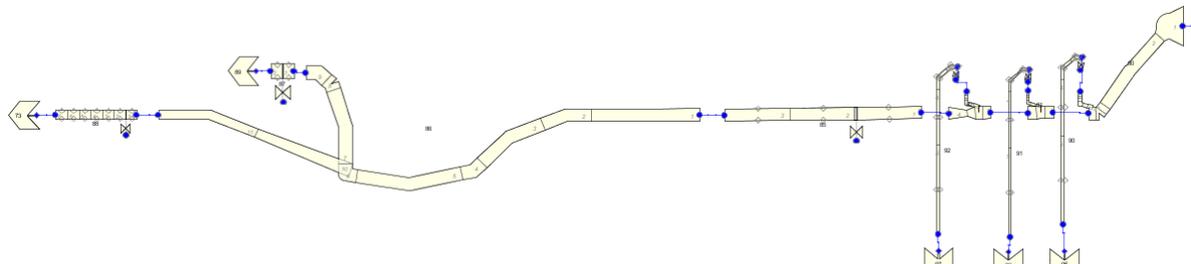


Figura 3. Esquema la línea de vapor.

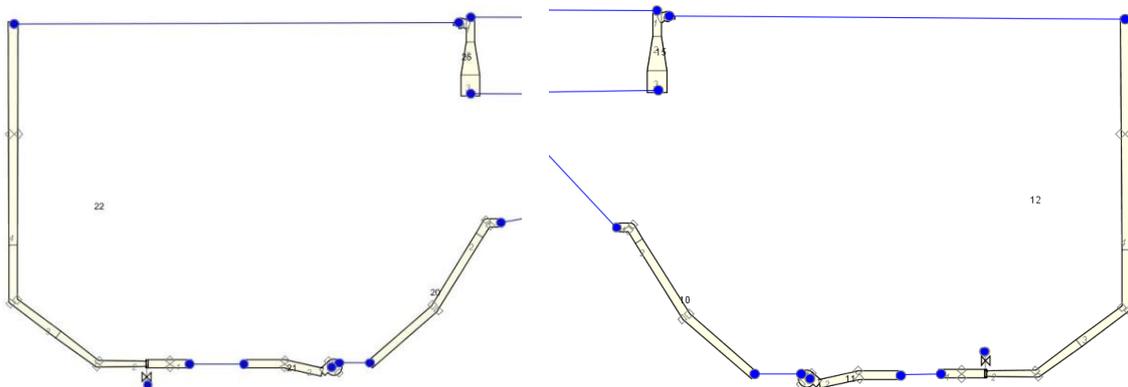


Figura 4. Esquema de los lazos de recirculación.

#### 3.1. Traducción de la Vasija y sus estructuras de calor

La traducción de la vasija no ha sido posible realizarla con el procedimiento habitual. Cuando ejecutamos el modelo de TRAC-BF1 con TRACE se producen

unos errores y no realiza la traducción. Después de analizar los errores se decidió que lo mejor era construir, utilizando la herramienta SNAP, la vasija de Cofrentes y sus correspondientes estructuras de calor. En la figura 5 se muestra la modelización obtenida. La vasija modelada consta de 11 niveles axiales y 4 anillos radiales. Para modelar la estructura metálica se han utilizado 80 estructuras de calor tipo “*lumped slab*” y “*double side slab*”

