

Proyecto CAREM

VIVIANA ISHIDA, SILVIA GÓMEZ
PROGRAMA REACTORES Y CENTRALES NUCLEARES
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

El proyecto CAREM consiste en el desarrollo y diseño de una central nuclear de potencia avanzada.

El CAREM es un reactor innovativo de muy pequeña potencia pensado a partir de nuevas soluciones de diseño. Basado en un reactor integrado de agua liviana y uranio enriquecido de ciclo indirecto es singularmente simple en su concepto contribuyendo así a su alto nivel de seguridad. Sus características principales son sistema primario integrado, refrigeración primaria por convección natural, autopresurizado y sistemas pasivos de seguridad. Su primera etapa contempla la construcción de un prototipo para la verificación de sus características innovativas.

CAREM project consists on the development and design of an advanced Nuclear Power Plant. CAREM is a very low power innovative reactor conceived with new generation design solutions. Based on an indirect cycle integrated light water reactor using enriched uranium, CAREM has some distinctive features that greatly simplify the reactor and also contribute to a high level of safety: integrated primary system, primary system cooling by natural convection, selfpressurization, and passive safety systems. In order to verify its innovative features the construction of a prototype is planned.

1. Introducción

El proyecto CAREM ha permitido a la Argentina incursionar en el área del diseño de centrales de potencia novedosas asegurando la disponibilidad de tecnología avanzada. En el desarrollo del reactor se han integrado tecnologías adquiridas en el diseño de reactores experimentales y la experiencia operativa en centrales de potencia.

El CAREM fue planteado desde sus orígenes como un reactor de avanzada con conceptos nuevos en materia de seguridad. El concepto CAREM corresponde a un reactor integrado de agua liviana, que utiliza como combustible uranio enriquecido y con nuevas soluciones tecnológicas. Es singularmente simple en su concepción, lo cual contribuye a su alto nivel de seguridad, siendo los principales aspectos innovadores el sistema primario integrado, la refrigeración del sistema primario por convección natural, la autopresurización y los sistemas pasivos de seguridad.

Si bien las soluciones técnicas y de ingeniería asociadas al

concepto han sido adecuadamente verificadas durante la fase de diseño, al poseer el concepto CAREM características muy innovadoras se hace necesario contar con un prototipo del reactor para validar, mejorar y optimizar el diseño. La potencia eléctrica del prototipo, alrededor de 25MW, fue seleccionada porque:

- Es un tamaño que trata de minimizar la inversión inicial requerida en función de la muy baja potencia que el mismo posee.
- Es la potencia eléctrica mínima compatible con la necesidad de recuperar los costos de operación y mantenimiento a valores del mercado argentino.
- Es un reactor que tiene buenas posibilidades de ser comercializado sin necesidad de modificaciones para la introducción de energía nuclear a costos equiparables a los de los reactores de investigación.
- Es un tamaño tal que permite el escaleo a las potencias que se esperan sean requeridas por otros potenciales compradores.

La construcción y la operación de un prototipo CAREM es el paso necesario para iniciar la comercialización de unidades CAREM que llenen los diversos requerimientos de los potenciales compradores. El estado de avance del desarrollo y la ingeniería del proyecto permite realizar el estudio de emplazamiento y comenzar la construcción del mencionado prototipo, cuyo financiamiento fue aprobado en octubre de 1999 por la Ley 25160 "Ley de financiamiento del proyecto CAREM".

2. Descripción técnica del concepto CAREM

El CAREM es un reactor avanzado de baja potencia pensado a partir de nuevas soluciones de diseño basadas en la amplia experiencia acumulada en el mundo en la operación segura de reactores de agua liviana y precursor de conceptos innovadores tendientes a incrementar el nivel de seguridad de los reactores en funcionamiento. El concepto CAREM esta basado en un reactor integrado de agua liviana, que utiliza como combustible uranio enriquecido a los niveles de los LWR.

El CAREM es un reactor de ciclo indirecto singularmente simple en su concepto, lo cual contribuye a su alto nivel de seguridad. Sus principales características innovativas son: sistema primario integrado, refrigeración del sistema primario por convección natural, autopresurización y sistemas pa-

sivos de seguridad.

"Sistema primario integrado" significa que todo el sistema primario con energía acumulada, que comprende el núcleo, los generadores de vapor, los mecanismos de control de las barras absorbentes de neutrones y el sistema de presurización, está contenido dentro del recipiente de presión del reactor.

El núcleo del prototipo CAREM seleccionado tiene 61 elementos combustibles de sección hexagonal. Cada elemento tiene 108 barras combustibles, 18 tubos guías para elementos absorbentes y un tubo de instrumentación.

