

# SIMULACIÓN DE UN PWR USANDO UNA VASIJA 3D MEDIANTE TRACE/PARCS

**T. Vayà, C. Mesado, R. Miró, T. Barrachina y G. Verdú**

Instituto de Seguridad Nuclear, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)  
Universitat Politècnica de València - UPV  
Camí de Vera s/n, 46021 Valencia  
*cmesado@iqn.upv.es, rmiro@iqn.upv.es, tbarrachina@iqn.upv.es, gverdu@iqn.upv.es*

## **Sinopsis**

*La simulación del comportamiento del núcleo en reactores nucleares tiene una especial importancia en el diseño, operación y seguridad de la planta. Es por dicha importancia que se ha decidido realizar varios modelos usando vasijas cartesianas 3D con los códigos acoplados TRACE v5/PARCS v2.7, este modelo pretende ser un paso más realista que los modelos anteriores que usaban componentes 1D. Se hace hincapié en la modelación de la vasija cartesiana 3D ya que se ha encontrado escasa o ninguna información en trabajos anteriores.*

## **1. Introducción**

En otros estudios anteriores ya se han realizado estudios apropiados del núcleo del reactor usando códigos acoplados *Best Estimate*, por ejemplo TRACE/PARCS o RELAP/PARCS [1,2,3]. Sin embargo, estos modelos siempre han sido modelados mediante componentes 1D. En este trabajo se lleva a cabo la simulación del núcleo usando componentes 3D, en concreto la vasija. El objetivo del presente estudio es poder simular con mayor precisión transitorios con fenómenos asimétricos en el núcleo.

Para explorar las diferentes capacidades de TRACE respecto al componente vasija 3D se han realizado tres modelos distintos. A parte también se ha realizado un modelo de forma tradicional con componentes tuberías 1D para poder validar los modelos con vasijas.

El primer modelo termohidráulico usando vasijas 3D (llamado *vasija colapsada*), consta de varias vasijas cartesianas colapsadas y acopladas lateralmente entre sí para simular el reactor PWR. Estas vasijas cartesianas se han modelado de forma, que una vez acopladas, conformen el mismo mapa radial que el del reactor real. Así mismo, el bypass se ha representado usando los nodos periféricos de las vasijas.

El segundo modelo termohidráulico (llamado *vasija sin colapsar*), también usa varias vasijas acopladas lateralmente. La diferencia, con respecto al modelo anterior, es que las vasijas no están colapsadas, además para la modelación del bypass, se ha usado una tubería.

El tercer modelo termohidráulico (llamado *vasija con fracción de área de paso modificada*), usa sólo una vasija cartesiana en la que la fracción de área de paso del líquido se ha modificado para conformar el mapa radial del reactor real. Igualmente para la modelización del bypass se ha usado una tubería.

El modelo 3D ha sido comparado con un modelo (llamado *canales 1D*) del mismo PWR realizado de forma tradicional: usando un componente tubería por elemento combustible y una tubería para el reflector, además una estructura de calor ha sido asociada a cada tubería.

Se dispone de dos ejecutables distintos. Uno en el que se puede cambiar el número de composiciones neutrónicas en el modelo neutrónico ya que se dispone del código fuente, la desventaja de este ejecutable es que no permite generar modelos con más de 1000 componentes debido al límite de memoria establecido cuando este se compiló (ejecutable *original*). El segundo ejecutable dispone de más memoria de compilación, por lo que se pueden simular más de 1000 componentes; en cambio no se puede lanzar la simulación acoplada al modelo neutrónico por que no se dispone del código fuente para cambiar el número de composiciones neutrónicas (ejecutable *ampliado*).

En la Tabla 1 se muestra el conjunto de simulaciones que se van a presentar en este estudio.

**Tabla 1: Modelos y simulaciones**

Modelo	Ejecutable	SSA	CSS	CTR
Vasijas colapsadas	Original	Si	Si	Si
Vasijas sin colapsar	Ampliado	Si	-	-
Vasija fracción área	Ampliado	Si	-	-
Canales 1D	Original	Si	Si	Si

Para llevar a cabo una comparación mas exhaustiva, se simula un accidente REA en las simulaciones en estado transitorio.

