



MX0500056

Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR/International Joint Meeting Cancun 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR
XV Congreso Anual de la SNM y XXII Reunión Anual de la SMSR/XV SNM Annual Meeting and XXII SMSR Annual Meeting
Cancún, Q.R., México, 11-14 de Julio, 2004/Cancún, Q.R., Mexico, July 11-14, 2004

Simulación y Pruebas a Modelos Individuales y Acoplados del Simulador de la Vasija del Reactor y el Sistema de Recirculación para el SUN-RAH.

Raymundo Adán Sánchez Salazar

*Universidad Nacional Autónoma de México
Laboratorio de Análisis de Ingeniería de Reactores Nucleares
DEPFI, Campus Morelos, en IMTA Jiutepec Morelos
rsanchez_15@yahoo.com.mx*

Asesor: Dr. Jaime B. Morales S.

*Universidad Nacional Autónoma de México
Laboratorio de Análisis de Ingeniería de Reactores Nucleares
DEPFI, Campus Morelos, en IMTA Jiutepec Morelos
jms0620@yahoo.com*

Resumen

El presente proyecto, es continuación del proyecto presentado en el congreso SNM-2003. En esta nueva fase del proyecto, se realizaron cambios adaptativos al modelado e implementación del módulo del pleno superior del núcleo del reactor, se realizaron los modelados de la generación de calor así como de la transferencia de energía en el combustible. Estos modelos presentan las características principales de la vasija del reactor y del sistema de recirculación, definidas por los principales fenómenos que intervienen en los procesos físicos, en la versión anterior la simulación en tiempo real requería de una computadora extremadamente rápida y sin ejecutar procesos colaterales. Se presentan las pruebas realizadas a los distintos modelos pertenecientes al Simulador de la Vasija del Reactor y el Sistema de Recirculación para el SUN-RAH (Simulador Universitario de Nucleoeléctricas con Reactor de Agua Hirviente), así como los resultados arrojados por dichas pruebas. En cada apartado se muestran las ejecuciones de las pruebas y los correspondientes análisis de resultados para cada modelo. Además de lo anterior, se señalan las ventajas presentadas por el Simulador de la Vasija del Reactor y el Sistema de Recirculación.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del SUN-RAH es desarrollar el simulador compacto de una central nuclear tipo BWR que cumpla con el doble propósito de apoyar a los cursos de licenciatura y posgrado relacionados con reactores nucleares, así como centrales eléctricas de potencia y en el entrenamiento de ingenieros y especialistas en cinética de neutrones, transferencia de calor, flujo bifásico, operación de sistemas de control, protección y de emergencia de una planta típica.

2. SIMULADOR DE LA VASIJA DEL REACTOR Y EL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

El simulador de la vasija del reactor y el sistema de recirculación fueron diseñados para implementarse en el SUN-RAH, siguiendo las especificaciones generales de este como describe en detalle en el trabajo anterior [1]. Sobresalen las referentes al uso de la plataforma de desarrollo de Matlab 6.0, el modelado con sistemas de orden reducido y el diseño de interfaces gráficas empleando las librerías DirectX 8.1 programadas en Visual C++ 6.0.

En cuanto el método se siguió con el lineamiento de partir de la aplicación directa de leyes físicas para sustentar los modelos matemáticos y solo pretender reproducir transitorios esperados conocidos como AOO (por sus siglas en ingles).

En la nueva versión del simulador los módulos quedan:

Modulo de recirculación. Simula la dinámica de los componentes entre la admisión del refrigerante a la garganta de las bombas jet hasta la entrada del núcleo del reactor.

Modulo del núcleo y pleno del reactor. Simula la dinámica del refrigerante desde su admisión al núcleo, hasta los separadores de vapor. Está subdividido en tres módulos que son: subenfriado, saturado, y pleno superior del núcleo del reactor.

Módulo de generación de calor y transferencia de energía en el combustible. Simula la generación de calor y la transferencia de energía en las barras de combustible del núcleo del reactor.

Modulo de los separadores de vapor. Simula la función de los separadores de vapor desde la admisión del vapor a los separadores hasta el domo de la vasija del reactor.

Módulo del domo de la vasija. Simula la dinámica del refrigerante en la región del domo de la vasija desde la admisión del refrigerante a la garganta de las bombas jet hasta la entrada del núcleo del reactor.

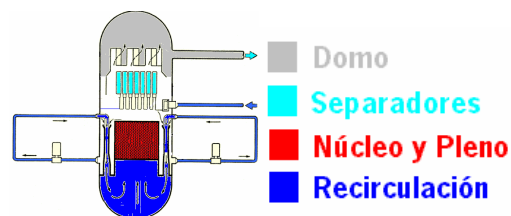


Figura 1. Módulos del Reactor

2.4 Modelado Matemático del Pleno Superior

En el artículo anterior, se mencionó la programación del módulo de núcleo y pleno del reactor. Sin embargo, éste módulo presentaba consumos de CPU que limitaban la ejecución en tiempo real, por lo que se modificó de la siguiente manera: El módulo único del pleno superior, se subdividió en dos módulos llamados: *Mgu* y *Pu*. El módulo *Mgu* utiliza los flujos que llegan del reactor, del bypass y posiblemente la inyección por los aspersores del núcleo (core spray) para

determinar las variaciones en las masas de vapor y líquidos saturados en el pleno superior. Se utiliza un modelo de “drift-flux” con parámetros de distribución de vacíos y de velocidad relativa del vapor obtenidos de la correlación de Bestiön:

$$V_{gj} = 0.188 * \sqrt{g \cdot dh \cdot \left(\frac{r_{fu}}{r_{gu} - 1} \right)} \quad (1)$$

