

ANÁLISIS A NIVEL DE VARILLA DE COMBUSTIBLE DE UN ACCIDENTE DE INSERCIÓN DE REACTIVIDAD CON EL CÓDIGO ACOPLADO PARALELO pCTF/PARCS v2.7

A. Abarca^a, E. Ramos^b, J. E. Roman^b, R. Miró^a, J. A. Bermejo^c

^aInstituto de Seguridad Nuclear, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)
Universitat Politècnica de València
Camí de Vera s/n, 46021 València, Spain
aabarca@isiryum.upv.es, rmiro@iqn.upv.es

^bDpto. de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC)
Universitat Politècnica de València
Camí de Vera s/n, 46021 València, Spain
ramos@dsic.upv.es, jroman@dsic.upv.es

^cIberdrola Ingeniería y Construcción S.A.U.
Av. Manoteras, 20. Edificio C, 28050 Madrid, Spain
jbpi.iberinco@cna.es

INTRODUCCIÓN

La descripción detallada del núcleo del reactor tiene cada vez más importancia para los análisis de seguridad de los Reactores de Agua Ligera (LWR). Gracias a los avances en la tecnología informática, los diferentes diseños de elementos combustibles pueden ser modelados de manera realista mediante códigos informáticos de simulación, como en el caso de los códigos neutrónicos y termohidráulicos en 3D. Este tipo de cálculos requiere de códigos termohidráulicos altamente eficientes, para poder obtener resultados en tiempos razonables utilizando modelos muy detallados.

En este trabajo se presentan los esfuerzos realizados sobre el código termohidráulico 3D de subcanal COBRA-TF (CTF) para reducir su tiempo de respuesta cuando se simulan grandes reactores nucleares con alto nivel de detalle en los modelos. Para ello se ha desarrollado una versión paralela de dicho código, llamada pCTF, utilizando el estándar MPI (Message Passing Interface). El objeto del estudio es demostrar la capacidad del código paralelo acoplado desarrollado pCTF/PARCS de simular grandes núcleos de reactor a nivel de varilla de combustible y en un tiempo de simulación.

Para demostrar la capacidad del código se ha seleccionado un transitorio tipo RIA (Reactivity Insertion Accident) que tiene lugar en un reactor tipo PWR de tres lazos. Como resultados se presentan los principales parámetros de seguridad calculados en el canal caliente por el código acoplado, obteniendo unos resultados *best estimate* para este tipo de transitorio.

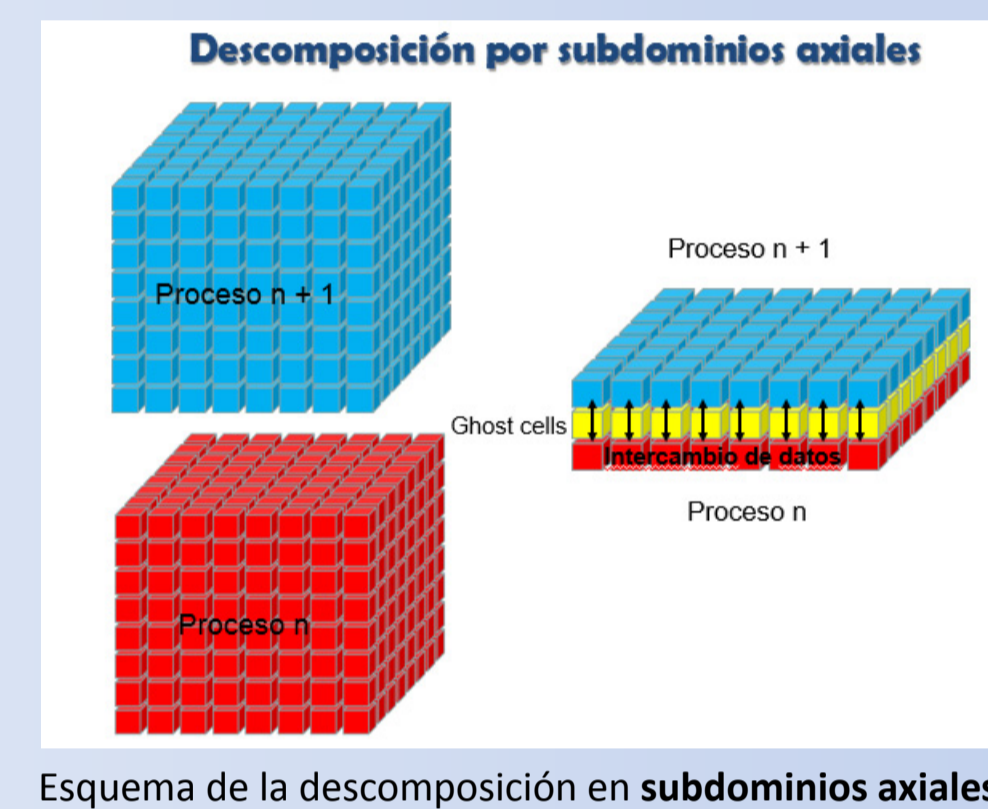
DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO PARALELO pCTF/PARCSv2.7