## 2. Descripción del modelo

En este apartado se explica con más detalle los diferentes modelos, todos ellos realizados con el código TRACE. También se explica el modelo neutrónico realizado con PARCS.

El reactor a simular consta de 177 elementos combustibles. Cada uno de ellos con una retícula de 16x16, esta se compone de 236 barras de combustible y 20 tubos guía.

### 2.1. Vasija cartesiana 3D colapsada

Para la modelación del reactor mencionado, se usan un total de 11 vasijas cartesianas colapsadas y acopladas entre sí lateralmente. Mediante estas vasijas también se incluye el bypass en los nodos más periféricos o exteriores. Todas las vasijas tienen 34 celdas axiales. Además, para llevar a cabo la unión lateral de las diferentes vasijas, se han usado componentes *single junction* a 5 planos (o alturas) distintas. Dentro de un plano cada uno de los nodos ha sido unido nodo a nodo con la vasija adyacente.

El proceso comentado conlleva dos simplificaciones considerables, la colapsación de las vasijas y la unión lateral sólo en 5 planos de las vasijas. Dichas simplificaciones, como ya se ha comentado, son necesarias debido a las restricciones del ejecutable *original*.

Mediante las 11 vasijas (colapsadas) usadas, cada uno de los 34 planos contiene 115 celdas, esto hace un total de (34 x 115) 3910 celdas 3D representando todo el reactor. De estas, el bypass contiene 48 celdas por plano, lo que hace un total de (34 x 48) 1632 celdas 3D representando el bypass.

La unión entre el *fill* y el *break* con las distintas vasijas se realiza con un *plenum* en la entrada y otro en la salida. Debido a la imposibilidad de unir dichos *plenums* con las diversas celdas del primer y último plano de las vasijas, se intercalan tuberías de un nodo entre el *plenum* y cada uno de las celdas de entrada/salida a las vasijas. También debido a la imposibilidad de la unión *plenum-fully plenum-break* se intercalan 2 tuberías más.

Además se ha usado una estructura de calor por cada elemento combustible colapsado (115). Estos tienen 6 celdas radiales, las cuatro celdas interiores representan el combustible, la quinta el hueco (gases inertes) y la sexta la vaina (Zircaloy-4).

## 2.2. Vasija cartesiana 3D sin colapsar

Este modelo se compone también de 11 vasijas cartesianas acopladas lateralmente. Como ya se ha comentado la diferencia radica en que el *bypass* se ha modelado mediante una tubería separada del resto de vasijas, además estas vasijas no están colapsadas. El total de nodos en este modelo es de 6018 celdas (177 elementos combustibles x 34 celdas axiales).

La

Figura 1 muestra las 11 vasijas usadas mediante diferentes colores. También muestra la colapsación de las celdas usadas en el modelo (respecto el modelo con la vasija sin colapsar). La Figura 2 muestra un esquema del modelo creado con SNAP, se ha generado, para mostrar un esquema más simple, dos vasijas cartesianas 2x2 acopladas lateralmente en un único plano.

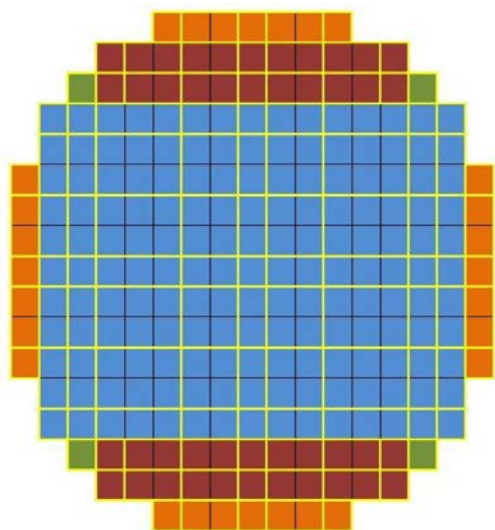


Figura 1: Nodalización en ambos modelos (vasijas colapsadas y vasijas sin colapsar)

