



MX0500254

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, July 10-13, 2005

Características y Economía del Reactor Europeo de Agua a Presión (EPR)

Javier Ortiz Villafuerte, J. Ramón Ramírez S. y Javier C. Palacios H.
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Carretera México-Toluca Km 36.5, Ocoyoacac 52045
jov@nuclear.inin.mx; jrres@nuclear.inin.mx; palacios@nuclear.inin.mx

Resumen

Los altos costos actuales de los combustibles fósiles, han propiciado que las industrias de generación de energía eléctrica en el mundo reconsideren la opción nuclear como medio de generación. En Europa, la central nuclear más recientemente contratada es la de Olkiluoto-III en Finlandia, que se espera entre en operación a finales del 2009. El reactor que será instalado en esta central será un prototipo de reactor de agua a presión de las compañías AREVA y EDF. En este trabajo se describen el reactor EPR y los componentes mayores de la central nuclear así como las principales características de seguridad y la flexibilidad de la operación del EPR. Se describen también los costos supuestos reportados en diferentes fuentes de información y los calculados con información proporcionada por la compañía constructora.

1. INTRODUCCIÓN

El EPR (Reactor Europeo Presurizado) es el resultado de un proyecto conjunto entre Framatome y Siemens KWU. EDF y las compañías eléctricas alemanas más grandes también participaron en el proyecto. Además, las autoridades de seguridad nuclear de ambas naciones, Francia y Alemania, trabajaron en conjunto con el fin de armonizar las regulaciones que se aplicarían a esta nueva generación de plantas con reactores nucleares de agua a presión. El EPR es un descendiente directo de los reactores franceses (N4) más recientes y de los (KONVOI) alemanes, por lo que su diseño toma ventaja de la retroalimentación de más de 30 años de operación de los reactores mencionados.

El EPR es pues un proyecto de evolución; no uno de revolución, pues está basado en tecnologías probadas, que además incorpora la tecnología más reciente emanada de la investigación y desarrollo, que se lleva a cabo tanto en el Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) en Francia, como en el Centro de Investigación Nuclear de Karlsruhe, entre otros institutos de investigación alemanes.

El EPR, de acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, pertenece a la Generación III de reactores nucleares. Sin embargo, para la mayoría de los expertos, el EPR forma parte en realidad de lo que se ha denominado Generación III+. Este término se usa para designar a los reactores nucleares de concepto evolucionario, que se supone

ofrecen progresos económicos importantes, cuando se comparan directamente con aquellos reactores de la Generación III.

2. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL EPR

Existe un intervalo amplio para valores primarios de diseño de una planta nuclear con un EPR. Entre las innovaciones tecnológicas que presenta el EPR, y que contribuyen fuertemente a una mayor eficiencia, rendimiento económico y seguridad están: el núcleo del reactor está rodeado por un reflector de neutrones que mejora la utilización del combustible y protege la vasija contra fenómenos de envejecimiento relacionados con la irradiación; la vasija de presión está hecha de un acero optimizado resistente al envejecimiento y diseñado con un número reducido de soldaduras; los generadores de vapor están equipados con un economizador axial que permite un nivel alto de presión del vapor, y por tanto una alta eficiencia de la planta; las bombas de enfriamiento primario están manufacturadas con un diseño hidráulico innovativo; el sistema de protección del reactor usa tecnología digital probada; y el cuarto de control de la planta es totalmente computarizado con una interfase hombre-máquina amigable al operador.

Las dos primeras características tecnológicas permiten que la vasija y varios componentes del reactor tengan una vida útil de 60 años, y que no se requieran, en principio, operaciones importantes de mejora y actualización de equipo durante los primeros 40 años de servicio.