COBRA-TF (Coolant Boiling in Rod Arrays Code – Two Fluids), abreviado como CTF, es un código termohidráulico de subcanal (permite resolver problemas a nivel de varilla de combustible nuclear) que utiliza tres campos y dos fases para modelar el flujo bifásico.

Con el objetivo de ser capaz de resolver grandes problemas en un tiempo razonable con el código de subcanal CTF se ha utilizado el paradigma de la computación paralela. A través de la paralelización, numerosos procesadores pueden utilizarse cooperando para obtener una solución única al problema, y por consiguiente reduciendo el tiempo computacional así como la cantidad de memoria disponible en el clúster.

La aproximación de descomposición del dominio para la paralelización es apropiada para el tipo de cálculos realizados por CTF. Se ha elegido una descomposición por subdominios en la dimensión axial, esto es, a cada proceso MPI se asigna un grupo de niveles axiales contiguos del dominio simulado.

Los desarrollos implementados comienzan a partir de una versión de CTF que utiliza para resolver el sistema lineal de ecuaciones asociadas con el Jacobiano de cada celda la librería SPARSKIT de métodos iterativos de Krylov. Para la versión paralela se ha sustituido SPARSKIT por PETSc, que proporciona solucionadores lineales paralelos que ajustan de manera adecuada con el paradigma de la descomposición del dominio.