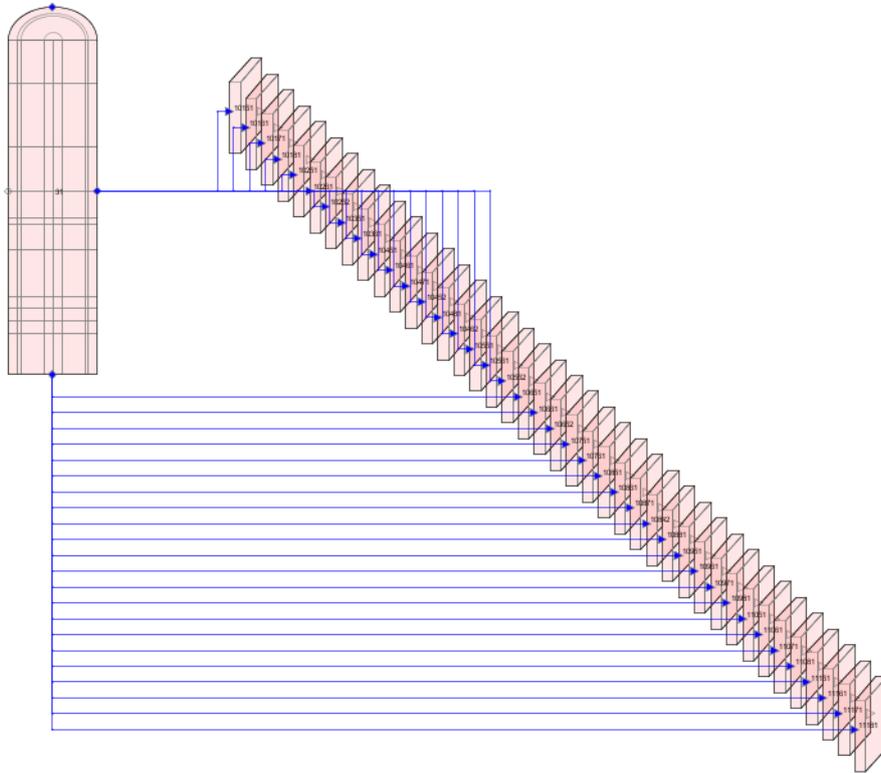


Figura 5. Esquema de la vasija y sus estructuras de calor.

### 3.2. Traducción de las Bombas de Chorro

La traducción de las bombas de chorro se ha realizado siguiendo el procedimiento habitual, sin embargo cuando se han comparado resultados obtenidos con los submodelos aislados hemos visto que su comportamiento es diferente. Las caídas de presión entre celdas no son iguales y, además, en TRACE no se pueden incluir factores de pérdidas en las caras, solo admite valores en la cara de entrada y en la cara de salida de la bomba de chorro. Esto nos indica que los modelos y las correlaciones utilizadas en ambos códigos no son las mismas.

Ante esta situación se ha procedido a ajustar el parámetro de pérdidas de forma en la celda de entrada del componente bomba de chorro de forma que los caudales de succión y de descarga se correspondan con los del modelo del código TRAC-BF1

### 3.3. Traducción de la Contención

Al traducir la contención la principal dificultad que se ha tenido es al modelar el intercambiador de calor RHR. En el modelo de TRAC se modela como una fuente de calor negativa, sin embargo en SNAP nos genera un error. Para solucionar este problema se ha optado por indicarle que es un intercambiador de calor con una tabla

temporal de la temperatura del refrigerante. En la figura 6 se muestra la contención modelada en TRACE.

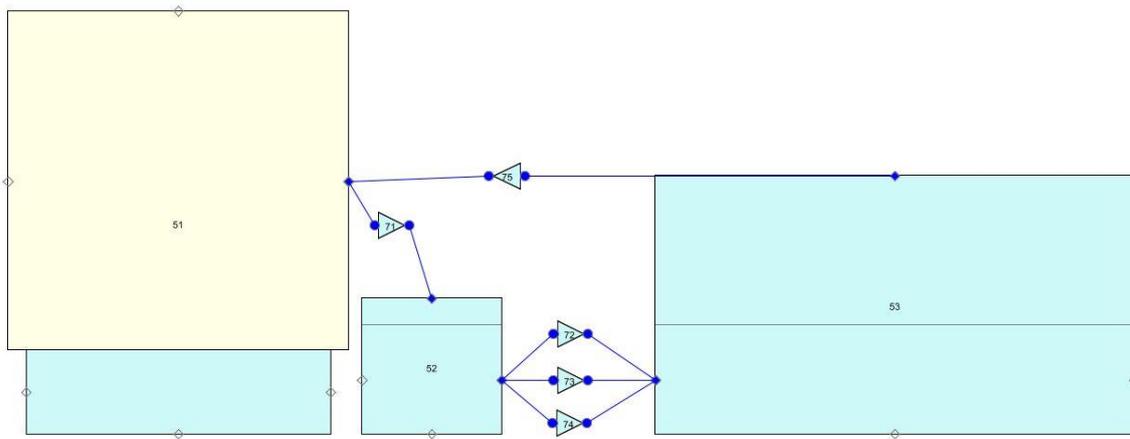


Figura 6. Esquema de la contención.