El control y regulación de la reactividad del núcleo durante la operación normal se logra por medio de barras absorbentes de neutrones y de venenos quemables. Debido a la ausencia de boro durante la operación normal, el reactor está caracterizado por un coeficiente de realimentación por temperatura fuertemente negativo, que tiende a estabilizar la respuesta del reactor ante transitorios y variaciones de carga. Los mecanismos de control de las barras absorbentes de neutrones tienen accionamiento hidráulico y están contenidos dentro del recipiente de presión. El diseño de este sistema es novedoso, por lo que es un importante desarrollo del CAREM.

Los generadores de vapor tienen tubos helicoidales. Primario y secundario circulan en contra corriente. El fluido secundario entra como agua, circula por dentro de los tubos de los generadores y alcanza el estado de vapor sobrecalentado cuando termina su paso por los generadores de vapor.

El refrigerante del reactor circula por convección natural. El proceso se produce por la diferencia entre la densidad del refrigerante en el camino ascendente, rama caliente, y la del camino descendente, rama fría, que asegura la fuerza impulsora necesaria para el establecimiento de la circulación indicada. La diferencia entre la altura a la que está ubicado el núcleo (fuente caliente) por un lado, y la de los generadores de vapor (fuente fría) por el otro, permite ajustar por diseño el caudal del refrigerante para asegurar la refrigeración del núcleo. El refrigerante también actúa como moderador.

La autopresurización del primario en el domo de vapor es el resultado del equilibrio líquido-vapor. El gran volumen del domo contribuye a una reducción importante de la velocidad de presurización, que tiene como consecuencia favorable la amortiguación de eventuales perturbaciones de presión. Debido a la autopresurización, la temperatura a la salida del núcleo corresponde a la temperatura de saturación a la presión del primario.

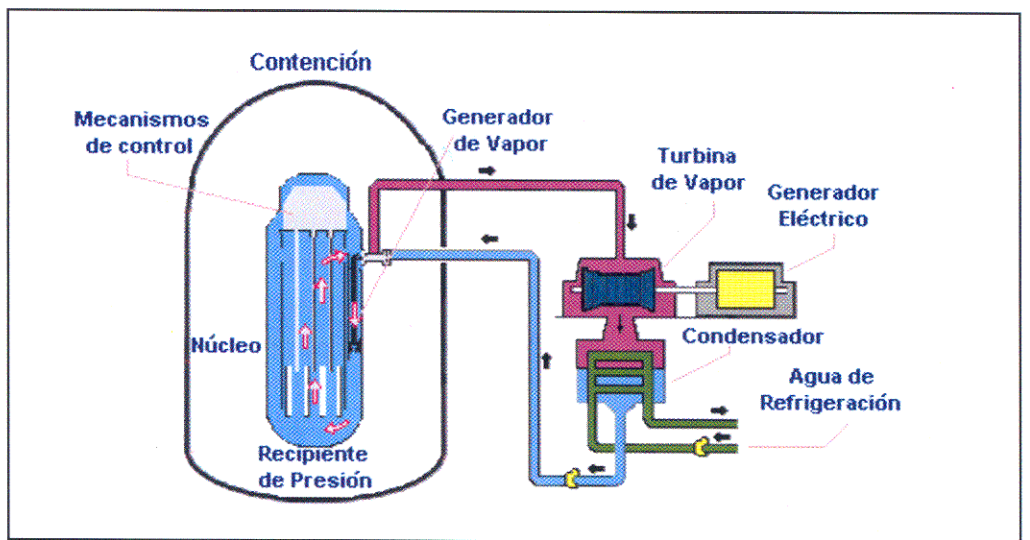
El sistema primario integrado del concepto CAREM tiene como resultado ventajas con respecto a los diseños tradicionales, que se resumen a continuación:

- Los sistemas de seguridad no deben confrontar grandes accidentes de pérdida de refrigerante debido a la ausencia de tuberías externas de gran diámetro asociadas al sistema primario. El máximo diámetro de las penetraciones al recipiente de presión del reactor es de 38mm.
- Como resultado del desarrollo de los mecanismos hidráulicos de seguridad, el reactor no tendrá accidentes por eyección de barras de control.
- Como resultado del gran inventario de refrigerante en el primario el reactor tiene una gran inercia térmica y un largo tiempo de respuesta en caso de transitorios o accidentes severos.
- Hay una reducción de requerimientos de blindajes por la eliminación de fuentes gamma dispersas en los componentes y tuberías del circuito primario.
- Se logra una dosis muy baja de neutrones rápidos sobre la pared del recipiente de presión debido al gran volumen de agua entre el núcleo y la pared, lo que reduce el daño por irradiación neutrónica de la pared del recipiente de presión del reactor.
- La eliminación del presurizador y de las bombas de circulación del circuito primario produce a igual densidad de potencia mayor seguridad, ventajas de mantenimiento y disponibilidad, y disminución de costos.