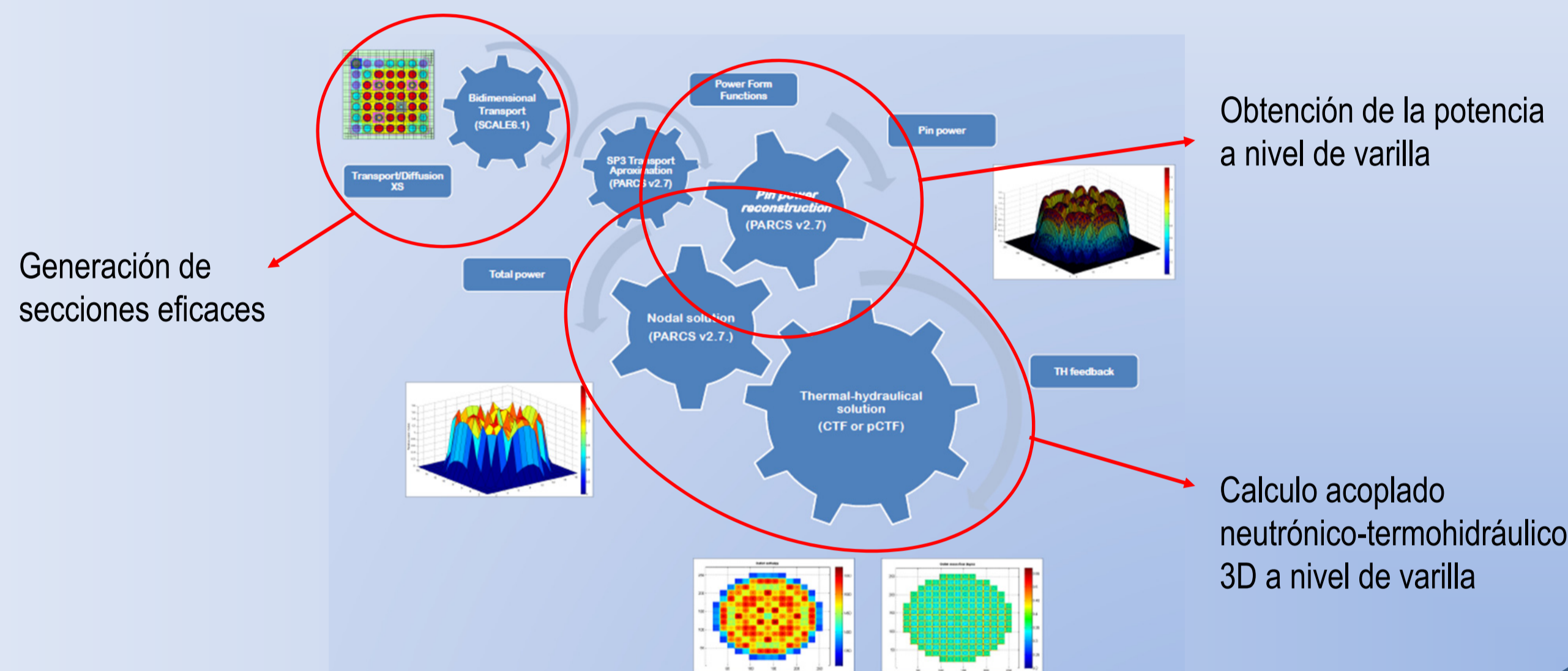


Esquema de la descomposición en subdominios axiales

Nonlinear Systems		Time Steppers	
Line	Trust Region	Backward Euler	Runge-Kutta
Search	Other	Scoping	Other
Krylov Subspace Methods			
GMRES	CG	CCS	TFQMR
Bi-CGSTab	Richardson	Cholbycher	Other
Preconditioners			
Additive Schwarz	Block Jacobi	Jacobi	ILU
ICC	LU	Other	
Matrices			
Compressed Sparse Row (CSR)	Block Compressed Sparse Row (BCSR)	Block Diagonal (BDIAG)	Dense
Index Sets			
Indices	Block Indices	Stride	Other
Vectors			

