

<b>id</b>	15-Biblioteca-Bibliografía
<b>Tipo</b>	Tesina
<b>Título</b>	Estudio y definición del sistema de control de presión del dispositivo de irradiación de barras combustibles potencia
<b>Autor</b>	Badaracco Carla
<b>Ubicación</b>	IDB-CAC
<b>Editorial</b>	IDB
<b>Año</b>	04-2008
<b>ISBN</b>	0
<b>Observaciones</b>	<p>Director: Luis Vazquez / Ottaviani Anahí El sistema de control de presión en el dispositivo de irradiación al igual que todo el sistema que trabaja presurizado es el responsable de mantener la presión deseada durante la operación de la instalación. La función es generar y mantener la presión en el circuito primario del dispositivo de irradiación necesaria para el servicio normal; además debe absorber las variaciones de volumen del medio refrigerante causadas por las variaciones de la temperatura del mismo en el circuito. El objetivo será a partir del análisis de distintas opciones, la elección y realización de la ingeniería básica de un sistema que pueda ser utilizado en el control de presión para el dispositivo de irradiación.</p> <p>ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES Y CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR</p>

**“ESTUDIO Y DEFINICION DEL SISTEMA DE CONTROL DE PRESION DEL  
DISPOSITIVO DE IRRADIACION DE BARRAS COMBUSTIBLES DE POTENCIA”**

**ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE  
COMBUSTIBLE**

Nombre Alumno: Carla Badaracco  
Director de Trabajo Final: Luis Vazquez;  
Anahi Ottaviani



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

**“ESTUDIO Y DEFINICION DEL SISTEMA DE CONTROL DE PRESION DEL  
DISPOSITIVO DE IRRADIACION DE BARRAS COMBUSTIBLES DE POTENCIA ”**

Trabajo final presentado para optar al título de  
“Especialista en Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible”

Nombre Alumno: Carla Badaracco  
Director de Trabajo Final: Luis Vazquez  
Anahi Ottaviani

Abril – 2008

## Índice

Alcance y Objetivo del Trabajo	4
Introducción	5
Sistema de Control de Presión	7
Diferentes Sistemas utilizados para el Control de Presión	
Descripción del Sistema con Calefactores	7
Descripción de Sistemas con Gas de Cobertura	9
Ingeniería Básica del Sistema	
Cálculo del Presurizador	13
Cálculo de Cañerías	14
Cálculo de Válvulas de Control y Reductor de Presión	17
Cálculo del Número de Cilindros de Helio	20
Conclusión	22
Referencias	23
Anexo	24

## Alcance

- 1.- El estudio comprenderá la revisión de los diferentes sistemas utilizados en dispositivos similares.
- 2.- Como conclusión se definirá la mejor opción dadas las características del dispositivo de irradiación.
- 3.- Se realizara la ingeniería básica del sistema.

## Objetivo del trabajo

El sistema de control de presión en el dispositivo de irradiación al igual que todo sistema que trabaja presurizado es el responsable de mantener la presión deseada durante la *operación* de la instalación.

La función de este sistema es generar y mantener la presión en el circuito primario del dispositivo de irradiación necesaria para el servicio normal; además debe absorber las variaciones de volumen del medio refrigerante causadas por las variaciones de la temperatura del mismo en el circuito, sin mayores variaciones de la presión.

El objetivo del trabajo será, a partir del análisis de distintas opciones, la elección y realización de la ingeniería básica de un sistema que pueda ser utilizado en el control de presión para el dispositivo de irradiación.

## Introducción

El proyecto de Cooperación Técnica entre el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) contempla el diseño, la fabricación y la instalación de una facilidad para irradiar barras de elementos combustibles de reactores de potencia en el reactor RA-3.

El reactor RA-3 es un reactor de investigación y producción de radioisótopos, del tipo piscina y con una potencia máxima de operación de 10MW. El núcleo está dentro de un tanque abierto a la atmósfera a una profundidad aproximada de 8.4 metros. El refrigerante primario circula en sentido descendente, impulsado por bombas y cede el calor extraído en el núcleo al refrigerante secundario en los intercambiadores de calor. A través de torres de enfriamiento el circuito secundario cede el calor generado en el reactor al medio ambiente. El núcleo actual está formado por 25 elementos combustibles (MTR) con  $U_3O_8$  como material fisible, cinco de los cuales son especiales para permitir la ubicación de las placas de control. La grilla consta de 80 posiciones (10x8) lo que brinda cierta versatilidad en caso de necesitarse cambiar la configuración del núcleo. Los elementos combustibles están rodeados por bloques de grafito envainado en aluminio conformando el reflector.

El objetivo de la facilidad es irradiar barras combustibles de reactores de potencia en condiciones, totales o parciales, de operación para estudiar su comportamiento. Se propone que en la facilidad se puedan establecer las condiciones de operación (presión, temperatura, velocidad y química del refrigerante) de las centrales argentinas Atucha I (CNA I), Atucha II (CNA II), Embalse (CNE) y CAREM.

En términos generales para lograr este objetivo es necesario diseñar y construir un circuito que genere las condiciones de **presión** (aproximadamente 10MPa), temperatura (aproximadamente 310 °C), velocidad requerida en la zona de las barras combustibles y química adecuada del refrigerante primario.

## Descripción de la facilidad de irradiación

La facilidad constará de tres partes fundamentales:

Modulo de irradiación: es la zona que contiene las barras combustibles a irradiar se ubicará en una posición en la grilla del RA-3 en el lugar de un reflector. Esta

posición pertenece a la corona exterior al núcleo normalmente completada con grafito.