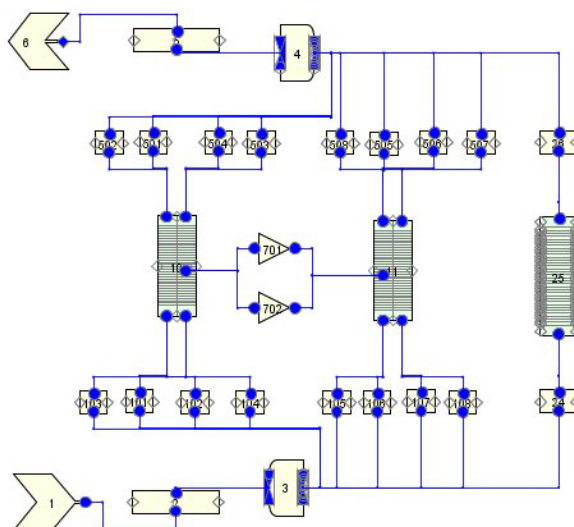


Figura 2: Modelo TRACE reducido

## 2.3. Vasija cartesiana con fracción de área modificado

Este modelo, como ya se ha comentado consta de una única vasija cartesiana en la que los fracciones de área de paso en determinadas celdas se ha modificado para simular el mapa radial real.

La Figura 3 muestra la fracción de área de paso en cada celda de la vasija del modelo. Para este modelo se ha usado una vasija 10x10 más pequeña que el modelo del reactor real

(15x15). Las únicas celdas con fracción de área de paso igual a cero son las 4 celdas de las esquinas de la vasija. El resto de componentes del modelo son los mismos explicados para los otros modelos usando vasijas 3D.

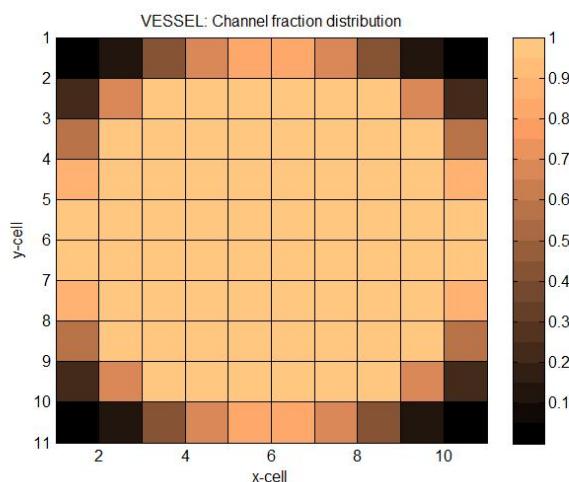


Figura 3: Fracción de área de paso en la vasija

#### 2.4. Modelo tradicional de canales 1D

El modelo 1D está modelado siguiendo la forma tradicional, es decir 177 tuberías que representan cada uno de los elementos combustibles (sin colapsar), y otra tubería más grande para el bypass. El número de celdas axiales de todas las tuberías equivale al número de niveles axiales de las vasijas, es decir 34.

De igual modo hay 178 estructuras de calor, una por cada tubería incluyendo el bypass. La nodalización de las estructuras de calor es la misma que la explicada en el modelo 3D, es decir 6 celdas radiales y 34 axiales.

Las 178 tuberías que describen el reactor están conectadas a un *plenum*, tanto a la entrada del reactor como a la salida. Así mismo, entre los *plenums* y el *fill/break* se intercala una *tubería* de un nodo.

#### 2.5. Modelo neutrónico

El modelo neutrónico 3D está dividido en 17x17x34 nodos, estos representan todo el reactor incluido el bypass. Además, el modelo neutrónico contiene 3 tipos de combustible y 387 composiciones de secciones eficaces diferentes. Se usa 2 grupos de neutrones instantáneos y 6 grupos de neutrones diferidos.

