

GT - 2

Termohidráulica

¹G. Espinosa Paredes

¹Universidad Autónoma Metropolitana

GT-2 Termohidráulica

ININ, 26 de agosto de 2016





1 Equipo Termohidráulica

2 Temas



Dr. Gilberto Espinosa Paredes - UAM

- Sergio Quezada García - UAM, UNAM, UACM
- Erick Espinosa Martínez - UNAM
- Javier Centeno Pérez - IPN
- Luis Aguilar Medrano - UAM
- Alejandría Pérez Valseca - UAM
- Ricardo Cazáres Ramírez - UAM, UACM
- Heriberto Sánchez Mora - UNAM



- Manual de Usuario código AZTHECA - Sergio
- Reporte de la Implementación y Pruebas - Erick
- Modulo de Termomecánica - Javier
- Comparación de Temperatura en un LFR - Alejandría

GT - 2

Termohidráulica

¡Comenzamos!

Gilberto Espinosa Paredes, Sergio Quezada, Javier Centeno, Erick
Espinosa Martínez, Alejandría Pérez Valseca

Universidad Autónoma Metropolitana

Manual de Usuario AZTHECA

ININ, 26 de agosto de 2016





GT - 2

AZTHECA: Manual de usuario AZTHECA

¹S. Quezada García, ²J. Centeno Pérez, ¹G. Espinosa Paredes

¹Universidad Autónoma Metropolitana,
²Instituto Politécnico Nacional

Manual de Usuario AZTHECA

ININ, 26 de agosto de 2016





- 1 Descripción General del Código
 - Procesos termohidráulicos
 - Envoltente del núcleo y domo
 - Sistema de recirculación
- 2 Arquitectura del Código
- 3 Descripción del Input
- 4 Ejecución del Código AZTHECA
- 5 Descripción del Output



AZTHECA está compuesto por un modelo numérico dinámico en el dominio del tiempo.

Permite predecir el comportamiento de un reactor (BWR)

- Estado estacionario
- Transitorio



El código cuenta con:

- Modelo de cinética puntual
- Generación de potencia
- Transferencia de calor
- Coeficientes convectivos de transferencia de calor
- Termohidráulica del núcleo
- Modelos de control de nivel y presión de la vasija del reactor



El código numérico calcula:

- Distribución de la fracción vacíos
- Temperaturas en el combustible
- Entalpía de agua de alimentación
- Entalpía a la entrada del núcleo
- Flujos de recirculación
- Presión en la vasija

Permite establecer la potencia del reactor con las aperturas de las válvulas controladoras de flujo y con la posición de las barras de control.



- 1 Descripción General del Código
 - Procesos termohidráulicos
 - Envoltente del núcleo y domo
 - Sistema de recirculación
- 2 Arquitectura del Código
- 3 Descripción del Input
- 4 Ejecución del Código AZTHECA
- 5 Descripción del Output



- núcleo
- pleno inferior
- pleno superior
- sistema de recirculación
- envolvente del núcleo
- domo de la vasija



- El núcleo está representado por una barra de combustible promedio.
- Los fenómenos de transporte en una y dos fases son modelados considerándose ebullición subenfriada y nucleada.



1 Descripción General del Código

- Procesos termohidráulicos
- **Envolvente del núcleo y domo**
- Sistema de recirculación

2 Arquitectura del Código

3 Descripción del Input

4 Ejecución del Código AZTHECA

5 Descripción del Output



- balance de masa
- balance de energía

Variaciones dinámicas de presión y nivel.



- 1 Descripción General del Código
 - Procesos termohidráulicos
 - Envoltente del núcleo y domo
 - Sistema de recirculación
- 2 Arquitectura del Código
- 3 Descripción del Input
- 4 Ejecución del Código AZTHECA
- 5 Descripción del Output