Sistemas de apoyo: son los sistemas que generan las condiciones de presión, temperatura, caudal y química del refrigerante previstas y que se ubicará en la sala de loops del reactor; sistema secundario y terciario,

Interfase: son las cañerías, el blindaje, etc. que conectaran el dispositivo dentro de la pileta del reactor con la sala de loops fuera de la pileta.

### Parámetros termohidráulicos del Loop

Posición en el RA-3	In-Core
Presión de diseño (MPa)	13
Máxima presión de trabajo (MPa)	12
Temperatura de diseño (°C)	330
Máxima temperatura de trabajo (°C)	310
Potencia lineal máxima (W/m)	600
Calor generado en las barras combustibles (KW)	75
Longitud de las barras (m)	0.4
Cantidad de barras combustibles	3
Caudal másico máximo (Kg/s)	2
Máxima velocidad del refrigerante en la zona de barras combustibles (m/s)	8.5
Capacidad de enfriamiento (KW)	100
Fluido refrigerante	Agua desmineralizada
Control de presión	Presurizador en doble fase
Dimensiones de la sala de loops	Longitud: 6m Ancho: 3m Altura: 5m
Temperatura del refrigerante entrada de canal caliente (°C)	290/295
Temperatura del refrigerante salida del canal caliente (°C)	≤310
Presión del refrigerante a la entrada (MPa)	(*)
Presión del refrigerante a la salida (MPa)	12

(\*) Tendrá diferentes valores según de qué central de potencia sea el elemento combustible que se este irradiando.

## Sistema de Control de Presión

El sistema de control de presión contará con un presurizador (principal componente del control de presión del sistema primario de transporte de calor), cañerías y válvulas.

La función del presurizador es generar y mantener la presión en el circuito primario necesaria durante el servicio normal, transitorios operacionales frecuentes y durante algunos eventuales incidentes/accidentes. Además es el responsable de absorber las variaciones de volumen del medio refrigerante principal causadas durante variaciones de la temperatura en el sistema primario sin mayores variaciones de presión.

## Diferentes sistemas utilizados para el control de presión en dispositivos similares

Desde el punto de vista del sistema de control se podría decir que existen dos alternativas para el mismo que serían en primer lugar el sistema de calefacción eléctrico (por medio de resistencias térmicas) y rociado o válvula de purga, y por otra parte el control a través del uso de un gas de cobertura.

En el primer caso la parte inferior del presurizador contiene líquido refrigerante saturado y sobre ella se encuentra un colchón de vapor saturado en equilibrio con el líquido. Si la presión decae a valores inferiores al deseado, puede corregirse por conexión de la calefacción (producción de vapor), si sube por encima del valor nominal, se corrige por rociado de agua (ATUCHA: condensación del vapor) o por apertura de la válvula de purga (CNE: extracción de una determinada cantidad de vapor del equipo).

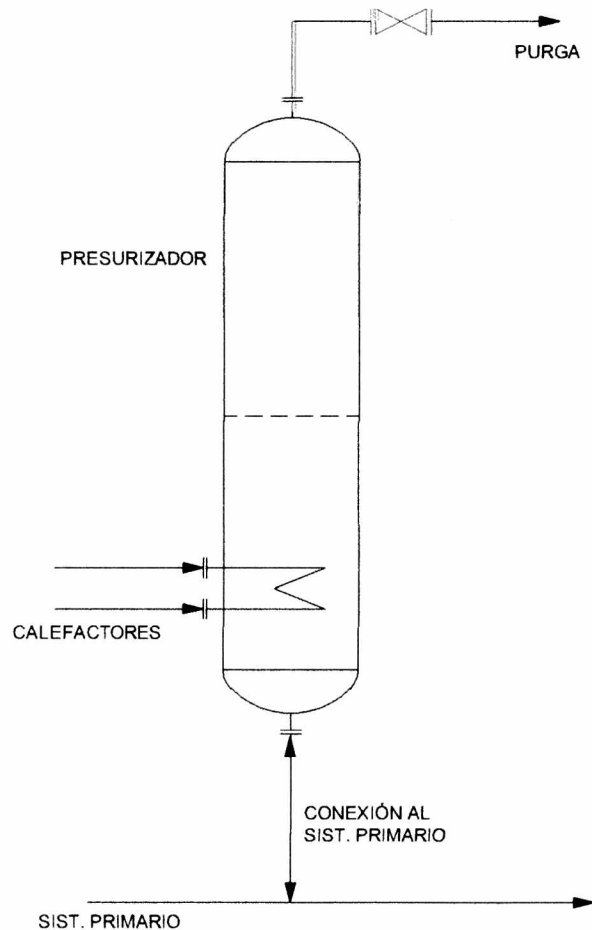
La calefacción y el rociado se van a conectar por etapas. Una pequeña calefacción siempre se encuentra en servicio para compensar pérdidas de calor y a través de un pequeño rociado permanente se consigue un mezclado continuo del contenido del recipiente.

Todo el volumen de expansión del refrigerante entre carga cero en caliente y 100% de carga se absorbe en el presurizador.

Este sistema tendría como presurizador un recipiente vertical, con una capacidad total que absorba holgadamente las variaciones de volumen; que consta de una parte cilíndrica y dos cabezales.

