

## **CAREM-25. SISTEMA DE REFRIGERACION EN PARADA**

Arvia, R.<sup>(\*)</sup>; Carlevaris, R.<sup>(\*\*)</sup>; Coppari, N.<sup>(\*)</sup>; Gómez de Soler, S.<sup>(\*)</sup>; Patrignani A.<sup>(\*\*)</sup>; Ramilo, L.<sup>(\*)</sup>

(\*) CNEA: CAC: Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares.

(\*\*) INVAP S.E.

### **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo fue definir y consolidar la ingeniería conceptual de un sistema de procesos requerido por el reactor Carem-25 para refrigerar el circuito primario eliminando el calor de decaimiento del núcleo desde el estado operativo del reactor correspondiente a parada caliente hasta el de parada fría, incluyendo la etapa posterior cuando el recipiente de presión está abierto en la operación de recambio de combustibles (“refueling”). Adicionalmente este sistema funciona en modo calentamiento durante la secuencia de puesta en marcha, permitiendo a partir del estado operativo de parada fría alcanzar las condiciones térmicas requeridas en parada caliente, previas a las condiciones de puesta a crítico del núcleo.

El sistema se diseñó según los requerimientos de las normas ANSI/ANS 51.1 “Nuclear safety criteria for the design of stationary PWR plants”, ANSI/ANS 58.11, “Design criteria for safe shutdown following selected design basis events in light water reactors” y ANSI/ANS 58.9, “Single failure criteria for light water reactor safety-related fluid systems”.

El diseño propuesto permite el cumplimiento de las funciones postuladas para el sistema, satisfaciendo los requerimientos, criterios de diseño y normas.

## **CAREM-25 - RESIDUAL HEAT REMOVAL SYSTEM**

### **ABSTRACT**

The objective of this work was the definition and consolidation of the residual heat removal system for the CAREM 25 reactor. The function of this system is cool down the primary circuit, removing the core decay heat from hot stand-by to cold shutdown and during refueling. In addition, this system heats the primary water from the cold shutdown condition to hot stand-by condition during the reactor start up previous to criticality.

The system has been designed according to the requirements of the standards: ANSI/ANS 51.1 “Nuclear safety criteria for the design of stationary PWR plants”. ANSI/ANS 58.11 “Design criteria for safe shutdown following selected design basis events in light water reactors” and ANSI/ANS 58.9, “Single failure criteria for light water reactor safety-related fluid systems”.

The suggested design fulfills the required functions and design criteria standards.

## 1.- INTRODUCCION

El sistema de refrigeración en parada (Sistema 1900) del reactor CAREM-25, es el responsable de refrigerar el circuito primario eliminando el calor de decaimiento del núcleo desde el estado operativo del reactor correspondiente a parada caliente hasta el de parada fría, incluyendo la etapa posterior cuando el recipiente de presión está abierto en la operación de recambio de combustibles (“refueling”). Adicionalmente este sistema funciona en modo calentamiento durante la secuencia de puesta en marcha, permitiendo a partir del estado operativo de parada fría alcanzar las condiciones térmicas requeridas en parada caliente, previas a las condiciones de puesta a crítico del núcleo.

Con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las funciones del sistema de refrigeración en parada y a la vez contemplar los criterios y normas de diseño del proyecto, en esta etapa de consolidación de la ingeniería, se fijaron las bases de diseño particulares para el sistema que se debían cumplir en la elaboración de dicha ingeniería.

En el presente trabajo se presentan para este sistema sus funciones, las bases de diseño y sus características más relevantes.

## 2.- FUNCIONES DEL SISTEMA

El sistema es utilizado, como ya se ha dicho, en primer lugar para refrigerar el circuito primario, removiendo el calor de decaimiento del núcleo, y en segundo lugar para calentamiento durante la secuencia de arranque de la planta.

