



IMPORTANCIA DE LOS SIMULADORES EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE UNA CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA.

Armando M. Gómez Torres
Departamento de Ingeniería Nuclear
Escuela Superior de Física y Matemáticas
Instituto Politécnico Nacional
Av. IPN s/n, Col. Lindavista, 07738, México D. F., MÉXICO
armago@esfm.imp.mx

A diferencia de una planta termoeléctrica en la cual un fluido (principalmente agua) hierve en una caldera debido a la combustión de carbón o de gas, las centrales nucleoelectricas presentan un proceso de ebullición más complejo. En las centrales nucleoelectricas se hace uso de la fisión nuclear. Este proceso de obtención de energía esta estrechamente relacionado con el fluido que se use para la obtención de vapor y con los materiales que componen el núcleo del reactor. En el caso de los reactores nucleares de agua hirviente (BWR), el cambio de fase del fluido afecta el proceso de fisión de diferentes formas. Este acoplamiento, entre algunos otros, hace que el diseño de un reactor nuclear sea complicado. El alto riesgo que implicaría la liberación al ambiente de materiales radiactivos debida a alguna falla que pudiera presentarse en la operación de un reactor nuclear hace esencial e importante que las centrales nucleares estén estrictamente bien diseñadas. Además debido a estos riesgos, se hace imposible experimentar en plantas nucleares de potencia, por lo que es indispensable el uso de simuladores en el diseño y operación de las centrales nucleares.

Simulación

La simulación es el estudio de un sistema o de sus partes mediante el análisis de su representación matemática o de su modelo físico. Tanto el diseño como la operación de una central nucleoelectrica, se facilita cuando se emplea un modelo matemático que simule adecuadamente el proceso o partes de él en condiciones normales o fuera de éstas; inclusive, se pueden encontrar las condiciones de operación prohibidas para el sistema [1].

La simulación de procesos presenta bastantes ventajas entre las cuales se pueden enumerar las siguientes:

- Experimentación económica.
- Permite estudiar fácilmente el efecto de la modificación de las variables y parámetros.
- Se puede examinar la estabilidad de sistemas y subsistemas frente a diferentes perturbaciones.
- Ensayo de intervalos extremos de las condiciones de operación, los cuales no se podrían llevar a cabo en un sistema real sin dañarlo.
- Permite comparar distintos diseños y procesos que todavía no están en operación, y ensayar hipótesis sobre sistemas o procesos antes de llevarlos a la práctica.

El grado de detalle que se solicita al modelo matemático, el cual representa al sistema bajo estudio, depende exclusivamente de los objetivos que se pretendan: diseño del proceso, análisis del funcionamiento, estudio de interrelaciones entre subsistemas, remodelado de un subsistema, entre otros.

Centrales nucleares

Para tener una idea clara de la complejidad de una central nuclear se hará referencia a las siguientes dos figuras: en la Figura 1 se muestra un esquema básico de un reactor nuclear de agua hirviente. Utiliza agua natural purificada como moderador y refrigerante. Como combustible dispone de Uranio-238 enriquecido con Uranio-235, el cual, facilita la generación

de fisiones nucleares. En la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (CNLV) se tienen de este tipo de reactores.

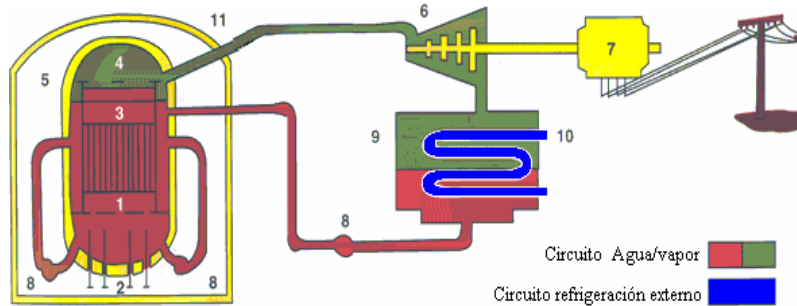


Figura 1. Diagrama básico de un reactor nuclear de agua hirviente.