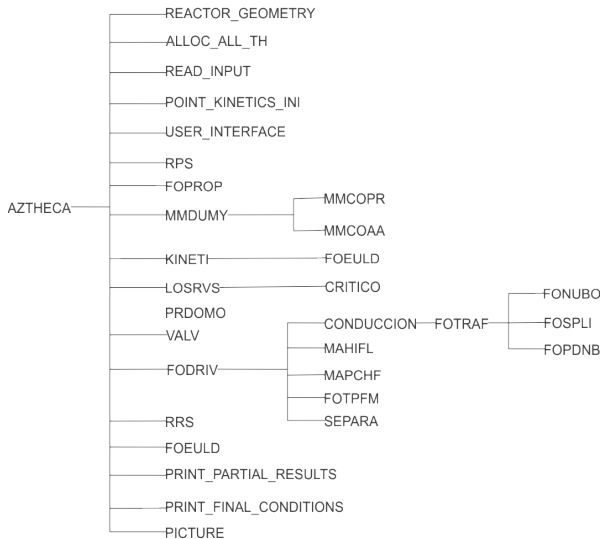


En el sistema de recirculación se aplican balances de cantidad de movimiento en régimen transitorio e incluye el circuito interno y externo con respecto a la vasija.

- válvulas de control de flujo
- válvulas de succión y descarga
- bomba de recirculación
- bombas jet

considera en forma independiente dos lazos de recirculación.

El código AZTHECA modela los controles de presión y nivel.





El archivo de entrada "FOR010.DAT" se divide en 12 secciones:

- Distribución axial de potencia
- Entalpía del refrigerante
- Temperatura del combustible
- Temperatura del refrigerante
- Fracción vacíos
- Calidad del vapor
- Concentración de precursores
- Calor removido
- Temperatura de flujo de calor crítico
- Masa de gas
- Masa de líquido
- Condiciones iniciales de operación



- 1 Se abre la terminal
- 2 Una vez en la terminal, ubicarse en la carpeta donde está el ejecutable y el archivo *input*.
- 3 Una vez que el código ha sido ejecutado se eligen las opciones deseadas para llevar a cabo la simulación.
- 4 Cuando el código termina de ejecutarse, en la carpeta se crean los archivos de salida.
- 5 El archivo *output FOR011.DAT* tiene el mismo formato que el archivo *FOR010.DAT* y puede ser sustituido por este último para tener nuevas condiciones iniciales, sólo se debe renombrar *FOR011.DAT* por *FOR010.DAT*.



```
aztlan@aztlan-XPS-8500: ~/Desktop/aztlan/bin/Prueba
aztlan@aztlan-XPS-8500:~/Desktop/aztlan/bin/Prueba$ ./torio
  CUANTO TIEMPO QUIERES SIMULAR? (SEG)
10
  DESEAS IMPRESION EN CADA PASO DE LA SIMULACION? (1=SI, 2=NO) (FOR030.DAT)
1
  CADA CUANTOS SEGUNDOS DESEAS IMPRESION EN PANTALLA?
1

  QUIERES SIMULAR TRANSITORIOS?

  SI = 1, NO = 2
1
```



```
aztlan@aztlan-XPS-8500: ~/Desktop/aztlan/bin/Prueba
DESEAS IMPRESION EN CADA PASO DE LA SIMULACION? (1=SI, 2=NO) (FOR030.DAT)
1
CADA CUANTOS SEGUNDOS DESEAS IMPRESION EN PANTALLA?
1

QUIERES SIMULAR TRANSITORIOS?

SI = 1, NO = 2
1
DISPARO DE BOMABAS DE RRC; ESCRIBA 1?
DISPARO DE UNA BOMABA DE RRC; ESCRIBA 2?
CIERRE DE MSIV'S; ESCRIBA 3?
PERDIDA DE AA; ESCRIBA 4?
SCRAM MANUAL; ESCRIBA 5?
```



```
aztlan@aztlan-XPS-8500: ~/Desktop/aztlan/bin/Prueba
0.21777606E+05 0.45837233E-44 0.83688348E+04 0.24233684E-41
0.23704752E+05 0.27886532E-21 0.83679906E+04 0.14802312E-18
0.24405719E+05 0.93463878E-11 0.83667326E+04 0.49791351E-08
0.27850837E+05 0.32781070E-01 0.83302384E+04 0.18146983E+02
0.29851268E+05 0.14886359E-01 0.82938667E+04 0.77543932E+01
0.28545319E+05 0.95643559E-01 0.82018458E+04 0.54481415E+02
0.27722344E+05 0.15591252E+00 0.81171338E+04 0.95434007E+02
0.27408243E+05 0.20623140E+00 0.80360348E+04 0.13461278E+03
0.27782590E+05 0.24951245E+00 0.79575832E+04 0.17273315E+03
0.26832695E+05 0.27792900E+00 0.78913222E+04 0.20015850E+03
0.24903242E+05 0.29057701E+00 0.78416101E+04 0.21262653E+03
0.24903242E+05 0.44853113E+00 0.66823207E+04 0.26929672E+03

DESEAS ESCRIBIR CONDICIONES FINALES?(1=SI,2=NO)
1

LOS ARCHIVOS SON:      12 NODOS      FOR020.DAT

LA SIMULACION HA TERMINADO,
QUIERES TOMAR UNA FOTO?(1=SI,2=NO)
EL ARCHIVO ES FOR011.DAT
1
aztlan@aztlan-XPS-8500:~/Desktop/aztlan/bin/Prueba$
```