Las secciones eficaces usan el formato *nemtab/nemtabr*, estos ficheros se obtienen mediante el código acoplado CASMO4-SIMULATE3 usando la metodología SIMTAB.

En la Figura 4: Distribución de los clústeres de barras de control. el accidente REA se produce en el clúster resaltado. Figura 4 se representa la distribución espacial de los distintos clústeres de barras de control, las celdas resaltadas en amarillo representan el bypass y la celda resaltada con rojo es el clúster donde se produce el accidente REA.

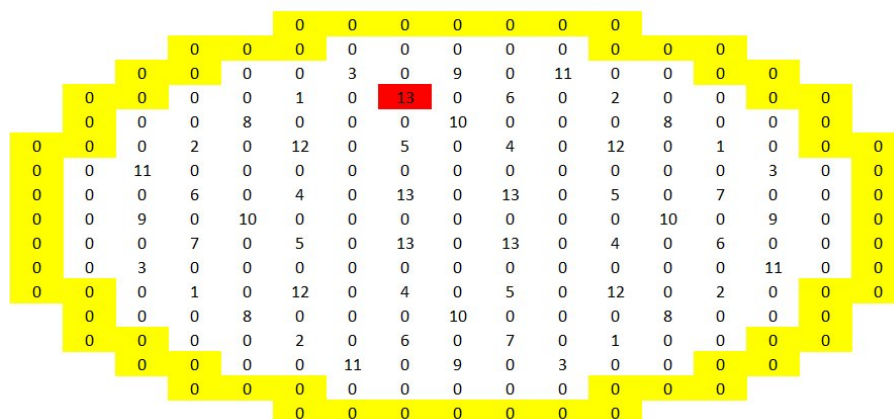


Figura 4: Distribución de los clústeres de barras de control. el accidente REA se produce en el clúster resaltado.

### 3. Resultados

En este apartado se comparan los diferentes modelos que usan vasijas 3D con el modelo realizado de forma tradicional usando tuberías 1D.

#### 3.1. Vasija cartesiana 3D colapsada

En la Figura 5 se muestra la evolución de potencia para la simulación en estado transitorio. La eyección de barra se produce a los 10 segundos. La Figura 6 contiene la distribución axial del caudal en un canal que se encuentra en la periferia de una de las vasijas (modelo vasija colapsada).