El flujo másico de vapor saliendo del pleno superior

$$W_{gu} = r_{gu} a_{up} C_0 (F_{up} + A_{up}) V_{gj} \quad (2)$$

La calidad está dada ahora por

$$C_{pu} = \frac{W_{gu}}{W_{gu} + W_{fu}} \quad (3)$$

Por otro lado, el módulo *Pu* contiene en general, ecuaciones que por sus valores, se retomaron del módulo único del pleno superior. Tal es el caso de la ecuación que se utiliza para el cálculo de la tasa de presión del núcleo:

$$\frac{dP_u}{dt} = \frac{1}{D_1} \left(Q_B - W_{11} h_{fg1} + \frac{1}{\frac{r_{f1}}{r_{g1}} - 1} h_{fg1} (W_{cin} - W_{3S} + W_{CS}) - \ell W_{cin} \Delta h - W_{cs} (h_{f1} - h_{SC}) \right) \quad (4)$$

2.5 Módulo de Generación de Calor y Transferencia de Energía en el Combustible.

Los modelos matemáticos de éste módulo, son modelos tomados en base a los estudios de los diferentes procesos físico dinámicos involucrados en la dinámica del núcleo, cerca de las condiciones de estado estacionario. Se propone un modelado lineal compuesto de solo cinco ecuaciones [2]. Este modelo establece un promedio de la temperatura del combustible y un promedio de fracción de vacíos dado por las ecuaciones 5-9:

$$\frac{dn}{dt} = \mathbf{I}_n [(r-1)n + c] \quad (5)$$

$$\frac{dc}{dt} = \mathbf{I} [n + c] \quad (6)$$

$$\frac{dT_f}{dt} = a_n n - \mathbf{I}_f T_f \quad (7)$$

$$\frac{d^2 \mathbf{a}}{dt^2} + 2\mathbf{xw}_n + \mathbf{w}_n^2 (\mathbf{a} - \mathbf{a}_0) = b_f (T_f - T_0) + b_n (n - n_0) \quad (8)$$

$$r = r_{ext} + \mathbf{a}_D (T_f - T_0) + \mathbf{a}_V (\mathbf{a} - \mathbf{a}_0) \quad (9)$$

De lo anterior, la implementación en Simulink de éste modulo se muestra en la siguiente figura:

