

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL REACTOR CAREM-25**

**Delmastro D.<sup>1</sup>, Gómez S.<sup>2</sup>, Mazzi R.<sup>3</sup>, Gómez de Soler S.<sup>4</sup>, Santecchia A.<sup>3</sup>, Ishida V.<sup>2</sup>**

1 Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro, CNEA y U.N. de Cuyo

2 Gerencia de Tecnología, CNEA

3 Gerencia Proyectos Nucleares, INVAP S.E.

4 Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares, CAC, CNEA

### **Resumen**

El proyecto CAREM consiste en el desarrollo y diseño de una central nuclear de potencia avanzada. Su primera etapa contempla la construcción de un prototipo para la verificación de sus características innovativas. En este trabajo se presentan las características técnicas principales del reactor prototipo CAREM-25. Éste es un reactor innovativo de muy pequeña potencia (100MWth) 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.

## **GENERAL ASPECTS OF CAREM-25 REACTOR**

### **Abstract**

CAREM project consists on the development and design of an advanced Nuclear Power Plant. In order to verify its innovative features the construction of a prototype is planned. In this paper the main technical characteristics of CAREM-25 prototype reactor are presented. This is a very low power innovative reactor (100MWth) 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.

## **Introducción**

La Central CAREM está integrada dentro de un edificio, compuesto por tres módulos, el módulo de control para las salas de control e instrumentación, vestuarios y oficinas, el módulo nuclear dentro del cual se instalan la contención, la pileta de elementos combustibles y los sistemas auxiliares del reactor y detrás de éste el módulo del turbogruppo (figura 1).

En este trabajo se hace una breve descripción de las características principales del sistema primario, sistemas de seguridad y desarrollos asociados.

## **Características principales del sistema primario**

El sistema primario del reactor CAREM-25 es del tipo integrado, como se muestra en la figura 2. Esto significa que todo el sistema primario de alta energía, que comprende al núcleo, generadores de vapor y sistema de presurización, y mecanismos de control se encuentran contenidos dentro del recipiente de presión del reactor.

El núcleo consta de 61 elementos combustibles de los cuales 25 posicionan elementos absorbentes como se muestra en la figura 3.

El elemento combustible CAREM-25 posee una sección transversal de forma hexagonal con 127 posiciones, las que se disponen en un ordenamiento triangular de 13,8mm de paso. Las barras combustibles ocupan 108 de dichas posiciones mientras que, de las 19 posiciones restantes 18 corresponden a los tubos guía para elementos absorbentes y 1 al tubo de instrumentación (figura 4). Desde el punto de vista estructural, el elemento combustible consiste de un esqueleto formado por los tubos guías, el tubo de instrumentación, 4 separadores y las piezas de acople inferior y superior. Los tubos guía y el de instrumentación van fijados rígidamente a las piezas de acople inferior y superior mediante uniones mecánicas. Los separadores son retenidos, para evitar su desplazamiento axial, por medio de apéndices soldados en algunos de los tubos guía. El esqueleto aloja las barras combustibles que son posicionadas por los separadores a través de uniones elásticas, formadas por cuatro puntos de apoyo y un resorte.

La potencia total del núcleo es de 100MW térmicos, lo que representa una potencia lineal promedio de 108,4W/cm. La longitud activa del núcleo es de 1.400mm. La distancia entre los centros de los elementos combustibles es de 160mm por lo que el diámetro equivalente del núcleo es de 1.312mm. La masa total de uranio en el núcleo será de aproximadamente 3.960kg.

El control de la reactividad del núcleo durante operación normal se logra por medio de elementos 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 favorece la respuesta del reactor ante transitorios y variaciones de carga.

Los mecanismos de control de reactividad se accionan hidráulicamente y están contenidos dentro del recipiente de presión, lo que constituye una de las innovaciones importantes en el desarrollo del concepto CAREM (figura 5).