En la parte inferior el recipiente contendrá un cierto número de calefactores (del tipo on-off y de regulación continua) con una determinada potencia eléctrica que realizarán la calefacción.

La cañería de rociado /o la válvula de purga se encuentran en la parte superior.



**Figura N° 1**

Entonces tendremos un estado inicial donde los calefactores estarán apagados y el nivel en el presurizador será mínimo, y el encendido de éstos conduce a la presurización del sistema.

El presurizador mantiene una presión deseada en el circuito primario controlando la presión en la zona de vapor del mismo.

En el funcionamiento del sistema el aporte de calor al presurizador estará a cargo de los calentadores los cuales actuaran en caso de una caída de presión, y en caso de sobrepresión actuarán las válvulas de purga de vapor o el sistema de rociado hasta que la presión descienda.

El otro sistema posible es el ya mencionado control a través de un gas de cobertura que permite a su vez diferentes opciones para el control de la presión.

En este caso se reemplaza el vapor de agua en equilibrio que se encuentra en el presurizador por un gas. La presión entonces será la suma de las presiones parciales del gas más la del vapor saturado a la temperatura del agua líquida de la parte inferior, esta mezcla ocupará el volumen respectivo.

Este sistema elimina el uso de los calefactores y del sistema de rociado y las reemplaza por un sistema de tanques de gases de alta y baja presión que actuarán en caso de una caída o elevación de la presión respectivamente.

En este caso el gas más utilizado es el helio, el cual forma parte de la familia de gases conocidos como inertes. Se caracteriza por su muy baja reactividad, y no forma ningún compuesto conocido. Tiene el punto de ebullición más bajo,  $-268.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tiene un muy bajo nivel de solubilidad en agua y este gas no puede arder ni explotar

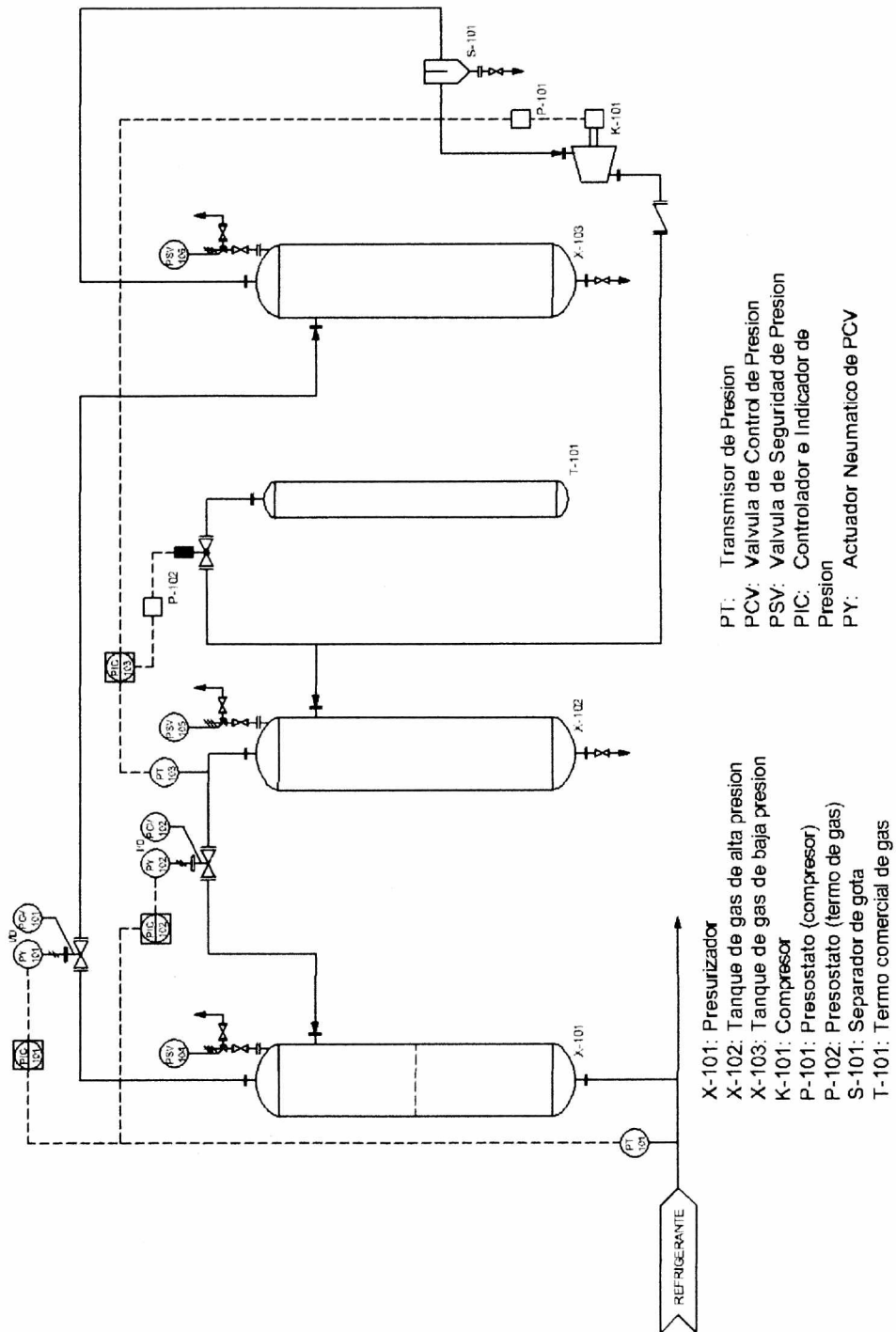
#### Diferentes sistemas utilizados con gas de cobertura:

El sistema que se muestra en la figura N° 2 es un sistema cerrado, consta del recipiente del presurizador, dos tanques de alta y baja presión con sus conexiones respectivas al recipiente del presurizador y un compresor.

