

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
CENTRAL NUCLEAR EN EMBALSE

TM-68500 - SISTEMA DE REFRIGERACION DE EMERGENCIA DEL
NUCLEO - REVISION 1

NIVEL 2

Ing. Eduardo A. NAJERA

Buenos Aires
1983

MANUAL DE CAPACITACION PARA CENTRALES NUCLEARES DE 600 MW

NIVEL 2

68500 REFRIGERACION DE EMERGENCIA DEL NUCLEO

I N D I C E

- 1.0 INTRODUCCION
- 2.0 OBJETO
 - 2.1 Otras consideraciones y requisitos
 - 2.1.1 Aislación de los lazos del Sistema de Transporte de Calor
 - 2.1.1 Eventos base de diseño
 - 2.1.3 Degradación
 - 2.1.4 Acciones manuales
 - 2.1.5 Enfriamiento por generadores de vapor
 - 2.1.6 Calificación sísmica
- 3.0 DESCRIPCION DEL SISTEMA
 - 3.1 Descripción del Proceso
 - 3.1.1 Subsistema de Inyección
 - 3.1.2 Etapa de Inyección de Alta Presión
 - 3.1.3 Etapa de Inyección de Media Presión
 - 3.1.4 Etapa de Inyección de Baja Presión
 - 3.1.5 Suministro de Agua de Reposición
 - 3.1.6 Interfase D_2O/H_2O
 - 3.1.7 Refrigeración rápida de los Generadores de Vapor
 - 3.2 Equipos principales
 - 3.2.1 Intercambiador de calor 3432-HX1
 - 3.2.2 Bombas de Recuperación 3432-P1 y P2
 - 3.2.3 Tanque de Agua de Emergencia
 - 3.2.4 Tanques de agua de alta presión 3432 TK1 y TK3
 - 3.2.5 Tanque de gas 3432-TK2
 - 3.2.6 Válvulas
 - 3.2.7 Compresor 3432-CP1

3.3 Ubicación

3.4 Instrumentación

3.4.1 Variables de Iniciación

3.4.2 Variables de Condicionamiento

3.4.3 Variables de Proceso

4.0 PRINCIPIOS DE OPERACION

4.1 Refrigeración de Emergencia del Núcleo (REN) bloqueada

4.2 REN preparada

4.3 Funcionamiento de REN

4.3.1 Iniciación

4.3.2 Inyección a Alta Presión

4.3.3 Inyección a Media Presión

4.3.4 Inyección a Baja Presión

4.4 Pruebas

4.5 Condiciones anormales de funcionamiento

4.5.1 Pérdida de Energía Clase I

4.5.2 Pérdida de Energía Clase II

4.5.3 Pérdida de Energía Clase III

4.5.4 Pérdida de Energía Clase IV

4.5.6 Pérdida de las computadoras

5.0 CUESTIONARIO DE VERIFICACION NIVEL 2

6.0 REFERENCIAS

7.0 ABREVIATURAS

E.A. Nájera

Setiembre 1983

MANUAL DE CAPACITACION PARA CENTRALES NUCLEARES DE 600 MW

Nivel 2

68500 Refrigeración de Emergencia del Núcleo

1.0 INTRODUCCION

El combustible si no es refrigerado convenientemente, por calentamiento excesivo puede dañar su revestimiento y liberar los productos de fisión a su alrededor (normalmente al Sistema de Transporte de Calor). Una falla de combustible estando el Sistema de Transporte de Calor intacto es un inconveniente pero no grave, dado que los productos de fisión serán contenidos por la tubería del Sistema de Transporte de Calor. Sin embargo, si la falla sucede durante (o debido a) un Accidente de Pérdida de Refrigerante (LOCA - Lost of coolant accident), los productos de fisión serán liberados al Edificio del Reactor. En consecuencia, durante un LOCA es muy conveniente poseer un método para enfriar el combustible e impedir así fallas del mismo. La refrigeración es necesaria hasta que:

- 1) Se repare el Sistema de Transporte de Calor.
- 2) Se retire el combustible del Reactor.
- 3) El calor generado por el combustible sea insuficiente para causar una falla del revestimiento.

2.0 OBJETO

El objeto del Sistema de Refrigeración de Emergencia del Núcleo (REN) es impedir la ocurrencia de fallas graves del combustible después de producido un LOCA.

2.1 Otras consideraciones y requisitos

2.1.1 Aislación de los Lazos del Sistema de Transporte de Calor

El Sistema de Transporte de Calor (SPTC) consiste en dos lazos refrigerantes principales y varios sistemas auxiliares. Si ocurre una rotura de tubería en el SPTC, es conveniente aislar los lazos impidiendo así la pérdida de refrigerante de un lazo intacto.

2.1.2 Eventos base de diseño

Los eventos base de diseño son aquellos que de alguna manera dictan uno o más requerimientos mínimos sobre el Sistema REN.

a) Fallas simples

Las fallas simples son fallas serias de equipos de proceso y ellas son:

- Falla de extremo del canal de refrigeración (End-fitting).
- Rotura de 100% (Colector de entrada, colector de salida, aspiración de bomba) gran pérdida de refrigerante.
- Rotura de tubo de presión.
- Rotura del alimentador.
- Rotura de elementos de cualquier tamaño que exceda la capacidad primaria de reposición.
- Falla de la máquina de recambio de combustible en el Reactor.

b) Fallas dobles

Fallas dobles son fallas simples coincidentes con fallas de uno de los sistemas especiales de seguridad. Ellas son:

- Sistema de parada N° 1.
- Sistema de parada N° 2.
- Contención.
- Subsistema de aislamiento del circuito de REN.

2.1.3 Degradación

Durante el funcionamiento normal el sistema de transporte de calor contiene D_2O . El sistema REN contiene H_2O desmineralizada. Bajo condiciones normales, es necesario aislar los dos sistemas para evitar la degradación del D_2O .

2.1.4 Acciones manuales

- #### a)
- Todas las acciones del sistema de REN cuya realización se requiere en los primeros quince minutos a partir del LOCA son efectuadas automáticamente. Las acciones subsiguientes pueden ser

iniciadas manualmente.

- b) Todas las acciones automáticas tienen la capacidad de ser iniciadas manualmente.

2.1.5 Enfriamiento por generadores de vapor

Los generadores de vapor son enfriados luego que aparece la señal de iniciar la REN, descargando vapor (del lado secundario) a la atmósfera. Para reponer el nivel del generador de vapor, se utilizan las bombas de alimentación auxiliares a fin de remover el calor de decaimiento en el loop intacto y para ciertas roturas pequeñas en el loop roto.

2.1.6 Calificación sísmica

El sistema de transporte de calor y todos los sistemas auxiliares necesarios para la integridad y seguridad de operación del SPTC están calificados sísmicamente, por lo tanto un Sismo Base de Diseño no puede causar un LOCA. Aquellas partes del sistema de REN necesarias para la operación del suministro de Agua de Emergencia están calificadas sísmicamente.

3.0 DESCRIPCION DEL SISTEMA

3.1 Descripción del proceso (ver figura 1)

3.1.1 Subsistema de Inyección

El Subsistema de Inyección luego de iniciada la despresurización originada por un LOCA puede recibir agua liviana de una de las siguientes fuentes, de acuerdo a las etapas de operación:

- 1) Inyección a alta presión: desde los tanques de agua del sistema REN de Alta Presión mediante aire comprimido.
- 2) Inyección a media presión: desde el tanque de rociado (domo del Edificio de Reactor) con las bombas del Sistema de REN.
- 3) Inyección a baja presión: desde el piso del Edificio del Reactor utilizando la porción de recuperación con las bombas del Sistema de REN a través del intercambiador de calor correspondiente.

- 4) Como alternativa en caso de quedar inhabilitados los sistemas anteriores, se puede utilizar el Sistema de Suministro de Agua de Emergencia, el cual está calificado sísmicamente.