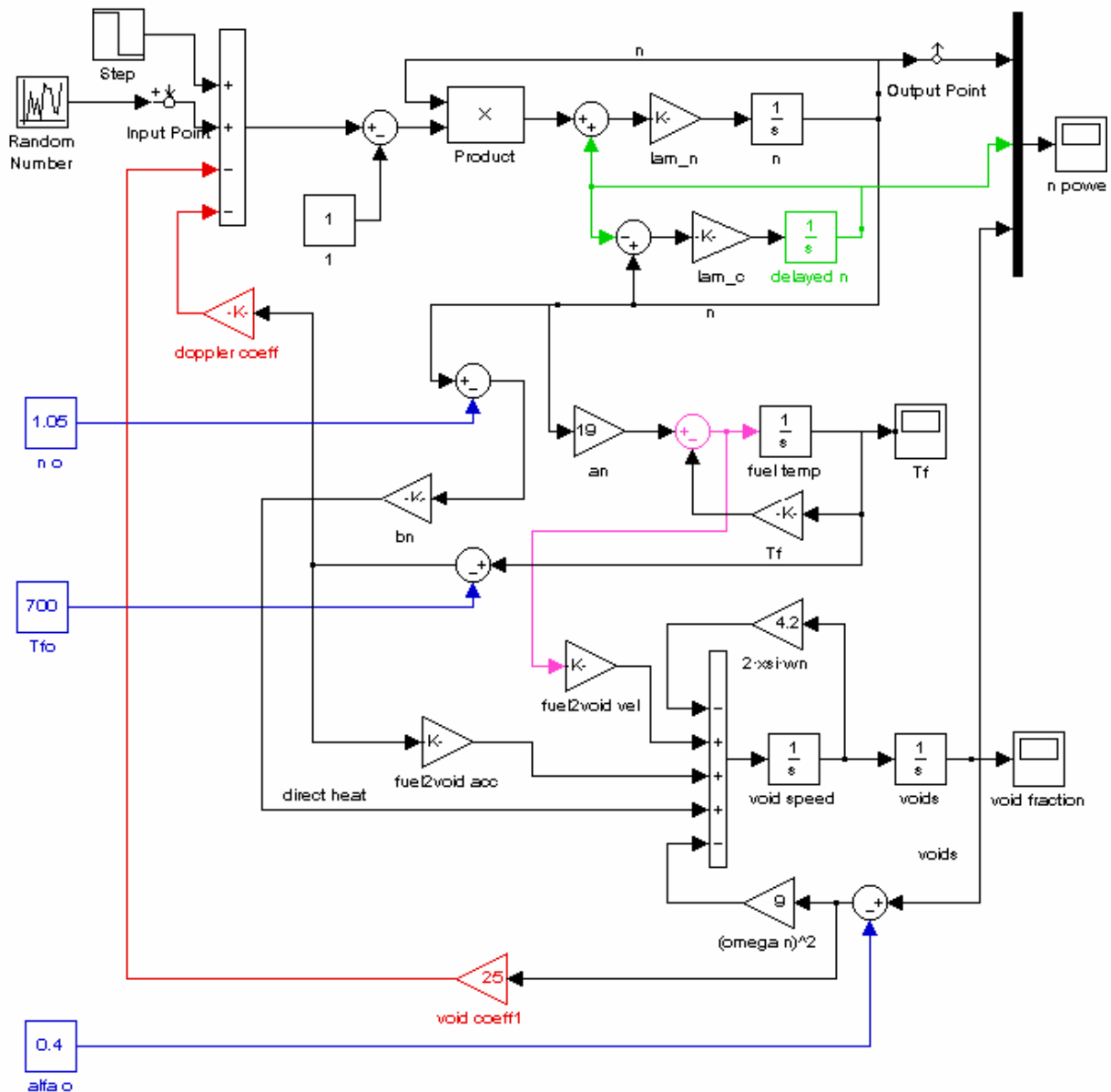


Figura 2. Primer nivel de implementación del Módulo de generación de vapor y transferencia de energía del combustible

La comunicación de estos modelos con el resto de la termohidráulica de la vasija del reactor se da por medio de las siguientes ecuaciones:

$$N_r = \frac{1}{1 - \frac{\mathbf{r}_g}{\mathbf{r}_f}} \quad (10)$$

$$\mathbf{c}_e = \frac{2 \frac{\mathbf{a}}{N_r}}{a \left(1 - \frac{\mathbf{a}}{N_r} \right)^2} \quad (11)$$

$$q_s(t) = 0.78 \times 10^9 \left(\frac{4}{\mathbf{p}} \right) \left(1 - \cos \left(\frac{\mathbf{p} b}{4} \right) \right) n(t) \quad (12)$$

3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la siguiente sección, se definen y explican las pruebas realizadas a los distintos modelos, así como los resultados arrojados por dichas pruebas. Cabe señalar que solo se define un único banco de pruebas, y que éste se aplicó a todos los modelos. Así mismo, en cada subsección se muestran las ejecuciones de las pruebas y los correspondientes análisis de resultados para cada modelo.

3.1. Diseño y Definición del Banco de Pruebas.

Se requiere un banco de pruebas que nos garantice tanto la estabilidad del sistema, como un comportamiento aceptable del mismo. A continuación se muestran las pruebas que conforman nuestro patrón de evaluación.

3.1.1. Prueba de estabilidad

La primera prueba denominada Prueba de Estabilidad, comprueba como su nombre lo indica, la estabilidad del sistema, es decir, con la verificación de que el sistema no tiende a convertirse en un sistema inestable en función al tiempo de ejecución de simulación. Esta prueba se realizará sometiendo al modelo en evaluación, al que llamaremos *módulo muestra* a tres tiempos de simulación distintos. Los *tiempos de simulación* se han fijado de la siguiente manera:

Tabla I. Tiempos de Simulación

Tiempo de Simulación	Duración [s]
A	0 – 10
B	0 - 100

Dado que valores no congruentes de variables, pueden generar errores en la ejecución, tales como divisiones entre cero, etc, las entradas al módulo muestra, así como sus parámetros, deben ser fijados a valores constantes y valores que permitan una ejecución correcta de la simulación. Finalmente, al aplicar esta prueba se espera obtener como resultado una condición de estabilidad en cada módulo, dado que los parámetros de entrada, así como sus parámetros, se mantienen constantes.

3.1.2. Prueba de condiciones nominales

La segunda prueba verifica las condiciones nominales del sistema, es decir, con la verificación de que las condiciones nominales del sistema son congruentes respecto al comportamiento de un reactor nuclear BWR en estado estacionario. Ésta prueba se realizará sometiendo el módulo muestra a los tiempos de simulación A y B de la **Tabla I** así como manteniendo constantes las variables de entrada y los parámetros del módulo muestra. Finalmente, se hará una evaluación cualitativa de los valores obtenidos en cada prueba.

3.1.3 Prueba de transitorios

La tercera prueba, está relacionada con los transitorios en condiciones nominales del sistema, es decir, partiendo de las condiciones nominales del sistema, realizar una variación en las variables de entrada y verificar que dichos transitorios son congruentes respecto al comportamiento de un reactor nuclear BWR. La prueba se realizará de la siguiente manera:

- Para cada módulo muestra se seleccionarán una variable de entrada a modificar.
- Manteniendo constantes todas las variables de entrada al modulo muestra excepto una de la seleccionada, se variará su valor en ± 0.2 MPa para presiones, en ± 50 K para las temperaturas y los flujos en un $\pm 1\%$ hasta un $\pm 5\%$ de su valor inicial. Cabe señalar que los cambios dependerán del módulo prueba.
- Se ejecutará la simulación al tiempo de simulación B de la **Tabla I**.
- Finalmente, se hará una evaluación cualitativa de los valores obtenidos en cada prueba.

3.2 Pruebas al Modelo de los Circuitos de Recirculación

Para iniciar las pruebas, fijamos los valores de las variables de entrada.