El sistema de generación de vapor del reactor está basado en 12 módulos individuales ubicados en el espacio anular entre el recipiente de presión y el barrel. Cada módulo, como se observa en la figura 6, consta de un sistema de tuberías, un cabezal superior, una carcasa exterior, un colector interior y un dispositivo para sello en la parte inferior. El sistema de tuberías es un arreglo de varias camisas formadas por el arrollamiento helicoidal de las mismas. El cabezal superior se diseña para permitir el suministro de agua de alimentación, la descarga del vapor y la unión al recipiente de presión. La carcasa exterior envuelve al sistema de tuberías y sirve para establecer el camino del caudal del primario. Los tubos de alimentación se alojan dentro del colector interior. El dispositivo de sello sirve para evitar un cortocircuito entre la rama fría y caliente del circuito primario y evitar movimientos laterales, así como asimilar movimientos o dilataciones axiales.

El generador de vapor opera de la siguiente manera: el refrigerante del circuito primario ingresa por la parte superior y desciende entre las camisas formadas por el arrollamiento de tubos, transfiriendo el calor hacia el circuito secundario. El refrigerante sale por la boca inferior que posee un sello de cierre y se dirige hacia el núcleo. El agua de alimentación del secundario ingresa por los tubos de alimentación y se dirige a los helicoides donde se convierte en vapor. El vapor se colecta en una cámara desde donde es derivado al colector principal. El circuito secundario del CAREM-25 es de diseño sencillo y cuenta con un turbogruppo de una sola turbina para la generación de electricidad.

El movimiento del refrigerante es por circulación natural, sin el uso de bombas (figura 2). El agua ingresa desde el plenum inferior al núcleo donde es calefaccionada, ascendiendo luego por una chimenea central hacia el domo. En la parte superior de ésta el agua sale a través de agujeros laterales, dirigiéndose hacia los generadores de vapor ubicados en la zona periférica. Ingresa en ellos, cediendo calor mientras desciende a lo largo de los mismos. Finalmente continúa descendiendo a lo largo del “down-comer” hasta llegar al plenum inferior y cerrar el circuito. La circulación se produce por la diferencia de densidades medias entre la columna central o rama caliente, formada por el núcleo y la chimenea, y la zona periférica o rama fría, formada por los generadores de vapor y el “down-comer”. La diferencia entre las alturas relativas a las que se ubican el núcleo y los generadores de vapor por el otro, permite acotar por diseño el caudal.

Otra de las características del sistema es la autopresurización. Esta se logra a través de un equilibrio dinámico entre el aporte de vapor desde el núcleo y la condensación en un domo ubicado en la parte superior del recipiente. En condiciones estacionarias el calor producido en el núcleo se balancea con el calor extraído por los generadores de vapor y las fugas térmicas, siendo la forma simple de controlar la presión del sistema el modificar este balance de energía. El gran volumen de vapor en el domo y su condición de equilibrio dinámico hacen que ante estos desbalances de energía, los transitorios de presión resulten muy suaves. Debido a la autopresurización la temperatura a la salida del núcleo corresponde a la de saturación a la presión de primario.

## **Sistemas de seguridad**

Los sistemas de seguridad del reactor son el primer y segundo sistema de protección, el sistema de extracción de calor residual, el sistema de inyección de emergencia y el sistema de alivio de presión. En la figura 7 se muestra un esquema de los mismos y la contención.

Para apagar y mantener el reactor en estado sub – crítico, el CAREM-25 tiene dos sistemas de extinción diferentes e independientes que son activados por el sistema de protección del reactor (SPR). El primero está basado en la caída de elementos absorbentes de neutrones y el segundo en la inyección de agua borada, estando actuados ambos por acción de la gravedad.

En el caso de una pérdida total de energía, el calor de decaimiento del núcleo es removido a través del sistema de extracción de calor residual, que lo transfiere a la piletta de supresión de presión por principios pasivos (convección natural).

El sistema de inyección de emergencia evita el descubrimiento del núcleo en caso de un accidente de pérdida de refrigerante (LOCA), también sin requerimiento de energía externa para su operación.

La contención es del tipo supresión de presión y está diseñada para que luego de iniciado cualquier accidente con pérdida de refrigerante y sin ninguna acción externa, la presión en el interior se mantenga por debajo de la presión de diseño.

