



ENTREGA N° 19

## **DEBATE NUCLEAR DENTRO DEL SECTOR ENERGETICO - CANDU VS. PWR: datos a tener en cuenta**

Julio 2015

Autor: Ing. Jorge Bertoni

- 1.- Aspectos económicos
- 2.- Aspectos técnicos
- 3.- Aspectos políticos
- 4.- Imagen internacional

### **1.- Aspectos económicos**

Cuando uno se pregunta, por qué la mayoría de las centrales nucleares en operación en el mundo son del tipo PWR, la principal respuesta que se encuentra es que las empresas eléctricas le dan máxima prioridad a la **producción de la energía eléctrica, al menor costo, con la mayor seguridad y con la menor complejidad operativa**. Después de 14500 reactor.año de experiencia operativa en el mundo, (experiencia operativa = N° de reactores x N° de años de cada uno = reactor.año) el PWR demostró sus ventajas. Es el reactor con mayor experiencia operativa de los que están en operación. También es la razón por la cual los PWR se imponen a los BWR. Las empresas operadoras no quieren hacer el mantenimiento periódico de la turbina declarándola zona radiactiva, ya que llega vapor directamente del núcleo del reactor hasta la turbina.

La presente **generación** de reactores (**GenIII+**) PWR, ej. El AP1000, cuenta con un diseño simplificado que requiere un:

- 50% menos de válvulas relacionadas con la seguridad,
- 35% menos de bombas,
- 80% menos de tubería relacionada con la seguridad,
- 85% menos de cables de control
- 45% menos de volumen de edificios antisísmicos.

Esto no solo reduce el costo de instalación, sino que va asociado a una disminución del tiempo de construcción.

La vida útil de diseño del recipiente de presión es de 60 años.

Los principales proveedores del mercado internacional de uranio enriquecido, están realizando la conversión del proceso de difusión gaseosa por el de ultra centrífugas,



que es mucho mas barato por la menor energía consumida. Esto repercute en una **disminución del precio del uranio enriquecido**.

Los principales proveedores de PWR en la actualidad son: W (USA), AREVA (Francia), Korea del Sur, Rosatom (Rusia) y China.

## 2.- Aspectos técnicos

Los reactores PWR utilizan uranio enriquecido y eso permite que el núcleo del reactor cuente con el exceso de reactividad suficiente como para generar la potencia de diseño, durante un año o 18 meses continuados, antes de tener que renovar un tercio del núcleo.

El control de la reactividad se hace al comienzo con agua borada como refrigerante, y a lo largo de la operación se va reduciendo la concentración de boro y se van retirando las barras de control, hasta el momento de la recarga.

El combustible no necesita venenos quemables y **su operación es muy estable** por su coeficiente de reactividad negativo. Es decir un aumento de la temperatura induce una reducción simultánea de la potencia.

Una característica importante de los PWR, es su capacidad de seguimiento de carga o "load following". Se puede variar la potencia a la que está operando a razón de 5% por minuto, entre 100% y 50% de la potencia. Esa característica ha hecho decir a un operador senior de Atucha: "Cuando hice una estadía en Angra, me di cuenta que aquello es un Fórmula 1 que se maneja con un Joystick".

Los reactores de uranio natural como el CANDU, deben utilizar agua pesada como refrigerante y moderador, y además realizar el recambio de elementos combustibles a diario con el reactor en marcha (presión y temperatura) para poder mantener el exceso de reactividad necesario para operar el reactor.

Tratar con Agua Pesada es un problema para los operadores, más que nada por la formación de Tritio, que es un gas radiactivo.

La diferencia entre ambos tipos de reactor por lo tanto, es que el PWR tiene unos 120 sistemas, y el CANDU cuenta adicionalmente con el sistema para mantener la concentración isotópica del agua pesada, y además una máquina de recarga de elementos combustibles con todos sus sistemas asociados, y todo esto requiere más atención por parte de los operadores y significan más riesgos durante la operación normal.



La operación de un PWR se efectúa por 12 o 18 meses sin cambiar la configuración del núcleo y con el reactor cerrado mientras que en un CANDU, cambia todos los días al tener que cambiar los elementos combustibles de un canal.

El plantel de operación de un PWR es bastante inferior al de un CANDU. Los PWR cuentan con sistemas de parada rápida por inyección de boro, y salvaguardias tecnológicas para controlar y mitigar situaciones de emergencia.

El PRA (Análisis probabilístico de riesgo), indica para el AP1000 una frecuencia de daño del núcleo de  $2,41 \times 10^{-7}$  por planta y por año.

La evolución de la disciplina en mecánica de fractura de los metales, ha creado el concepto LBB (Leak Befote Break) y eso ha permitido eliminar para el MCA (máximo accidente creíble) la rotura 2A de un conducto principal, por lo tanto los sistemas necesarios para mitigar una rotura menor, son menos complicados.