Tabla II. Variables de Entrada del Modelo de Recirculación

Entrada	Valor
W_{RL1}	500 [l /s]
W_{RL2}	500 [l /s]
W_{D1}	450 [l /s]
W_{D2}	450 [l /s]
h_{cin}	1.5×10^6 [J]
h_{t1}	1.2563×10^6 [J]
h_{t2}	1.2563×10^6 [J]
h_{noz1}	1.2563×10^6 [J]
h_{noz2}	1.2563×10^6 [J]
h_{de1}	1.2563×10^6 [J]
h_{de2}	1.2563×10^6 [J]
P_u	7.14×10^6 [Pa]
r_c	570 [kg/m ³]
r_p	500 [kg/m ³]
P_d	7×10^6 [Pa]
h_{33}	1.2563×10^6 [J]

Además de lo anterior, cabe señalar que después de la simulación, se esperan obtener los siguientes resultados.

Tabla III. Valores esperados del Modelo de Recirculación

Salida	Valor Esperado
W_{cin}	10 000 [l /s]
h_{cin}	1.5×10^6 [J]

3.2.1. Análisis de resultados para prueba de estabilidad y de condiciones nominales.

El sistema se ejecuta sin ningún contratiempo y el sistema se mantiene estable. Respecto a la entalpía h_{cin} podemos apreciar que el valor esperado es el inicial, pero existe un decremento que se encuentra dentro de un margen aceptable de variación (Figura 2). Respecto al flujo de entrada, podemos observar que es casi igual y se mantiene un incremento muy pequeño, respecto al valor esperado de 10,000 litros/seg (Figura 3).

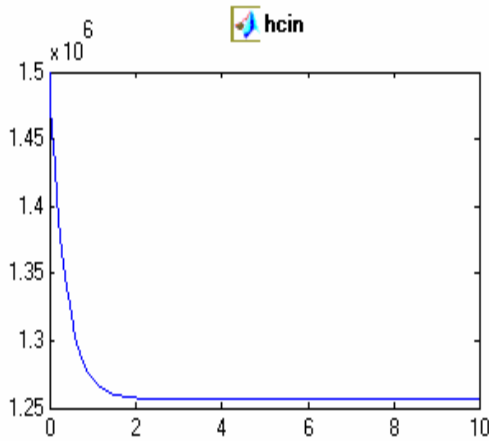


Figura 3. Gráfica de Respuesta de h_{cin} en tiempo de simulación A

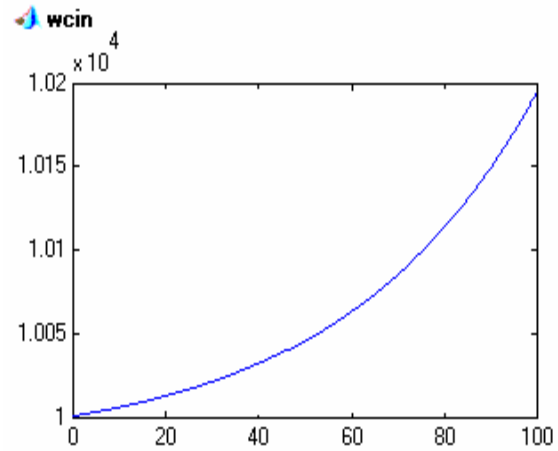


Figura 4. Gráfica de Respuesta de W_{cin} en tiempo de simulación B

3.2.2. Análisis de resultados para prueba de transitorios.

Las variables seleccionadas para esta prueba, fueron las siguientes, con las variaciones descritas a continuación:

Tabla IV. Variación de los parámetros de Entrada

Variable	Valor Inicial	Valor de cambio al segundo 50
P_u	7.14×10^6	7×10^6 [Pa]

Valores esperados. Al reducir la presión del pleno superior y manteniendo constante los demás parámetros, se espera que el flujo de entrada al núcleo W_{cin} , al no tener la misma fuerza de restricción, incrementará su valor.

Para decremento en P_u El sistema se ejecuta sin ningún contratiempo y el sistema se mantiene estable. Respecto al flujo de entrada, podemos observar que existe un incremento considerable, y que cualitativamente hablando, es lo esperado. Respecto a la entalpía h_{cin} podemos apreciar que el valor de asentamiento alcanza al valor inicial de la entalpía h_{33} y se mantiene en dicho valor.

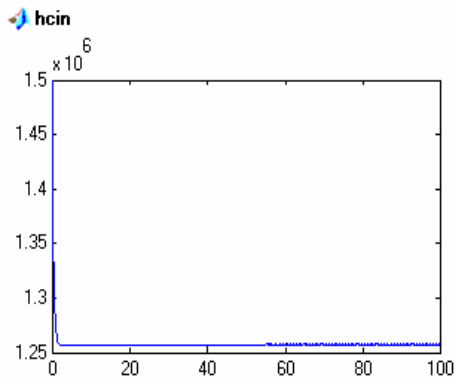


Figura 5. Gráfica de Respuesta de h_{cin} con decremento en P_u

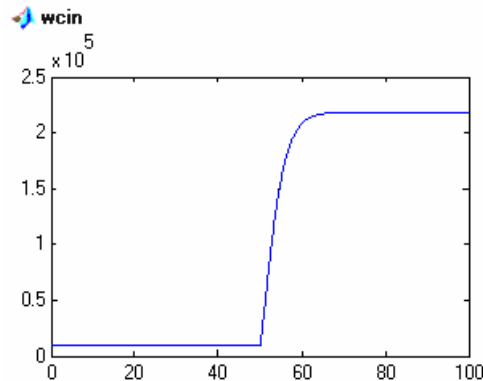


Figura 6. Gráfica de Respuesta de W_{cin} con decremento en P_u

3.3. Pruebas al Modelo del Núcleo del Reactor

Para el modelo del núcleo del reactor, solo se realizó la Prueba de estabilidad, ya que al no existir una retroalimentación del sistema, los valores resultantes del sistema no serán los esperados, y el sistema se volvería inestable. Así mismo, las pruebas a los sub-modelos del núcleo del reactor (subenfriado, saturado y pleno superior) no se muestran en el presente, sino solo las pruebas a los modelos interconectados. Para iniciar las pruebas, fijamos los valores de las variables de entrada.