El Agua desmineralizada (excepto en el caso 4) que utiliza agua del lago) se inyecta en el Edificio del Reactor mediante una línea de 40 cm. de diámetro. Esta línea se divide en dos líneas paralelas, cada una de las cuales contiene un disco de ruptura (RD1 - RD2).

Estos discos de ruptura proveen la necesaria aislación entre el agua pesada y el agua liviana. El diseño de estos discos prevé su ruptura con la presión correspondiente a la inyección de media presión actuando sola (la presión de ruptura es 0,48 MPa). Cada una de estas líneas de 30 cm. se abre en otras dos líneas del mismo diámetro que van hacia cada loop del reactor. Cada una de estas 4 últimas líneas poseen una válvula antiretorno (PV 33-34-47 y 48) de accionamiento neumático. Estas válvulas antiretorno previenen la descarga del refrigerante desde el loop sano hacia el loop roto cuando las válvulas de aislación de D₂O están abiertas corriente abajo de las válvulas antiretorno, cada línea se bifurca en dos ramales en paralelo (por razones de confiabilidad) que van hacia un colector de entrada y un colector de salida respectivamente. Cada uno de estos ramales que alimentan a los colectores del reactor posee dos válvulas motorizadas en paralelo. Estas válvulas llamadas "Válvulas de Aislación de Agua Pesada", (de MV39 a MV46 están en la cara "A" del reactor y MV59 a MV66 están en la cara "C") están comandadas por potencia Clase II y están normalmente cerradas y aíslan el SPTC del sistema REN.

3.1.2 Etapas de inyección de alta presión

Los requerimientos de la etapa de inyección de alta presión son provistos por un sistema que suministra agua desde los tanques acumuladores a los colectores del SPTC.

El tanque de gas 3432-TK2 se encuentra normalmente presurizado a 4,14 MPa (g) y está aislado de los tanques de agua 3432-TK1/3 por dos válvulas de accionamiento neumático 3432-PV-81 y PV-82.

Estas válvulas están ubicadas en paralelo y a continuación hay una derivación con dos válvulas de accionamiento neumático, colocadas en serie, 3432-PV-83 y PV-84, las cuales son usadas como venteo por razones de confiabilidad.

Los tanques de agua del sistema de REN y la cañería que continúa corriente abajo se halla normalmente presurizada a 275 KPa y la temperatura del agua en la cañería externa es mantenida a 21° C por medio de un calefactor externo 3432-HR3.

El flujo de H_2O desde los tanques de agua del Sistema REN hacia la etapa de alta presión, es dirigida a través de una línea de 16 pulgadas hacia el interior del edificio del reactor, donde se bifurca hacia dos válvulas en paralelo de accionamiento eléctrico 3432MV-79 y MV-80, llamadas válvulas de Inyección de Alta Presión, las cuales se encuentran normalmente cerradas, las que son operadas por potencia CLASE II. Junto a estas válvulas y en serie con cada una de ellas hay otras dos válvulas motorizadas 3432 MV-71 y MV-72 (CLASE IV) que se hallan normalmente abiertas y que se usan solamente con fines de prueba de las válvulas de inyección. Las válvulas antiretorno V-96 y V-97 dan protección a los tanques acumuladores de modo que no puedan ser presurizados por el SPTC.

Corriente abajo de estas válvulas la línea de 12" se abre en dos ramales con un disco de ruptura en cada una (3432-RD1 y RD2) que forman parte del Subsistema de Inyección.

3.1.3 Etapas de inyección de media presión

Los requerimientos de la etapa de media presión están provistos por un sistema que bombea agua desde el tanque de rociado hacia los colectores del SPTC. Dos bombas del 100% - 3432-P1 y P2, ubicados fuera del Edificio del Reactor en un nivel más bajo que el sótano del mismo, están alimentadas por dos líneas separadas de 18 pulgadas.

A estas líneas se conectan una a cada una dos líneas de 16 pulgadas que bajan del tanque de rociado por medio de una sola línea de 16 pulgadas. En la succión de cada bomba y en la línea de 16 pulgadas que baja del tanque de rociado, hay una válvula mariposa operada neumáticamente que falla abierta y se encuentra normalmente cerrada.

Una válvula mariposa manual, normalmente cerrada, 3432 V75, conecta la descarga de las bombas con el tanque de rociado. Esta conexión está prevista para la recirculación del agua hacia el tanque de rociado durante la operación del Sistema de Suministro de Agua de Emergencia.

Cada bomba tiene una válvula antiretorno 3432 V-3 ó V-4 y una válvula de aislación V-5 ó V-6 sobre la línea de descarga. La válvula de aislación es utilizada cuando se va a efectuar el mantenimiento de la bomba. La válvula antiretorno protege a la bomba de reserva de la circulación de fluido a contracorriente. El disco de esta válvula antiretorno tiene un agujero calibrado que asegura que la bomba está siempre llena y presurizada por la columna de agua del tanque de rociado.

Las líneas de descarga de cada bomba se unen en una sola línea de 16 pulgadas que lleva el fluido refrigerante a través de un intercambiador de calor (3432 HX1) hasta las válvulas de inyección de la etapa de media presión.

Para verificar el funcionamiento de las bombas se utiliza un flujómetro 63432-F18. A continuación del flujómetro está colocado un manómetro que indica la presión de descarga y si la bomba está operable. Hay dos indicadores de temperatura, antes y después del intercambiador de calor para controlar la temperatura del flujo de media y baja presión.

Dentro del Edificio del Reactor la línea de media presión se bifurca en dos. Cada una de éstas lleva una válvula neumática de aislación 3432 PV-9 y PV-8, que se hallan normalmente abiertas. A continuación y corriente abajo se halla en serie una válvula motorizada (válvula de inyección de media presión), normalmente cerrada, 3432 MV-31 y MV-50.

Las válvulas neumáticas de aislación se usan solamente durante la prueba de funcionamiento de las válvulas de inyección.

Corriente abajo de cada una de las válvulas motorizadas MV-31 y MV-50, hay instalada en serie una válvula antiretorno, V-76 y V-77. Estas válvulas separan la cañería de baja presión, corriente arriba de las válvulas MV-31 y MV-50, de la cañería de alta presión cuando las válvulas de inyección de la etapa de media presión están abiertas durante la inyección de la etapa de alta presión. A continuación de las válvulas antiretorno, el fluido sigue por las líneas de 12 pulgadas hacia los discos de ruptura para luego entrar en los colectores del reactor a través del subsistema de inyección.

3.1.4 Etapas de inyección de baja presión

Los requerimientos a largo término de la etapa de inyección

de baja presión, están provistos por un sistema que colecta una mezcla de agua liviana del tanque de rociado y de agua pesada del SPTC en los sumideros del sótano del Edificio del Reactor.

Esta mezcla es bombeada a través de un intercambiador de calor hacia los colectores del reactor.

Las bombas toman agua de los sumideros del E/R por medio de dos líneas de 18 pulgadas que llevan en su extremo un filtro colador.

Cada línea de succión está dotada de una válvula mariposa de comando neumático, normalmente cerrada. Esta válvula actúa como una aislación de contención y previene el drenaje de agua liviana hacia el Edificio del Reactor (3432 PV-1 y PV-2).

Las válvulas de aislación del tanque de rociado, 3432 PV-10 y PV-11 conectan la etapa de media presión en la succión de las bombas con el tanque de rociado. Estas válvulas están normalmente cerradas para evitar pérdidas rápidas de agua del sistema de rociado si las válvulas PV1 y/o PV2 están mal cerradas o inadvertidamente abiertas.

Las válvulas de aislación PV-10 y PV-11 fallan abiertas, en cambio las PV-1 y PV-2 fallan cerradas. En el caso de falta de aire de instrumento después de un LOCA, el tanque de aire de emergencia suministrará el aire suficiente para la operación inicial de las válvulas PV-1 y PV-2. Estas válvulas pueden ser mantenidas abiertas durante todo el tiempo de actuación de la etapa de baja presión.

Las válvulas PV-23 y PV-24 ubicadas en las líneas de recirculación de cada bomba se hallan normalmente cerradas, a excepción del momento en que se hace la prueba de funcionamiento de las bombas, para prevenir el ingreso de H_2O al Edificio del Reactor por inadvertida apertura de las válvulas PV-1 y/o PV-2.