El tanque de alta presión (1) se encuentra lleno con helio a la presión deseada en nuestro caso serán aproximadamente 12 MPa, el mismo será el que inyecte, en caso de una caída de presión en el sistema, gas al presurizador a través de su respectiva válvula, por otra parte el tanque de baja presión (2) será el que reciba, en caso de sobrepresión, helio proveniente del presurizador. La función del compresor es elevar la presión del tanque (1), en caso que se produzca en éste una caída, desde el tanque (2).

Este sistema además prevé la utilización de un cilindro (o un banco de cilindros) de helio conectado al tanque de alta presión (1) para el caso en que el sistema del compresor y tanque (2) no sea suficiente para mantener la presión necesaria en este tanque (1) (por ejemplo: escasez de gas en el tanque (2), tiempo de respuesta del compresor desde que se dispara la señal hasta que se hace efectiva la alimentación, etc).

Además este sistema contiene dos presostatos, un separador de gotas y válvulas de control y seguridad.



**Figura N° 2**

La otra opción para un sistema con gas de cobertura se muestra en la figura N°3. En la misma se puede observar que consta prácticamente de los mismos equipos del sistema anterior.

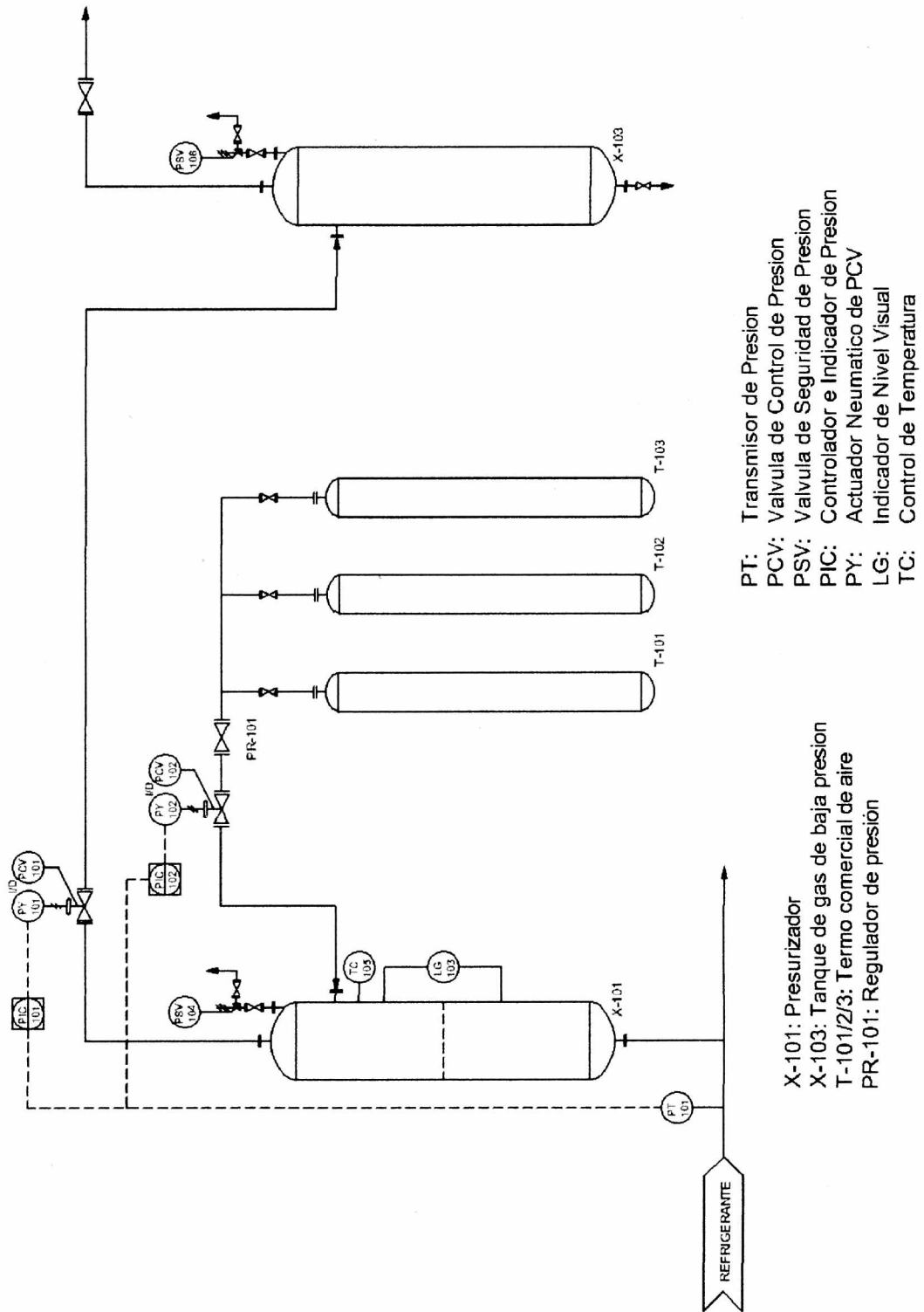


Figura N° 3

En este sistema se reemplaza el tanque de alta presión por un banco de cilindros de helio, cuyo número dependerá en principio del volumen del presurizador y de la presión en los cilindros una vez que entraron en servicio, los cuales serán los que actúen del mismo modo que el tanque de alta presión del sistema anterior en caso de una *caída de presión* en el sistema.