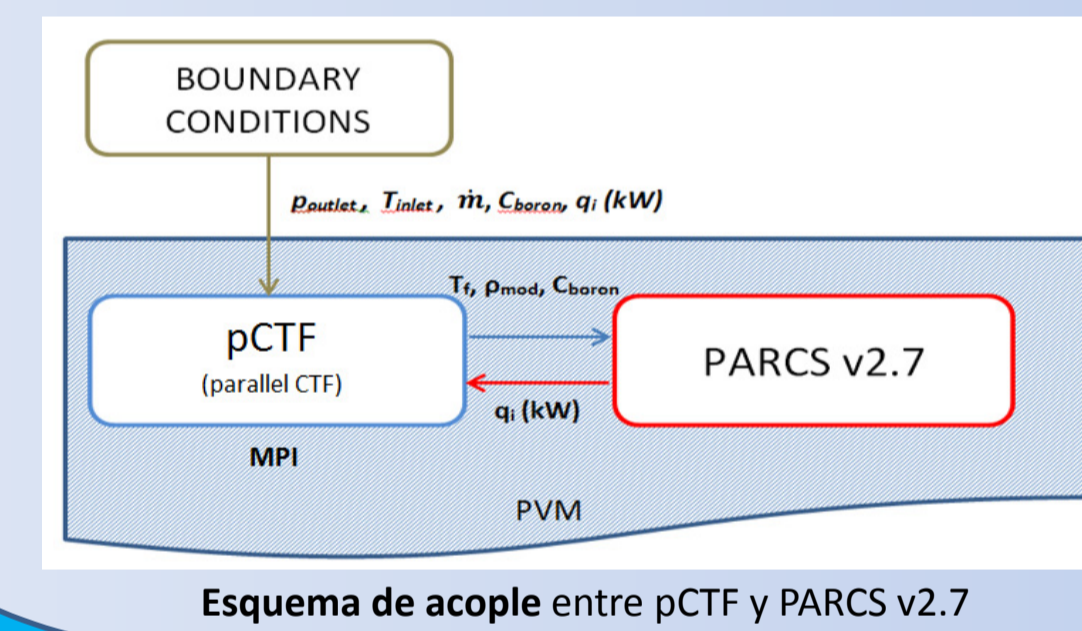
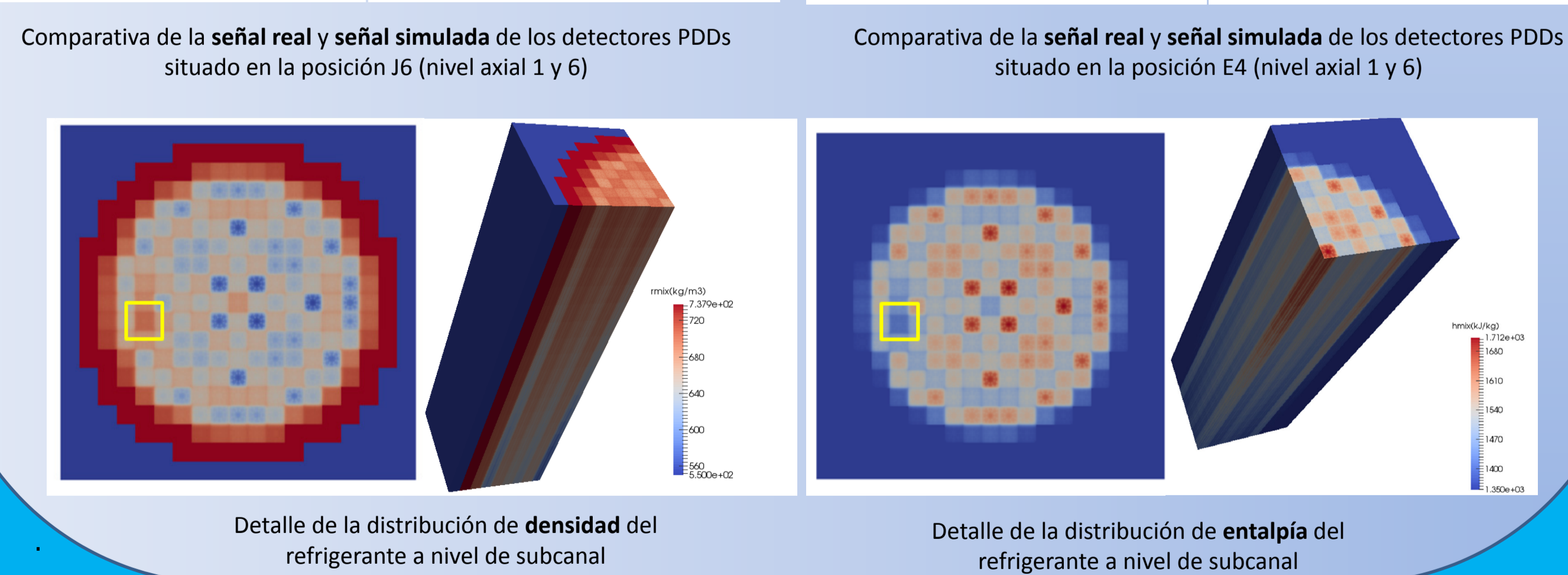