Según el estado operativo en el que se encuentre la planta las funciones del sistema, en el estado estacionario y para el modo de enfriamiento, son:

- Eliminar el calor de decaimiento manteniendo una temperatura en el recipiente de presión (RPR) de 220°C, en el estado de parada caliente modo normal, cuando se accede a él durante la secuencia de parada de la planta.
- Eliminar el calor de decaimiento del núcleo durante la operación de recambio de combustibles (“refueling”), manteniendo una temperatura inferior a 50°C, y menor a 60°C en los estados de parada fría con recipiente abierto o cerrado.

La función en modo calentamiento en el estado operativo de parada caliente y para el estado estacionario es:

- Mantener una temperatura en el RPR de 220°C para permitir la puesta a crítico del reactor.

Este sistema también cumple funciones durante algunos estados transitorios. Para el transitorio de arranque estas funciones son:

- Calentar el agua del primario, así como el RPR con todas sus partes internas, desde 45°C (aproximadamente) hasta 220°C. Coincidentemente se calentará el agua del secundario por transferencia de calor a través de los generadores de vapor (GV).

Sus funciones en el transitorio de parada son:

- Enfriar desde 220°C hasta 60°C el agua del primario, así como el RPR con todas sus partes internas.
- Enfriar hasta alcanzar una temperatura inferior a 50°C en el agua del primario para permitir una óptima operación de recambio de elementos combustibles.

Finalmente este sistema puede colaborar con la refrigeración del primario en accidente y post - accidente, en caso de ser requerido y si las condiciones de presión y temperatura del RPR son compatibles con las de diseño del sistema. Sólo podrá actuar una vez comprobada su integridad y si existe el suministro eléctrico correspondiente.

### 3.- CRITERIOS PARTICULARES Y NORMATIVA

Las normas de aplicación particulares para este sistema son las ANSI/ANS 51.1<sup>(1)</sup>, 58.11<sup>(2)</sup>, 58.9<sup>(3)</sup>, 52.1<sup>(4)</sup>, 56.2<sup>(5)</sup> y 56.3<sup>(6)</sup>.

A continuación se detallan los criterios particulares que se establecieron para este sistema:

- El sistema debe cumplir con la función de seguridad nuclear establecida en la norma ANSI/ANS 51.1<sup>(1)</sup> de “remover el calor residual del refrigerante primario por circulación directa del mismo”.
- La función de enfriamiento debe incluir la disipación del calor de decaimiento y del calor sensible del inventario de agua del RPR, de los internos y del recipiente propiamente dicho.
- Tanto el enfriamiento como el calentamiento deben realizarse a una velocidad controlada que no supere los 30°C/hora hasta alcanzar el punto final de operación requerido.
- El punto final de enfriamiento se establece en un valor de temperatura del agua del reactor menor de 93°C, según el requerimiento de la norma ANSI/ANS 58.11<sup>(2)</sup>.
- El sistema debe diseñarse siguiendo los lineamientos de la norma ANSI/ANS 58.9<sup>(3)</sup>. De acuerdo a esta normativa se deben considerar dos circuitos de refrigeración redundados, totalmente independientes e iguales, es decir debe diseñarse con redundancia del 100%.
- Las bombas deben estar alimentadas eléctricamente por la clase III (generadores auxiliares) para el caso de falta de energía externa a la central.
- La clase de seguridad de los componentes del sistema se debe definir según los lineamientos de la norma ANSI/ANS 51.1<sup>(1)</sup> y ANSI/ANS 52.1<sup>(4)</sup> para sistemas de remoción de calor residual en parada.
- De acuerdo a estas normas se debe considerar a la envuelta de presión y soportes pertenecientes al circuito como clase de seguridad nuclear 2. Otros equipos que provean la función de seguridad requerida deben ser clase de seguridad 3. Los equipos asociados a la función de calentamiento deben ser clase 4 (no nuclear).
- Deben aplicarse los criterios para aislación de la contención especificados en la norma ANSI/ANS 56.2<sup>(5)</sup>.
- La unión entre cañerías y equipos con diferentes presiones de diseño debe realizarse siguiendo los lineamientos especificados en la norma ANSI/ANS 56.3<sup>(6)</sup>.

