



MX0700352

# INFORME TÉCNICO DE INVESTIGACIÓN ANUAL DEL 2004

## CA-205

### Proyecto:

Estudio de Reactores y Combustibles Avanzados y Generación de Métodos de Análisis  
(Tercera Etapa)

### Participantes:

Dr. Gustavo Alonso Vargas	Jefe del Departamento	N-54
M. en C. Jorge Viais Juárez	Profesionista "B"	N-19
Fís. Gonzalo Mendoza Guerrero	Profesionista "D"	N-23
M. en C. José Ramón Ramírez Sánchez	Profesionista "D"	N-23
M. en C. José Alejandro Castillo Méndez	Profesionista "C"	N-21

### Objetivos y Alcance:

Realizar el APS Nivel 1 para el diseño modificado del Reactor IRIS.

Generar herramientas computacionales de cálculo para el análisis de los Reactores de IV generación y optimizar el uso de combustible nuclear.

Elaborar el análisis económico del Reactor IRIS.

### Introducción:

La generación de electricidad por medios nucleares es una opción que ha tomado especial importancia a nivel mundial con el resurgimiento de la energía nuclear a nivel mundial, prueba de ello es la iniciativa de los reactores de IV generación y la posibilidad del reciclado de combustible para ser empleado en estos reactores.

La producción de energía eléctrica por medio de reactores nucleares es actualmente un negocio rentable y competitivo con otros medios de generación por lo que ello aumenta su atractivo dado que no produce contaminación atmosférica a diferencia de la generación mediante hidrocarburos. Por otra parte el programa sectorial de energía 2001-2006 contempla ya la conveniencia de contar con una nueva central de cuarta generación que permita diversificar las fuentes de energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que resulta de suma importancia colaborar en el desarrollo de los reactores de IV generación y conocer dicha tecnología para una futura toma de decisión.

### Planteamiento:

1. Familiarizarse con los cambios al diseño del Reactor IRIS
2. Establecer eventos iniciadores de secuencias de accidente
3. Familiarizarse con los sistemas requeridos para mitigar y/o suprimir las consecuencias en las secuencias de accidente de eventos iniciadores.
4. Elaboración de base de datos de confiabilidad para componentes, probabilidad de error humano y frecuencia de eventos iniciadores.
5. Modelado y cuantificación de árboles de falla para sistemas de seguridad y sistemas de soporte.
6. Modelado y cuantificación de árboles de eventos de secuencia de accidente.
7. Cuantificación de la frecuencia de daño al núcleo del reactor.

8. Generar herramientas computacionales de cálculo para el análisis de reactores de IV generación.
9. Generar herramientas computacionales para optimizar el uso del combustible nuclear.
10. Elaborar el análisis económico del reactor IRIS.

### **Trabajo desarrollado:**

Se analizaron los cambios al diseño preliminar del Reactor IRIS estableciéndose los eventos iniciadores de secuencia de accidente así como los sistemas de mitigación y supresión de consecuencias en el Reactor IRIS.

Se elaboraron las bases de confiabilidad para componentes, probabilidad de error humano y frecuencia de eventos iniciadores. Además se modelaron y cuantificaron los árboles de falla para sistemas de seguridad y sistemas de soporte y se modelaron y cuantificaron los árboles de eventos de secuencias de accidente para finalmente cuantificar la frecuencia de daño al núcleo del reactor.

Por otra parte se desarrollo un programa de cómputo basado en la metodología de costo total nivelado de generación eléctrica, el cual se empleo para llevar a cabo el análisis económico del Reactor IRIS. Como un beneficio adicional se consideró un uso dual del reactor, el cual se asociado a la producción de agua potable y se determinaron los costos que se tendrían bajo éste escenario, tanto para la electricidad como para el agua potable.

Basado en el modelo de reactividad lineal se han generado algunos algoritmos para el análisis de Reactores del Tipo BWR que conjuntamente con los programas de cómputo generados previamente conformaron un conjunto de códigos para llevar a cabo estudios de administración de combustible nuclear empleando tecnología propia. Además se cuenta con métodos de optimización que permiten el diseño de recargas de combustible para un mejor aprovechamiento del combustible nuclear.

Se ha analizado el desempeño de los diseños generados de combustible MOX con una mayor razón de moderación así como escenarios de reciclado de combustibles gastados de las dos unidades de la Central Laguna Verde.

### **Conclusión:**

Del análisis probabilístico de seguridad se demuestra que la frecuencia de daño al núcleo para el diseño modificado del reactor IRIS es también menor por un orden de magnitud con respecto a los diseños de los reactores de tercera generación, este es un resultado esperado ya que el diseño modificado del reactor IRIS elimina por diseño algunos accidentes o incidentes considerados.