3.1.5 Suministro de agua de reposición

Para el llenado inicial de los tanques del sistema de REN, se hace mediante una conexión al sistema de agua desmineralizada a la succión de la bomba P3.

3.1.6 Interfase D_2O/H_2O

Para la separación de las fases D_2O/H_2O se utilizan discos de ruptura (RD1 y 2). La cañería aguas arriba de los discos de ruptura es llenada con H_2O y las cañerías aguas abajo con D_2O . Las cañerías deben estar llenas con agua para minimizar los golpes de ariete cuando se produce la ruptura de los discos. Las cañerías de ambos lados de los discos de ruptura poseen líneas de drenaje y venteo.

3.1.7 Refrigeración rápida de los generadores de vapor

Como se señaló en la sección 2.1.5, se requiere una disipación adicional de la temperatura en el caso de roturas pequeñas. Esto se logra mediante un rápido enfriamiento de los generadores de vapor al detectarse un LOCA. Cuando se produce una rotura pequeña el sistema de inyección mantendrá al sistema lleno, si los sistemas de recuperación normales son insuficientes y el agua circulará por el lazo del Sistema de Transporte de Calor por convección natural si la temperatura secundaria del generador de vapor es menor que la temperatura del sistema de transporte de calor. El calor será entonces transferido al lado secundario de los generadores de vapor, proporcionando así la disipación de calor necesaria.

3.2 Equipos principales

3.2.1 Intercambiador de calor 3432-HX1

Se proporciona un intercambiador de calor tipo placa (de titanio) para eliminar el calor del agua recuperada (una mezcla de D_2O y H_2O) durante el enfriamiento a largo término. La capacidad nominal de enfriamiento es 40 MW, utilizando agua de proceso (con clase III y IV) de baja presión.

3.2.2 Bombas de recuperación 3432-P1 y P2

Se proporcionan dos bombas centrífugas verticales del 100% de capacidad conectadas a clase III y IV. Se controlan la temperatura del bobinado del motor, del sello y el cojinete.

3.2.3 Tanque de Agua de Emergencia (Tanque de Rociado)

El tanque de agua de emergencia contiene aproximadamente 2600m³ de agua liviana desmineralizada para ser utilizada por el Sistema de Rociado, el Sistema REN y por el Sistema de Agua de Emergencia. A fin de que quede suficiente agua para el funcionamiento del sistema REN, después del funcionamiento del Sistema de Rociado; las líneas desde el tanque del sistema de rociado están ubicadas de modo que los últimos 500 m³ no puedan ser usados por el sistema de rociado. La química del agua es controlada mediante agregados de hidracina a través del sistema de rociado.

3.2.4 Tanques de agua (3432 TK1 y 3432 TK3)

Corresponden al agua que se inyecta durante la Etapa de Alta Presión. Los tanques son recipientes cilíndricos con terminación semiesférica colocados verticalmente para asegurar la utilización al máximo del agua sin que se inyecte el aire de compresión. Son de acero al carbono y contienen un volumen de 108 m³ c/u a 275 kPa absolutos a 21°C. Para mantener esta temperatura se dispone de una bomba de recirculación 3432-P3 y un calentador eléctrico externo 3432-HR3. Los tanques poseen una válvula de alivio 3432 RV-102 calibrada a 206 kPa (g).

3.2.5 Tanque de gas 3432 TK2

Aire o gas presurizado es almacenado en este tanque para permitir la inyección de agua en la etapa de Alta Presión en el caso de un LOCA. Este tanque contiene 108 m³ de aire o gas a 4.14 MPa (g) a 21° C y consiste en un recipiente cilíndrico con terminación semiesférica de acero al carbono.

3.2.6 Válvulas

Para la parte de baja presión del sistema REN, que contiene agua liviana se utilizan válvulas tipo mariposa. Las válvulas esclusas se utilizan para las zonas de alta presión y en el subsistema de inyección.

3.2.7 Compresor 3432 CP1

Este compresor suministra aire seco a 6,9 MPa (g) a un caudal de 43 m³/h para el llenado inicial y luego debe mantener la presión del tanque a 4,14 MPa(g). La presurización inicial del tanque de gas se debe realizar en un máximo de 5 días. Para la reposición, se dispone de varios cilindros de nitrógeno que mantienen la presión si el compresor de aire no se encuentra disponible.

3.3 Ubicación

3.3.1 La parte de inyección del sistema está situada en R-501 y es inaccesible durante el funcionamiento del reactor.

3.3.2 Las bombas de recuperación 3432-P1 y P2 y sus válvulas asociadas están ubicadas en S-001 y puede accederse a ellas durante el funcionamiento del reactor.

3.3.3 El intercambiador de calor de recuperación 3432-HX1 está situado en S-137 y se halla accesible durante el funcionamiento del reactor.

3.3.4 Los tanques de agua para la etapa de Alta Presión, tanque de gas, compresor y los circuitos auxiliares asociados están colocados en un edificio separado del Sistema de REN de alta presión a un costado del Edificio del Reactor.

3.4 Instrumentación

Los lazos de instrumentación para este sistema son los siguientes:

3.4.1 Variables de Iniciación

63432 P1, P201 (KLM) - Presión del lazo 1 del Sistema de Transporte de calor.

Las mediciones de los canales K, L y M se toman de los colectores Nos. 1, 2 y 4 del sistema de transporte de calor, respectivamente. Se proporcionan indicadores individuales para cada canal en la sala principal de control. Se generan alarmas por presión baja o muy baja de un canal.

Cuando dos canales detectan muy baja presión (menor de 5,52 MPa) simultáneamente (ver Fig. 2)

- 1) Se cierran las válvulas de aislación de los loops del SPTC.
- 2) La señal entra en la lógica de disparo del Sistema de REN.

63432-P-2 (KLM) - Presión del lazo 2 del Sistema de Transporte de calor.

Igual que para el punto anterior, salvo que las mediciones de los canales K, L y M se toman de los colectores Nos. 5, 6 y 8 respectivamente.

63432 - L23 (KLM) Nivel de los tanques de agua de alta presión

Se proporcionan 3 lazos idénticos, los canales K y L con el tanque 3432 TK3 y el canal M en el tanque 3432 TK1. Cuando dos de los tres canales detectan bajo nivel da alarma y además disparo del cierre de las válvulas de aislamiento de alta presión (MV 79 y 80) ante el bajo nivel en el tanque al finalizar la inyección de alta presión.

63432-P212 y P217 (KM) Diferencia de presión de las bombas de recuperación del sistema REN.

Cada una de las bombas es monitoreada por dos canales P212 (KM) para la bomba P1 y P217 (KM) para la bomba P2. Estas señales se usan en la lógica de disparo de las bombas.

3.4.2 Variables de condicionamiento

63432-P-3 (KLM) - Presión del Edificio del Reactor

Se proporcionan tres lazos idénticos (canales K, L y M) para medir la presión en el Edificio del Reactor. Cada lazo contiene un indicador en la sala principal de control y se produce una alarma en caso de haber alta presión en el edificio. Cuando dos canales detectan simultáneamente alta presión en el edificio (≤ 345 kPa), la señal entra en la lógica de disparo del sistema REN (ver Fig. 2).

63432 - P203 (KLM) Presión del conducto de alivio del moderador

Se utilizan para detectar alguna ruptura dentro del núcleo. Cuando dos de tres canales detectan alta presión en el conducto de alivio del moderador la señal entra en la lógica de disparo del sistema de REN (ver fig. 2).

63432-T206/T207 y T 208/209 (KLM) temperatura del aire de la sala R 108/R107 de la máquina de recambio.

En el caso de producirse una ruptura del SPTC hacia el interior

de este recinto, la temperatura se elevará en forma anormal. Cuando 2 de 3 canales detectan alta temperatura, la señal entra en la lógica de disparo del Sistema de REN (Ver Fig. 2).