Tabla V. Variables de Entrada del Modelo del Núcleo del Reactor

Entrada	Valor
W_{cin}	10000 [l/s]
W_{sep}	10000 [l/s]
h_{cin}	1.2563×10^6 [J]
\dot{h}_{cin}	0

Para Tiempo de simulación A y B

El Sistema se comporta bien, y no presenta conflicto.

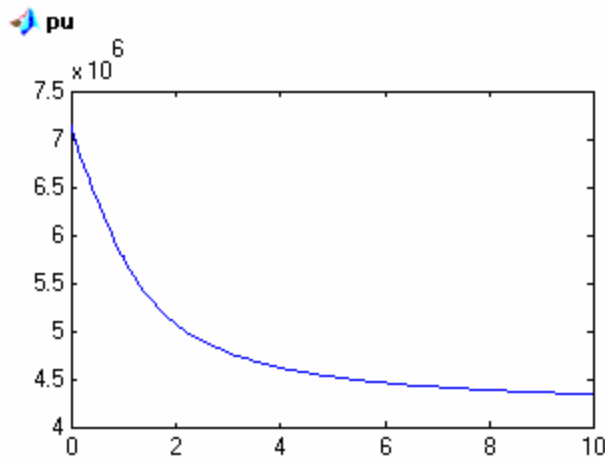


Figura 7. Gráfica de respuesta para P_u en tiempo de simulación A.

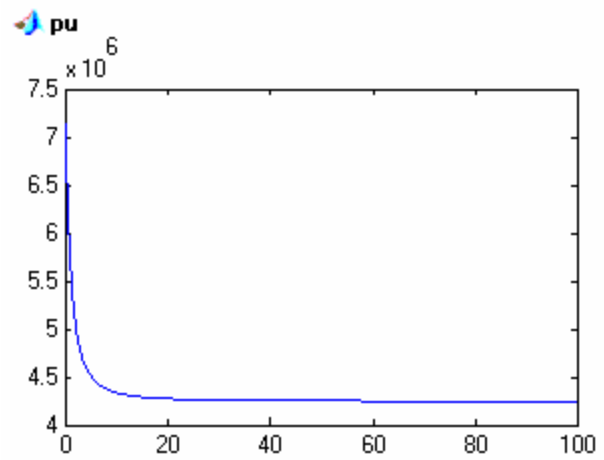


Figura 8. Gráfica de respuesta para P_u en tiempo de simulación B

3.4. Pruebas al Modelo de Separadores de Vapor

Para iniciar las pruebas, fijamos los valores de las variables de entrada.

Tabla VI. Variables de Entrada del Modelo de Separadores de Vapor

Entrada	Valor
W_{3s}	10000 [l/s]
P_u	7.14×10^6 [Pa]
P_D	7×10^6 [Pa]
r_p	500 [kg/m ³]
c_{pu}	.01
W_{gu}	250 [l/s]
V_S	5 [m ³]

Además de lo anterior, cabe señalar que después de la simulación, se esperan obtener los siguientes resultados.

Tabla VII. Valores esperados del Modelo de Separadores de Vapor

Salida	Valor Esperado
W_{3s}	10000 [l/s]
W_{12}	150 [l/s]
W_{22}	9850 [l/s]

3.4.1. Análisis de resultados para prueba de estabilidad y de condiciones nominales

Para Tiempo de simulación A y B.

El sistema se ejecuta sin ningún contratiempo y se mantiene estable. Respecto al flujo de vapor el los separadores W_{12} podemos observar que existe un incremento en su valor, pero tiene un asentamiento muy cercano al esperado. Respecto al flujo W_{22} podemos apreciar que su valor se asienta, aún cuando sobrepasa el valor esperado. Respecto al flujo total en el separador W_{3s} podemos apreciar que su valor el la suma de los flujos de líquido y de vapor en el separador. Debido a esto, podemos apreciar que se asienta cerca del valor esperado.

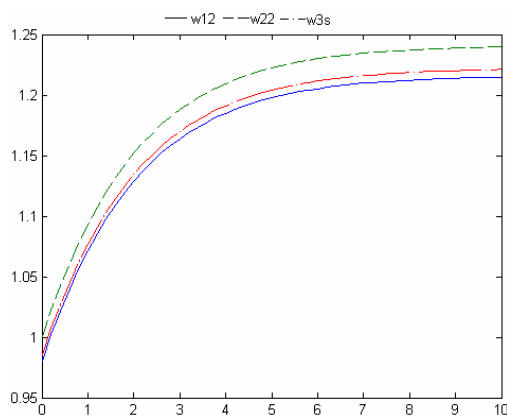


Figura 9. Gráfica de respuesta para W_{12} , W_{22} , y W_{3s} en tiempo de simulación A.