La información de salida generada por el código AZTHECA se escribe en dos archivos *output*:

- FOR011.DAT - Foto
- FOR020.DAT



GT - 2

Manual de Usuario AZTHECA

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Sergio Quezada, Javier Centeno, Gilberto Espinosa Paredes

Universidad Autónoma Metropolitana e Instituto Politécnico Nacional

Manual de Usuario AZTHECA

ININ, 26 de agosto de 2016





GT - 2

AZTHECA: Código Termohidráulico

¹E.-G. Espinosa Martínez

¹Universidad Autónoma Metropolitana

Reunión del Grupo de Usuarios

ININ, Estado de México, 16 de agosto de 2016





- 1 Introducción
- 2 Descripción Física del Modelo
- 3 Implementación y Pruebas
- 4 Conclusiones



Implementación y prueba de puntos a mejorar y modelos propuestos mejorados:

- Modelo termohidráulico para flujo en dos fases
 - Modelo de transferencia de calor en el combustible
 - Coeficientes de transferencia de calor
 - Generación de potencia
 - Esquema de solución y nodalización
-
- Modelo de transferencia de calor en el combustible
 - Modelo de transferencia de calor multi-regional



- Generación de Potencia
- Cinética Neutrónica
- Transferencia de Calor en el Combustible
- Transferencia de Calor por Convección
- Termohidráulica del Núcleo
- Control

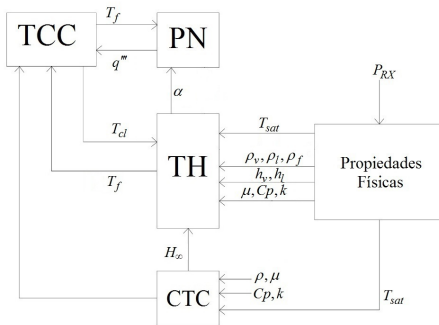


Figure: Interacción entre los procesos neutrónicos (*PN*), la termohidráulica (*TH*), la transferencia de calor (*TCC*) y las propiedades físicas.

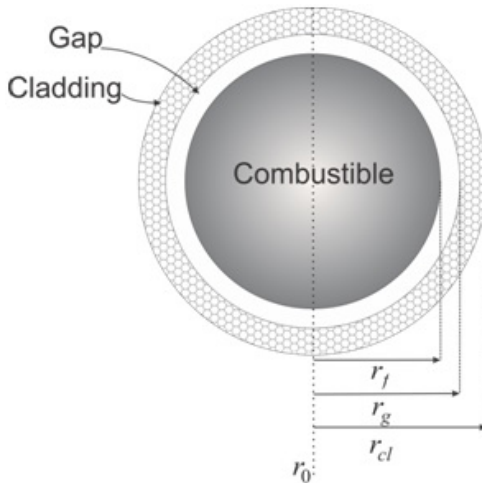


Figure: Barra de combustible rodeada por la holgura (gap) y el encamisado (cladding)

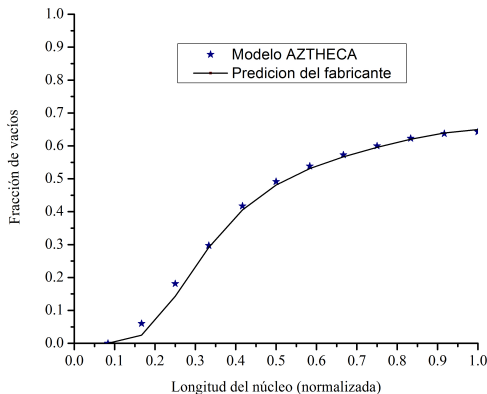


Figure: Comparación del perfil de fracción vacíos con las predicciones del fabricante.