63432 - T204/213 (KLM) - Temperatura del recinto de generadores de vapor.

Caso similar al del recinto de la máquina de recambio.

3.4.3 Variables de proceso

63432-F-6 y F-7 - Caudales inyectados al Lado A y al Lado C.

Estos lazos proveen indicación en la sala de control principal del caudal inyectado a los colectores en el Lado A y Lado C.

63432-L-8 - Nivel del tanque de agua de emergencia (tanque de rociado)

Este lazo suministra indicaciones en la sala de control principal sobre el nivel del tanque de agua de emergencia. En caso de que ninguna de las bombas de recuperación funcione, se genera una alarma de bajo nivel del tanque de agua de emergencia.

63432-T-9 y T-10 - Temperatura del Agua de Inyección del tanque de rociado.

El lazo 63432-T-9 suministra información a la sala de control principal sobre la temperatura del agua que se encuentra en el tanque de agua de emergencia. El lazo 63432-T-10 es un lazo idéntico, de reserva, que se puede conectar al indicador normalmente usado por T-9.

63432-L-11 y L-12 Nivel del sumidero de recuperación.

63432-L-11 y L-12 están asociados con las bombas de recuperación 3432-P1 y P2 respectivamente. Cada lazo suministra indicaciones tanto a la sala de control principal, como a un panel local.

63432-T-13 y T-15 - Temperatura de entrada y de salida del intercambiador de calor 3432-HX1

T-13 y T-15 miden las temperaturas del agua en el punto de entrada y de salida de 3432-HX1 respectivamente. Cada lazo suministra indicaciones en la sala de control principal.

63432-P-17 - Presión de descarga de la bomba de recuperación

Este lazo suministra indicaciones en la sala de control principal y localmente con respecto a la presión de descarga de las bombas de recuperación.

63432-F-18 - Caudal de agua recuperada

Este lazo suministra indicaciones a la sala de control principal respecto del caudal de agua recuperada en la descarga de las bombas de recuperación.

63432-P16/P19/P27/P28 - Presión en los colectores de inyección del sistema de REN.

Estas variables permiten que el operador estime las condiciones del colector de inyección en el caso de producirse un LOCA durante el ensayo de las válvulas de aislación de D20.

63432-P22 (KM) Presión del suministro de aire/gas de alta presión al sistema REN.

Para verificar la presión del gas o aire disponible para el sistema de alta presión.

63432-T24/T25 (KM) - Temperatura del tanque de gas (TK2) y de los tanques de agua de alta presión (Tk 1 y 3).

Dan alarma por baja temperatura en los tanques mencionados. La medición T25 (K) se utiliza también con fines de control de la temperatura del tanque TK3.

63432-P26/P126 - Presión de tanque de agua de alta presión (TK 1 y 3)

Dan alarma por alta presión de los tanques de agua de alta presión. Están colocados en el colector superior a ambos tanques.

63432-Z276/Z277/Z276/Z297 Posición de las válvulas de retención de alta presión

Permiten el monitoreo de la posición del disco de las válvulas de retención de alta presión (V76/V77/V96/V97) en la sala de control principal.

4.0 PRINCIPIOS DE OPERACION

4.1 REN Bloqueado

Antes de despresurizar el sistema de transporte de calor para su mantenimiento, el sistema REN debe BLOQUEARSE para impedir la inyección del sistema cuando se reduce la presión del sistema de transporte de calor. El sistema debe colocarse de nuevo en NORMAL después de la presurización antes de que la temperatura del sistema llegue a 150°C.

4.2 REN Preparado

Durante el funcionamiento del reactor tanto la parte de inyección como la de recuperación del sistema REN deben hallarse disponibles. La llave de bloqueo del REN deberá estar en "NORMAL".

Los interruptores de comando de las válvulas deberán estar colocados en las posiciones que se indican en la Tabla 1, en la columna "Posición normal del Interruptor". Las cañerías deberán estar llenas de H2O aguas arriba de los discos de ruptura y con D2O aguas abajo de dichos discos.

Los interruptores de las bombas de recuperación P1 y P2 y que se encuentran en el panel PL3 de Sala de Control Principal poseen 4 posiciones NO/RESERVA/AUTO/SI. En este modo de operación se coloca un interruptor en AUTO y el otro en RESERVA. Estas bombas que son del 100% están alimentadas de Clase III y en el caso de señal de LOCA, se abre la válvula de aislación del tanque de rociado relacionado y se arranca la bomba que está preseleccionada en AUTO. Si luego de 10 seg. no se logra la presión diferencia dentro de la bomba, se arranca la bomba de RESERVA.

Los tanques de alta presión deberán estar llenos de agua y el tanque de gas presurizado a la presión nominal. El interruptor del compresor CP1, que se encuentra en Sala de Control, posee 3 posiciones NO/AUTO/SI

y normalmente se encuentra en posición AUTO, de modo que arranca a una presión de 42,18 kg/cm² y se detiene a 44,43 kg/cm². Además, posee enclavamientos o sea que se dispara si se da alguna de las siguientes condiciones: 1. Bajo nivel de aceite; 2. Alta temperatura de aire en cualquiera de sus etapas; 3. Presión de aire muy alta; 4. Señal de LOCA. Este compresor puede ser ensayado desde un panel local que posee un interruptor con 3 posiciones REMOTO/NO/ENSAYO, normalmente está seleccionado REMOTO, o sea que habilita el comando desde Sala de Control Principal. La bomba P3, que se utiliza para calefacción, agregado químico y recirculación de agua de los tanques de alta presión, posee un interruptor en el panel del sistema de REN con 2 posiciones NO/SI, que normalmente está colocado en su posición SI para recircular y mantener uniforme la temperatura del agua de los tanques. El calefactor HR3 posee un interruptor en la Sala de Control con 3 posiciones NO/AUTO/SI. Normalmente se coloca en AUTO, por lo que se encenderá y apagará en función de la temperatura del tanque. Además, sólo arrancará si el contacto que alimenta la bomba P3 está cerrado. Posee protección por alta temperatura del elemento calefactor.

El requisito es que el sistema REN debe estar en condiciones de que todas las acciones que se requieren en los primeros quince minutos a partir del LOCA sean efectuadas automáticamente. Las acciones subsiguientes pueden ser iniciadas manualmente.

4.3 Funcionamiento de REN

El accionamiento del sistema es seguido por tres etapas de operación (Ver Figura 4).

4.3.1 Iniciación

Luego de un accidente LOCA (pérdida de refrigerante), el sistema PTC se despresuriza. Esta despresurización del SPTC desde la presión de operación hasta la presión en la cual el agua del sistema REN puede penetrar al SPTC se conoce como la fase de descarga. La prolongación de la misma varía, durando algunos segundos en casos de grandes roturas y algunos minutos en casos de roturas pequeñas. Cuando 2 de cada 3 mediciones de presión de los colectores indican que la presión ha caído por debajo de 5.52 MPa(a) (800 psia), se cierran las válvulas de aislamiento los circuitos del SPTC.

En el caso en que un conjunto de mediciones de presión diferentes (independientes) en cualquiera de los circuitos indiquen que la

presión ha caído por debajo de 5.52 MPa (a) (800 psia) y se indique alta presión en el edificio del reactor o alto nivel del moderador o alta temperatura del combustible en el recinto de las máquinas de recambio (cualquiera de los recintos) o alta temperatura del recinto del generador de vapor, se acciona el sistema REN. Los valores de accionamiento de estas señales condicionantes se aprecian en la Figura 2 que corresponde a un esquema de la lógica de accionamiento.

La presión de inyección de cada una de las etapas subsiguientes depende del tamaño de la rotura y su ubicación. En la Figura 4 se muestra una curva típica.