### 3.4. Traducción del Sistema de Control

La traducción del sistema de control fue bastante laboriosa. El sistema consta de 26 Trips, 226 bloques de control. El control se realizó utilizando la herramienta SNAP para poder poner la descripción de cada uno de los componentes y facilitar su posterior verificación y comprobación de su correcto comportamiento. En la traducción, dado que en TRACE están los mismos bloques de control que en TRAC-BF1, se optó por dejar el mismo sistema de control, sin realizar ninguna actualización a los nuevos bloques que dispone TRACE.

## 4. MODELO DE PLANTA E INCORPORACIÓN DE NUEVOS MODELOS

Una vez ajustado todos los sub-modelos, estos se han agrupado en único modelo y se han incluido los sistemas de refrigeración de emergencia.

Seguidamente se han incluido las 71 variables de Entrada-Salida que requiere el sistema de control y que no era posible introducir hasta que el modelo no estuviera ensamblado y completo.

El modelo de TRAC-BF1 utilizado para la traducción consideraba que Separador-Secador era perfecto y no lo simulaba. En el modelo de TRACE se ha considerado oportuno utilizar el componente SEPD para simular los separadores-secadores presentes en la Vasija de la Central Nuclear de Cofrentes. Se han creado 3 componentes SEPD, uno por cada anillo radial de la vasija. En la figura 7 se puede ver los separados modelados.

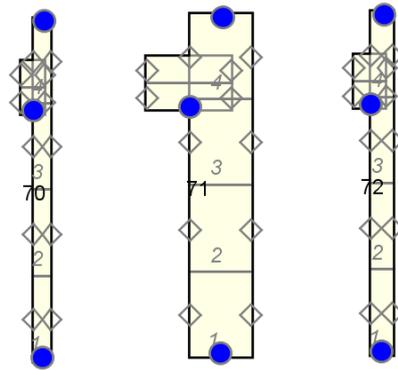


Figura 7. Esquema de los SEP.

El modelo utilizado para las simulaciones se muestra en la figura 8, donde se pueden apreciar los 2 lazos de recirculación, los 3 componentes separadores-secadores, los tubos guías, los sistemas de refrigeración de emergencia y parte de la línea de vapor, con los 3 grupos de válvulas de alivio y seguridad.