En donde:

- | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1. Núcleo del reactor. | 2. Barras de control. | 3. Cambiador de calor |
| 4. Secador. | 5. Vasija. | 6. Turbina. |
| 7. Alternador. | 8. Bomba. | 9. Condensador |
| 10. Circuito de refrigeración. | 11. Contención primaria de acero. | |

En la Figura 2 se muestra, la línea que se sigue en un reactor para la producción de energía eléctrica, la cual comienza con la energía liberada por las reacciones de fisión la cual aparece principalmente en forma de energía cinética debida a la fricción e interacciones de los productos de fisión. Esta energía es rápidamente depositada en forma de calor en el material combustible. Este calor se transporta vía conducción térmica a través de los elementos de combustible hasta que llega a la superficie del mismo. El calor se transfiere a continuación de la superficie del elemento combustible al refrigerante por convección forzada. El movimiento de la masa de refrigerante transporta la energía térmica hacia fuera del núcleo del reactor. El diseño del núcleo del reactor termina en este punto, sin embargo los ingenieros de planta continuarán con el trayecto para convertir el agua a vapor y después el vapor se usará para mover el turbogenerador, cerrándose el ciclo con la condensación del vapor.

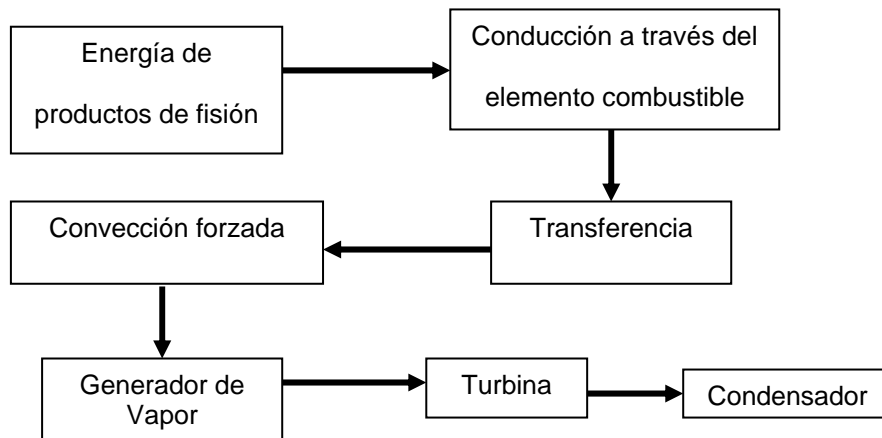


Figura 2 Línea de operación de un reactor nuclear. El combustible nuclear está hecho generalmente en forma de barras cilíndricas de dióxido de Uranio, las cuales están contenidas dentro de un encamisado principalmente de Zircaloy sellado herméticamente para prevenir que escapen los gases radiactivos productos de la fisión nuclear los cuales se van acumulando en una holgura que queda entre la barra de combustible y el encamisado (ver Figura 3).

La temperatura en los elementos combustibles depende de la rapidez de generación de calor, de las propiedades de los materiales combustibles, así como de las propiedades térmicas del refrigerante y del encamisado. La rapidez de generación de calor en el combustible depende a su vez de la rapidez de moderación de los neutrones fuera del combustible, así como de las interacciones neutrónicas dentro del combustible. De esta manera, una predicción correcta de la temperatura de los elementos combustibles requiere simultáneamente la determinación del flujo neutrónico y de las condiciones del refrigerante.

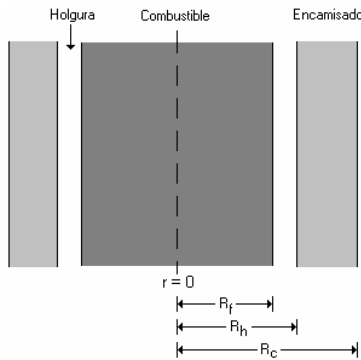


Figura 3 Esquema del elemento combustible.

Modelos para hacer una simulación

Existen una gran variedad de métodos y modelos para desarrollar programas de cómputo capaces de simular el comportamiento de un reactor nuclear. Como ya se discutió, las estrechas relaciones entre las ecuaciones que rigen el comportamiento de un reactor nuclear, hacen que el sistema a modelar sea complicado.