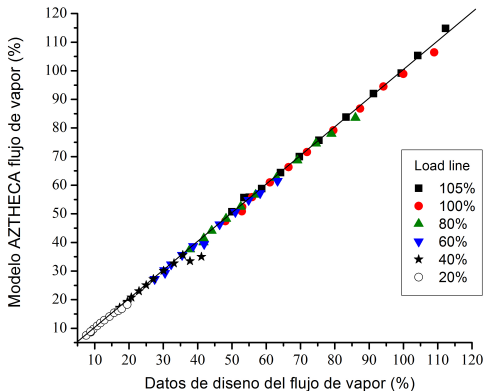


Figure: Comparación de flujo de vapor con los datos de planta.

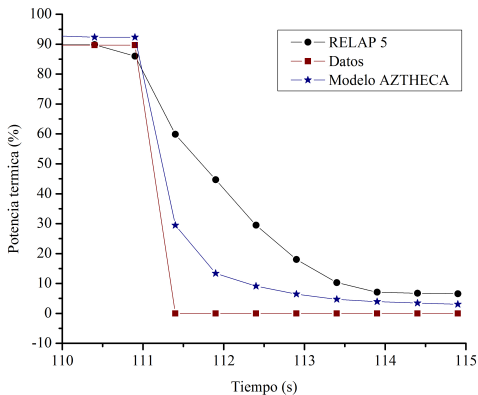


Figure: Comparación de la potencia térmica durante el apagado del reactor.

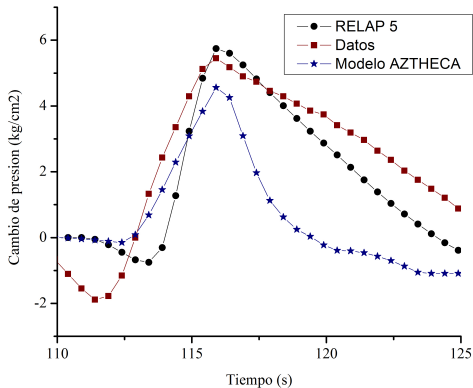


Figure: Cambio de la presión en el reactor por el cierre de las válvulas principales de vapor.

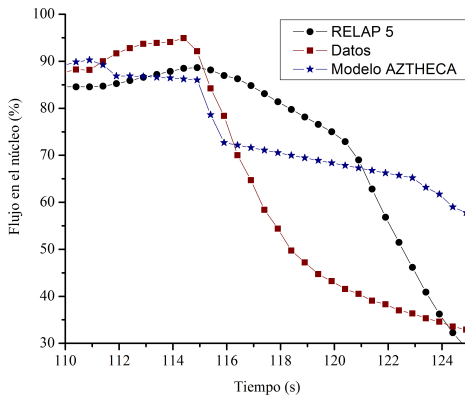


Figure: Disminución de flujo en el núcleo debido al disparo de bomba de recirculación.

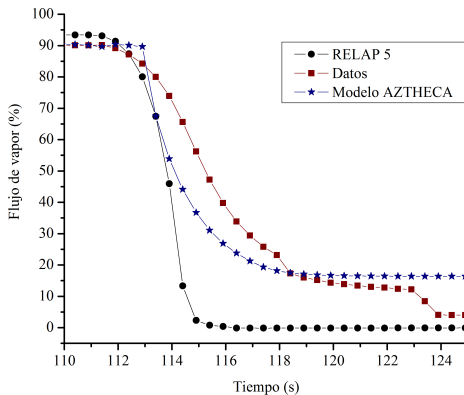


Figure: Reducción del flujo de vapor durante el cierre de las válvulas principales de vapor



- Predicciones de AZTHECA se compararon con datos de planta y con predicciones del fabricante en estado estacionario.
- Datos de evento ocurrido en un BWR comparados con resultados de RELAP 5 y AZTHECA.
- Ambos códigos computacionales tienen la capacidad de predecir adecuadamente el comportamiento del reactor.



