



MX0500303

XVI Congreso Anual de la SNM y XXIII Reunión Anual de la SMSR
XVI SNM Annual Meeting and XXIII SMSR Annual Meeting
Oaxaca, Oaxaca, México, Julio 10-13, 2005 / Oaxaca, Oaxaca, México, Julio 10-13, 2005

Instalación de un nuevo tipo de reactor nuclear en México: Ventajas y Desventajas

Mayverena Jurado Pineda

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

División de Ingeniería Eléctrica

Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, DF.

mjp_green@hotmail.com

Cecilia Martín del Campo Márquez

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares

Paseo Cuauhnáhuac 8532, 62550 Jiutepec, Mor. México

cmcm@fi-b.unam.mx

Resumen

En este trabajo se presentan las principales ventajas y desventajas de la instalación de un nuevo tipo de reactor nuclear en México diferente al reactor BWR. Se hace una revisión de los reactores avanzados que se encuentran actualmente en operación y de los reactores avanzados que se encuentran en construcción o ya se ha planeado su construcción en el corto plazo. Específicamente se analizan los reactores ABWR y EPR.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace tres décadas, una opción viable de generación eléctrica en varios países ha sido la energía nuclear. Actualmente operan en el mundo 439 reactores nucleares en 30 países con una capacidad instalada de 365,405 MWe y una generación anual en el año 2003 de 2,525 TWh lo cual representó 16% de la generación eléctrica mundial [1]. En México existen a la fecha dos reactores nucleares del tipo BWR-5 Agua Hirviendo con una capacidad de 682.5 MWe cada reactor; estas unidades iniciaron su operación comercial en Julio de 1990 y Abril de 1995, respectivamente y han operado con un factor de capacidad histórico de 82%. Actualmente se analiza la posibilidad de instalar un nuevo tipo de reactor nuclear para que en un futuro llegue a cubrir parte de la demanda eléctrica.

Las investigaciones que se han hecho sobre las nuevas generaciones de reactores nucleares demuestran que tienen una mayor confiabilidad, menores costos de inversión en comparación con plantas nucleares anteriores, la operación de las nuevas plantas es más sencilla, y las actividades de mantenimiento de los mismos son menos complicadas y se realizan en tiempos cada vez más cortos; así como de una mayor seguridad con respecto a reactores que se encuentran en operación desde hace varios años.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la publicación anual de Costos y Parámetros de Referencia para la Generación eléctrica COPAR-Generación, incluye desde hace varios años los costos y parámetros de una planta nuclear con reactor semejante al ABWR como una posible opción de generación eléctrica para ser considerada en los estudios de expansión del sector eléctrico mexicano. Cabe mencionar que hasta el año 2003 los costos unitarios de generación eléctrica de este tipo de unidad resultaban claramente no competitivos con los de las unidades generadoras de ciclo combinado con gas (CCG) y con los de unidades carboeléctricas y otras plantas de generación. Sin embargo, la CFE en el último COPAR Generación 2004 [2] reporta que los costos de referencia de las plantas nucleares (tipo ABWR) son muy cercanos a los de plantas de CCG e inclusive inferiores a los de las plantas carboeléctricas.

Dos de los principales reactores de los cuales algunas unidades ya iniciaron su operación comercial y otras se encuentran bajo construcción o planeadas para ser construidas en el mundo, son los reactores tipo ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) y tipo EPR (European Pressurized water Reactor).

En el presente trabajo, estos dos reactores fueron seleccionados como únicas opciones a ser analizadas para su posible instalación en México. En trabajos futuros más completos y profundos deberán ser analizados más tipos de reactores avanzados de generación III y III+.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ABWR Y DEL EPR

Actualmente se encuentran en operación dos unidades del tipo ABWR en Japón, éstas iniciaron su operación comercial en 1996 y 1997, respectivamente. Además se encuentran tres reactores más en construcción uno en Japón para iniciar operación en 2006 y dos en China para iniciar operación en 2006 y 2007. Adicionalmente Japón tiene planeada la construcción de nueve reactores ABWR para iniciar construcción entre el 2005 y el 2011 [3]. Estos datos demuestran la confiabilidad y competitividad económica que tienen los reactores ABWR en la generación de electricidad. Este tipo de reactores son fabricados por Hitashi-Toshiba en Japón y por General Electric (GE) en los Estados Unidos. Es un reactor del tipo “evolutivo” que recopiló la experiencia de los reactores BWR fabricados anteriormente por General Electric en Estados Unidos y otros países.