El modelado generalmente se divide en dos partes, la que tiene que ver con la parte termohidráulica del reactor y la que tiene que ver con el comportamiento neutrónico del núcleo. Las ecuaciones que rigen ambas partes son ecuaciones de balance que suelen ser ecuaciones diferenciales parciales las cuales no siempre tienen una solución analítica por lo que es necesario el uso de métodos numéricos para obtener una solución aproximada.

Los parámetros nucleares usados en el modelado del núcleo de un reactor son funciones de los parámetros termohidráulicos y viceversa por lo que el sistema de ecuaciones a resolver se vuelve no lineal complicando aún más la solución numérica. La Figura 4 muestra un ejemplo de acoplamiento entre la parte nuclear y la termohidráulica [2,3]. Los dos modelos se acoplan mediante un módulo de generación de constantes nucleares las cuales dependen de las distribuciones de temperatura obtenidas por el módulo termohidráulico. Estas constantes nucleares son necesarias para hacer el cálculo nuclear y tienen que ver con las características físicas de los materiales usados en el núcleo del reactor. A su vez, el módulo termohidráulico necesita un perfil de potencia que es proporcionado por el módulo nuclear, este último módulo hará uso de las constantes nucleares.

Debido a la estrecha relación entre los diferentes módulos que se usan en el cálculo de la distribución de potencia en un reactor nuclear, resultaría un tanto confuso iniciar el cálculo, ya que como se puede observar en la Figura 4, cada módulo depende de diferentes factores que entrega el módulo anterior, con lo que en principio se tendría un ciclo sin principio ni fin. La manera más común de empezar es dar una estimación inicial a alguno de los módulos y de esta forma comenzar con el cálculo. Usualmente el cálculo comienza proporcionando un perfil de flujo axial al módulo nuclear, con el cuál se puede calcular una distribución de potencia inicial con la que comenzará sus cálculos el módulo termohidráulico. Este módulo calculará entonces la distribución de temperaturas a lo largo del núcleo. La distribución de temperaturas se entrega al módulo que genera las constantes nucleares, y dichas constantes son generadas para las condiciones dadas. Con estas constantes nucleares, se puede utilizar ahora el módulo que resuelve las ecuaciones de difusión en multigrupos para calcular el perfil de flujo neutrónico y la distribución axial de potencia que será usada por el módulo termohidráulico

para una segunda estimación de la distribución de temperaturas y fracciones de vacío. Este proceso continuará hasta que la distribución de potencia converja a su forma real.

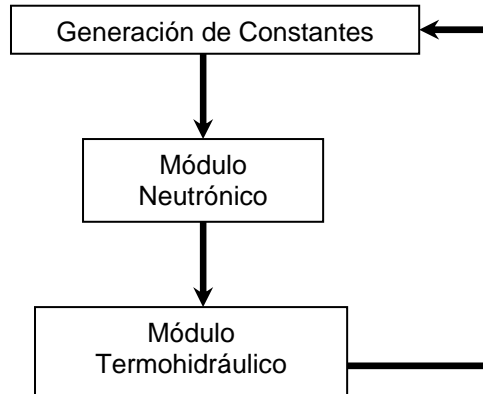


Figura 4. Ejemplo de acoplamiento para la simulación del núcleo de un reactor nuclear.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo es dar un panorama amplio sobre lo necesario que es el uso de simuladores en el diseño y la operación de un reactor nuclear. Actualmente se cuenta con una gran variedad de simuladores en todo el mundo, sin embargo aún tienen limitaciones. El desarrollo de programas de cómputo capaces de predecir el comportamiento de una planta nuclear es una de las prioridades de la industria nuclear.

Fuentes consultadas

- [1] Carlos Martín Lorencez González, *Simulador de principios básicos de una central nuclear con reactor de agua hirviente*, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México (1988).
- [2] Armando Miguel Gómez Torres, *Acoplamiento de la Neutrónica y la Termohidráulica para el análisis de un BWR*, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México (2003).
- [3] J.J. Duderstadt and L. J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley & Sons, New York (1976).
- [4] Juan Carlos Ramos Pablos, *Simulación en tiempo real de la Termohidráulica de un Reactor de agua Hirviente*, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México (1991).
- [5] John R. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Reactor Theory*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., (1966).