El uso de los modelos de reactividad lineal permiten llevar a cabo estudios preliminares de recargas de combustible en tiempos muy pequeños comparados con los análisis en dos y tres dimensiones permitiendo la consideración de más escenarios de recargas de combustible.

Finalmente, el diseño de combustibles MOX con una mayor moderación permite emplear hasta 52 ensamblajes en una recarga de 112 ensamblajes, siendo ésta superior al 30% reportado en la literatura, por lo que los principios de diseño serán enviados a una revista especializada para su consideración como publicación.

### **Beneficios:**

Se tienen elementos técnicos necesarios para poder analizar la conveniencia de los Reactores de IV generación y el ININ se han desarrollado algunas herramientas computacionales para llevar a cabo los análisis físicos de las probables propuestas para la construcción de un Reactor de IV generación.

Se publicaron dos artículos en revista internacional y diez artículos en congresos internacionales.

Se sigue consolidando un grupo especializado en el diseño y análisis de reactores nucleares. Se consiguió un contrato de prestación de servicios con la Subdirección de Generación de la Comisión Federal de Electricidad para llevar a cabo el: "ANALISIS DE LOS REACTORES ABWR, ACR Y EPR COMO OPCION PARA UNA NUEVA CENTRAL NUCLEOELECTRICA EN MEXICO".

### **Lista de publicaciones:**

#### **Artículos con arbitraje en revistas internacionales**

G. Alonso, R. T. Perry, "On the Relationship Between Changes in  $K$  and Changes in Homogenized 2-Group Constants," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. **227/3**, pp. 369-378.

J. A. Castillo, J. J. Ortiz, G. Alonso, L. B. Morales, E. del Valle, "BWR Control Rod Design Using Tabu Search," Annals of Nuclear Energy, Vol **32/7** pp 741-754.

#### **Artículos en congresos en el extranjero**

J. Palacios, G. Alonso, R. Ramírez, and A. Gómez, "Levelized Costs for Nuclear, Gas and Coal for Electricity, under the Mexican Scenario", Proceedings of the ANES 2004, Miami Florida, U. S. A., October 2004.

G. Alonso, R. Ramírez and M. C. Gomez, "IRIS-Reactor- A Suitable Option to Provide Energy and Water Desalination for the Mexican Northwest Region", Proceedings of the ANES 2004, Miami Florida, U. S. A., October 2004.

D. T. Ingersoll , J. L. Binder, V. Polunichev, M. E. Ricotti D. Conti, G. Alonso, "Cogeneration of Electricity and Potable Water Using The International Reactor Innovative and Secure (IRIS) Design", Proceedings of the ANES 2004, Miami Florida, U. S. A., October 2004.

N. Hernández, G. Alonso, E. del Valle, "Simulación en 3 dimensiones de un ciclo de 18 meses para un reactor BWR usando el programa Nod3D", Memorias del Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR, July 11-14, 2004.

J. R. Ramírez, G. Alonso, J. Palacios, “Diseño de una recarga mixta con ensambles MOX de mayor relación de moderación para un reactor BWR”, Memorias del Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR, July 11-14, 2004.

Castillo, J. J. Ortiz, G. Alonso, L. Morales, E. del Valle, “Obtención de patrones de barras de control para un BWR usando búsqueda tabu”, Memorias del Congreso Internacional Conjunto Cancún 2004 LAS/ANS-SNM-SMSR, July 11-14, 2004.

Gomez, A. Delfin, G. Alonso, E. del Valle, “Solution of the 1D kinetic diffusion equations using a reduced nodal cubic scheme,” proceedings of the PHYSOR 2004 – The Physics of Fuel Cycles and Advanced Nuclear Systems: Global Developments, Chicago, Illinois, April 25-29, 2004.

J. Ramirez, G. Alonso, J. Palacios, “Over-moderated MOX fuel assembly in a BWR mixed reload,” proceedings of the PHYSOR 2004 – The Physics of Fuel Cycles and Advanced Nuclear Systems: Global Developments, Chicago, Illinois, April 25-29, 2004.

G. Alonso, E. del Valle, A. Delfin, “BWR local peaking factor calculation using the linear reactivity model,” Proceedings of the 14<sup>th</sup> Pacific Basin Nuclear Conference, March 21-24, 2004, Honolulu, Hawaii.

A. Castillo, L. B. Morales, J. J. Ortiz, G. Alonso, E. del Valle, “Optimization of BWR control rod pattern using a tabu search technique,” Proceedings of the 14<sup>th</sup> Pacific Basin Nuclear Conference, March 21-24, 2004, Honolulu, Hawaii.