El aspecto de la eficiencia termodinámica del ciclo es muy importante en el aspecto económico a lo largo de la vida de la planta. La eficiencia que puede alcanzar una planta nuclear con un EPR es de alrededor del 37 %, dependiendo de la condiciones del sitio, lo que representa el valor más alto para cualquier reactor de agua ligera. Esto implica que más de la energía generada por el reactor se pueda transformar en electricidad. No debe hacerse de lado que todos los valores que se presentan en la Tabla I, mostrada abajo, provienen finalmente de la misma fuente: Framatome ANP (Grupo AREVA), el diseñador y constructor del reactor, aun en el caso de datos de la Compañía Eléctrica Finlandesa que ordenó la construcción del primer EPR: (TVO), lo que muestra que no hay una planta nuclear con un EPR funcionando, y entonces la eficiencia sólo es un cálculo de diseño. Es pues primordial, saber cuales serían las condiciones reales para la operación de un reactor EPR en México.



Figura 1. Esquema de una Central Nuclear con un EPR. 1) Vasija del Reactor. 2) Generadores de Vapor. 3) Presurizador. 4) Bombas de Enfriamiento del Reactor. 5) Contenedor Interno de Concreto pre-esforzado. 6) Barrera Externa de Concreto Reforzado. 7) Capa Refractora. 8) Cuarto de Control. 9) Edificio de Generadores Diesel. 10) Edificio de Turbinas.

Tabla I. Resumen de Características Principales de Diseño del EPR

Fuente	Eficiencia [%]	Disponibilidad [%]	Potencia eléctrica [MWe]	Potencia Térmica [MWth]
TVO 1	38		~ 1600	4300
TVO 2	> 37		~ 1600	4300
Parlamento Francés	36	91	1500 - 1600	4250 / 4500
CEA			1550 - 1750	
Framatome 1	36	91	1500 - 1600	4250 / 4500
Framatome 2	> 37	92	1600	4270 / 4500
Framatome 3		92	~ 1550	4270
Framatome 4		92	~ 1545	4272
AREVA 1	> 37	> 90	~ 1600	4300
AREVA 2	36 – 37,	≤ 92	1600	
AREVA 3	~ 37	92	1600	4324
AREVA 4	34	≥ 91	1600	4300

2.1 Descripción del EPR

El reactor EPR tiene tres objetivos primarios:

- Satisfacer los requerimientos de las industrias generadoras de electricidad en Europa.
- Cumplir con los estándares establecidos por la autoridad de seguridad Francesa, de acuerdo con su contraparte Alemana.
- Hacer la energía nuclear aún más competitiva que aquella generada usando combustibles fósiles.

Teniendo en mente estos tres objetivos, el diseño del EPR tiene varias características que lo distinguen de sus predecesores, los reactores franceses N4, y los Convoy alemanes. El EPR es un reactor nuclear de agua ligera a presión (PWR), que es actualmente la tecnología nuclear más usada en el mundo en la generación de electricidad. En la Tabla II se muestran las características de diseño del sistema de suministro de vapor del EPR.

Tabla II. Sistemas de Refrigeración del Reactor y de Suministro de Vapor

Numero de lazos de refrigeración	4
Flujo total de refrigerante por lazo	28000 – 28208 m ³ /h
Presión de operación de la vasija	154 – 155 bar abs
Temperatura del agua a la entrada de la vasija	295.6 C
Temperatura del agua a la salida de la vasija	327.3 – 328.4 C
Presión del vapor en el circuito secundario	77.1 – 78 bar abs
Temperatura del vapor	290 C
Área de transferencia de calor	7960 m ²