El sistema de alivio de presión está compuesto por válvulas de alivio para proteger la integridad e impedir la falla del recipiente de presión.

El diseño de los sistemas de seguridad del CAREM-25 cumple los lineamientos de las regulaciones de la industria nuclear en cuanto a redundancia, independencia, separación física, diversificación, principio de falla segura.

## **Desarrollos asociados**

Por ser el CAREM un reactor innovativo, se hace necesario el desarrollo de soluciones tecnológicas y de ingeniería vinculadas a la tecnología nuclear. Posee así características innovadoras que deben probarse durante la etapa de diseño y que requieren el desarrollo de una serie de actividades de ensayo y/o facilidades experimentales que sirven al diseño de sistemas, a la confirmación de los resultados obtenidos con el uso de códigos de cálculos específicos y al análisis dinámico. Entre las más relevantes se destacan: las pruebas termohidráulicas del Sistema de Refrigeración del Núcleo en el Circuito de Alta Presión de Convección Natural (CAPCN) que se muestra en la figura 8, las de Flujo Calórico Crítico, las de los internos del reactor, las de los mecanismos hidráulicos y las de los elementos combustibles.

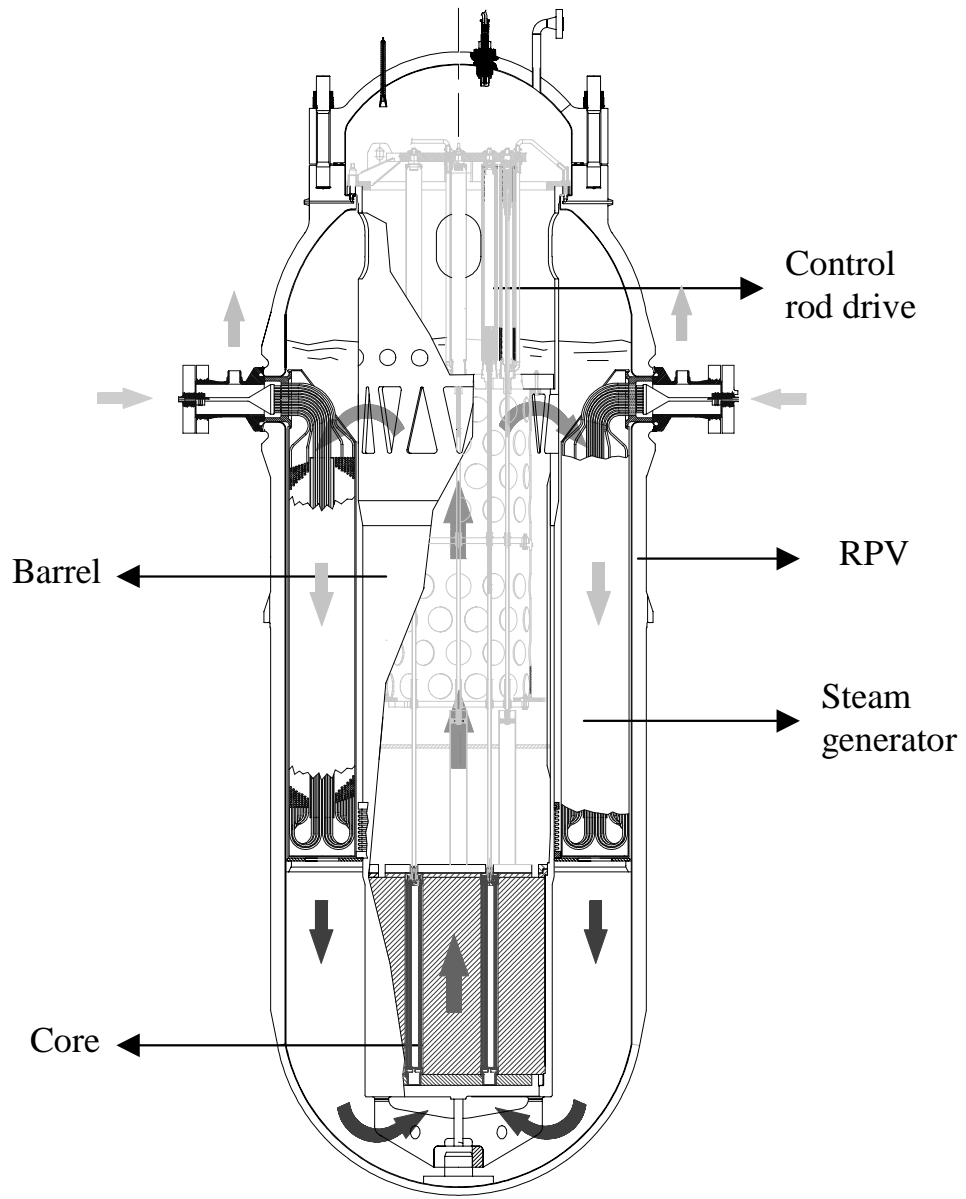
## Conclusiones

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.