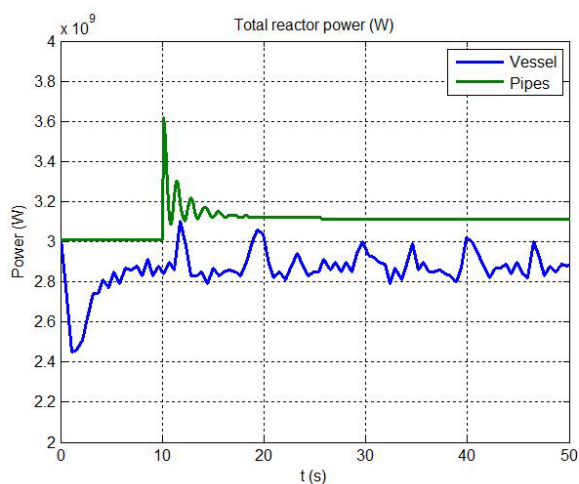


Figura 5: Evolución de la potencia en el transitorio con eyección de barra

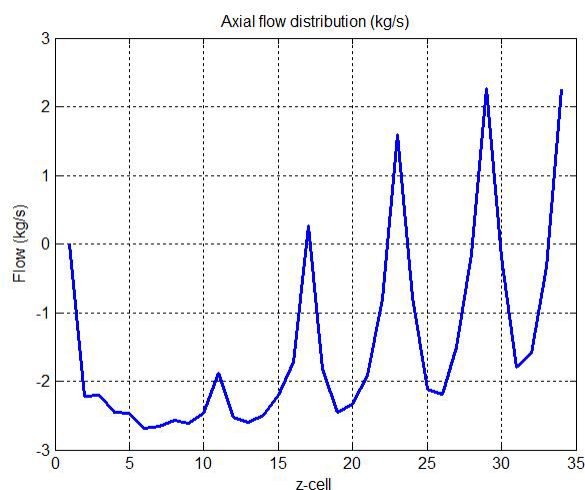


Figura 6: Distribución axial del caudal

Como se observa en la figura Figura 5, el modelo de canales 1D muestra las oscilaciones de la potencia esperadas al eyectarse la barra de control (10 s). Estas van reduciendo su amplitud, por efecto de realimentación, hasta alcanzar un valor estacionario antes de los 30 segundos. En cambio, en el modelo con vasijas colapsadas, se observa que la potencia oscila sin sentido alguno.

En la Figura 6 se observan unos picos a determinados niveles axiales del canal. Estos coinciden con las celdas donde se unen las *single junctions* entre vasijas (5 niveles: 1, 8, 15, 28 y 34).

### 3.2. Vasija cartesiana 3D sin colapsar

En la Figura 7 se muestra una colección de gráficos representativos del caudal másico y de la temperatura del moderador, todos ellos son un corte transversal del núcleo al nivel axial 17. La columna de la izquierda representa el caudal másico y la de la derecha la temperatura del moderador. La primera fila es para el modelo de canales 1D, la segunda para el modelo de vasijas 3D sin colapsar, y la última el error porcentual entre ambos modelos.