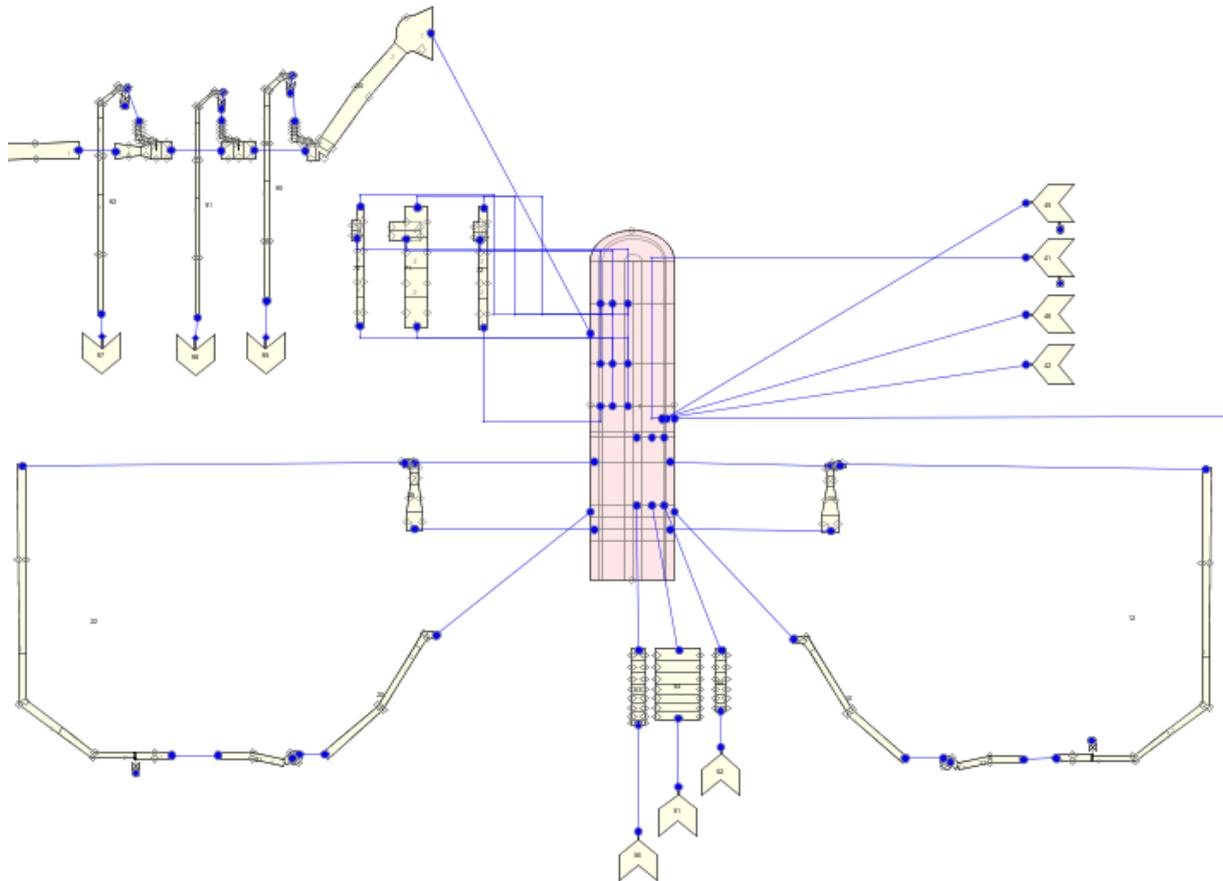


Figura 8. Modelo de planta.

## 5. CASO ESTACIONARIO

Una vez construido el modelo para TRACE se ha procedido a su ejecución y ajuste para un caso estacionario.

El caso estacionario corresponde una potencia del 111.85% del valor nominal y un flujo del 90% del valor nominal.

El modelo se ha ido ajustando y modificando progresivamente hasta obtener unos resultados bastante aceptables al compararse con los resultados de programas actualmente en uso como son el TRAC-BF1 y SIMULATE. Los valores de SIMULATE son muy útiles para hacer verificaciones ya que es un simulador nodal y sus modelos termohidráulicos estaciones se han validado extensamente con datos experimentales.

Las principales modificaciones que hemos realizado para obtener el modelo estacionario están relacionadas con:

- **Caudal de succión de la bomba de chorro.** El caudal de succión era muy inferior al valor de referencia de TRAC-BF1, un 37% inferior. En el modelo inicial la garganta de la bomba está modelada con 1 celda, en TRACE se recomienda utilizar 2. Con este cambio aumenta ligeramente el caudal, pero sigue siendo muy inferior, un 34%. Esto nos indica que los modelos de cálculo para la unión de la JETP con la vasija son diferentes en ambos códigos. Para conseguir los caudales de referencia hemos tenido que modificar el área de flujo de la entrada pasando de 0.01504 m<sup>2</sup> a 0.0267 m<sup>2</sup>.
- **Caudales de entrada a los elementos combustibles.** El caudal de entrada al núcleo era más de un 50% inferior al de referencia, la mayoría del caudal iba por el bypass. Para conseguir el caudal de referencia hemos tenido que incluir pérdidas de forma (K-factor) en la vasija, a la entrada de los elementos combustible, cuando en TRAC-BF1 son 0. Hemos tenido que poner un factor de pérdidas de 2.5 en los tres anillos radiales internos de la vasija.