4.3.2 Inyección a alta presión (AP)

Luego de recibir la señal de accionamiento del sistema REN, todas las válvulas necesarias del sistema REN se abren simultáneamente y los discos de ruptura están para permitir la inyección del refrigerante. Tan pronto como la presión del SPTC cae por debajo de la presión de inyección, fluye agua desde los tanques de agua del sistema REN de Alta Presión hacia el interior de todos los colectores del sistema de transporte de calor. La inyección se hará al loop que se encuentra despresurizado (o sea el loop roto), en cambio en el loop sano que ya está aislado y se mantiene presurizado, no se inyectará el H_2O del sistema REN, porque lo impiden las válvulas de retención (PV33 y PV48 para el Loop 1-PV34 y PV 47 para el loop 2).

La misma lógica iniciará el enfriamiento del generador de vapor con un retardo de 30 segundos. Esto se debe a que, en el caso de que ocurran pequeños accidentes LOCA, las válvulas del regulador de la turbina permanecen abiertas el tiempo suficiente como para permitir el posible pasaje de agua hacia la turbina. Esta señal manda abrir las 16 válvulas de seguridad del vapor principal y de esta forma se inicia el enfriamiento rápido de los generadores de vapor.

Durante la inyección de Alta Presión los diesel Clase III y una bomba del sistema REN empiezan a funcionar automáticamente y las válvulas de aspiración de la bomba (desde el tanque de rociado) se abren. Cuando se emite una señal de bajo nivel desde el tanque de agua del REN de Alta Presión, las válvulas del sistema REN de Alta Presión se cierran y el REN de Alta Presión finaliza.

4.3.3 Inyección a Media Presión (MP)

La inyección a media presión comienza cuando se termina la inyección de Alta Presión. La bomba del sistema REN inyecta agua del tanque de rociado a todos los colectores del reactor. Las etapas de Alta Presión - Media Presión duran un mínimo de 15 minutos luego de la iniciación del sistema REN y son totalmente automáticas. Durante la etapa de Alta Presión, el caudal será variable mientras se elimina el calor acumulado del sistema PTC. La inyección se realiza en el loop roto como se explicó en 4.3.2.

4.3.4 Inyección a Baja Presión (BP)

Antes de que el tanque de rociado se vacíe, los operadores abren las válvulas de aspiración de la bomba del sistema REN (PV1-2 ubicadas en el piso del edificio del reactor y el refrigerante descargado se bombea a través del intercambiador de calor de REN nuevamente hacia los colectores del reactor. Los operadores también abren manualmente las válvulas de agua de proceso hacia el intercambiador de calor de REN.

Debe notarse que el Intercambiador de Calor de REN y el Intercambiador de Calor del Moderador comparten el mismo suministro de agua de proceso, por lo que dependiendo de las condiciones, podrían ser necesarias las siguientes acciones adicionales por parte del operador.

1) LOCA (con energía Clase IV disponible)

El control de la computadora al recibir alta presión del E/R abrirá:

Las válvulas de Control de Temperatura de 16" del Intercambiador de Calor del Moderador 63210(TCV 6/8-totalmente).

Las Válvulas de Control de Temperatura de 8" del Intercambiador de Calor del Moderador 63210 (TCV 61/62-totalmente).

A fin de obtener el caudal de 10000Gipm (45 m3/min) requerido hacia el Intercambiador de Calor de REN, el operador debe realizar lo siguiente:

Cerrar las válvulas de 16" a una apertura de 45%. (las Válvulas de Control de Temperatura (TCVs) de 8" pueden permanecer totalmente abiertas).

2) LOCA (con energía Clase IV no disponible)

En este caso el control de la computadora abrirá:

Las Válvulas de Control de Temperatura de 16" del Intercambiador de Calor del Moderador (TCV 6/8) hasta el 45%.

Las Válvulas de Control de Temperatura de 8" del Intercambiador de Calor del Moderador (TCV 61/62) - totalmente.

A fin de reducir el caudal del Intercambiador de Calor del Moderador hasta 2800 Gpm (12,7 m³/min) y obtener el caudal de 10000Gpm (45 m³/min) requerido para el Intercambiador de Calor de REN, el operador debe realizar lo siguiente:

cerrar las válvulas de 16"

reducir el paso de las válvulas de 8" al 45%.

4.4 Pruebas

A fin de demostrar una falta de disponibilidad menor de 10^{-3} años/año requerida para el sistema REN, es necesario efectuar pruebas periódicas a la instrumentación lógica y equipos del sistema (ver TM 68100)

Básicamente hay cinco zonas de pruebas del sistema

- a. Ensayo de las variables de iniciación
- b. Variables de condicionamiento
- c. Lógica de inyección de REN
- d. Lógica de enfriamiento rápido de los generadores de vapor
- e. Lógica de las válvulas de aislamiento de los loops (circuitos) del Sistema de Transporte de Calor.

a. Ensayo de las variables de iniciación

Las variables de iniciación que se ensayan son:

- Circuito de presión del colector del SPTC.
- Nivel de los tanques de agua de alta presión.
- Presión diferencial de las bombas de recuperación de REN.

b. Ensayo de variables de condicionamiento

Las variables de condicionamiento que se ensayan son:

- Circuito de presión del Edificio del Reactor.
- Nivel del conducto de alivio del moderador,
- Temperatura del recinto de los generadores de vapor.

c. Lógica de inyección de REN.

Los ensayos que se realizan son los siguientes:

- Circuito de lógica de inyección de REN "par" o "impar".
- Válvulas de venteo y de aislación de gas a Alta Presión.
- Válvulas de aislación de H_2O a Alta Presión (3432 MV79-MV80)
- Compresor 3432 CP1 y de las válvulas de venteo (3432 PV73-PV74) y de las válvulas de drenaje (3432 PV78-PV116-PV117).
- Válvulas de recirculación y de drenaje (PV23; PV24 y PV87, PV88)
- Válvulas de aislación de D_2O (MV39 a MV46 y MV59 o MV66)
- Válvula de aspiración del tanque de rociado y de las bombas de recuperación de REN (PV10, PV11 y P1, P2)
- Válvulas de aislación de H_2O a Media Presión (MV31, MV50)
- Válvulas de retención de inyección de REN (PV33, PV34, PV47, PV48).
- Válvulas de retención de los trenes de válvulas de Alta Presión y Media Presión (V76, V77, V96, V97)
- Válvulas de aislamiento de agua de servicio para el intercambiador HX1 (67131 PV509, PV510).
- Lógica para el ensayo del Sistema de Clase III.

d. Lógica de enfriamiento rápido de los generadores de vapor.

Para esta prueba solamente se puede ensayar un canal de control y un juego de las válvulas de seguridad de vapor principal por vez.

e. Lógica de las válvulas de aislación de los loops del SPTC.

Para esta prueba sólo se puede ensayar un circuito de lógica ya sea "par" o "impar" por vez.

4.5 Condiciones anormales de funcionamiento

4.5.1 Pérdida de energía de Clase I

Las válvulas de aislación de D_2O y un par de válvulas de interconexión del SPTC están alimentadas por dos fuentes independientes

Clase I 220 V c.c. "par" e "impar". En caso de fallar una barra no hará fallar el sistema de inyección o el de aislación de los loops del SPTC. De fallar las dos barras, no sería posible la inyección de REN ni la aislación de los dos circuitos del SPTC.

La corriente de 48V cc, alimenta la lógica de relés y los dispositivos de control final, si se pierde este suministro, no se podría producir la inyección ni el cierre de las válvulas de aislación de los circuitos del SPTC. Para los canales K y M de 48V c.c. se dispone de alimentación por suministro de Energía de Emergencia, con un solo canal se puede energizar una válvula de cada par de alta y media presión y las válvulas de aislación usadas para REN. La instrumentación se alimenta con 40 Vcc, si se interrumpen dos o más canales, se cerrarán las válvulas de interconexión de los circuitos del SPTC, pero no se dispararía la inyección de REN ni funcionaría automáticamente en caso de LOCA.

4.5.2 Pérdida de Energía de Clase II

El par de válvulas de aislamiento de H_2O de alta presión, válvulas de aislamiento de H_2O a media presión y tres pares de válvulas de interconexión de los circuitos del SPTC están alimentados con 380V c.a. Una válvula de cada par es alimentada por la barra "par" y la otra válvula por la barra "impar", de manera que la falla de una de las barras no hará fallar ninguna función. Si fallan ambas barras no sería posible la inyección de REN ni la aislación de los dos circuitos de transporte de calor.