GT - 1

El Código AZTHECA

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

E.-G. Espinosa-Martínez

Universidad Autónoma Metropolitana

Reunión del Grupo de Usuarios

ININ, Estado de México, 16 de agosto de 2016





GT - 2

Modulo de Termo mecánica

Javier Centeno Pérez

Instituto Politécnico Nacional

Reunión del Grupo de Usuarios

ININ, Estado de México, 16 de Agosto de 2016





- 1 Curso sobre combustible nuclear
- 2 Lecciones Aprendidas
- 3 Aplicación para AZTLAN Platform



El equipo de termo hidráulica estuvo presente en el curso sobre combustible nuclear, que se llevó a cabo en la Universidad Politécnica de Madrid del 27 de junio al 1 de julio



CURSO SOBRE COMBUSTIBLE NUCLEAR





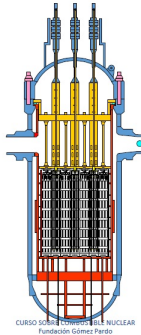
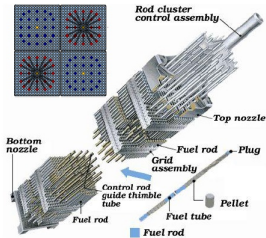
Los temas que se desarrollarán son los siguientes:

- Tema 1. Descripción del combustible, materiales y fabricación
- Tema 2. Diseño del combustible nuclear PWR
- Tema 3. Gestión del combustible en operación normal
- Tema 4. Comportamiento del combustible en condiciones normales y accidentales
- Tema 5. Comportamiento del combustible en la segunda parte del ciclo de combustible
- Tema 6. I+D+i en combustible nuclear

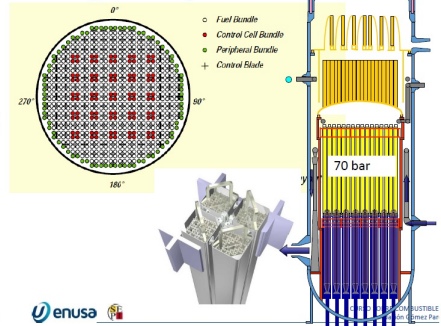


Aunque en el curso hubo mayor énfasis en los reactores tipo PWR. Se trataron temas referentes a los reactores BWR, que pueden ser utilidad

Configuración típica PWR



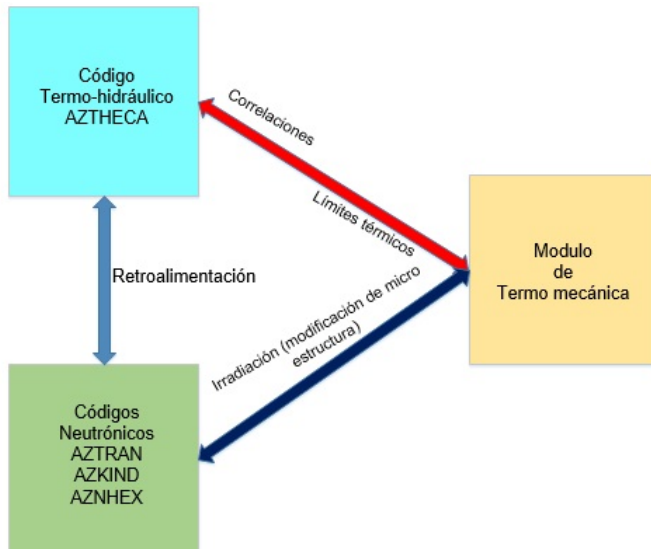
Configuración típica BWR





Con base en la información recabada en el curso. Además del manual del programa FINIX, conjuntamente con el código AZTHECA de termo-hidráulica.

Se está trabajando en un código para desarrollar el modulo de termomecánica para AZTLAN Platform.





GT - 2

Modulo de Termo mecánica

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Javier Centeno Pérez

Instituto Politécnico Nacional

Reunión del Grupo de Usuarios

ININ, Estado de México, 16 de Agosto de 2016



GT - 2

Comparación de distribución de temperaturas en ensambles de combustible de un LFR

¹G. Espinosa Paredes, ²H. Sánchez Mora, ²J.L. Francois,
¹A.D. Pérez Valseca, ²C. Martín del Campo.