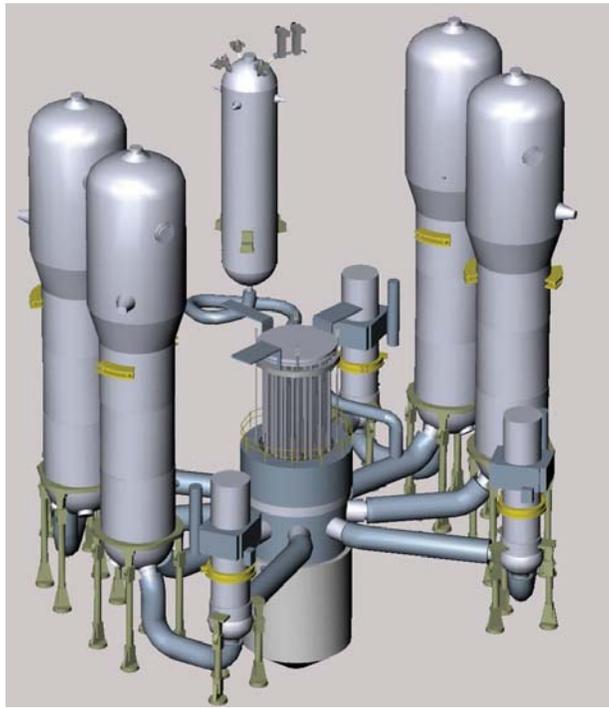


Figura 2. Arreglo del sistema de refrigeración.

Un objetivo primordial del proyecto EPR desde el primer diseño fue reducir la duración de los paros programados del reactor para recarga de combustible y/o mantenimiento. Esto tiene un impacto directo en la reducción del costo por MWh de la operación y mantenimiento, respecto de los reactores precedentes del EPR.

La distribución general del equipo se ha planeado para facilitar las operaciones de mantenimiento. El diseño de sistemas asociado con las cuatro áreas redundantes permite ejecutar ciertos trabajos de mantenimiento mientras el EPR continúa en operación. Un paro de 16 días o menos es posible con esta distribución de equipo y edificios en la central, para una recarga de combustible estándar.

Se debe mencionar también que la central está diseñada de tal manera que el edificio del reactor puede ser accedido siete días antes y tres días después del paro del reactor para recarga, a fin de realizar operaciones de mantenimiento si es necesario. Esta distribución de edificios tiene además un importante efecto en la reducción de exposición al personal.

2.2 Distribución de Edificios en la Central Nuclear

En la Figura 3 se muestra la distribución de los edificios que componen la central nuclear. Los edificios más importantes de la planta de potencia son el contenedor del reactor, el edificio de turbinas, el edificio auxiliar del reactor, y los edificios de los sistemas de seguridad. Es importante señalar que las diferentes alas de los sistemas de salvaguardia están instaladas en cuatro divisiones de la planta, para los cuales se aplica una estricta separación física. Esto implica

que las fallas provocadas por incendio o inundación, por ejemplo, quedan excluidos. Los cuatro edificios de los sistemas de salvaguardia se muestran claramente en la Figura 3.

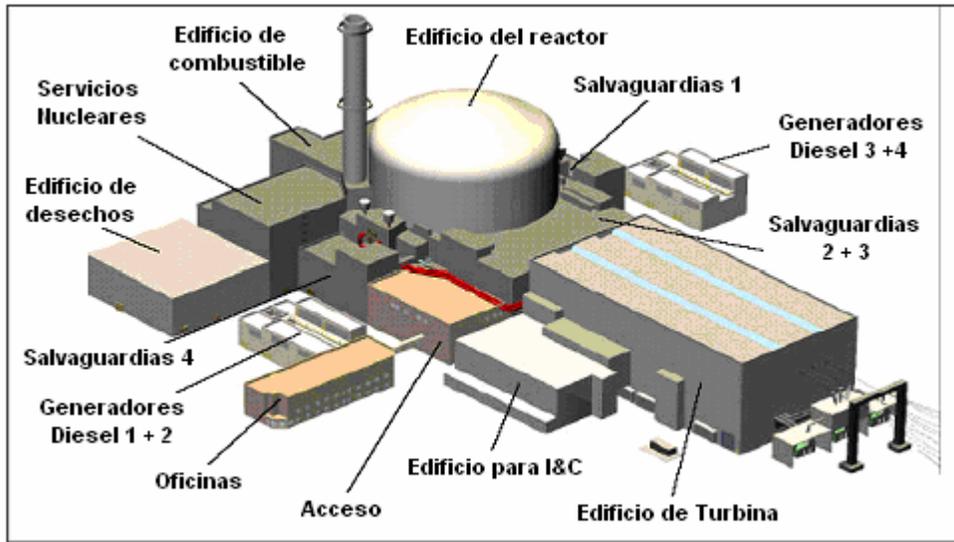


Figura 3. Distribución de edificios en la central nuclear.