Cada par de válvulas de aislación de H_2O de alta presión y media presión tiene alimentación de refuerzo por el Suministro de Energía de Emergencia para permitir la operación después de producirse un sismo de diseño. El suministro de 220V c.a. de Clase II alimenta la instrumentación de REN. En caso de interrumpirse 2 ó 3 canales de medición de presión del SPTC, se provocará la falsa iniciación de la inyección y de enfriamiento rápido de los generadores de vapor y el cierre de las válvulas de interconexión del SPTC.

4.5.3 Pérdida de Energía de Clase III 6,6 kV

La bomba 3432 PM1 está alimentada por una barra "impar" y PM2 por una barra par. Siempre que esté disponible una de las barras

junto con corriente Clase I 48V c.c. equivalente para operar las válvulas de aspiración neumáticas, habrá disponible REN tanto de media como de baja presión.

4.5.4 Pérdida de Energía de Clase IV

Sólo afecta la faz de prueba 380V c.a.

4.5.5 Pérdida de aire para instrumentos

En la columna "Posición en caso de falla de suministro" de la Tabla 1 se ven las posiciones de falla de las válvulas del sistema de REN.

De esta forma queda asegurada en caso de un LOCA, la inyección de REN de alta y media presión. Para la inyección prolongada de baja presión será necesario abrir con un tanque de aire local las válvulas de aislación del sumidero de recuperación PV10 y PV11.

Para la refrigeración rápida de los generadores de vapor, las válvulas de seguridad de vapor principal disponen de un depósito de aire para cada suministro: en caso de necesidad estas válvulas pueden ser trabadas en posición abierta, con una herramienta (gagging iron) que posee cada válvula.

4.5.6 Pérdida de las computadoras

El sistema REN es independiente de las computadoras. Solamente faltarán las copias impresas de alarma.

5.0 CUESTIONARIO DE VERIFICACION - NIVEL 2

1. ¿Cuáles son las fallas simples y las duales de los Eventos Base de Diseño?
2. ¿Por qué es necesario bloquear el Sistema de REN cuando se debe enfriar el SPTC?
3. ¿Qué señales son necesarias para que produzca un enfriamiento rápido de los generadores de vapor?

4. ¿Qué señales son necesarias para que se produzca la aislación de los circuitos del SPTC?. ¿Por qué es necesaria esta aislación?
5. ¿Qué señales son necesarias para que se produzca la señal de Inyección del Sistema REN?
6. ¿Qué acciones automáticas ocurren luego que apareció la señal de LOCA?
7. ¿Cuáles son las acciones que debe tomar el operador en forma manual para habilitar el sistema de REN de largo plazo?
8. ¿Cómo se opera el sistema, en caso de que se produzca el sismo básico de diseño?

6.0

REFERENCIAS

Manuales de Diseño:

DM-18-68500-1

DM-18-34320

DM-18-63432

DM-18-68900

DM-18-52900

Manual de Operación:

OM-68500

Diagramas de Flujo de Operación:

18-34320-1-1-OF-E

18-36100-1-1-OF-E

18-33000-1-1-OF-E

18-33100-1-1-OF-E

18-33350-1-1-OF-E

7.0

ABREVIATURAS

E/R - Edificio del Reactor

LOCA - Lost of Coolant Accidente (Accidente por pérdida de refrigerante)

EEN o REN - Refrigeración de Emergencia del Núcleo

SPTC - Sistema Primario de Transporte de Calor

MLP

COMANDO Y CONTROL DE LAS VALVULAS DEL SISTEMA
DE REFRIGERACION DE EMERGENCIA DEL NUCLEO (REN)

CODIGO	DESCRIPCION	Posiciones del Interruptor de S. de Control Principal	Posición normal del interruptor	Posición normal de la válvula	Acción ante una señal de LOCA	Indicación de posición de válvula en S.de C. Principal	Posición en caso de falta de suministro
PV 83-PV 84	Válvulas de venteo de alta presión	CERRAR/AUTO/ABRIR	AUTO (2)	Abierta	se cierran	Indicador electromecánico.	Cerrada
PV 81-PV82	Válvulas de aislación de gas de alta presión.	CERRAR/AUTO/ABRIR	AUTO (2)	Cerrada	se abren	"	Abierta
MV 79-MV80	Válvulas de aislación de H2O de alta presión alimentadas con clase II y reforzadas por alimentación de Energía de Emergencia.	CERRAR/STOP/AUTO/ABRIR En la S. de C. secundaria CERRAR/REMOTO/ABIERTO	AUTO (2) REMOTO (2)	Cerrada	se abren	"	Permanecen en el estado.
MV71-MV72	Válvulas de ensayo de H2O de alta presión. Alimentadas por Clase IV.	CERRADA/STOP/ABIERTA	ABIERTA	Abierta	-	Luces de discrepancia.	Permanecen en el estado.
PV87-PV88-PV78	Válvula de drenaje y venteo de tren de válvulas de alta y media presión.	ABIERTA/CERRADA	ABIERTA	Abierta	se cierran	Indicador electromecánico.	Cerrada
PV116-PV117	Válvulas de drenaje del espacio intermedio discos de ruptura/válvulas de retención.	ABIERTA/CERRADA	ABIERTA	Abierta	se cierran.	"	Cerrada

