

# **Tercer ejercicio. Seguridad nuclear**

## **Tema 3-A-9**

### **El circuito secundario en centrales nucleares de agua ligera. Aspectos de seguridad.**

#### ÍNDICE

1. RESUMEN
2. INTRODUCCIÓN
3. DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO SECUNDARIO DE UN LWR
  - 3.1. SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR PRINCIPAL
  - 3.2. TURBOGENERADOR
  - 3.3. CONDENSADOR PRINCIPAL
  - 3.4. SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AIRE DEL CONDENSADOR
  - 3.5. SISTEMA DE VAPOR DE CIERRES
  - 3.6. SISTEMA DE BYPASS DE TURBINA
  - 3.7. SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACIÓN
  - 3.8. SISTEMA DE PURGA DE LOS GENERADORES DE VAPOR
  - 3.9. SISTEMA DE CONDENSADO Y DE AGUA DE ALIMENTACIÓN
4. ASPECTOS DE SEGURIDAD
5. FIGURAS
6. RELACIÓN CON OTROS TEMAS DEL TEMARIO
7. BIBLIOGRAFÍA

## 1. RESUMEN

Este tema describe el sistema secundario de un reactor de agua ligera, con el objetivo de proporcionar un conocimiento general sobre las funciones y características principales del sistema y de sus componentes.

Asimismo, la descripción del sistema secundario en este tema, se ha basado en un reactor de agua a presión PWR de diseño Westinghouse.

La finalidad del tema es obtener un conocimiento general sobre: la función del sistema, la descripción y funciones de los distintos sistemas y componentes que lo integran así como de los aspectos de seguridad para los que se diseñó.

## 2. INTRODUCCION.

Actualmente, todas las centrales nucleares de potencia utilizan vapor de agua como agente propulsor de sus turbinas. Por este motivo, el circuito secundario de las mismas es muy parecido al de las centrales térmicas convencionales.

Las centrales de agua ligera (LWR) producen vapor saturado a una presión relativamente moderada. Su ciclo de vapor tiene peculiaridades que lo distinguen del de otras centrales. Las limitaciones de presión del primario exigen que las líneas de expansión sean cercanas a la curva de saturación; por ello, el vapor se encuentra en la expansión saturado o muy ligeramente recalentado. El circuito secundario se ajusta a un ciclo de Rankine con recalentamiento y precalentamiento, realizándose la separación exterior de humedad entre la turbina de alta presión y la de baja; y el recalentamiento de vapor saturado, una vez se eliminado su humedad en el separador. También se realiza una separación interior de la humedad del vapor, en el interior de la turbina de baja presión, mediante un diseño adecuado de los álabes. Esta modificación del ciclo real de Rankine presenta dos ventajas fundamentales:

- Mejora el rendimiento del ciclo.
- Disminuye el grado de humedad al final de la última etapa de expansión. Si el grado de humedad a la salida del último escalonamiento de la turbina superase el 10 ó 14%, el efecto se traduciría en un rendimiento muy pobre y en una erosión excesiva de los álabes. Esta ventaja predomina, con frecuencia, sobre la anterior.

Por otra parte, en el proceso de calentamiento del ciclo de Rankine, es necesario calentar el agua desde una temperatura muy baja (salida del condensador), hasta convertirla en vapor; y si este calentamiento se realiza con una fuente (caldera) que aporta calor a una temperatura elevada y prácticamente constante, el rendimiento es muy bajo. Para paliar este inconveniente se emplea el precalentamiento, que consiste en calentar el agua de alimentación previamente a su entrada a la caldera, mediante aportaciones

de vapor extraídas en la etapa de expansión. Estas aportaciones tienen temperaturas moderadas, y así se consigue un ciclo ideal con mayor rendimiento y reversibilidad.

El circuito secundario de una central LWR está diseñado para recibir vapor del NSSS y convertir su energía térmica en eléctrica. Está constituido por el sistema de suministro de vapor principal (refrigerado por el sistema de agua de circulación), el sistema de "bypass" de turbina, el de agua de alimentación y condensado, el de purga de los generadores de vapor, y el de cierres de turbina.