2.3 Dimensiones de Componentes Mayores

El edificio de contención del reactor es una vasija de concreto de muro doble. Su muro interno es a prueba de presión y contra fuga de gas. Está diseñado para mantener su integridad aun en los accidentes más severos. El muro externo de la doble contención protege al reactor de amenazas externas, pues soporta la colisión de un avión militar o de un avión grande comercial de pasajeros. En la Tabla III se muestran dimensiones de la contención y de algunos componentes mayores del reactor.

Aunque todo el equipo que no se puede reemplazar o que es muy costoso (la vasija del reactor, el equipo clase 1 del sistema de enfriamiento del reactor o las estructuras de trabajo civil) ha sido diseñado para alcanzar los 60 años de vida económica del EPR, el diseño y distribución del mismo equipo y áreas donde están instalados permiten sin dificultad el acceso para mantenimiento o reemplazo. Lo mismo aplica para todo el resto del equipo al que se deba dar mantenimiento continuo o que se necesite reemplazar durante la vida del reactor.

Áreas de trabajo ampliamente dimensionadas permiten operaciones de mantenimiento de manera sistemática y con mayor seguridad al personal.

Tabla III. Dimensiones de Componentes del Reactor y Contención

Altura del núcleo del reactor	4.2 m
Altura de la Vasija de presión	13 m
Altura de la contención	63 m
Ancho de la contención	49 m
Grosor de la pared de la contención interna	1.3 m
Grosor de la pared de la contención externa	1.3 m

3. COMBUSTIBLE Y MANEJO DE DESECHOS

3.1 Administración de Combustible

Mayor competitividad económica del EPR deriva en parte de una mejor utilización del combustible nuclear, pues con la misma cantidad de uranio por MWh se produce de un 15 a un 17% más electricidad. La tasa de quemado se eleva de 45 GWd/t a 60 GWd/t, lo que también contribuye al ahorro de combustible. Además, el diseño nuclear del EPR ofrece una muy interesante flexibilidad para usar diversos tipos de combustible, como UO₂, UO₂-Gd₃, y MOX, de acuerdo a las necesidades propias de las compañías productoras de electricidad.

El núcleo del EPR permite una administración más flexible y mejorada del combustible, pues se pueden utilizar diversas estrategias de longitudes de ciclo, de 12 a 24 meses. Se pueden combinar el combustible cotidiano UO₂ con el MOX, por ejemplo, se prevén ciclos de 18 meses en una carga con 30% de MOX, y con posibilidad de alcanzar 50% del total de la carga de combustible. En principio, de acuerdo al diseño, se podría operar con una carga total de MOX. La Tabla IV muestra un resumen de lo expuesto anteriormente.

Tabla IV. Aspectos de la Administración de Combustible en el EPR

Tipo de combustible	UO ₂ , UO ₂ -Gd ₃ , MOX
Enriquecimiento promedio del U235	3 a 5 %
Total de uranio en el núcleo	~ 128 t
Consumo de combustible por año	~ 32 t
Quemado de combustible	> 60 GWd / t
Generación lineal de calor	155 W / cm
Longitud del ciclo de combustible	12 a 24 meses
Tiempo de parada para recarga de combustible	≤ 16 días
Número de ensambles de combustible en el núcleo	241
Arreglo del ensamble	17 × 17
Número de barras de control	89

3.2 Desechos Radioactivos

La mejora en el aprovechamiento del combustible y la mayor tasa de quemado que se puede alcanzar permiten además que se generen menor cantidad de desechos radioactivos de alto nivel, y una menor producción de plutonio. Si se agrega el hecho de que el núcleo del EPR puede usar combustible tipo MOX, entonces existe la posibilidad de reducir o mantener un nivel deseado del inventario de plutonio. Esto último es una ventaja en el manejo del problema de proliferación. En principio, hay una generación 15% menor de actínidos de vida media larga por MWh, comparado con los estándares actuales. Entonces, ya que a lo largo de los 60 años de vida útil del reactor se generan menos desechos radioactivos por la misma cantidad de energía generada y la descontaminación de la planta nuclear podrá realizarse más rápidamente.