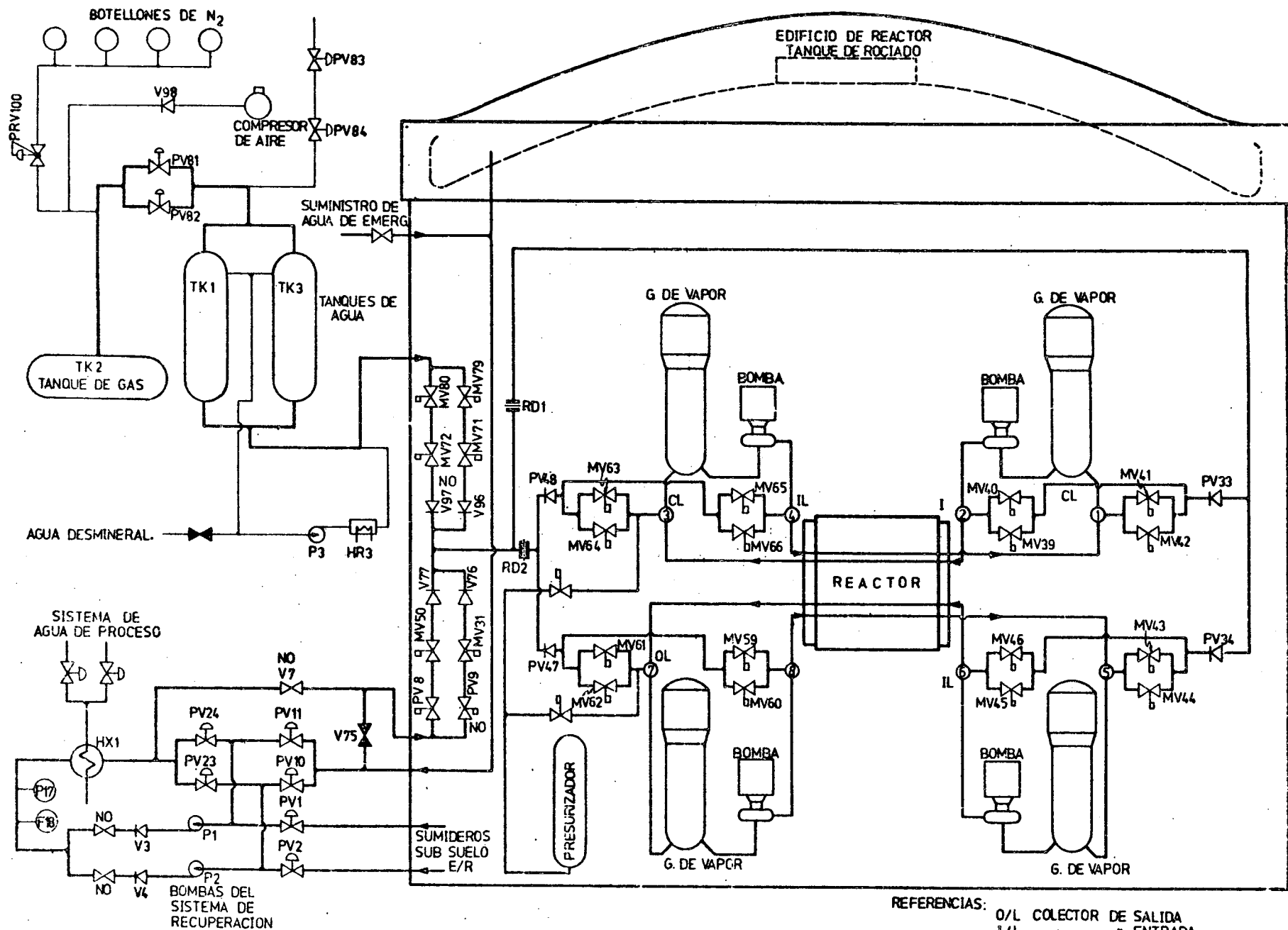
PV 72-PV 77	válvulas de venteo del espacio intermedio discos de ruptura/válvulas de retención.	ABIERTA/CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	Se cierran.	Indicador electromecánico.	Abierta.
PV 78-PV 84-PV 87-PV 88	Válvulas de retención	NORMAL/ABIERTO (retorna a normal con resorte)	NORMAL	-	-	Luz de estado	-
PV49-PV52 PV53-PV56	Válvulas de venteo de D20 (se emplean para pruebas)	ABIERTA/CERRADA	CERRADA	Cerrada	-	Indicador electromecánico.	Cerradas
PV35-PV36 PV54-PV55	Válvulas de presurización de D20 (se emplean para pruebas)	CERRADA/ABIERTA	CERRADA	Cerrada	-	"	Cerradas
MV39 a MV46 MV59 a MV66	Válvulas de aislación de D20 alimentadas con Clase I y reforzadas con su ministro de energía de emergencia.	CERRADO/STOP/AUTO/ABIERTA En S. de C. secundaria CERRADO/REMOTO/ABIERTA (sólo para MV41 a MV44)	AUTO (2) REMOTO(2)	Cerrada	se abren	"	Permanecen en el estado.
PV10-PV11	Válvulas de aislación del tanque de rociado y aspiración bomba recuperación de media presión	AUTO/CERRADA/ABIERTA	AUTO (2)	Cerrada	se abre la relacionada con la bomba que arranca.	"	Cerradas.
PV8-PV9	Válvula de ensayo de D20 de media presión.	ABIERTA/CERRADA	ABIERTA(2)	Abierta	-	"	Abierta

MV31-MV50	Válvulas de aislación de H ₂ O de media presión alimentadas con Clase II y reforzadas con suministro de Energía de Emergencia	CERRADA/STOP/AUTO/ABIERTA En S. de C. Secundaria CERRADA/REMOTO/ABIERTA	AUTO(2) REMOTO (2)	Cerrada	Luego de 90 segundos se abren	Indicador electromecánico.	Permanecen en el estado.
PV1 - PV2	Válvulas de aislación del Sumidero de Recuperación.	CERRADA/ABIERTA	CERRADA	Cerrada	-	"	Cerrada
PV23-PV24	Válvulas de recirculación de las bombas de recuperación.	ABIERTA/CERRADA	Abierta	Abierta	Se cierran si están abiertas	"	Abierta
67131-PV509 PV510	Válvulas de aislación de agua de servicio para el intercambiador de calor XH1.	CERRADA/ABIERTA	CERRADA	Cerrada	-	"	Abierta

(1) Los equipos y válvulas van numerados con el prefijo 3432, salvo indicación en contrario.

(2) Si el interruptor no está en esta posición se produce una alarma "fuera de lo normal".