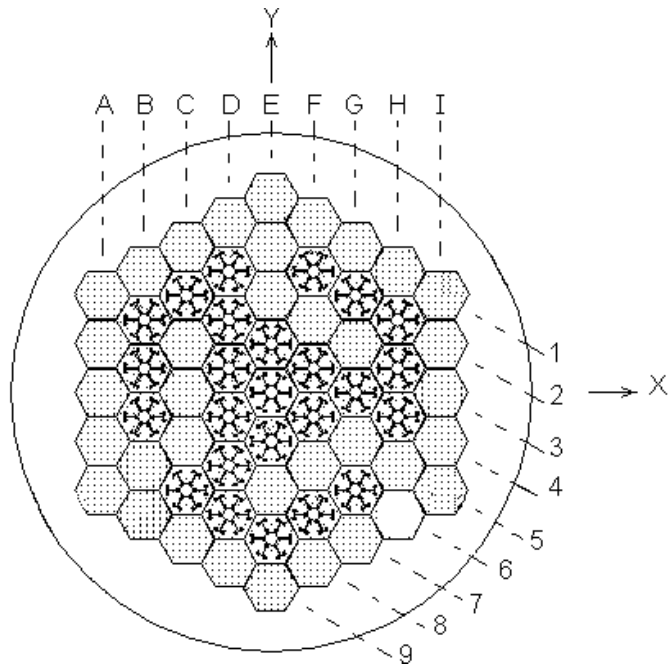
## Figuras



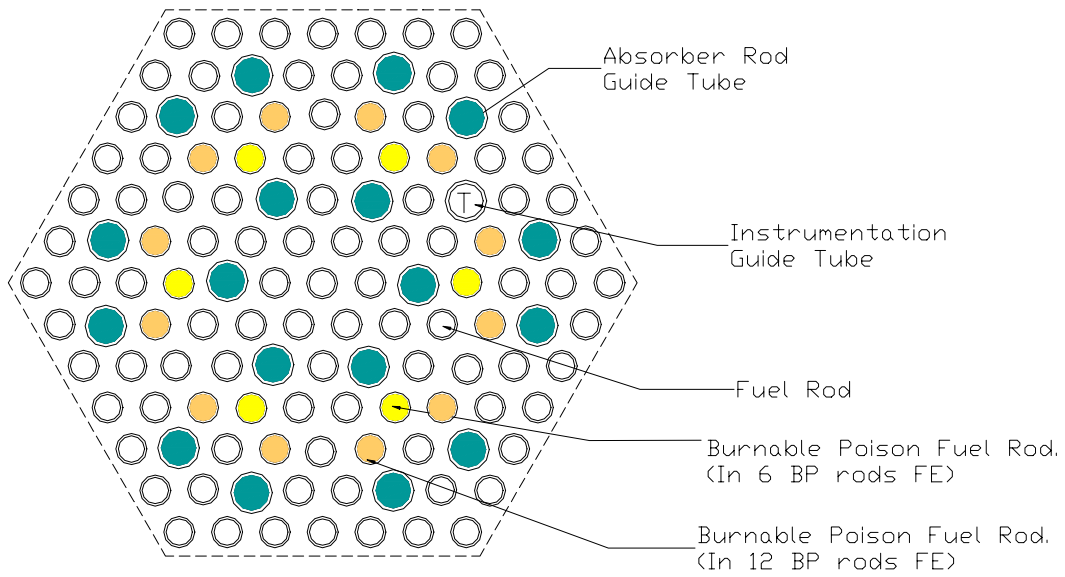
**Figura 1** Edificio Central Carem



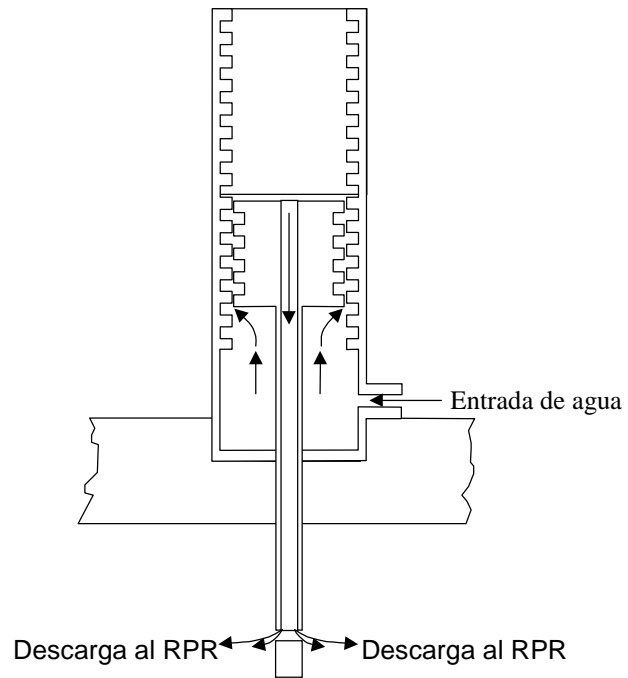
**Figura 2** Esquema del sistema primario



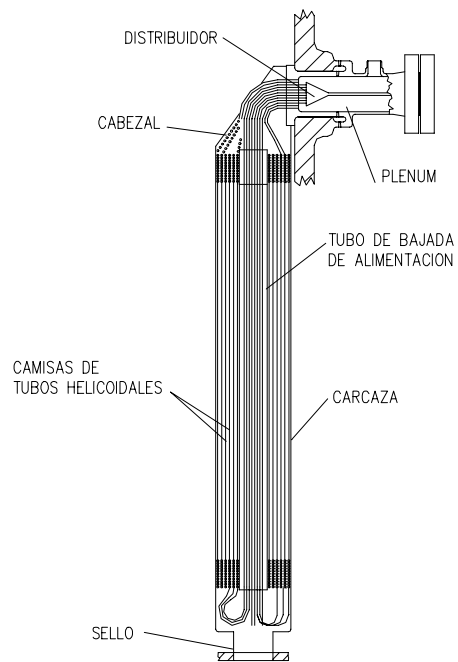
**Figura 3** Disposición de los elementos combustibles y elementos absorbentes en el núcleo



**Figura 4** Esquema del elemento combustible. Distribución radial de barras combustibles, tubos guías y tubo de instrumentación