Dichos cilindros irán entrando en funcionamiento en el orden establecido y una vez que se vacíen o su presión no sea la necesaria serán reemplazados por nuevos.

En este sistema la existencia del tanque de baja presión, que cumple la misma función que en el sistema anteriormente descrito, ofrece diferentes alternativas que pueden ser la re utilización del gas contenido en el mismo (una opción podría ser el sistema secundario que trabaja a 1.4MPa), o en el caso que esta opción no sea *conveniente o justificada* y luego de los estudios pertinentes se concluya que dicho gas puede ser venteadado a la atmósfera en las condiciones que es extraído o mediante la utilización de filtros (los cuales a su vez pueden ser instalados en la línea de purga) se podría proceder a su eliminación.

Además este sistema consta de un regulador de presión dado que los cilindros de helio se proveen a una presión de 20 MPa y una válvula de control en la cañería que conecta el banco de cilindros de helio con el presurizador y una válvula de control en el caso de la cañería de purga.

En principio se podría decir que el primer sistema de control con gas de cobertura descrito (figura N° 2) es muy conveniente debido a las ventajas que presenta un sistema cerrado que *posibilita la no dependencia del proveedor de los cilindros de gas*, ya que una vez abastecido el sistema y frente a ninguna pérdida el sistema contará con el volumen de gas necesario para llevar a cabo el control, pero además no debemos dejar de mencionar la utilización del compresor que debe alcanzar una presión de 12 MPa (presión a la cual se encuentra el tanque de alta), lo que desde el punto de vista económico no es menor.

Considerando las diferentes opciones de sistemas planteados en esta tesina, se define como la una buena opción para el sistema de control de presión del dispositivo de irradiación de barras combustibles al tercer sistema descrito: Sistema de control con gas de cobertura utilizando un banco de cilindros de helio (figura N° 3)

Se llega a esta conclusión observando las ventajas que el sistema presenta. En principio, podemos mencionar por ejemplo que serían eliminadas las conexiones para los calefactores presentes en el primer sistema planteado, esto hace que el recipiente del presurizador sea más sencillo. También es más sencillo comparándolo con el otro sistema de gas de cobertura planteado como un sistema cerrado, dado que consta de menos componentes lo que lo hace menos complejo.

### Ingeniería Básica

Como primer paso se realizó el cálculo de las dimensiones del recipiente del presurizador, tomando para realizar dichos cálculos las condiciones de la CNE. Sabemos que desde potencia cero a potencia nominal la temperatura se incrementa de 260 °C a 310 °C, lo que equivale a un aumento del volumen que será absorbido íntegramente por el presurizador.

#### Datos del presurizador de CNE:

Altura: 16 m

Diámetro: 2 m

Volumen: 45.3 m<sup>3</sup>

#### Presurizador del Loop:

Haciendo una analogía con la CNE el mismo tendrá que ser capaz de absorber el incremento de volumen correspondiente al salto de temperatura ya mencionado.

Entonces:

Volumen de agua circulando 50 litros, en las condiciones de 250 °C y 9.99 Mpa corresponde a aproximadamente 40 Kg.

Volumen de agua a 320 °C:

Densidad: 700 Kg/m<sup>3</sup>

Volumen: 57 litros.

$\Delta V \approx 10$  litros

Tomamos un volumen para el presurizador de 100 litros (0.1m<sup>3</sup>), si bien un volumen menor cumpliría con la función del presurizador de absorber un  $\Delta V \approx 10$  litros, el caudal de helio necesario para producir una variación en la presión en un valor de aproximadamente 1bar/seg es muy chico lo que hace imposible el sistema desde el punto de vista de su control.

Para mantener la relación mencionada H/D, tendríamos:

$$H/D = 8$$

$$H = 2 \text{ metros}$$

$$D = 0.25 \text{ metros}$$

#### Calculo del espesor

$$\text{Donde: } \sigma = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t}$$

Material= AISI 304L

$\sigma$ = tensión admisible; 140 MPa

P= presión de diseño

D= diámetro interno

t= espesor

$$\Rightarrow t = 12 \text{ mm}$$

#### Calculo de cañerías

Para el cálculo de las cañerías se procedió de la siguiente manera:

A) En el caso de las cañerías que circula gas

1.- Tipo de fluido = Helio con posible arrastre de agua

Se partió con el cálculo del caudal de helio que debería ingresar al presurizador pensando en un variación en la presión en el mismo de 1 bar/seg, de donde se obtuvo, según Anexo I,  $Q = 3.6 \text{ m}^3/\text{hr}$  y considerando una cañería de DN 1/4" se verificó el  $\Delta P \approx 1 \text{ MPa}$ , velocidad del fluido en el orden de los 30 m/seg.