T A B L A I



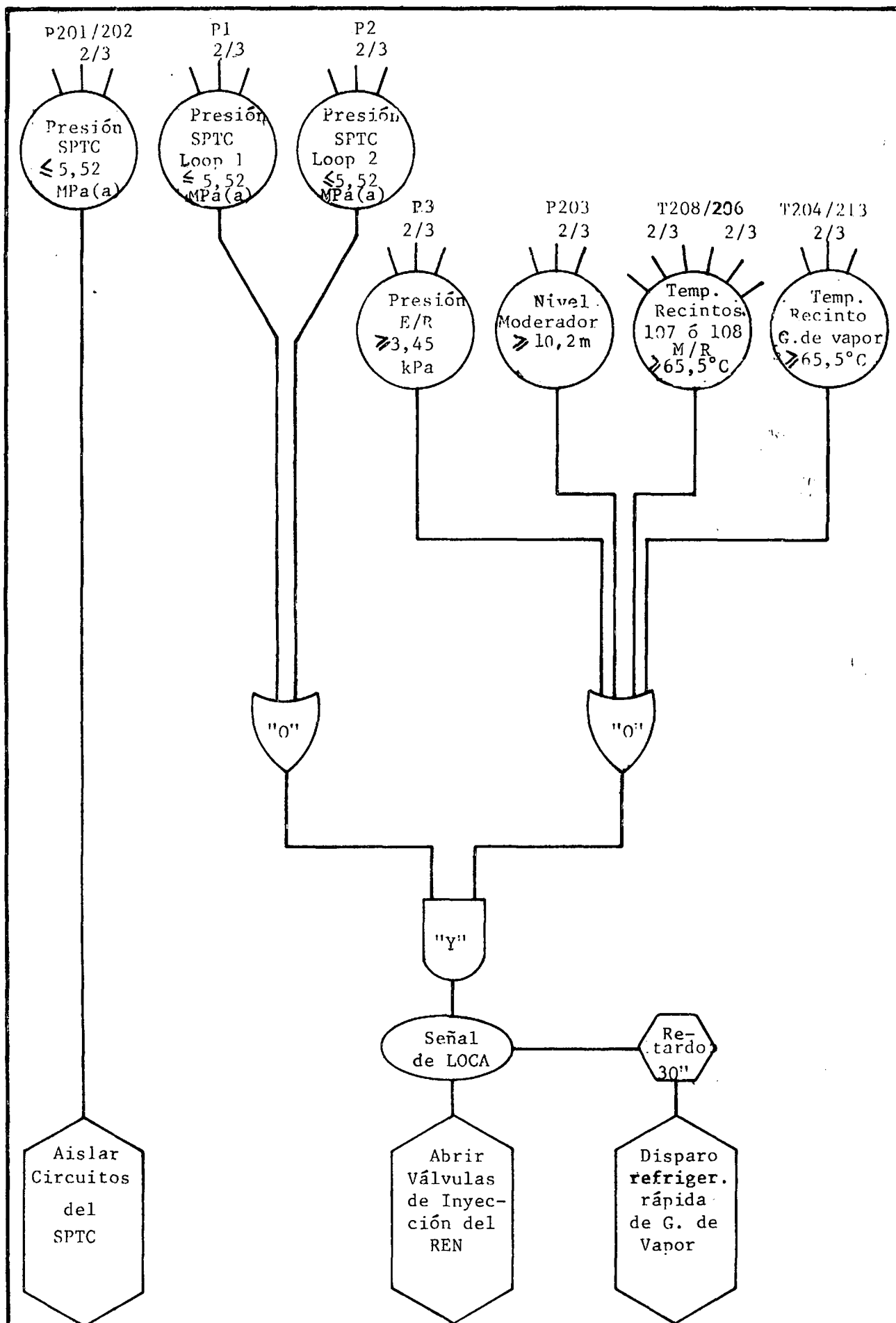


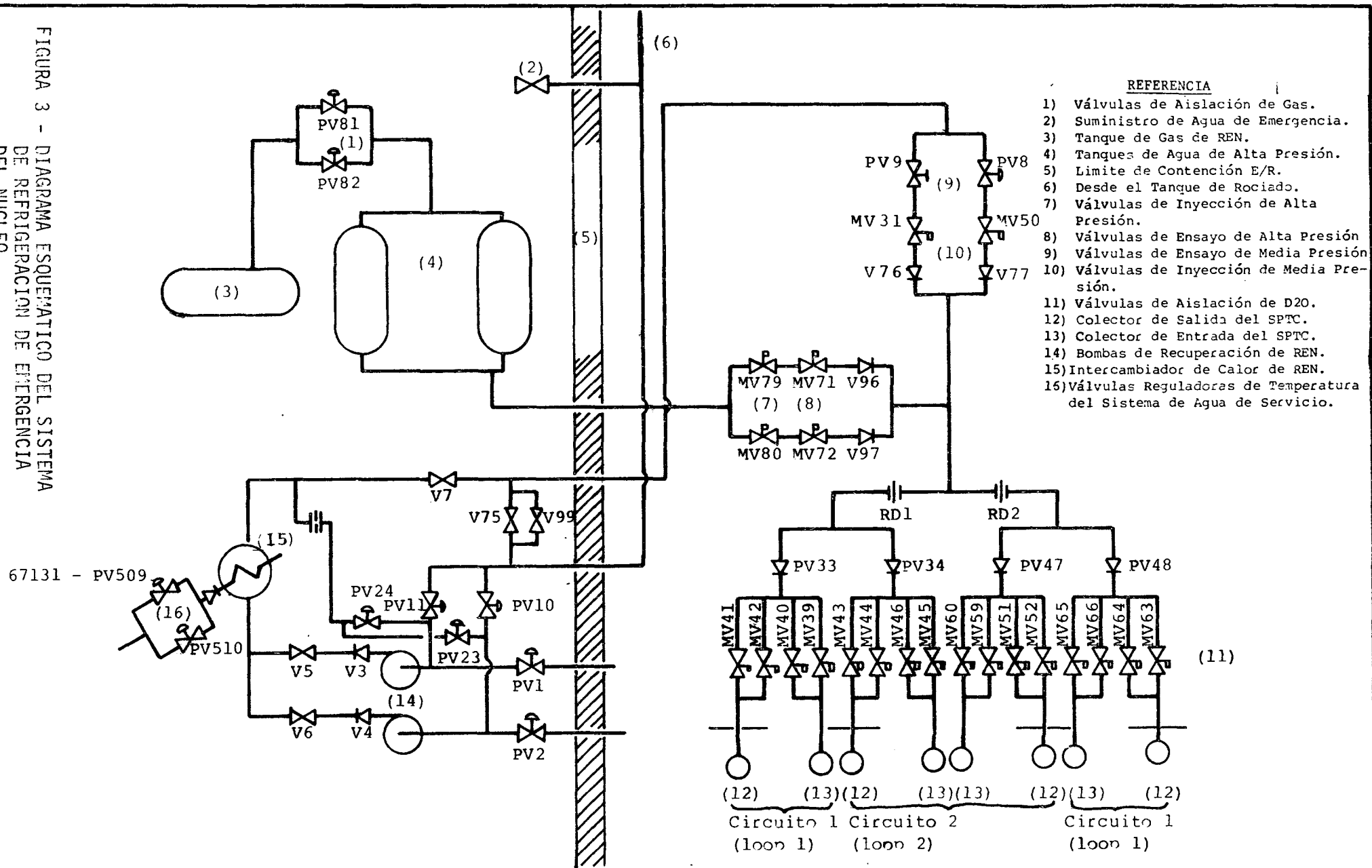
FIGURA 2 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LOGICA DE INICIACION

a) Válvulas de aislación de los circuitos del SPTC

b) Válvulas de inyección del REN

c) Válvulas de refrigeración rápida de los generadores de vapor

FIGURA 3 - DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE EMERGENCIA DEL NUCLEO.



Esquema donde se aprecia la descarga y las tres etapas de REN con presiones apróx. en función del tiempo para una rotura del 100%.

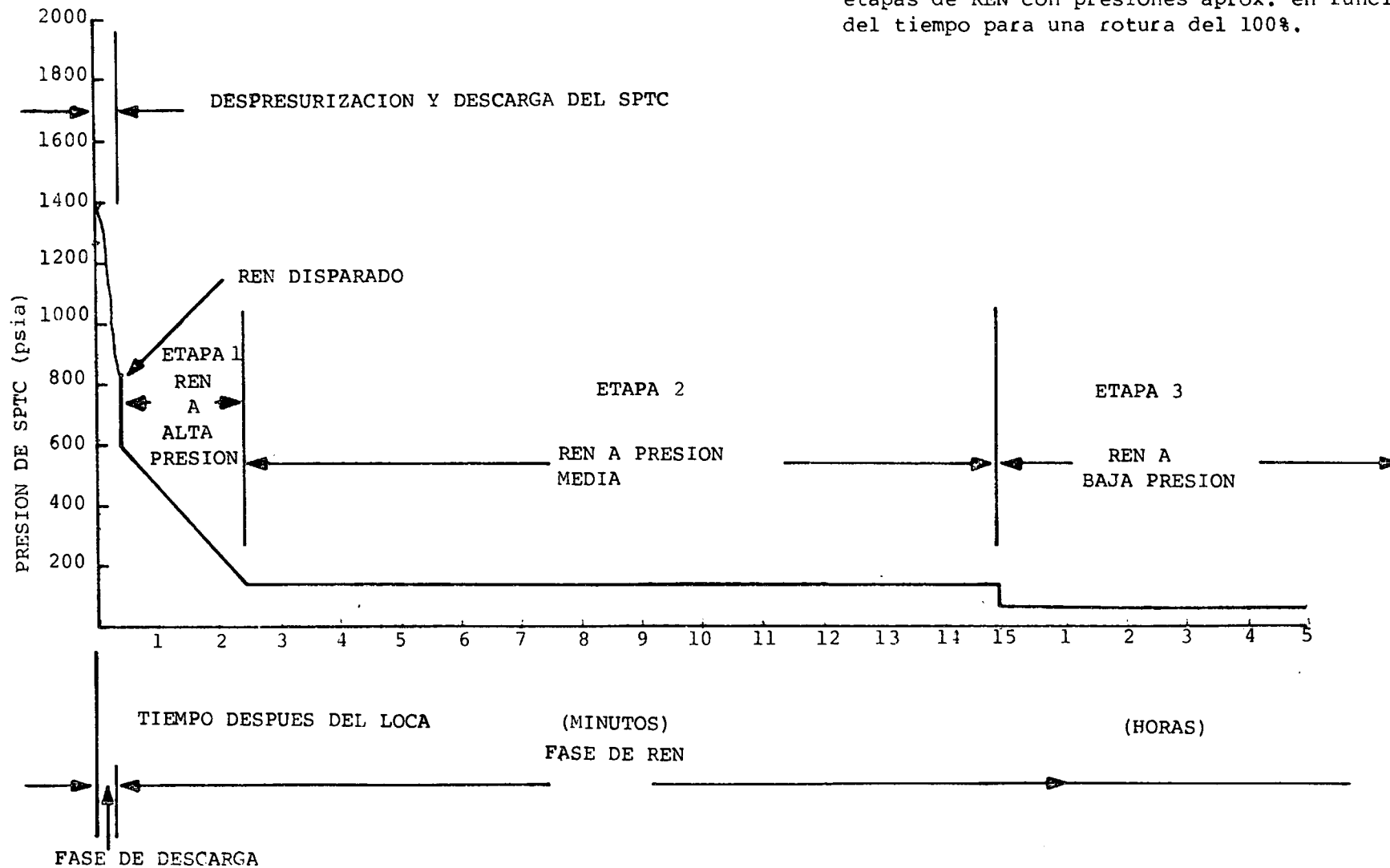


FIGURA 4 - ESQUEMA DE LA CURVA DE PRESION DURANTE REFRIGERACION DE EMERGENCIA DEL NUCLEO