3.3 Seguridad

Dos requisitos fundamentales de las autoridades de seguridad Francesas y Alemanas para el EPR fueron: implantar medidas adicionales para prevenir la ocurrencia de eventos con probabilidad de daño al núcleo, e incrementar la protección contra las consecuencias de fundido de núcleo. Dichos requisitos fueron satisfechos a través de una serie de acciones y sistemas de seguridad.

Con respecto al primer requisito, las funciones de seguridad se ejecutan por una variedad de sistemas simples y redundantes, que están altamente automatizados. Cada uno de principales sistemas de seguridad está subdividido en cuatro idénticos subsistemas que llevan a cabo la misma función, cuando una situación de operación anormal ocurra, en particular para enfriar el núcleo. Esto asegura que la función de seguridad siempre se ejecuta. Los subsistemas son totalmente independientes y están localizados en cuatro edificios separados, como se puede ver en la Figura 4. Es decir, dichos subsistemas son mantenidos estrictamente físicamente separados. Por tanto, en cualquier momento que la mínima falla ocurra en un sistema, debido a incidentes internos (inundación, incendio, etc.) o externos, otro sistema puede hacerse cargo y ejecutar la función de seguridad necesaria.

Además, existe un aumento en el inventario de agua del circuito primario, lo que garantiza poder mantener el reactor con más seguridad en sus límites de funcionamiento.

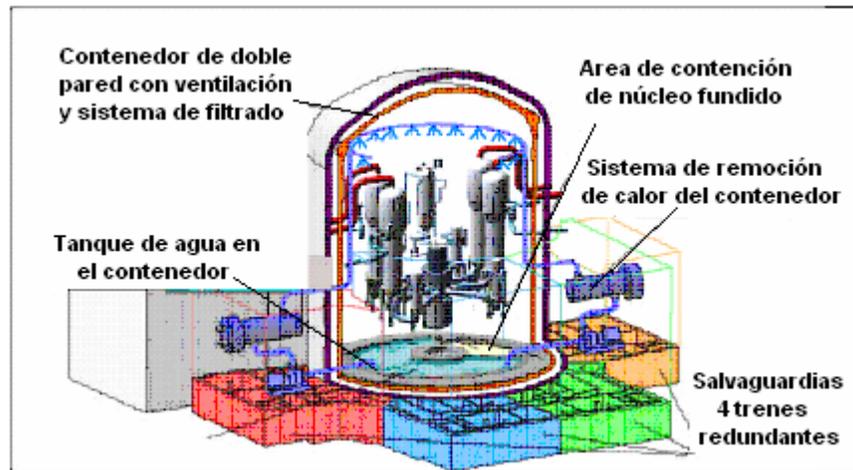


Figura 4. Principales sistemas de seguridad del EPR.

Lo anterior conduce a que la probabilidad de daño al núcleo sea reducida en un factor de 15 por la arquitectura del sistema de seguridad del EPR, respecto de los PWRs actuales. En línea con el objetivo especificado en el reporte INSAG3 de la Agencia de Energía Atómica – que la probabilidad del fundido del núcleo sea menor a 10^{-5} / año-reactor para todos los eventos y en todos los estados del reactor – un objetivo probabilístico de diseño para la frecuencia integral de fundido de núcleo de 10^{-6} / año-reactor es usado. Aquí, los estados del reactor en apagado contribuyen a la frecuencia integral de fundido de núcleo menos que los estados a potencia. Aún más, para la frecuencia integral de fundido de núcleo de secuencias asociadas con pérdida temprana de la contención, un objetivo de diseño es 10^{-7} / año-reactor.