2.- Se selecciono como material para las cañerías acero inoxidable (AISI 304L)

3.- Con los datos de DN se fue a tabla y se obtuvo Dext, Di y SCH

4.- Se verifico el espesor de cañería seleccionado

$$t_m = \frac{PD_o}{2(S_m + Py)} + A$$

P= Presión interna en psi

S<sub>m</sub>= Tensión admisible del material en psi

D<sub>o</sub>= Diámetro exterior de la cañería

Y=0,4

A= Espesor adicional que prevé reducciones de la sección, desgastes admisibles y solicitaciones adicionales de montaje.

t<sub>m</sub>= mínimo espesor de pared requerido en pulgadas.

$$t_m = \frac{2900 \text{ psi} * 0.541 \text{ in}}{2 * (20305 \text{ psi} + 2900 \text{ psi} * 0.4)}$$

t<sub>m</sub>= 0,0365 in; 0.928 mm

De donde tanto para el caso de la conexión que proviene desde el cilindro de helio como la conexión de purga surge la misma cañería de ¼" SCH 80, ya que si bien con un Schedule 10 (1,65mm) verificaría el espesor mínimo requerido, para nuestro caso se busco tener la mínima sección de pasaje que represente un ΔP≈1MPa (perdida de carga planteada como hipótesis).

5.- Se verifico la máxima presión de trabajo admisible para el espesor adoptado

$$P_a = \frac{2S_m t}{D_o - 2yt}$$

P<sub>a</sub>= máxima presión admisible dentro de la cañería

t= espesor adoptado para la cañería, ¼" SCH 80 le corresponde un espesor de 3mm

$$P_a = \frac{2 * 20305 \text{ psi} * 0.118 \text{ in}}{0.541 \text{ in} - 2 * 0.4 * 0.118 \text{ in}}$$

Pa= 10730psi=74MPa

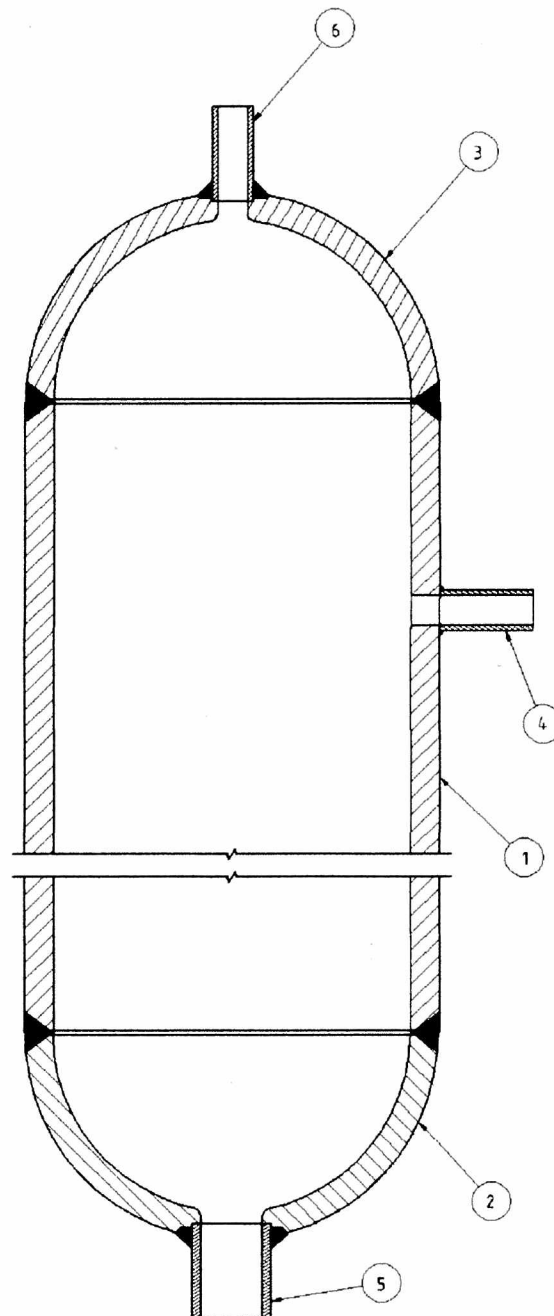
B) En el caso de las cañerías que circula liquido

Se considero la misma cañería adoptada para el sistema primario que surge de los datos que fueron suministrados para esta tesina:

Cañería de 1 ¼" SCH 80

Conexión	Diámetro Nominal	Schedule
Sistema Primario	1 ¼"	80
De Cilindro de Helio	¼"	80
Válvula de Purga	¼"	80

Lista de componentes		
Item N°	Cant.	Descripción
1	1	Envolvente
2	1	Cabezal Inferior
3	1	Cabezal Superior
4	1	Conexión alta presión
5	1	Conexión con el circuito primario
6	1	Conexión de purga



## Cálculos para la selección del reductor de presión y válvulas de control

### 1) Identificación de las condiciones de proceso

El primer paso para la selección de una válvula o reductor de presión es identificar las condiciones de proceso.

- Identificación de cañería
- Diámetro Nominal
- Servicio
- Fluido
- Estado
- Caudal
- Presión
- Temperatura
- Peso específico

### 2) Estimación de la caída de presión en la válvula y en el reductor de presión

Para estimar la caída de presión en la válvula se utilizó una regla práctica, donde se recomienda que el  $\Delta P$  en la válvula sea entre 10 y 15% de la pérdida total del sistema.

Para el caso del reductor de presión se le asignó a éste un  $\Delta P$  de aproximadamente 7,5 Mpa, ya que el total de la pérdida de carga es 8 Mpa.

### 3) Cálculo del Cv

El segundo paso consiste en el cálculo del Cv (coeficiente de flujo de la válvula), donde el Cv se define como la cantidad de agua en galones U.S. que fluye por minuto a través de una válvula completamente abierta, con una caída de presión de 1 psi en la sección transversal de la válvula.