En cambio, del reactor tipo EPR no existe actualmente ninguno en operación, sólo se encuentra planeada la construcción de dos reactores para entrar en operación comercial en el año 2009 en Finlandia y en año 2012 en Francia. Sin embargo, de acuerdo al Grupo AREVA (Framatome ANP and Siemens Co.) productor de este tipo de reactor, lo describe como el reactor más potente y avanzado en materia de competitividad seguridad y respeto al medio ambiente. De tipo “reactor – evolutivo” garantiza que todos sus componentes esenciales han sido probados en cuanto a su concepto, su construcción y su funcionamiento. Este reactor se beneficia de la retroalimentación de la experiencia de 98 reactores nucleares construidos por AREVA en el mundo y del resultado de importantes programas de investigación y desarrollo. [4].

En la Tabla I se muestra la visión general del reactor ABWR y del reactor EPR. La diferencia sustancial se observa en el costo de inversión.

Tabla I. Visión general del reactor ABWR y del reactor EPR.

	Reactor ABWR [5]	Reactor EPR [4,6]
Potencia Eléctrica MWe	1356	1600
Potencia Térmica MWt	3926	4324
Ciclo de vida de la planta (años)	60	60
Factor de disponibilidad de la planta	87% o mayor	91% a 92%
Duración de los ciclos (meses)	18 a 24	12 a 24
Frecuencias totales de daños al núcleo	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
Tiempo de Construcción (meses)	60	60
Costo de inversión USD/MWe	1,430 [7]	1,274 [7]

3. COMPARACIÓN DE COSTOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

En la Tabla II se hace una comparación de los costos de generación de una Central Nucleoeléctrica ABWR con otros tipos de plantas de generación eléctrica. Los datos que se muestran en esta tabla fueron recopilados del COPAR Generación 2003 [8] y 2004 [2] con el fin de comparar los costos. Se puede apreciar que los costos de la planta nuclear en el año 2004 tienen una fuerte disminución, ésta se debe principalmente a que en el COPAR 2004 han sido recalculados los costos con datos actualizados provenientes de General Electric y de estudios realizados recientemente. Lo que es importante resaltar es que los costos de generación de las plantas nucleoeléctricas aparecen ahora competitivas con las otras formas de generación eléctrica se colocan en segundo lugar después de las plantas de Ciclo Combinado a base de gas y antes de las plantas geotérmicas. El costo de generación en este caso ya no representa el inconveniente mayor para seleccionar una planta nuclear. Tal vez lo que sigue siendo un obstáculo a vencer es el alto costo de inversión.

Tabla II. Comparación de Costos de Generación de una Central Nucleoeléctrica con otras plantas de generación eléctrica [2]

Central	Potencia bruta (MW)	Inversión (dól/MWh)		Combustible (dól/MWh)		Operación y Mantenimiento (dól/MWh)		Total (dól/MWh)	
		COP (2003)	COP (2004)	COP (2003)	COP (2004)	COP (2003)	COP (2004)	COP (2003)	COP (2004)
Térmica Convencio- nal	2*350	18.10	18.19	29.29	34.64	5.27	5.37	52.66	58.2
Turbogás industrial “G”	1*253	38.84	36.32	37.54	44.66	4.79	4.79	81.17	85.77
Ciclo combinado gas 2*1 “G”	1*750	7.25	7.83	26.21	31.17	3.74	3.76	37.20	42.76
C. dual con desulfurador	2*350	36.84	34.94	11.40	11.51	9.98	9.16	58.22	55.61
Nuclear (ABWR)	1*1356	51.03	28.4	6.20	6.54	11.25	8.71	68.48	43.65
Geotérmica Los Azufres	4*26.60	19.65	20.5	18.45	18.68	6.42	6.55	44.52	45.73
Hidroeléctri- ca La Amistad	2*33	49.09	49.82	1.89	1.66	8.47	8.56	59.45	60.24
Hidroeléctri- ca Chicoasén	5*300	60.29	61.19	0.61	0.6	1.60	1.61	62.50	63.4

4. COMPARACIÓN DE COSTOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LOS REACTORES ABWR Y EPR

Para comparar desde el punto de vista económico los reactores ABWR y EPR se calcularon los costos unitarios de generación eléctrica nivelados a lo largo de la vida útil de la planta. Se consideró que las dos plantas operarán con un factor de planta promedio de 90%. La vida útil de las plantas es de 60 años. Los costos se actualizaron utilizando una tasa de descuento promedio anual de 12% y la moneda es el Dólar estadounidense del 2004. El tiempo de construcción considerado fue de 5 años para ambas plantas, con una curva porcentual de inversión de capital semejante. Debe notarse que en el costo unitario de generación por concepto de inversión está incluido el costo por concepto del desmantelamiento de la planta al final de la vida útil. Por otro lado en el costo unitario por concepto de combustible se han incluido los costos de manejo de

combustible irradiado y en los costos de operación y mantenimiento incluyen costos por manejos de residuos radiactivos de bajo y medio nivel. [7]