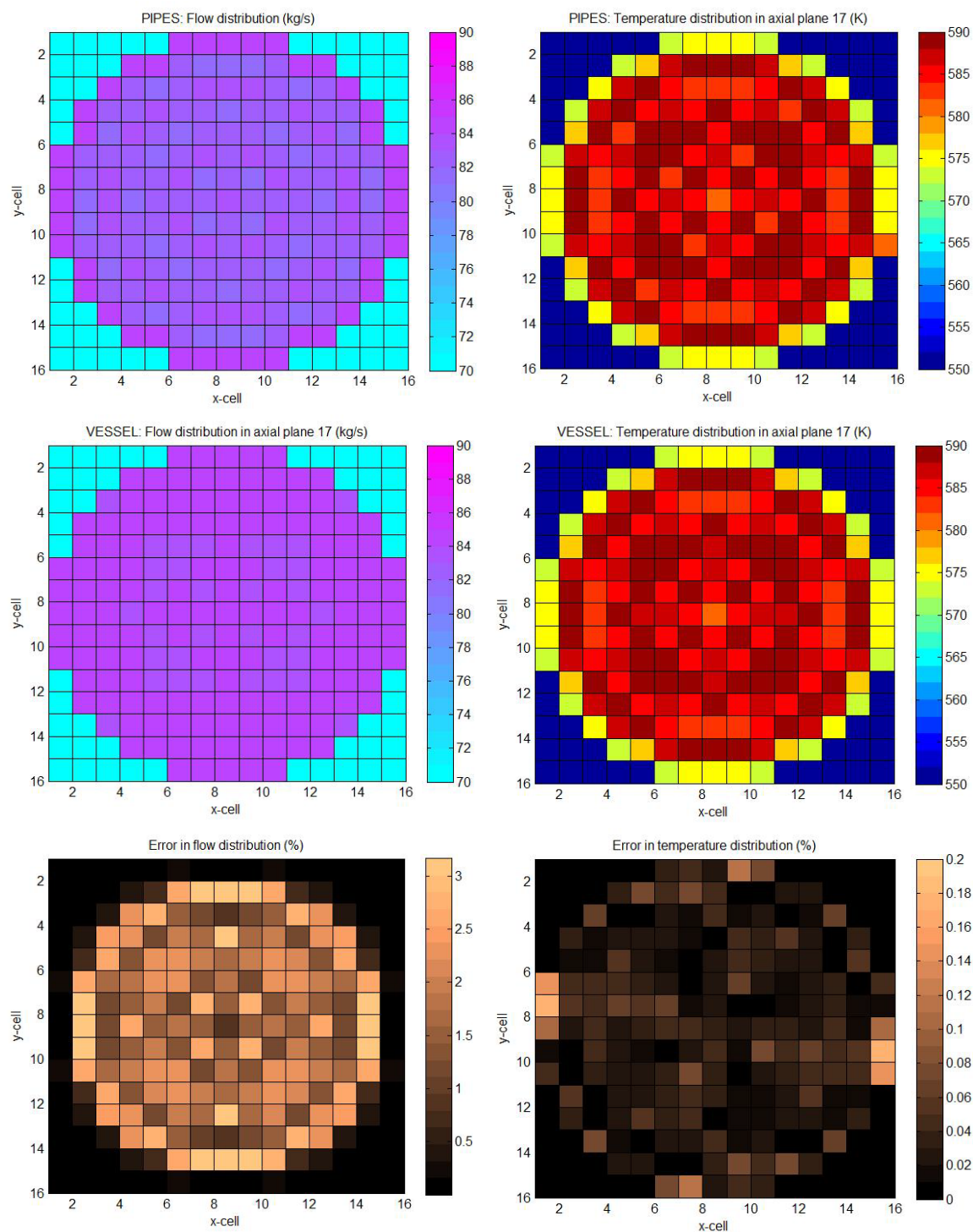


Figura 7: Comparación del caudal másico y de la temperatura al nivel axial 17, modelos vasija sin colapsar y modelo con canales 1D



El máximo error para el caudal es de 3.16 %, y para la temperatura de 0.17 %.

La Figura 8 muestra el perfil axial de temperatura para el elemento combustible central, ambas series representan el modelo con vasijas sin colapsar y el modelo realizado con canales 1D.

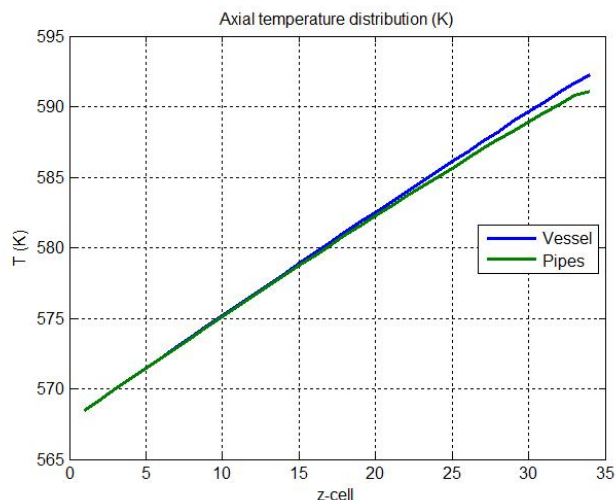


Figura 8: Distribución axial de temperatura para el modelo vasija colapsada y modelo con canales 1D

Se observa una ligera diferencia en la temperatura axial, esta diferencia va aumentando con el incremento de la altura.

### 3.3. Vasija cartesiana con fracción de área de paso modificada

En las Figura 9 y Figura 10 se muestra la distribución de caudal másico y temperatura en el nivel axial 17 de la vasija con fracción de área modificada (vasija 10x10). Se observa que el caudal en las celdas correspondientes a las cuatro esquinas de la vasija es cero de acuerdo a su fracción de área de paso (Figura 3).

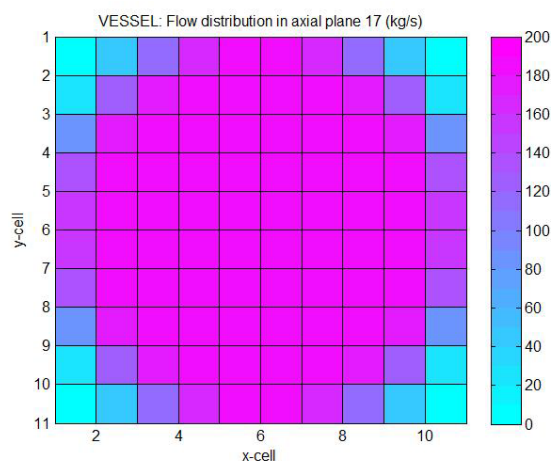


Figura 9: Distribución del caudal másico en el nivel axial 17 de la vasija con fracción de área de paso modificada