Las ecuaciones para el cálculo del Cv son empíricas y las proporciona el fabricante (Thompson Valves Ltd).

Estado Líquido:

$$Cv = q * \sqrt{\frac{Gf}{\Delta P}}$$

Estado gaseoso:

$$Cv = 0,00259Q * \sqrt{\frac{Tf * G}{\Delta P}}$$

Donde: q = caudal requerido en gpm

$\Delta P$  = caída de presión en la válvula en psia

Gf = gravedad específica

T = temperatura

Cv para el reductor de presión= 0.668 (ver anexo)

Cv para la válvula de control de la conexión de entrada al presurizador= 4.84 (ver anexo)

Cv para la válvula de control en la conexión de purga= 0.57 (ver anexo)

#### 4) Cv de tabla

En este paso con el Cv calculado y las características de la válvula seleccionadas, se entra al catálogo proporcionado por el fabricante, y se obtiene el Cv de Tabla inmediato superior al Cv calculado.

Debe tratarse que el Cv calculado caiga dentro del 20% al 80% del Cv de la tabla, ya que en estas condiciones es más fácil para la válvula trabajar.

Este Cv obtenido de tabla corresponde a un diámetro nominal de válvula.

#### 5) Elección del modelo de la válvula

Una vez obtenido el DN de la válvula y el reductor de presión y con la temperatura de operación se obtiene, de tabla, el modelo de válvula.

En el caso del reductor de presión se adopta Modelo K16 Thompson Valves Ltd. DN 1/4".

En el caso de la válvula de control tanto para la conexión desde el sistema de cilindros de helio como la presente en la conexión de purga se optó por la válvula del fabricante Thompson Valves Ltd, Modelo 6045/55/65/75 de DN 1/4".

6) Elección de los materiales para el cuerpo, sellos, etc.

Con el DN y el modelo de la válvula, y con el dato de temperatura y tipo de fluido, se eligen por catálogo, los materiales para las distintas partes de las válvulas.

8) Elección del actuador y transductor

Los datos del actuador y transductor fueron proporcionados por el fabricante.

### Calculo de los cilindros de helio necesarios

Se partió de los datos obtenidos del proveedor de los termos de helio (AGA), los cuales son los siguientes:

Volumen=15 m<sup>3</sup>

Presión= 200 kg/cm<sup>2</sup>

En principio se realizó el cálculo del número de moles que ocuparía el volumen total del presurizador en las condiciones de operación

Volumen del Presurizador= 100 litros

Presión Máxima de trabajo= 12 MPa

Temperatura máxima de trabajo= 310 °C

**Numero de moles= 247**

Calculo del número de moles presentes en un termo de helio

Volumen= 15 m<sup>3</sup>

Presión= 1 atm

**Numero de moles= 614**

De los cálculos realizados se observa que el número de moles presentes en un cilindro de helio es aproximadamente 2,5 veces los necesarios para llenar el presurizador.

Ahora bien debemos calcular a la presión que queda el cilindro luego de por ejemplo el vaciado de un número de moles correspondiente al volumen del presurizador (248 moles).

De los cálculos realizados para una cantidad de moles presentes en el cilindro de 367 y suponiendo que no hay una variación en la temperatura resulta que la presión en el cilindro sería de 12Mpa, y dado que la presión necesaria en el cilindro para poder mantener el sistema a la presión deseada debe ser de por lo menos 12 MPa, se concluye que un cilindro en la peor condición analizada en principio cumpliría con la función requerida, llenar el presurizador y garantizar la presión deseada.

Por lo antes mencionado se podría decir que en principio se utilizaría el primer cilindro y luego este sería remplazado por otro en sus mismas condiciones.

Entonces teniendo en cuenta los cálculos anteriores y considerando que el uso de los cilindros de helio serán solamente necesario en forma considerable cuando estemos en presencia de una parada y vuelta en operación del sistema, ya que en condiciones normales la variación en la presión es mínima, podemos tomar como el número de cilindros disponibles en el banco en un número de tres para minimizar por un lado la dependencia del proveedor y descartar la posibilidad de falta de servicio en caso de falla en alguno de los cilindros.

## Conclusión

De los estudios realizados de las diferentes propuestas para los sistemas de control de presión, se realizó la ingeniería básica de la opción elegida debido a las ventajas comparativas con los otros sistemas.

Las ventajas que presenta frente a estos sistemas son: un diseño más simple para el recipiente del presurizador, un número escaso de cilindros de helio para asegurar la provisión del mismo en condiciones de operación, una mejor dinámica de la presión del presurizador ya que ésta dependerá exclusivamente del llenado del presurizador con helio que en principio es más rápido que en el caso de usar calefactores.

No se puede dejar de mencionar que la elección del sistema se justifica con los parámetros estudiados y disponibles hasta el momento. Análisis y consideraciones posteriores que surjan a medida que el proyecto avance, podrían o no modificar la definición del sistema de control de presión para el dispositivo de irradiación.

Dados los beneficios de este sistema frente a los otros estudiados y realizada la ingeniería básica del mismo, encontramos que éste no presenta dificultades para su instalación.