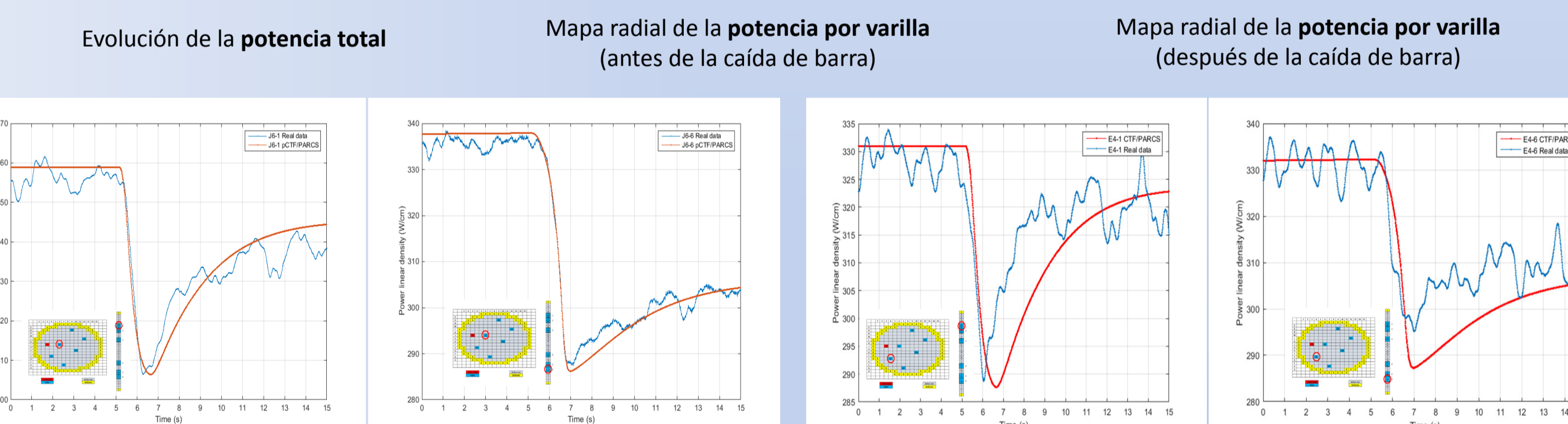
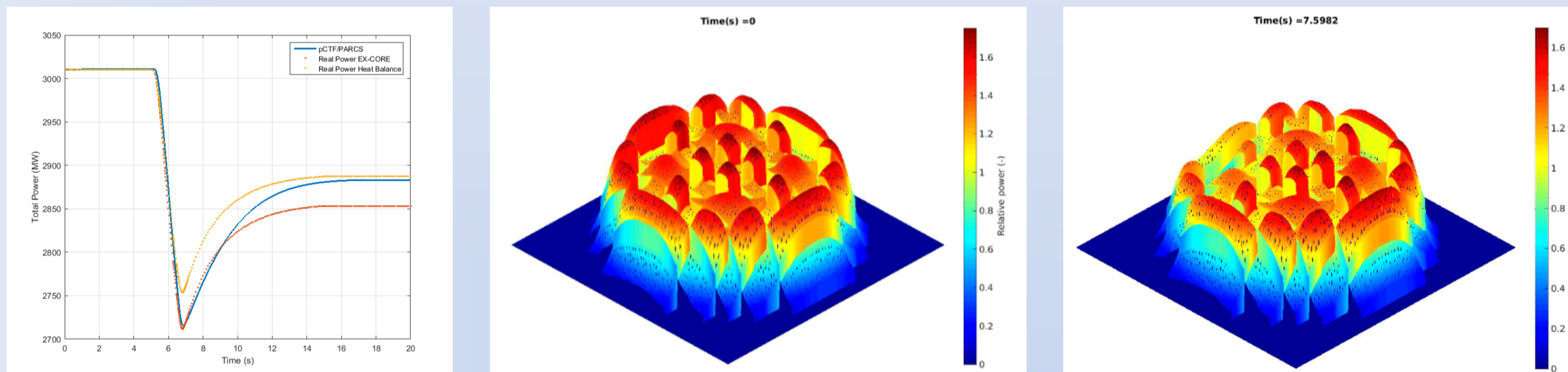
Opciones disponibles en PETSc

PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN

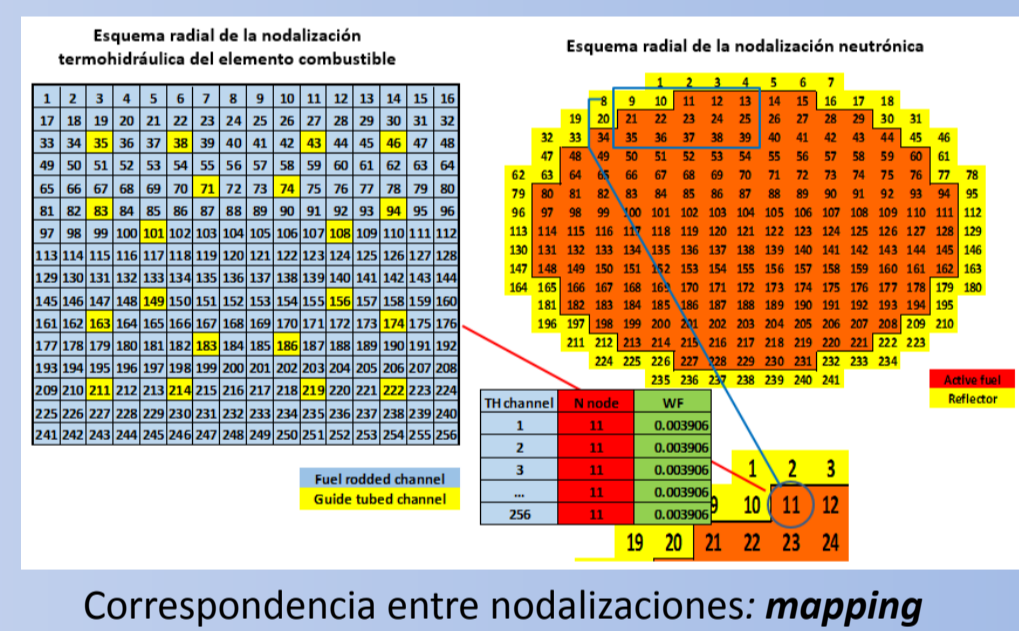


RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Como resultados de la simulación se extrae de PARCS la información de la señal de los PDDs con la intención de comparar con las señales reales de planta. El tiempo total de simulación utilizando 5 cores del clúster Quasar es de 70 horas, lo que supone un *speed-up* de 3.86 frente al caso secuencial, obteniendo una eficiencia del 77%.