¹Universidad Autónoma Metropolitana, ²Universidad Nacional Autónoma de México

Reunión del Grupo de Usuarios

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 16 de agosto de 2016



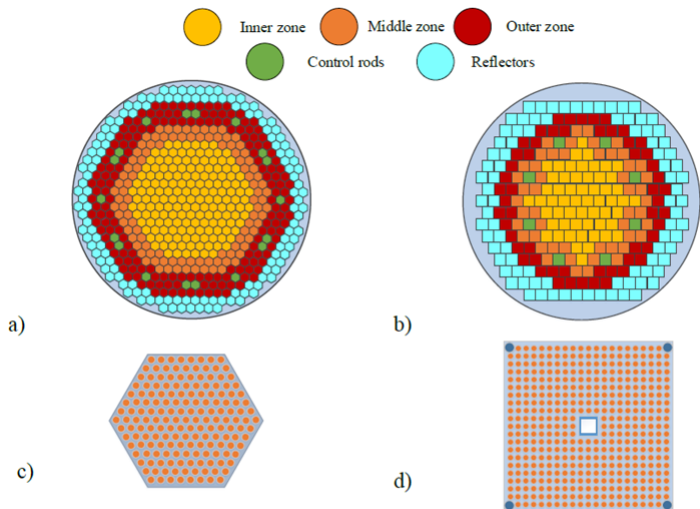


- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Cinética neutrónica
 - Modelo de transferencia de calor en la barra de combustible
 - Modelo del termofluido
- 3 Acoplamiento de procesos
- 4 Experimentos numéricos



- Reactor rápido enfriado por plomo
- Desarrollado dentro de los FP de la UE
- Diseño con ensamble cuadrado y hexagonal

Características del reactor	
Potencia térmica	1500 MW
Eficiencia	40%
Combustible	MOX
Refrigerante	Lead
Temperatura de entrada del refrigerante	673.15 K
Temperatura de salida del refrigerante	750.15 K
Velocidad máxima del refrigerante	2 m/s

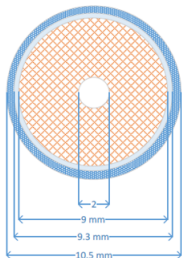


a) Núcleo con arreglo hexagonal, b) Núcleo con arreglo cuadrado
c) Ensamble hexagonal, d) Ensamble cuadrado

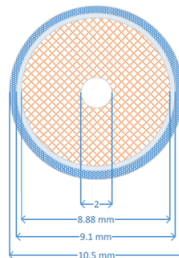


Característica	Arreglo hexagonal	Arreglo cuadrado
Total de ensambles	325	170
Barras de combustible por ensamble	165	428
Barras de combustible totales	53 625	72 760
Potencia térmica por barra (kW_{th})	27.31	20.62

Sección transversal de la barra de combustible



Arreglo hexagonal



Arreglo cuadrado



- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Cinética neutrónica
 - Modelo de transferencia de calor en la barra de combustible
 - Modelo del termofluido
- 3 Acoplamiento de procesos
- 4 Experimentos numéricos



Utilizando el Modelo puntual de la Cinética Neutrónica

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta_{eff}}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad n = n_0 \quad \text{en} \quad t = 0$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n(t) - \lambda_i C_i(t) \quad c_i = \frac{\beta_i}{\lambda_i \Lambda} n_0 \quad \text{en} \quad t = 0$$

y considerando la potencia térmica por barra como

$$P(t) = P_o(t) n(t) \psi(z)$$



- 1 Introducción
- 2 Modelos matemáticos
 - Cinética neutrónica
 - **Modelo de transferencia de calor en la barra de combustible**
 - Modelo del termofluido
- 3 Acoplamiento de procesos
- 4 Experimentos numéricos



$$(\rho C p)_{fuel} \frac{\partial T_{fuel}}{\partial t} = \frac{k_{fuel}}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_{fuel}}{\partial r} \right) + q'''(t, z) \quad \text{Fuel} \quad r_a \leq r \leq r_f \quad q'''(t) = \frac{P(t)}{V_f}$$

$$(\rho C p)_{gap} \frac{\partial T_{gap}}{\partial t} = \frac{k_{gap}}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_{gap}}{\partial r} \right), \quad \text{Gap} \quad r_f \leq r \leq r_g$$

$$(\rho C p)_{clad} \frac{\partial T_{clad}}{\partial t} = \frac{k_{clad}}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_{clad}}{\partial r} \right), \quad \text{Clad} \quad r_g \leq r \leq r_{cl}$$