Además se deberán cumplir con los criterios generales y con los requerimientos de las normas fijadas en el proyecto.

#### **4.- DESCRIPCION DEL SISTEMA**

Como ya se explicó anteriormente en detalle, el sistema de refrigeración en parada enfría el agua del recipiente del reactor removiendo el calor de decaimiento durante la parada del reactor y el recambio de combustible. En la puesta en marcha calienta el primario hasta llevarlo a la condición operativa de parada caliente.

Este sistema por tanto puede funcionar en modo refrigeración y en modo calentamiento. Cuando opera en modo enfriamiento debe cumplir los lineamientos dados por la norma ANSI/ANS 58.11<sup>(2)</sup>. De acuerdo al grado de redundancia solicitado por dicha norma (criterio de falla única) el sistema está formado por dos circuitos totalmente independientes, cada uno del 100 % de la capacidad de refrigeración requerida para enfriar hasta la temperatura límite indicada por la norma. Cuando uno se encuentra operativo, el otro se encuentra en “stand-by”.

La refrigeración de cada uno de estos circuitos se realiza a través de circuitos independientes del sistema de refrigeración de componentes circuito principal, que a su vez son refrigerados por torres de enfriamiento pertenecientes a circuitos también independientes<sup>(7)</sup>.

La operación conjunta de ambos circuitos se contempla solamente cuando se realiza la apertura de la tapa del recipiente de presión a fin de minimizar la temperatura del agua del primario durante la operación de recambio de combustible. En este caso no se viola el cumplimiento de la norma ANSI/ANS 58.11<sup>(2)</sup>, al operar con los dos circuitos y eliminar así la redundancia, ya que la temperatura del primario es inferior a los 93 °C que estipula la norma (estando este límite de temperatura asegurado con un solo circuito operativo como se indicó anteriormente).

En modo calentamiento el sistema no necesita cumplir los lineamientos de la norma ANSI/ANS 58.11<sup>(2)</sup>. Para operar en este modo es necesario reconfigurar los circuitos, deshabilitando los intercambiadores de calor para enfriamiento, habilitando en su lugar los intercambiadores de calor para calentamiento y haciendo circular vapor por la carcasa de éstos. Durante el transitorio de calentamiento se contempla entonces la operación conjunta de ambos intercambiadores de calor de calentamiento, lográndose así reducir los caudales de vapor en las cañerías de retorno al recipiente de presión del reactor, reduciendo consecuentemente la alta pérdida de carga ocasionada por el flujo bifásico (vapor/líquido) que en ellas se desarrolla, y, en particular, la alta pérdida de carga que se produce en el punto de ingreso a dicho recipiente. Se prevé alcanzar las condiciones requeridas de arranque a potencia cero en aproximadamente ocho horas.

Los equipos incluidos en este sistema son los siguientes:

- Circuito I
  - ✓ Bombas de circulación AB-1900-001/I
  - ✓ Unidad de intercambio de calor BI-1900-001/I
  - ✓ Unidad de intercambio de calor BI-1900-002/I

- Circuito II
  - ✓ Bombas de circulación AB-1900-001/II
  - ✓ Unidad de intercambio de calor BI-1900-001/II
  - ✓ Unidad de intercambio de calor BI-1900-002/II

Los documentos utilizados como base para la definición de las condiciones de operación de este sistema se listan en la bibliografía<sup>(8)(9)(10)(11)(12)</sup>.

La configuración del sistema se muestra en la figura 1.

## 5.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DEL SISTEMA

Las características de los equipos más relevantes se pueden resumir en:

- Las bombas de circulación son para alta presión y temperatura. El caudal de bombeo en modo enfriamiento es de 20.000kg/h contra una altura de 16m.c.l. En tanto que en modo calentamiento el caudal es de 10.000kg/h para una altura de descarga de 43m.c.l.
- Los intercambiadores de calor (BI-1900-001/I y II) son de casco y tubos, tipo BEU según norma TEMA. Los parámetros del sistema adoptados para su operación y diseño son:
  - ✓ Potencia de enfriamiento máxima: 3MW.
  - ✓ Potencia de calentamiento máxima: 3MW.
  - ✓ Caudal de circulación máximo: másico 20.000kg/h (en cada unidad) y volumétrico 22,5m<sup>3</sup>/h (corresponde a 20.000kg/h a 180°C).
  - ✓ Temperatura de operación lado primario: 228°C (máxima).
  - ✓ Presión de operación lado primario: 2,6MPa(a) (máxima).
  - ✓ Temperatura de diseño: 260°C.
  - ✓ Presión de diseño: 3,2MPa(a).