### **3.- Aspectos políticos**

Cuando se trató de elegir en el caso de Atucha I entre el uranio natural y el enriquecido, el mercado de provisión de uranio enriquecido no existía. Hay que agregar a ese hecho, un acendrado concepto de soberanía en nuestro país, que no se resignaba a ser extorsionado en el caso de tener que comprar U enriquecido. Hoy el mundo ha cambiado, y el U enriquecido se compra en un mercado abierto y competitivo.

Argentina es el único país que después de 40 años de experiencia operativa con centrales nucleares, sigue insistiendo con centrales de U natural. El hecho de tener que parar una central CANDU a los 30 años de operación, para recambiar los tubos de Calandria y de Presión, (prácticamente rehacer el reactor) durante 21 meses, con su lucro cesante y una inversión importante, significa un verdadero baldón económico para este tipo de reactor. Recordemos que la vida útil de los recipientes de un PWR es de 60 años.

Korea del Sur comenzó instalando una central CANDU al mismo tiempo que Argentina, y después adquirió una licencia del PWR de Combustión Engineer y hoy es proveedora de ese tipo de centrales. El caso más resonante y reciente son las cuatro centrales que vendieron a los Emiratos Arabes Unidos por varios miles de millones de euros.

En 1992 CNEA fue invitada por la firma Westinghouse a participar con ingenieros en el proyecto internacional del AP600. Una delegación de W visitó CNEA en B.A., dos profesionales de CNEA visitaron Pittsburgh para definir detalles y cuando finalmente CNEA decidió participar, el proyecto ya había concluido. Fue una buena ocasión perdida.



## **Intentos de acuerdo con Brasil.**

En febrero de 2008, se abrió una nueva etapa que arrancó en la Declaración Conjunta de la actual presidente de la Argentina y del entonces Presidente Lula. Dicha Declaración incluyó el tema nuclear entre los acuerdos alcanzados (Ver acápite 7."Cooperación Nuclear" del punto B. Subcomisión de Energía, Transporte e Infraestructura de dicho documento).

En virtud de los acuerdos alcanzados se instruyó a los órganos competentes a constituir una comisión binacional (luego concretada con el nombre de Comisión Binacional de Energía Nuclear-COBEN), la que sería la responsable de:

- **Desarrollar un modelo de reactor nuclear de potencia para atender las necesidades de los sistemas eléctricos de ambos países y, eventualmente, de la región.**
- Definir un proyecto común en el área del ciclo de combustible nuclear.

Asimismo manifestaron su intención de constituir una empresa binacional de enriquecimiento de uranio, instruyendo a los organismos competentes para que inicien las negociaciones pertinentes.

Con dicho propósito es más factible que el modelo común de reactor sea de U enriquecido y no de agua pesada.

## **4.- Imagen internacional**

**Actualmente, Argentina está dando la imagen de un país incoherente, en el plano nuclear. Solo tiene centrales de potencia operativas con agua pesada, y al mismo tiempo ha desarrollado como modelo original propio el reactor CAREM, modular y extrapolable, que es del tipo PWR, y que usa U enriquecido. Así mismo, todavía a nivel de laboratorio está investigando diferentes métodos de enriquecimiento, de tal manera que sería una incongruencia no adoptar la línea del U enriquecido para sus futuras centrales nucleares.**

Comentarios:

- Respecto al argumento que dice que el reactor CANDU permite lograr una mayor participación local en la provisión y construcción de una central de ese tipo. Se debe recordar que un estudio realizado por el grupo de Industria Nacional de CNEA llegó a la conclusión de que la participación local es prácticamente independiente del tipo del NSSS adoptado.



- Debemos destacar que una forma significativa de aumentar el contenido nacional es desarrollar la capacidad de ingeniería de detalle local, entre ellas la de implantación y de pipe layout y stress análisis.
- Otro argumento que suele esgrimirse es que existe la fábrica de agua pesada en Arroyito. Insistir con la línea de reactores de agua pesada solo porque se dispone de una planta de producción es aceptar una condena a largo plazo para el país. Hay que destacar que justamente, cuando más necesaria es su producción, la falta de gas, insumo principal en la producción de agua pesada, está muy lejos de alcanzar la prevista para Atucha II

### **Costo del combustible de un PWR, en marzo 2011:**

In March 2011, the approx. US \$ cost to get 1 kg of uranium as UO<sub>2</sub> reactor fuel (at current spot uranium price):

<b>Uranium:</b>	<b>8.9 kg U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> x \$146</b>	<b>US\$ 1299</b>
<b>Conversion:</b>	<b>7.5 kg U x \$13</b>	<b>US\$ 98</b>
<b>Enrichment:</b>	<b>7.3 SWU x \$155</b>	<b>US\$ 1132</b>
<b>Fuel fabrication:</b>	<b>per kg</b>	<b>US\$ 240</b>
<b>Total, approx:</b>		<b>US\$ 2769</b>

*At 45,000 MWd/t burn-up this gives 360,000 kWh electrical per kg, hence fuel cost: 0.77 c/kWh.*