Dicho de otra forma, la probabilidad de fundido del núcleo calculada es 3.6×10^{-7} / año-reactor, si no se consideran eventos internos y externos. Si se incluyen eventos internos, la probabilidad aumenta a 10^{-6} / año-reactor, y sólo alcanza 10^{-5} / año-reactor si se agregan los eventos externos.

Para satisfacer el segundo requisito mencionado anteriormente, se tomaron medidas preventivas para proteger al público y al ambiente de todas las posibles consecuencias de la ocurrencia de un altamente improbable evento de daño al núcleo. Primero, el edificio del reactor que guarda el mismo reactor es extremadamente robusto. Éste descansa sobre una base de concreto muy grueso y está encerrado por una capa doble: el contenedor interno está hecho de concreto pre-esforzado con una capa metálica a prueba de fugas, y la capa externa está hecha de concreto reforzado. Cada capa tiene mas de un metro de espesor, como se puede apreciar de la Figura 5 y las dimensiones dadas en la Tabla III. El grosor total de más de dos metros es capaz de soportar peligros externos como el choque de un avión. El contendor del EPR, es, pues, único en su clase en el mundo.



Figura 5. Edificio del reactor y la doble contención.

Si se llegase a dar el fundido del núcleo, y que el corium llegase a escapar de la vasija del reactor, el corium sería contenido en un compartimiento dedicado para ello, como se puede apreciar en la Figura 6. Este compartimiento sería entonces enfriado para remover el calor residual. En un EPR, por tanto, un accidente severo no se extendería más allá del contenedor del reactor. La vecindad inmediata de la planta, el subsuelo y el agua estarían protegidos.



Figura 6. Compartimiento dedicado al recibimiento del corium, en caso de accidente severo.

3.3.1 Protección radiológica

En el proyecto EPR, la protección radiológica al personal de operación y mantenimiento ha sido intensificada. Se espera reducir en más del 100% los niveles de exposición al personal, al pasar de 1 Sievert-hombre por reactor por año, valor promedio actual de las plantas nucleares en los países de la OECD, a 0.4 Sievert-hombre por año-reactor. La reducción de exposición es debida en buena parte al buen diseño arquitectónico y de la distribución de áreas dentro de la isla nuclear, como es la separación de áreas de acceso limitado, donde se encuentra equipo radioactivo, y las áreas que contienen sólo equipo no radiactivo.

3.3.2 Sismicidad

Para soportar terremotos, el EPR está diseñado con amplios márgenes de seguridad, pues el nivel sísmico por diseño está fijo en 0.25g. La isla nuclear completa se soporta en una sola base de concreto reforzado de 6 metros de espesor. La altura de los edificios ha sido minimizada, y los componentes más pesados, en particular los tanques de agua, se localizan en los niveles más bajos posibles.

El edificio del reactor posee una fuerte inercia intrínseca, la cual se incrementa aún más por su ligamento con los otros cuatro edificios que forman cuatro pies fuertes, lo que suprime la posibilidad de un derrumbe del edificio del reactor en caso de un sismo extremo.

3.3.3 Error humano

Se hizo un esfuerzo particular para prevenir los riesgos debidos a error humano, gracias a la simplificación de la acción del operador, la automatización de numerosas funciones, y una mayor calidad de las interfaces hombre-máquina.

4. ASPECTOS ECONÓMICOS

El análisis financiero y de costos particulares del EPR se hace usando la metodología que los economistas conocen como “actualización”. Aquí, se toman en perspectiva las sumas de recursos financieros al considerar tanto el tiempo como las cantidades que estarán en juego, y en qué momento determinado durante el proyecto. Año tras año del proyecto se impone un porcentaje a los gastos, denominado tasa de actualización, para obtener el costo total del proyecto. De esta forma se pueden hacer estudios comparativos con otras formas de generación de electricidad (gas, carbón, etc.), o con otros tipos de reactores nucleares.

La Tabla V muestra un resumen del costo total nivelado del EPR, en €/MWh, de varios estudios consultados. Las dos fuentes primarias de información son reportes franceses recientes: “*Eole ou Pluton*” (Diciembre 2003) y «*La Durée de Vie des Centrales Nucléaires et les Nouveaux Types de Réacteurs. Rapport (3ème partie)*» (Mayo 2003), y datos dados directamente por AREVA al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. En general, se considera una paridad entre el Euro y el Dólar de los Estados Unidos de América.