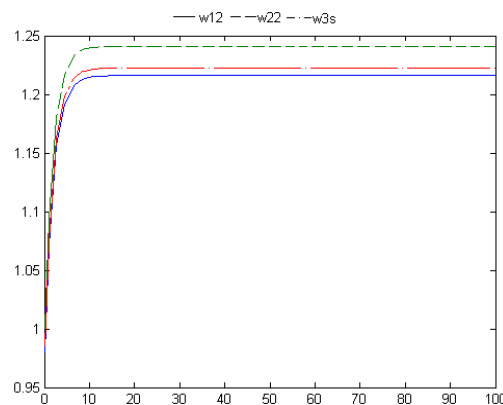


Figura 10. Gráfica de respuesta para W_{12} , W_{22} , W_{3s} en tiempo de simulación B

3.4.2. Análisis de resultados para prueba de transitorios

La variable seleccionada para esta prueba, fue la siguiente, con las variaciones descritas a continuación:

Tabla VIII. Variación de los parámetros de Entrada

Variable	Valor Inicial	Valor de cambio al segundo 50
P_D	7×10^6 [Pa]	7.07×10^6 [Pa]

P_D se incrementó el 1% de su valor iniciales.

Valores esperados. Al incrementar la presión del domo y manteniendo constante los demás parámetros, se espera que el flujo de vapor en los separadores decremente, debido a que el vapor encuentra una resistencia mayor al salir de los separadores. Al disminuir el flujo de vapor, disminuye de manera proporcional el flujo total en los separadores. De igual manera, disminuirá el flujo de líquido en los separadores.

El sistema se ejecuta sin ningún contratiempo y se mantiene estable. Respecto al flujo de vapor en los separadores W_{12} podemos observar que disminuye la cantidad de vapor, tal y como se había previsto. Respecto al flujo W_{22} podemos apreciar que su valor también disminuye y se estabiliza en su nuevo valor. Respecto al flujo total en el separador W_{3s} , podemos apreciar que su valor es la suma de los flujos de líquido y de vapor en el separador. Debido a esto, podemos apreciar su comportamiento es básicamente el mismo a los anteriores y desde luego, es el esperado.

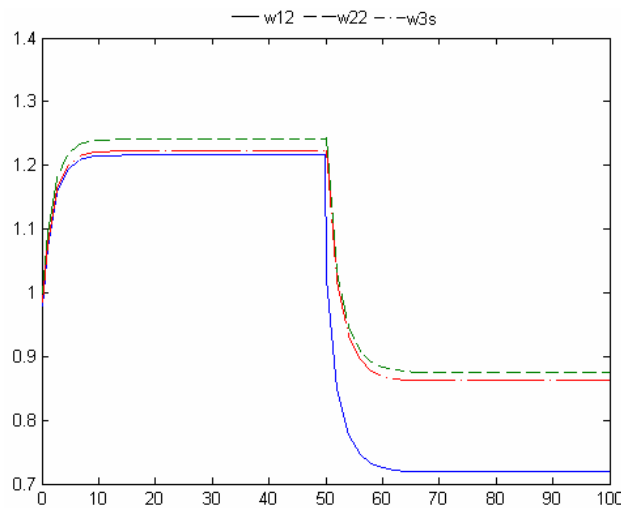


Figura 11. Gráfica de respuesta para W_{12} , W_{22} , W_{3s} con incremento en P_D .

3.5 Pruebas al Modelo del Domo de la Vasija

Para iniciar las pruebas, fijamos los valores de las variables de entrada.

Tabla IX. Variables de Entrada del Modelo del Domo de la Vasija

Entrada	Valor
M_{fb}	5000 [kg]
M_{gb}	500 [kg]
M_{fd}	3000 [kg]
P_D	7×10^6 [Pa]
M_{fs}	3615 [kg]
W_{13}	1055.088 [l/s]
W_{12}	150 [l/s]
W_{22}	9850 [l/s]
W_{cin}	10000 [l/s]
h_{fw}	1269.268 [J]
W_{fw}	1055.088 [l/s]
W_{ci}	0
h_{ci}	0

Además de lo anterior, cabe señalar que después de la simulación, se esperan obtener los siguientes resultados.

Tabla X. Valores esperados del Modelo del Domo de la Vasija

Salida	Valor Esperado
P_D	7×10^6 [Pa]
h_{33}	1.2563×10^6 [J]

3.5.1. Análisis de resultados para prueba de estabilidad y de condiciones nominales

Para tiempo de simulación A y B. El sistema se ejecuta sin ningún contratiempo y se mantiene estable. Respecto a la presión en el domo de la vasija P_D , podemos observar que se mantiene muy cerca del valor esperado. Sin embargo, tiende a decrecer (Figura11). Respecto a la entalpía h_{33} podemos observar que mantiene un valor muy aproximado al esperado, sin embargo, tiene una tendencia a continuar bajando su valor (Figura12).