El diseño de los sistemas de seguridad del concepto CAREM sigue los lineamientos clásicos en cuanto a redundancia, independencia, separación física, diversificación, ensayos pe-

riódicos y principio de falla única segura. Se ha puesto además especial énfasis en minimizar el uso de sistemas de seguridad con componentes activos (como bombas, etc.) y la necesidad de actuación del operador. Para apagar y mantener el reactor en estado sub-crítico el CAREM, tiene dos sistemas diferentes e independientes que son activados por el sistema de protección del reactor. El primero es el sistema de caída de barras absorbentes de neutrones y el segundo

Datos generales del prototipo CAREM	
Potencia eléctrica	25 MW
Potencia térmica	100 MW
Presión de operación	12,25 MPa
Temperatura de salida del núcleo	326 °C
Caudal nominal en el núcleo	410 kg/s
Densidad volumétrica de potencia en el núcleo	55 kW/l
Longitud activa del núcleo	1,40 m
Diámetro equivalente del núcleo	1,31 m
Nivel de enriquecimiento de uranio	3,1%
Quemado medio de extracción	~22000 MWd/t
Altura del recipiente de presión	11 m
Diámetro interno del recipiente de presión	3,16m
Inventario total de agua en el recipiente de presión	53 m ³
Presión de vapor vivo	4,7MPa
Grado de sobrecalentamiento del vapor	30°C



Esquema de la Central CAREM

es el sistema de inyección de agua borada. En el caso de pérdida total de energía, el calor producido por decaimiento de los productos de fisión se extrae a través del sistema de remoción de calor residual y se transfiere a las piletas de su-presión de presión por convección natural. El sistema de in-

yección de emergencia evita el descubrimiento del núcleo inyectando agua borada en caso de un accidente de pérdida de refrigerante. El sistema de alivio de presión está compuesto por tres válvulas de alivio para proteger la integridad e impedir la falla del recipiente de presión. La contención es del tipo supresión de presión y está diseñado para que luego de iniciado cualquier accidente y sin ninguna acción externa la presión en el interior se mantenga por debajo de la presión de diseño.

El circuito secundario del prototipo CAREM es de diseño sencillo y cuenta con una sola turbina para la generación de electricidad.

En la tabla siguiente se resumen los datos generales del prototipo CAREM.

3. Desarrollos asociados

Por ser el CAREM un reactor innovativo, se hace necesario tanto el desarrollo de soluciones tecnológicas y de ingeniería como la realización de pruebas de verificación. Se requiere por lo tanto el desarrollo de una serie de actividades de ensayo y de facilidades experimentales que sirven para el diseño de sistemas, para la confirmación de los resultados obtenidos con el uso de códigos de cálculos específicos y para el análisis dinámico. Los temas, en parte cubiertos y en parte a realizarse, son:

- Pruebas Termohidráulicas del Sistema de Refrigeración del Núcleo en el Circuito de Alta Presión de Convección Natural (CAPCN): Se construyó el CAPCN y se llevaron a cabo ensayos para la validación de las herramientas utilizadas en el diseño termohidráulico del CAREM, en particular su comportamiento dinámico.
- Pruebas de Flujo Calórico Crítico: Con el propósito de generar una base de datos para desarrollar una metodología de predicción del Flujo Crítico de Calor para el núcleo del CAREM, que cubra un amplio rango de los parámetros termohidráulicos alrededor del punto de operación normal, se llevó a cabo por contrato un programa de experimentos en los laboratorios del IPPE (Institute of Physics and Power Engineering) en Obninsk, Federación Rusa.
- Modelado Neutrónico: Se utilizaron datos experimentales del ZR-6 del Instituto Central de Investigaciones en Físicas de la Academia de Ciencias de Hungría para las validaciones neutrónicas. También se construyó el conjunto crítico RA-8.
- Pruebas de los Internos del Reactor: La estructura mecá-

nica del núcleo, las guías soporte y todas las partes de la cadena cinemática del primer sistema de extinción se verifican con ensayos en varios Mock-up con escala vertical 1:1 para asegurar que actúan adecuadamente en condiciones tanto normales como anormales (por ejemplo, movimientos sísmicos). Los conjuntos y estructuras complejas, como por ejemplo los generadores de vapor requieren la evaluación de sus procesos de fabricación y armado para complementar el diseño.

- Pruebas de los Mecanismos Hidráulicos: Incluyen la construcción de varias facilidades experimentales para la verificación del diseño de las barras del sistema de extinción y de las de control y regulación, para efectuar pruebas de durabilidad y para evaluar el comportamiento en las condiciones de operación.
- Pruebas de los Elementos Combustibles: Se realizan pruebas de calificación que incluyen evaluaciones mecánicas y pruebas hidráulicas de los elementos combustibles.

4. Conclusiones

El CAREM es una central nuclear de potencia de diseño innovativo. Basada en un reactor integrado de agua liviana y uranio enriquecido de ciclo indirecto es singularmente simple en su concepto contribuyendo así a su alto nivel de seguridad. Sin embargo dadas sus características innovativas se hace necesario el desarrollo de una serie de actividades de ensayo y/o facilidades experimentales, así como la construcción de un prototipo para la verificación del diseño integral de la misma.