Condiciones de frontera

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dT_{fuel}}{dr} = 0, & \text{en } r = 0 \\ -k_{gap} \frac{dT_{gap}}{dr} = h_{gap}(T_{fuel} - T_{gap}), & \text{en } r = r_f \\ -k_{clad} \frac{dT_{clad}}{dr} = h_{gap}(T_{gap} - T_{clad}), & \text{en } r = r_g \\ -k_{clad} \frac{dT_{clad}}{dr} = h_{lead}(T_{clad} - T_{lead}), & \text{en } r = r_{cl} \end{array} \right.$$



- 1 Introducción
- 2 **Modelos matemáticos**
 - Cinética neutrónica
 - Modelo de transferencia de calor en la barra de combustible
 - **Modelo del termofluido**
- 3 Acoplamiento de procesos
- 4 Experimentos numéricos



-Balance de masa

$$\alpha_{th} \rho_{lead} \frac{dT_{lead}}{dt} + \frac{\partial G}{\partial z} = 0,$$

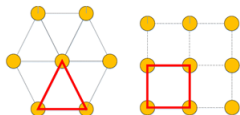
-Balance de energía

$$\frac{\partial T_{lead}}{\partial t} = \frac{P_m h_{lead} (T_{clad} - T_{lead})}{A_f \rho_{lead} C p_{lead}} - \frac{G}{\rho_{lead}} \frac{\partial T_{lead}}{\partial z},$$

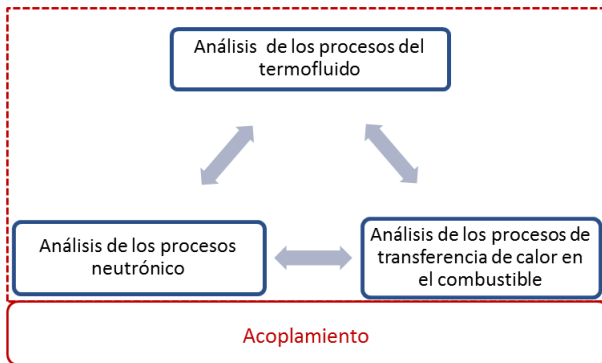
-Balance de cantidad de movimiento

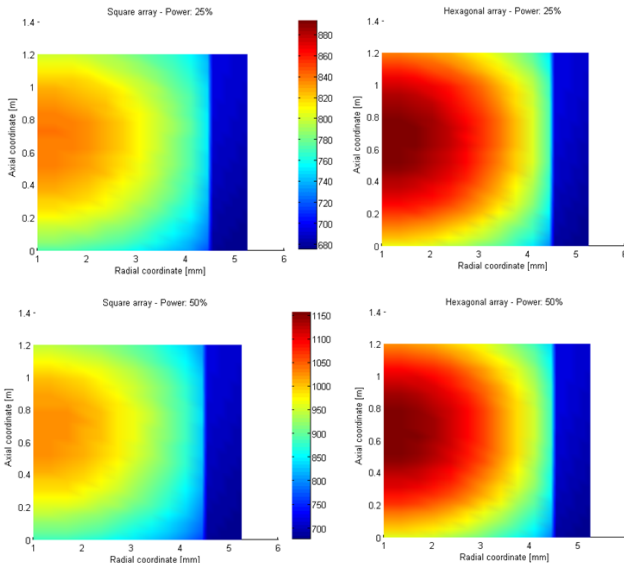
$$\frac{\partial G}{\partial t} = -\frac{\xi_{fr}}{2} \left(\frac{G^2}{\rho_{lead} L} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{G^2}{\rho_{lead}} \right) - \rho_{lead} g,$$

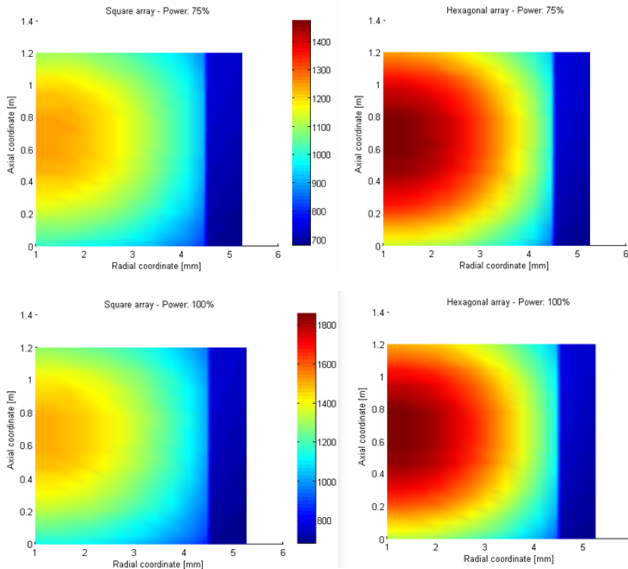
$$\xi_{fr} = \frac{0.210}{\text{Re}^{0.25}} \frac{L_{rod}}{D_h} \left[1 + \left(\frac{l_p}{d_{rod}} - 1 \right)^{0.32} \right]$$