## Referencias

- Sistema de control de presión e inventario del sistema primario de transporte de calor. Manual de diseño Central Nuclear Embalse.
- Apunte Centrales Nucleares Dr. Roberto Corcuera
- Ingeniería de las Instalaciones Ing. Vladimiro M. Brnich
- Patent Number 5.491.731 (USA Patent) Method and System for Maintaining Pressure in a Nuclear Power Plant Primary Loop during Startup or Shutdown
- Pipe Drafting and Design - Second Edition - Roy A. Parish / Robert A. Rhea
- Pressure Vessel Design Manual - Third Edition - Dennis Moss
- Control Valve Handbook- Third Edition
- VIII - 2004 ASME Boiler and Pressure Vessel Code - Division 1
- ASME B31.2 - 2002 Process Piping
- Piping Handbook Seventh Edition Mohinder L. Nayyar Editorial McGraw-Hill.

## ANEXO

### PRESURIZADOR CON HELIO (He)

T(°K)	T(°C)	$\rho$ (Kg / m3)	m(Kg / m.sec)	p = 1 Atm
144	-129	0,3379	1,26E-05	
200	-73	0,2435	1,56E-05	
255	-18	0,1906	1,81E-05	
366	93	0,1328	2,31E-05	
477	204	0,10204	2,75E-05	
589	316	0,08282	3,11E-05	
700	427	0,07032	3,48E-05	
800	527	0,06023	3,82E-05	
<b>298</b>	<b>25</b>	<b>0,16</b>	<b>2,00E-05</b>	

1

$$R_{He} = p / r \cdot T \quad (\text{Atm} \cdot \text{Lt} / \text{Kg} \cdot ^\circ\text{K})$$

$$R_{He} \quad (\text{Atm} \cdot \text{Lt} / \text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}) = 20,9731544$$

$$R_{He} \quad ((\text{m}/\text{seg})^2 / ^\circ\text{K}) = 2125,36284$$

$$V_{son}(\text{m}/\text{s}) = (g \cdot R \cdot T)^{0.5}$$

$$V_{son}(\text{m}/\text{s}) = \text{a } 1 \text{ Atm} \quad 942$$

$$V_{son}(\text{m}/\text{s}) = \text{a } 100 \text{ Atm} \quad 9416$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 25$$

$$p(\text{Atm}) = 100$$

$$\rho(\text{Kg} / \text{m}^3) = 16$$

$$\text{Vol}(\text{lt}) = 100$$

$$M(\text{Kg}) = r \cdot \text{Vol} = 160$$

$$dp/dt = (R_{He} \cdot T / \text{Vol}) \cdot dM/dt =$$

$$dM/dt(\text{Kg}/\text{seg}) = 0,016$$

$$d\text{Vol}/dt \quad (\text{m}^3/\text{seg}) = (dM/dt) / r$$

$$= 0,001$$

$$3,6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

### Caño de conexión al presurizador ( $\Delta p = 1 \text{ Mp}$ )

$$p = 3,1416$$

$$D(\text{m}) = 0,00635$$

DN 1/4"

$$L(\text{m}) = 50$$

$$A_p(\text{m}^2) = 3,1669\text{E-}05$$

$$m(\text{Kg}/\text{m} \cdot \text{s}) = 2,00\text{E-}05$$

$$r(\text{Kg}/\text{m}^3) = 16$$

$$V(\text{m}/\text{s}) = 31,57633$$

$$Re = 1,60\text{E+}05$$

$K_{val} (0,2\% \Delta p_{tot})$  0

Re Turbulento

$\Lambda = 0,316/Re^{0,25}$  1,58E-02  
 $\Delta P(Pa) =$  991722,833

### Cálculo del cv del reductor de presión

$Cv = 0,00259 * Q * \sqrt{((Tf * G) / \Delta P)}$  para gases

Donde:

Q= caudal en m<sup>3</sup>/h en condiciones normales

G= densidad relativa al aire  $G = \rho_{he} / \rho_{aire}$

Tf= temperatura del fluido en °K

$\Delta P = p_1 - p_2$  en kg/cm<sup>2</sup>

Q= 360 m<sup>3</sup>/hr  
G= 0,138  
Tf= 298 °K  
P<sub>1</sub>= 204 kg/cm<sup>2</sup>  
P<sub>2</sub>= 124 kg/cm<sup>2</sup>  
P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>= 80 kg/cm<sup>2</sup>

**Cv= 0,66850544**

Modelo K16 Thompson Valves, Stainless Steel.

Cv del reductor de presión dado por el fabricante es de 0,84

Debe tratarse que el Cv calculado caiga dentro del 20% al 80% del Cv especificado por el fabricante, en este caso entre 0,168-0,672 ya que en éstas condiciones es mas fácil para trabajar.

### Cálculo del Cv para la válvula de control

$Cv = 0,00259 * Q * \sqrt{((Tf * G) / \Delta P)}$

P<sub>1</sub>= 124 kg/cm<sup>2</sup>  
P<sub>2</sub>= 122,47 kg/cm<sup>2</sup>  
 $\Delta P =$  1,53 kg/cm<sup>2</sup>  
Tf= 298 °K

**cv= 4,83397305** Para válvula de control (de cilindro de helio luego del reductor de presión).

Válvula seleccionada Thompson Valves Model 6045/55/65/75; DN 1/4" Stainless Steel.

### Para válvula de conexión de purga

Suponiendo el peor caso que sea venteado a la atmósfera

P<sub>1</sub>= 124 kg/cm<sup>2</sup>  
P<sub>2</sub>= 14,28 kg/cm<sup>2</sup>

$$\Delta P = 109,72 \text{ kg/cm}^2$$
$$cv = \mathbf{0,57083033}$$

Se adopta la misma válvula que es utilizada en la conexión que viene del cilindro de helio.