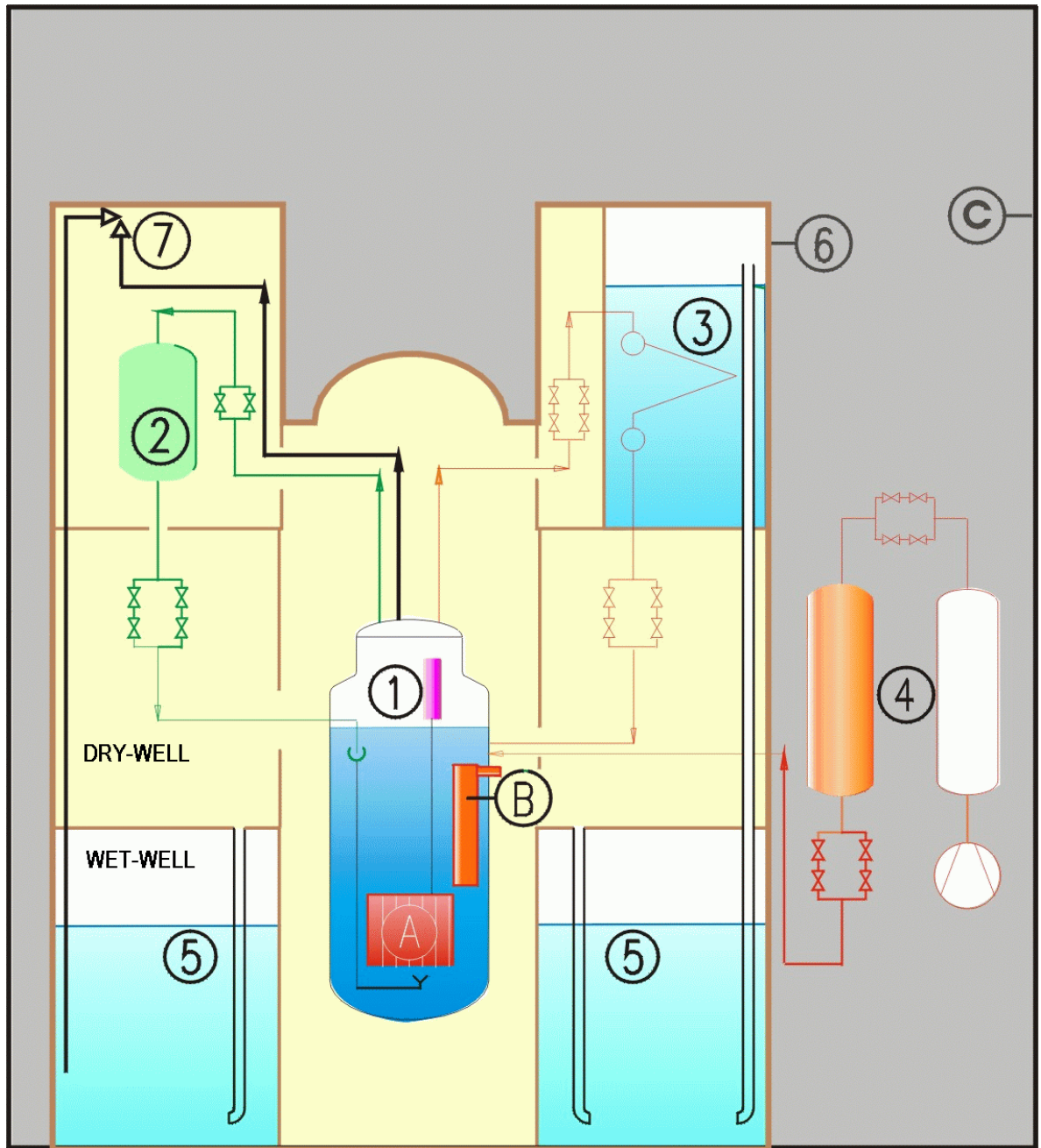


**Figura 5** Esquema del mecanismo hidráulico de control de reactividad



**Figura 6** Esquema del generador de vapor helicoidal modular





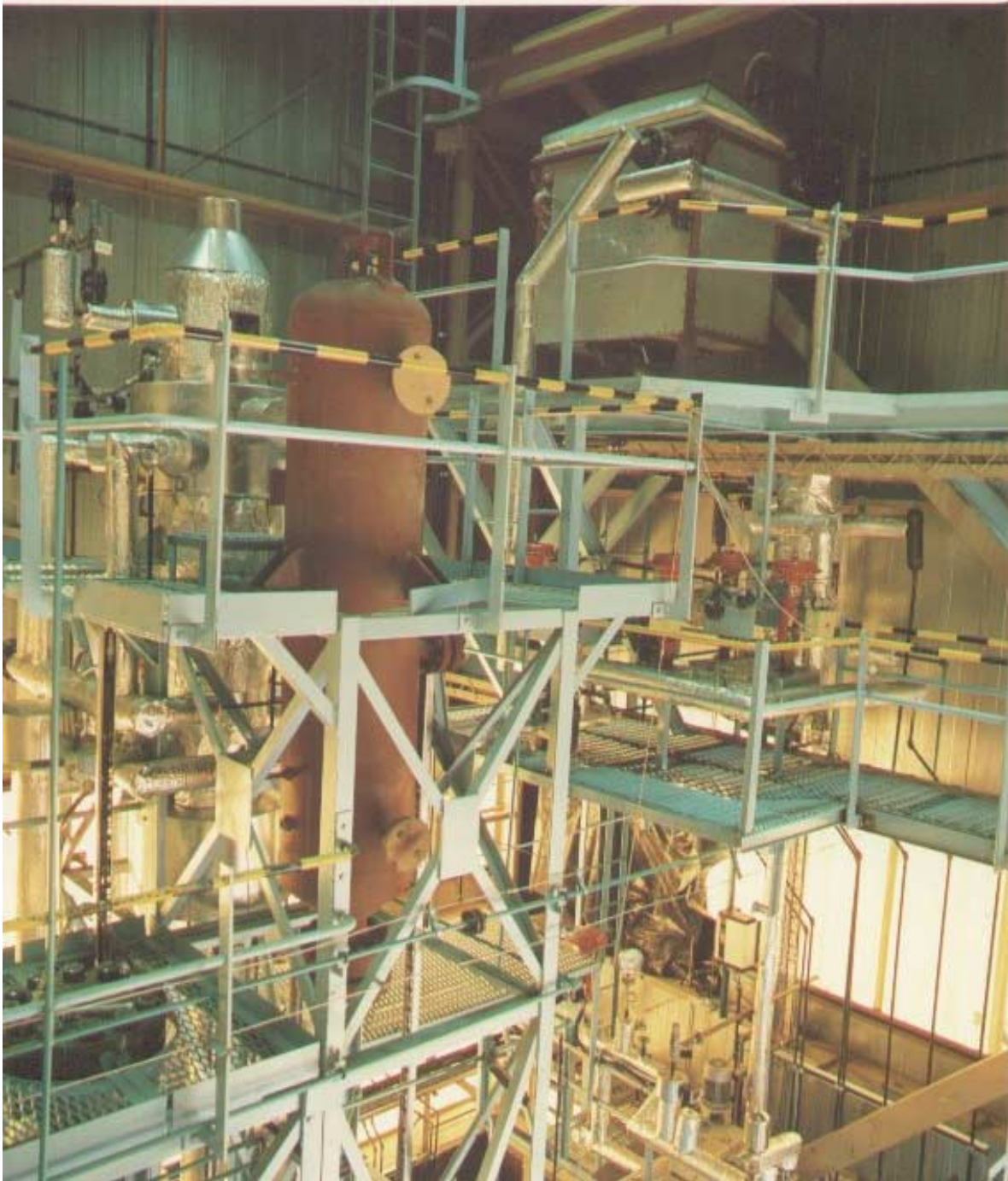
#### SAFETY SYSTEMS

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1 - FIRST SHUT-DOWN SYSTEM                                | 4 - SAFETY INJECTION SYSTEM |
| 2 - SECOND SHUT-DOWN SYSTEM                               | 5 - SUPPRESSION POOL        |
| 3 - RESIDUAL HEAT REMOVAL SYSTEM<br>(EMERGENCY CONDENSER) | 6 - CONTAINMENT             |
|   | 7 - PRESSURE RELIEF SYSTEM  |

#### REFERENCES

A - CORE                      B - STEAM GENERATOR                      C - BUILDING (SECONDARY CONTAINMENT)

**Figura 7** Esquema de la contención y sistemas de seguridad



**Figura 8** Vista del Circuito de Alta Presión de Convección Natural (CAPCN)