Fuente	AREVA		EDF		Eole ou Pluton		
Escenario	1	2	1	2	1	2	3
Costo Total [€/MWh]	27.7	28.5	30.9	33.0	56.74	37.99	103.94

El escenario 1 de AREVA proviene de una de las referencias dadas arriba, y el escenario 2 corresponde a cifras dadas directamente a ININ por parte de AREVA. Los dos escenarios presentados por EDF se refieren a la construcción de 10 y 4 reactores, para el costo total nivelado de 30.9 €/MWh y 33.0 €/MWh, respectivamente. Los tres escenarios del reporte “Eole ou Pluton” se denominan Central, Favorable y Desfavorable, para los escenarios 1, 2 y 3, respectivamente. Es importante aclarar que algunos de los diferentes rubros del costo total nivelado mostrado en la Tabla I del reporte “Eole ou Pluton” han sido calculados por los autores, basados en datos dados en el reporte, pues los costos totales nivelados mostrados en el reporte son: 64.9 €/MWh, 44.5 €/MWh, y 107.7 €/MWh, para los casos Central, Favorable y Desfavorable, respectivamente. Las principales suposiciones hechas para los costos totales nivelados mostrados en la Tabla V se muestran en la Tabla VI.

Fuente	AREVA		EDF		Eole ou Pluton		
Escenario	1	2	1	2	1	2	3
Factor de Producción [%]	90.5	≥ 91	91	91	75	90	71
Potencia Eléctrica Neta [MWe]	1600	1600	1590	1590	1550	1600	1475
Vida Económica [años]	60	60	60	60	60	60	50
Tiempo de Construcción [meses]	57	57	67 / 57	67 / 57	96	72	144
Tasa Anual de Actualización [%]	8	8	9	9	8	8	8

Las cifras mostradas en la Tabla VI claramente muestran el impacto, tanto positivo como negativo, que tiene la combinación de suposiciones en el costo total mostrado en la Tabla V para cada escenario. El tiempo de construcción dado por EDF es considerando que el primer reactor o prototipo se construya en 67 meses, y el resto de las unidades (9 o 3) se construirán en 57 meses. Es interesante señalar que la tasa de actualización de 8% anual es la tasa usada oficialmente por el gobierno Francés para sus estudios de planificación, y que sólo EDF usa una tasa mayor (9%) en sus cálculos de costos actualizados.

Los principales rubros usados para obtener el costo total nivelado del EPR se muestran en la Tabla VII. Los costos de Operación y Mantenimiento, Combustible, e Investigación y Desarrollo mostrados para AREVA y EDF son asumidos ser los mismos, pues sólo el escenario AREVA 1 da dichas cifras. Por tanto, pues el costo Total si es proporcionado en cada uno de los casos, el costo de Inversión se calculó simplemente de la diferencia entre el costo Total y los otros rubros que se consideran constantes. Para los datos mostrados del reporte “Eole ou Pluton”, se ha incluido en el costo de Inversión inicial el costo de desmantelamiento, y el de almacenamiento final de desechos en el rubro de Combustible. Así mismo, otros rubros dados en el reporte se han incluido en la parte de Operación y Mantenimiento. Todo esto a fin de poder hacer una comparación con los datos del costo total nivelado dado por AREVA y EDF.

Tabla VII. Costos Nivelados de Producción del EPR

Fuente	AREVA		EDF		Eole ou Pluton			ININ
Escenario	1	2	1	2	1	2	3	Central
Inversión [€/MWh]	17.1	17.9	20.3	22.4	26.84	20.07	40.58	18.07
O & M [€/MWh]	5.8	5.8	5.8	5.8	16.24	7.52	36.67	10.03
Combustible [€/MWh]	4.2	4.2	4.2	4.2	12.52	9.64	24.4	6.63
I & D [€/MWh]	0.6	0.6	0.6	0.6	1.14	0.76	2.29	1.10
Total [€/MWh]	27.7	28.5	30.9	33.0	56.74	37.99	103.94	35.83

Se debe mencionar que los costos Totales dados en el reporte “Eole ou Pluton” son 64.9 €/MWh, 44.5 €/MWh, y 107.7 €/MWh, para los escenarios 1, 2 y 3, respectivamente.