El sistema cuenta con instrumentación y lazos de control para cumplir con los requerimientos de proceso en relación con temperatura, caudal y protección contra sobrepresiones.

En cuanto al “lay-out” es importante destacar los siguientes lineamientos adoptados:

- Los componentes de este sistema que implican altas tasas de dosis se ubicarán dentro de recintos blindados.
- Cada una de las ramas del sistema se ubicarán en áreas diferentes para cumplir con el criterio de separación física, mientras que las bombas se ubicarán en el nivel inferior del edificio para maximizar el ANPA disponible.

La documentación de este sistema comprende una memoria descriptiva, los balances de masas y energía en estado estacionario y en los transitorios correspondientes, un predimensionamiento de los equipos de intercambio de calor y las

bombas asociadas<sup>(13)</sup>, un diagrama de proceso<sup>(14)</sup>. A partir de los tamaños de estos equipos se propuso una implantación de los componentes principales y un tendido preliminar de cañerías a los efectos poder evaluar espacios requeridos y alturas de bombeo disponibles<sup>(15)</sup>.

## **6.- CONCLUSIONES**

El diseño propuesto permite el cumplimiento de las funciones postuladas para el sistema, satisfaciendo los requerimientos, criterios de diseño y normas.

La capacidad del sistema es suficiente para manejar las cargas térmicas previstas, tanto en condiciones estacionarias como transitorias.

Dos circuitos de refrigeración independientes y redundantes, uno en operación y otro en “stand-by”, aseguran el 100 % de la refrigeración requerida aún ante falla simple de alguno de sus componentes.

## **7.- REFERENCIAS**

1. Norma ANSI/ANS 51.1, “Nuclear safety criteria for the design of stationary PWR plants”.
2. Norma ANSI/ANS 58.11, “ Design criteria for safe shutdown following selected design basis events in light water reactors”
3. Norma ANSI/ANS 58.9, “Single failure criteria for light water reactor safety-related fluid systems”.
4. Norma ANSI/ANS 52.1, “Nuclear safety criteria for the design of stationary boiling water reactor plants”.
5. Norma ANSI/ANS 56.2, “Containment isolation provisions for fluid systems after LOCA”.
6. Norma ANSI/ANS 56.3, “Overpressure protection of flow power systems connected to the reactor pressure boundary”.
7. Documento N° 0758-2100-1DAKP-038-10. Diagrama de Procesos. Sistema 2100-2120.
8. Documento N ° 0758-9500-1IAKP-015-10. Transición entre Parada Caliente y Parada Fría con sistema 1900.
9. Documento N° 0758-9500-1IAKP-016-10. Transición entre Parada Fría y Parada Caliente con sistema 1900. Fase final calentamiento no nuclear.
10. Documento N° 0758-1020-3IAIN-450-10. Potencia de decaimiento en el núcleo del CAREM.
11. Documento N° 0758-9500-1IAKP-001-10. Estados Operativos del reactor CAREM.
12. Documento N° 0758-9500-1IAKP-017-10. Parada Caliente: Calentamiento en estado estacionario con sistema 1900.
13. Documento 0758-1900-1VAKP-016-10. Memoria descriptiva. Sistema de refrigeración en parada.
14. Plano 0758-1900-1DAKP-015-10. Diagrama de procesos. Sistema de refrigeración en parada.
15. Plano 0758-1900-1DAKP-017-10. Diagrama de elevaciones relativas. Sistema de refrigeración en parada.