pd

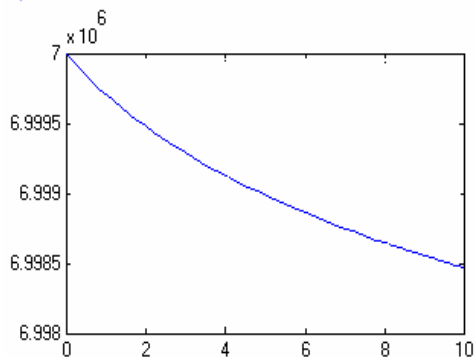


Figura 12. Gráfica de respuesta para P_D en tiempo de simulación A.

h33

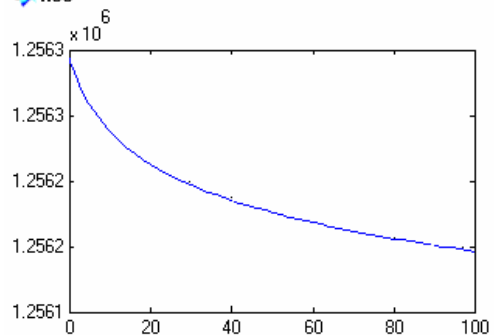


Figura 13. Gráfica de respuesta para h_{33} en tiempo de simulación B.

3.5.2 Análisis de resultados para prueba de transitorios

Se seleccionó la siguiente variable con los siguientes valores:

Tabla XI. Variación de los parámetros de Entrada

Variable	Valor Inicial	Valor de cambio al segundo 50
W_{cin}	10000 [l/s]	9000 [l/s]

Para, W_{cin} se decrementó el 10% de su valor inicial

Valores esperados. Al decrementar el flujo de entrada al núcleo del reactor y manteniendo constante los demás parámetros, se espera que el flujo de vapor en los separadores se decremente, debido a que el vapor pierde fuerza en su ingreso al domo. Al decrementar el flujo de vapor, decremanta de manera proporcional la presión en el domo. El sistema se ejecuta sin ningún contratiempo y se mantiene estable. Respecto a la presión del domo P_D podemos observar que disminuye la cantidad de vapor, tal y como se había previsto aunque éste se poco perceptible. Respecto la entalpía h_{33} podemos apreciar que su valor también disminuye, situación esperada. El cambio es muy pequeño y casi resulta imperceptible.

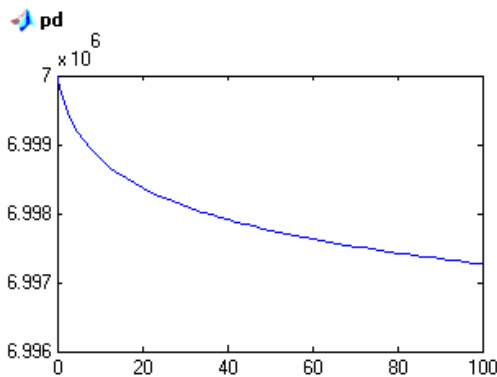


Figura 14. Gráfica de respuesta para P_D con decremento en W_{cin} .

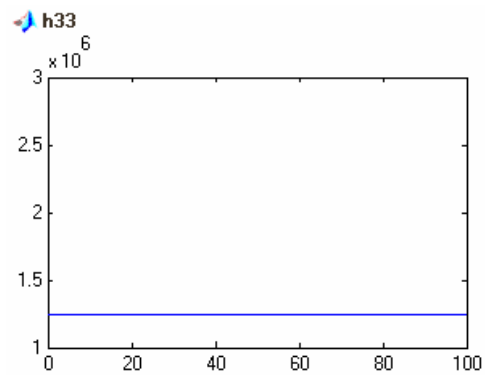


Figura 15. Gráfica de respuesta para h_{33} con decremento en W_{cin} .

3.6 Análisis de resultados para prueba del módulo de generación de calor y transferencia de energía en el combustible.

A continuación se muestran los diagramas de Bode, polos y ceros y Nyquist correspondientes al módulo de generación de calor y transferencia de energía en el combustible descrito en la Figura 2.