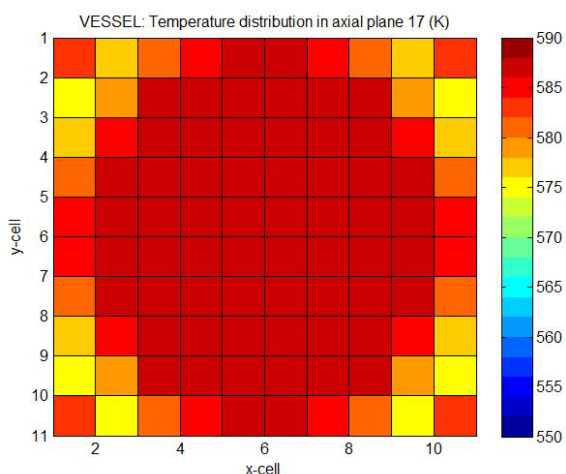


Figura 10: Distribución de temperatura en el nivel axial 17 de la vasija con fracción de área de paso modificada

#### 4. Conclusiones y trabajos futuros

En el modelo de la vasija colapsada se presentan resultados que no corresponden a la realidad por lo que este modelo aún no se puede usar para simular un reactor. La potencia en el estado transitorio (Figura 5) oscila ya desde el tiempo inicial, esto es debido a que en las simulaciones en estado estacionario no convergió correctamente.

En la Figura 6, como ya se ha comentado las irregularidades de la distribución del caudal másico coinciden con los niveles donde se encuentran las *single junction*; este efecto, evidentemente, no representa la realidad.

Este modelo aún está en fase de desarrollo y pruebas.

El modelo de la vasija sin colapsar obtiene, en general, buenos resultados, tanto para el caudal como para la temperatura. Ambas distribuciones son muy constantes dentro de todas las vasijas (Figura 7). Esto es consistente con el sistema modelado ya que todos los elementos combustibles tienen las mismas propiedades y por tanto el flujo en las direcciones transversales debe de ser despreciable.

Como trabajo futuro en este modelo faltaría integrar el bypass en la vasija cartesiana o modelarlo mediante una vasija cilíndrica que contenga la vasija cartesiana. Como se ha comentado en el párrafo anterior, también hay que mejorar la asignación de fracción de potencia.

En el modelo de la vasija con fracción de área de paso modificada falta realizar un modelo con una vasija de tamaño correspondiente al núcleo real. Pero se ha visto que se puede modificar correctamente el flujo que pasa por cada celda cambiando su fracción de área de paso (Figura 9). Se observa que la temperatura de las celdas con fracción de área de paso cero es ligeramente superior a la temperatura de las celdas adyacentes (Figura 10).

#### 5. Bibliografía

- [1] R. Miró, F. Maggini, T. Barrachina, G. Verdú, A. Gómez, A. Ortego, and J. C. Murillo. Analysis of a rod withdrawal in a PWR core with the neutronic-thermalhydraulic coupled code RELAP/PARCS and RELAP/VALKIN. In *Advances in Reactor Physics (PHYSOR)*, Vancouver (Canada), 2006.
- [2] T. Barrachina, M. García, F. Anchel, R. Miró, and G. Verdú. Rod Ejection Accident 3D-Dynamic analysis in Almaraz NPP with RELAP5/PARCSv2.7 Coupled Codes. In *European Nuclear Conference*, Barcelona (Spain), 30 May - 2 June 2010.
- [3] T. Barrachina, R. Miró, G. Verdú, C. Pereira, C. da Silva, A. Ortego, and J. C. Martínez-Murillo. Rod ejection Accident 3D-Analysis in Almaraz NPP with RELAP5/PARCS v2.7 and Simtab Cross-Sections Tables. In *Top Fuel*, Paris (France), September 6-10 2009.