## 8.- FIGURAS

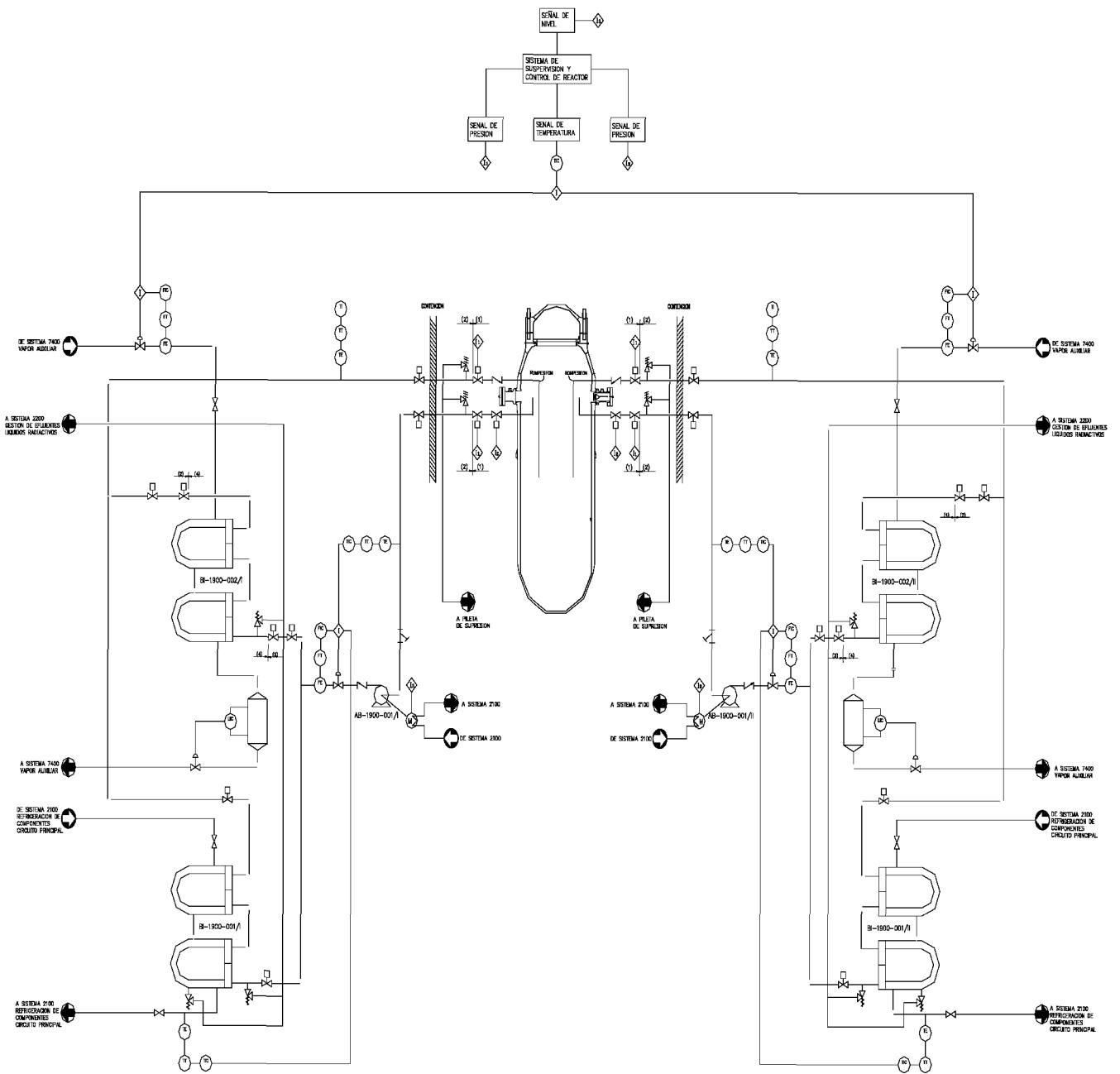


Figura 1: Sistema de refrigeración en parada - Diagrama de procesos