Esquema de acople entre pCTF y PARCS v2.7

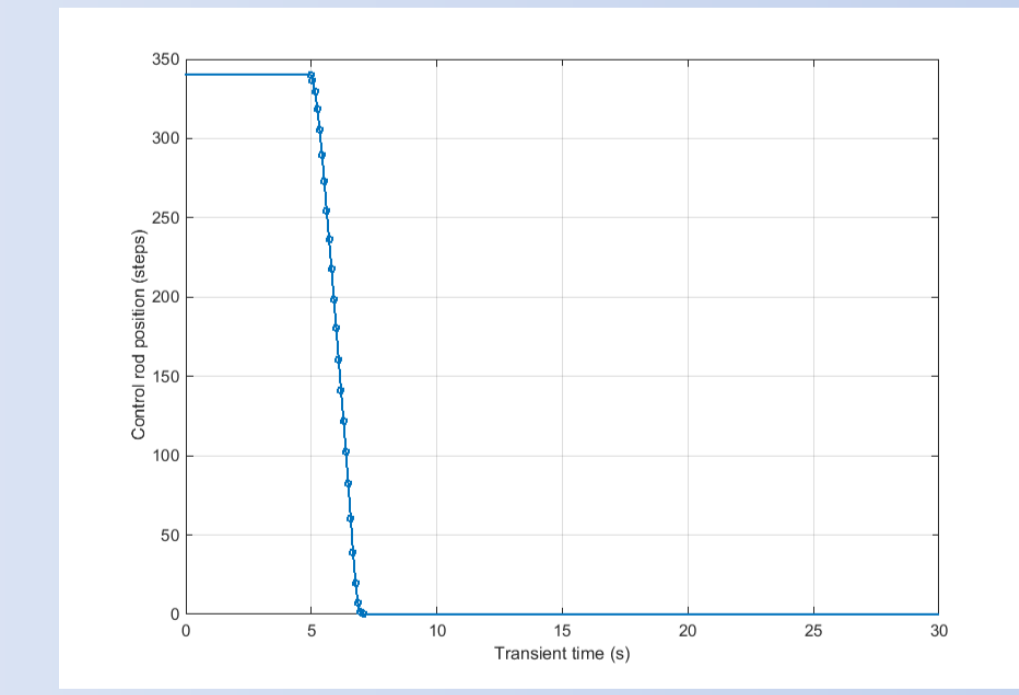


Correspondencia entre nodalizaciones: mapping

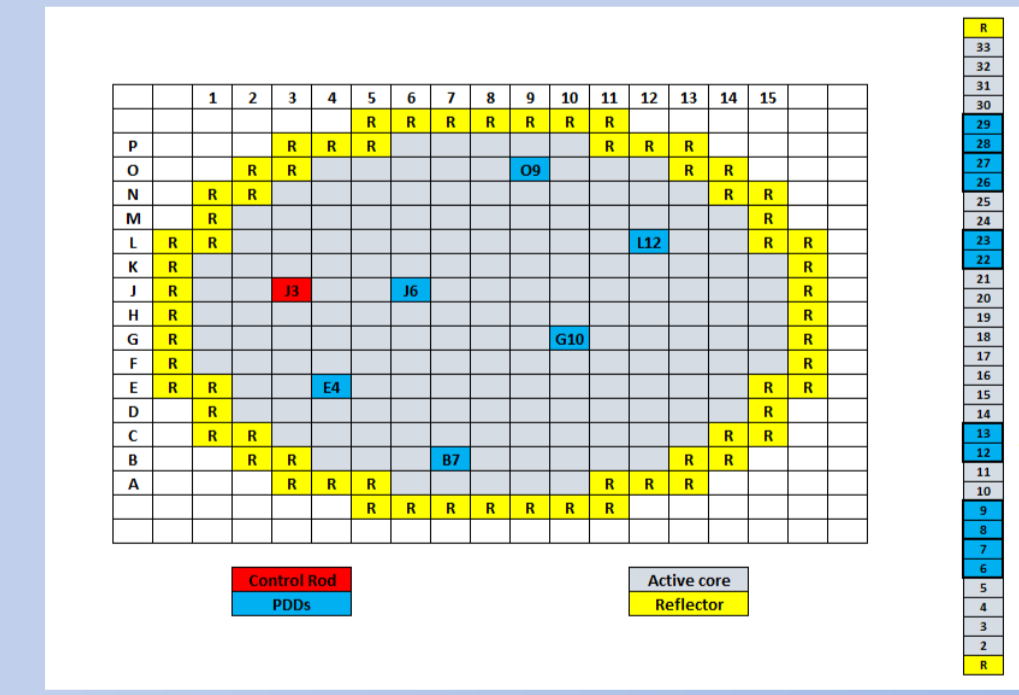
TRANSITORIO SIMULADO

El núcleo modelado corresponde con el de un reactor de agua a presión de tres lazos. El núcleo tiene 177 elementos combustibles, siendo el número total de varillas por combustible de 236, además de 20 tubos guía para las barras de control. Las condiciones operacionales corresponden con el HFP (Hot Full Power), donde la potencia nominal y el caudal másico a través del núcleo son de 3010 MWth y 15605.6 kg/s respectivamente en el principio del ciclo (Beginning of Cycle (BOC)).

La inserción de la barra de control situada en la posición J06 se define en el archivo de entrada de PARCS. La caída dura 2.1 segundos, y comienza a los 5.0 segundos de simulación en un transitorio de una duración total de 30.0 segundos. Los primeros 5.0 segundos son de transitorio nulo, con el propósito de asegurar unas condiciones estacionarias estables antes al comienzo del transitorio. La Figura 2 muestra la evolución de la inserción de la barra de control durante el transitorio, siendo 340cm la posición completamente extraída y 0cm completamente insertada de la barra de control.



Posición de la barra de control J06 durante el transitorio



Posición de la barra de control J06 y PDDs en el núcleo

EQUIPO EMPLEADO: CLUSTER QUASAR

El equipo informático utilizado para las simulaciones experimentales es Quasar, un clúster que posee 4 nodos, cada uno de los cuales con procesadores AMD Opteron con 32 núcleos corriendo a 2.4 GHz, y 96 Gb de RAM de memoria por nodo. Los nodos están conectados con Gigabit Ethernet.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un modelo a nivel de varilla completamente tridimensional del núcleo de un reactor completo de tres lazos para el código de subcanal CTF. Se han utilizado técnicas modernas de ingeniería del software así como paradigmas de computación en paralelo para crear una versión paralela de CTF, denominada pCTF, con lo que se obtiene una importante reducción del tiempo de computación cuando se simulan grandes dominios.

El código acoplado paralelo pCTF/PARCSv2.7 ha sido probado frente a un transitorio de caída de barra de control. Los resultados obtenidos de la simulación acoplada pCTF/PARCSv2.7 han sido comparados frente a los datos reales de la instrumentación de planta durante esta prueba, obteniendo señales similares en la potencia total y la lectura de los detectores PDDs durante el transitorio.

AGRADECIMIENTOS

Resulta imprescindible destacar la colaboración de Centrales Nucleares Almaraz-Trillo (CNAT) e Iberdrola Generación Nuclear S.A. en el desarrollo del presente trabajo.