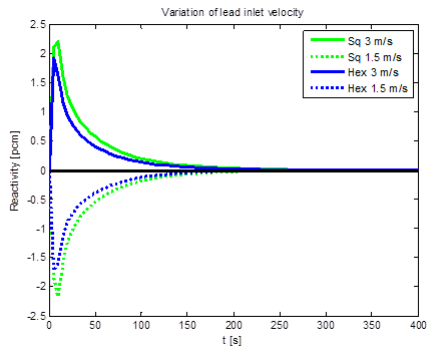
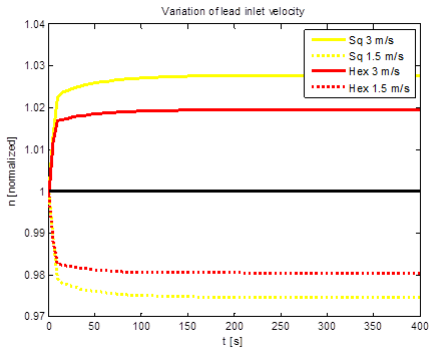


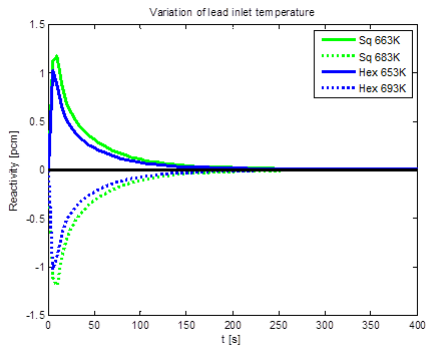
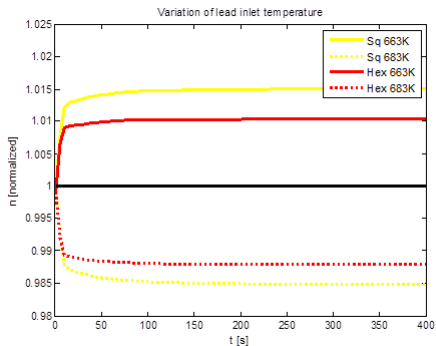
$$D_h = \begin{cases} \frac{4}{\pi d_{rod}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} l_p^2 - \frac{\pi d_{rod}^2}{4} \right), & \text{para arreglo hexagonal} \\ \frac{4}{\pi d_{rod}} \left(l_p^2 - \frac{\pi d_{rod}^2}{4} \right), & \text{para arreglo cuadrado} \end{cases}$$

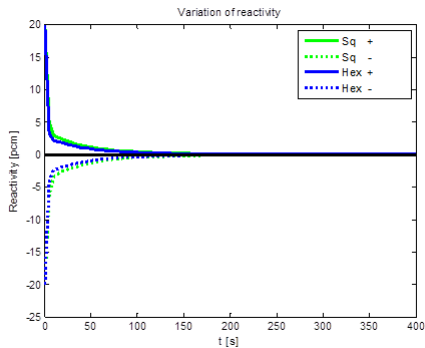
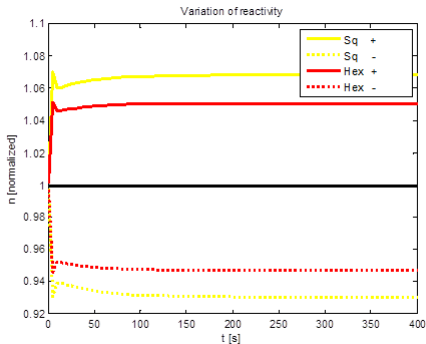














GT - 2

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Reunión del Grupo de Usuarios

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 16 de agosto de 2016