Tabla V. Costo unitario de Generación (Dólares de 2004) [7]

Central	Potencia Bruta (MW)	Inversión (dól/MWh)	Combustible (dól/MWh)	Operación y Mantenimiento (dól/MWh)	Total (dól/MWh)
Nuclear (ABWR)	1 x 1356	26.67 (1)	6.47 (3)	6.79 (4)	39.93
Nuclear (EPR)	1 x 1600	23.77 (2)	5.75 (3)	5.07 (4)	34.59

(1) El costo de inversión incluye un cargo por desmantelamiento de 0.01 dól/MWh.

(2) El costo de inversión incluye un cargo por desmantelamiento de 0.005 dól/MWh.

(3) El costo de combustible incluye un cargo por concepto de manejo de combustible irradiado equivalente a 500 dól/kg de Uranio.

(4) El costo de operación y mantenimiento incluye un cargo por concepto de manejo y gestión de residuos nucleares de bajo y medio nivel: = 0.02 dól/MWh

En la tabla VI se muestra el detalle de los costos directos e indirectos de inversión y la actualización incluyendo los costos por concepto de intereses durante la construcción.

Tabla VI. Detalle del costo de inversión (Dólares de 2004) [7]

Central	Potencia bruta (MW)	Directo (dól/kW)	Directo más indirecto 1_/ (dól/kW)	Actualización al inicio de operación 2_/ (dól/kW)
Nuclear (ABWR)	1 x 1356	746	1430	1878
Nuclear (EPR)	1 x 1600	1,043	1274	1675

1) Comprende Ingeniería y Administración

2) Incluye Interés Durante Construcción

5. CONCLUSIONES

Se puede concluir que cualquiera de estos dos tipos de reactores supera por mucho al tipo de reactor que actualmente opera en México. Tan sólo los factores de planta son superiores a los de la planta BWR y los tiempos de construcción son menores.

Al comparar el ABWR con el EPR, se puede decir que no existe una diferencia significativa en lo que se refiere a la seguridad de los dos tipos de reactores; ya que ambos han tomado la modalidad de reactores evolutivos de reactores con amplia experiencia en operación en varios países del mundo. El factor de disponibilidad para ambos es muy cercano a 90%. Lo que se puede apreciar es que existe una diferencia significativa en cuanto a los costos de generación. Esto último se debe a que el reactor EPR es posterior al ABWR y tiene avances tecnológicos mayores que el

ABWR por lo que su diseño ha sido más optimizado y eso se traduce en costos de construcción por unidad de potencia más bajos que los del ABWR, además tiene mayor eficiencia térmica y esto se traduce en un menor costo por concepto de combustible.

Observando las características de cada uno de los reactores analizados se puede recomendar que el reactor EPR sea estudiado con mayor profundidad para confirmar que efectivamente puede ser la mejor opción para ser construido en México en el corto plazo.

REFERENCIAS

1. “World Nuclear Association: Energy for Sustainable Development. World Nuclear Reactors 2003-2004 and Uranium Requirements, January 2005”, <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm> (2005)
2. Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación “Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico” (2004)
3. Página WEB de Uranium Information Center: <http://www.uic.com.au>, “Nuclear Power in Japan”, Briefing Paper # 79, March (2005)
4. Bertrand Barré, *All about Nuclear Energy: from Atom to Zirconium*, Areva – Corporate Communications Department, Paris, France, July (2003)
5. A Roadmap to Deploy New Nuclear Power Plants in the United States by 2010- Appendix A: Design Description, Advanced Boiling Water Reactor (ABWR). USA, October 31, 2001, <http://www.ne.doe.gov/nerac/NTDRoadmapVolIII.PDF> (2001)
6. Robert C. Twilley, “EPR development- An evolutionary design process”, *Nuclear News*, pages 26-28, April (2004)
7. C. Martín del Campo, R. Ortega, “Comparación de Costos de Generación de las Plantas Nucleoeléctricas ABWR y EPR”. INFORME TÉCNICO No. UNAM/FI/DIE/N1-05. Rev. 0. México, D. F., (2005)
8. Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación “Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico” (2003)