Los factores que componen el gasto de inversión inicial son el tamaño del reactor, es decir la potencia que genera, las características propias del reactor y la tecnología usada, el tiempo de construcción, los imprevistos durante la construcción, y el número de reactores a construir en una o varias plantas de potencia. Los dos primeros factores son independientes de construir o no en serie y de retrasos en la construcción, por lo que forman lo que se conoce como “precio base”. Los tres últimos factores se pueden englobar en los costos financieros del proyecto.

La Tabla VIII muestra el precio base, los costos financieros, y su suma, la inversión total inicial, para los tres escenarios mencionados. Enseguida se especifican las diferencias hechas para cada escenario.

Tabla VIII. Resumen del Costo de la Inversión Inicial Total

Rubro / Escenario	Central	Favorable	Desfavorable
Precio Base [€/kWe]	1550	1472	1705
Intereses Intercalados [€/kWe]	527	348	728
Inversión Inicial Total [€/kWe]	2077	1852	2433
Tiempo de Construcción [años]	8	6	12

En el precio base (no incluye intereses intercalados ni desmantelamiento) el costo del reactor representa generalmente el 30% de este costo inicial. Sin embargo, puesto que la mayor parte de los gastos iniciales están fijos, por ejemplo cuarto de control, estudios preliminares, aspectos de seguridad, etc., entonces aumentar la potencia (tamaño) del reactor, respecto de la potencia inicial de diseño, implica un desembolso inicial mayor.

5. CONCLUSIONES

El prototipo de reactor EPR incluye desde su diseño características innovativas que lo hacen atractivo desde el punto de vista de la seguridad y de la operación de la planta, además el diseño basado en los reactores N4 franceses y KONVOI alemanes, aprovecha la experiencia operacional acumulada en los años de operación de dichos reactores, el tamaño de reactor también juega un papel importante en las inversiones ya que al ser un reactor grande se aprovecha al máximo el factor de escala y lo hace más económico. Los costos reportados y los calculados para el costo por MWh generado están razonablemente competitivos si se comparan con el costo de generación utilizando otras tecnologías.

REFERENCIAS

1. TVO 1. M Paavula / PSG. 18/12/2003.
2. TVO 2. *One, Two, THREE.*
3. Parlamento Francés. Christian Bataille et Claude Birraux (2003) *La Durée de Vie des Centrales Nucléaires et les Nouveaux Types de Réacteurs. Rapport (3ème partie).* Office Parlementaire D'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. Mai 2003.
4. CEA. *Les Réacteurs Nucléaires : D'une Génération à L'autre.* Septembre 2003.
5. Framatome 1. *EPR (European Pressurized water Reactor) The Advanced Nuclear Reactor.* Press Kit.
6. Framatome 2. D. Mosser (2004) *The European Pressurized water Reactor (EPR) An Evolutionary Advanced Reactor for a New Nuclear Era.* 14th Pacific Basin Nuclear Conference, Honolulu, HI, USA, March 21-25, 153-157.
7. Framatome 3. *EPR Committed to the Future of Nuclear Energy. Projects & Engineering.*
8. Framatome 4. *EPR Committed to the Future of Nuclear Energy.*
9. AREVA 1. *Olkiluoto 3 A Turnkey EPR Project (European Pressurized water Reactor).* Press Kit.
10. AREVA 2. *The EPR, a Strategic Choice.*
11. AREVA 3. Robert C Twilley Jr. (2004) *EPR Development – An Evolutionary Design Process.* Nuclear News, April 2004.
12. AREVA 4. *Comunicación Directa.* Mayo 2004.