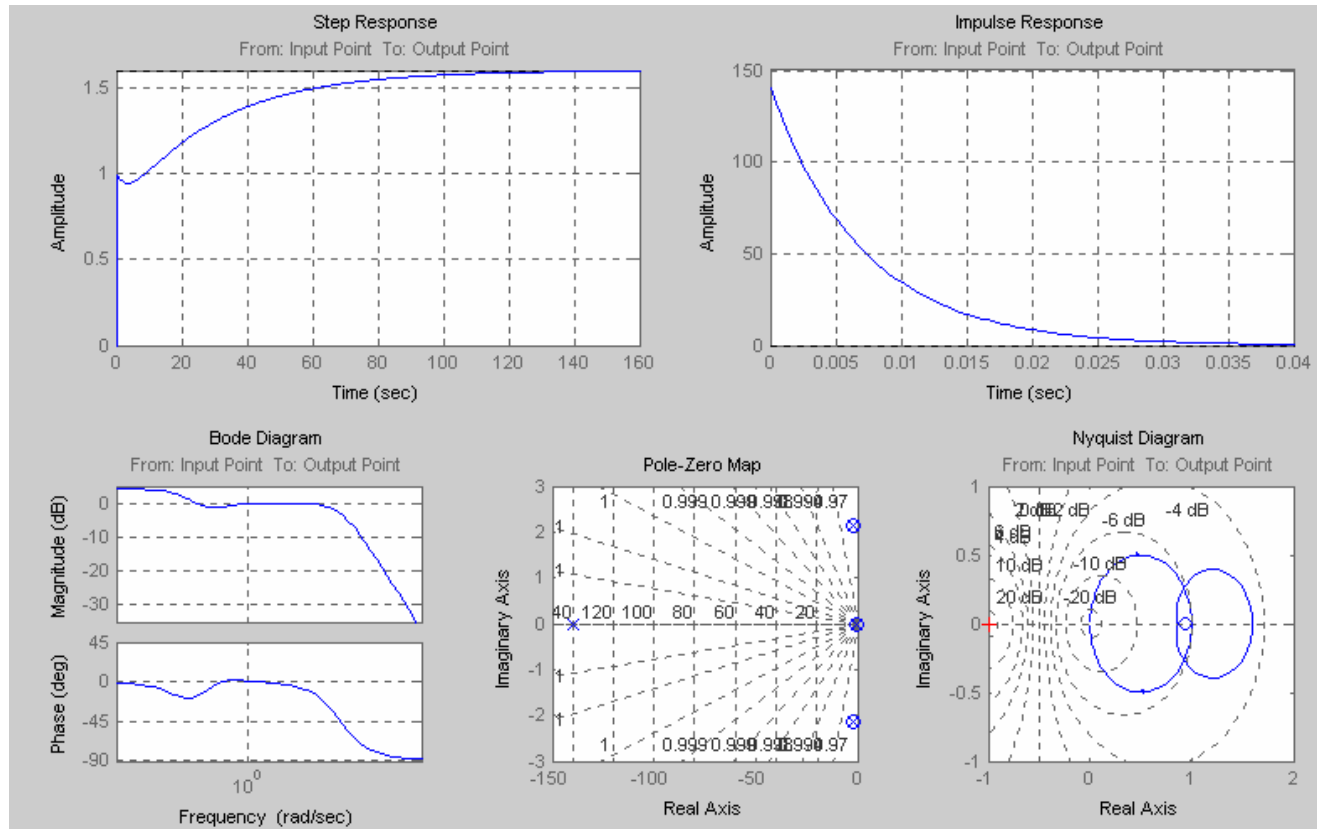


Figura 16. Gráficas de análisis lineal aplicados al módulo de generación de calor y transferencia de calor.

4. CONCLUSIONES

Se logró el modelado matemático de la dinámica de la vasija aplicando conceptos básicos de física para cada uno de los componentes del reactor sin necesidad de la utilización de los complejos modelos matemáticos que rigen en la práctica, el comportamiento de la vasija del reactor. Para ello se utilizaron valores usuales de centrales de este tipo en estado estacionario.

El comportamiento del simulador ha mostrado seguir las tendencias esperadas y es similar al presentado en este sentido a los simuladores réplica. Se mejoró notablemente la versión anterior en cuanto a tiempo de ejecución ya que requería de una computadora extremadamente rápida y sin ejecutar procesos colaterales.

De igual manera, el desempeño del simulador de la vasija del reactor para el SUN-RAH puede mejorarse y perfeccionarse utilizando parámetros geométricos y propiedades físicas de nucleoelectricas reales. En estas condiciones el simulador puede reproducir una amplia gama de eventos transitorios y de operación reales.

Este simulador nos permite experimentar con las variables y parámetros geométricos del reactor, con lo que también puede resultar ser una herramienta útil para realizar análisis rápidos o del comportamiento global de reactores tipo BWR.

Para esta versión del simulador de la vasija del reactor para el SUN-RAH, los tiempos de

respuesta son aceptables, pero en definitiva perfectibles. Lo anterior se debe a que ciertos módulos y funciones que integran los modelos, se llaman de manera cíclica introduciendo retardos o consumos adicionales de tiempo de ejecución, los que seguramente pueden reducirse o eliminarse en versiones posteriores del SUN-RAH.

REFERENCIAS

1. Sánchez Salazar Raymundo Adán, “Modelado de la Dinámica de la Vasija y Circuitos de Recirculación de una Nucleoeléctrica tipo BWR como parte del Simulador Universitario SUN-RAH”, *Memorias del XIV Congreso Anual de la SNM*, Guadalajara Jalisco México, 10-13 Septiembre de 2003.
2. Hernández Solís Augusto, “Análisis comparativo de métodos de solución de las ecuaciones de cinética puntual”, *Memorias del XIV Congreso Anual de la SNM*, Guadalajara Jalisco México, 10-13 Septiembre de 2003.
3. Comisión Federal de Electricidad, *Del Fuego a la Energía Nuclear*, México 1989
4. T.R. Dickson, *Química, Enfoque Ecológico*, Limusa, 1995
5. Pressman, Roger S., *Ingeniería del Software, Un enfoque práctico*, Mc Graw Hill, Cuarta Edición
6. Glasstone, Samuel & Sesonske, Alexander, *Nuclear Reactor Engineering*, D. Van Nostrand Company, INC., 1967
7. Padilla Tinajero José Manuel y Ávalos Arzate Guillermo, *Reactores de Potencia*, Limusa, 1999
8. “Páginas de Matworks”,
http://www.mathworks.com/academia/student_center/homework/simulink/sim_ex1.html (2004).
http://www.mathworks.com/academia/student_center/homework/simulink/sim_ex2.html
http://www.mathworks.com/academia/student_center/tutorials/index.html
9. José March-Leuba, “A reduced-order model of boiling water reactor linear dynamics”, *Nuclear Technology*, Vol.75, p. 15-22 (Oct. 1986)