En la tabla 1 se comparan los resultados obtenidos utilizando el código TRACE con los valores de referencia de TRAC-BF1 y SIMULATE.

<b>Caso: 111.85%Potencia 90.0 Flujo</b>	<b>SIMULATE</b>	<b>TRAC-BF1</b>	<b>TRACE</b>
Potencia térmica (MW)	3237.0	3237.0	3237.0
Presión en el domo de la vasija (MPa)	7.3774	7.3700	7.35314
Caudal entrada Chans (kg/s)	8714.61	8750.30	8663.19
Caudal salida Chans (kg/s)	8020.11	8030.89	7937.29
Caudal de recirculación Lazo 1 (kg/s)		-1360.00	-1363.48
Caudal de recirculación Lazo 2 (kg/s)		-1360.00	-1363.48
Caudal de salida de la bomba de chorro 15 (kg/s)	4737.97	4755.49	4748.67
Caudal de salida de la bomba de chorro 25 (kg/s)	4737.97	4755.49	4748.67
Caudal de agua de alimentación (kg/s)	1781.61	1773.97	1765.15
Caudal de vapor (kg/s)	1784.13	1778.97	1762.93

Tabla 1. Comparación de resultados entre el modelo de TRACE, TRAC-BF1 y SIMULATE.

Como se puede observar los valores son similares. La potencia térmica en los tres modelos es la misma. Los caudales de vapor, agua de alimentación bombas de chorro son prácticamente idénticos. En los elementos combustibles se observa una pequeña diferencia (sobre el 1%). En la presión en el domo hay una diferencia inferior al 0.5%, diferencia bastante baja teniendo en cuenta la utilización de nuevos compontes SEPD en el modelo.

De la comparación de los valores obtenidos con TRACE con respecto a los códigos de referencia se puede concluir que el modelo está correctamente ajustado al valor estacionario.

## 6. CONCLUSIONES

En esta ponencia se ha presentado un trabajo de I+D+i que se está realizando conjuntamente entre Iberdrola y el grupo TIN para la obtención de un modelo de planta de la CN de Cofrentes que se pueda utilizar con las nuevas herramientas SNAP y TRACE.

La traducción se ha realizado en varias fases. En una primera fase se tradujeron las líneas de vapor y líneas de recirculación. Seguidamente, y descrito en esta ponencia, se tradujo la vasija, las bombas de chorro, la contención y el sistema de control. Posteriormente se realizó el ensamblaje completo del modelo así como la introducción de algunos modelos nuevos (como los secadores y separadores) no presentes en el modelo de partida. Por último se realizó su ajuste en estado estacionario.

Durante la traducción se han identificado varios problemas (p.e. en la componente vasija y en la contención) que se han analizado y solucionado.

Destacar que la componente bomba de chorro tiene un comportamiento diferente en ambos códigos. Esto ya se ha visto cuando se analizó estando aislada y se solucionó, pero que al ensamblarla con la vasija se encontraron nuevos problemas (p.e. caudal de succión, caudales activos por el núcleo) que después de analizarlos detalladamente también se solucionaron.

Con respecto al sistema de control comentar que hemos realizado una traducción directa de los bloques, y se ha dejado para futuros trabajos su mejora utilizando las nuevas capacidades que presenta el TRACE

Como resultado final destacar que se ha obtenido un modelo de planta en SNAP-TRACE ajustado en estado estacionario y que se va a utilizar para realizar simulaciones de transitorios.

## REFERENCIAS

- [1] "TRAC-BF1/MOD1: An advanced best estimate computer program for Boiling Water Reactor accident analysis. Volume 1: Model Description". NUREG/GR-4356. EGG- 2626 (1992).
- [2] "SNAP. Symbolic Nuclear Analysis Package". Version 2.1.1. (2012)
- [3] "TRACE V5.0. User's Manual. Volume 1: Input Specification" (2011)
- [4] Algarra Lladró, Hector. "Traducción del modelo de planta de un BWR del código TRAC-BF1 a TRACE". Trabajo Fin de Máster (Junio 2010).