El *sistema de suministro de vapor principal* comprende las tuberías y válvulas necesarias para llevar el vapor hasta el sistema de conversión a potencia eléctrica. El vapor producido atraviesa el muro de la contención por varias tuberías; en cada una de ellas, y fuera de la contención, se disponen válvulas de aislamiento automáticas, junto con válvulas de seguridad de soporte y válvulas de alivio neumáticas. Las de seguridad y alivio están aguas arriba de las de aislamiento. Después de estas, las tuberías se juntan en un colector. A la salida del mismo, el flujo se divide en dos líneas que llevan el vapor a la turbina, por medio de cuatro tuberías de menor tamaño. El vapor para la turbina de la bomba de agua de alimentación auxiliar se toma mediante líneas independientes de dos de las tres ramas de vapor principal, aguas arriba de las válvulas de aislamiento. Se dispone también de suministro de vapor para la segunda etapa de los recalentadores, para el sistema de vapor de cierres, para el "bypass" de turbina, y para las turbobombas de agua de alimentación normal.

El *condensador principal* es el sumidero de calor del escape de la turbina principal y del escape de las turbinas para el agua de alimentación, del vapor del "bypass" de turbina y otros flujos. También realiza la desaireación del condensado y su almacenamiento. Está refrigerado por el sistema de agua de circulación.

El sistema de evacuación de aire del condensador principal crea (mediante el uso de bombas) un vacío en el condensador.

El *sistema de "bypass" de la turbina* proporciona al vapor, una vez estrangulado, un cauce para puentear la turbina e ir directamente al condensador. Este sistema está previsto para las grandes reducciones de carga en turbina que ocasionarían transitorios intolerables en el sistema nuclear.

El *sistema de cierres de vapor de turbina* sella el eje de la misma para evitar entradas de aire, o fugas de vapor al edificio de turbina.

Los *sistemas de condensado y agua de alimentación* sirven para llevar el vapor condensado desde el condensador principal a los GV. La desaireación del condensado se realiza en los pozos del condensador, y a partir de allí, se bombea el agua a través de cinco etapas de calentadores de baja presión y una etapa de calentadores de alta presión hasta los GV.

El *sistema de purga de los GV* se diseña para mantener la calidad del agua del circuito secundario en un nivel de pureza óptimo. La purga óptima se toma de los GV y, siguiendo las radiaciones de un monitor de radiación se pasa directamente al colector de descarga o, previamente, a través de unos desmineralizadores, para eliminar las impurezas que pudieran haberse añadido por las fugas del sistema primario; después, se lleva al colector de descarga. Otro monitor de radiación, situado en dicho colector, permite que el vertido sea eliminado al ambiente o se dirija al sistema de desechos líquidos.

El *sistema de agua de circulación* tiene como misión eliminar el calor sobrante del ciclo térmico; también se debe eliminar el calor enviado al condensador por el sistema de descarga de vapor durante los arranques o paradas de la central, y durante las descargas de vapor que siguen a una reducción de carga.

### **3. EL CIRCUITO SECUNDARIO DE UN LWR.**

A continuación se expone con detalle cada uno de los sistemas de los que se compone el circuito secundario.

#### **2.1 EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR PRINCIPAL.**

El vapor saturado sale de la contención mediante tres tuberías de vapor principal, que luego se unen en un colector común. En cada tubería, dentro de la contención, existe un restrictor de caudal, para limitar el caudal de vapor liberado en caso de rotura de la línea. La tubería de vapor que sale de cada GV está provista de cinco válvulas de seguridad de soporte y una válvula de alivio neumática, situadas entre la contención y la correspondiente válvula de aislamiento. La válvula de alivio está tarada para abrir antes de que lo haga la primera válvula de seguridad. Una y otras descargan a la atmósfera. En cada línea de vapor y aguas abajo de las válvulas de seguridad hay una válvula de aislamiento de accionamiento hidráulico de cierre rápido.

Para el suministro de vapor vivo a la turbina de la bomba de agua de alimentación auxiliar, se dispone de tuberías conectadas a las de vapor principal de dos de los tres generadores. Estas conexiones están fuera de la contención y antes de las válvulas de aislamiento.

Aguas abajo de las válvulas de aislamiento, las tuberías de vapor principal se unen en un colector, del que salen:

- Una línea que lleva vapor al sistema de “bypass” de turbina, a la segunda etapa del recalentamiento, a las turbinas de la bomba de agua de alimentación, al sistema de cierres de turbina y al sistema de vapor auxiliar.

- Dos tuberías que llevan el vapor principal al edificio de turbina. Cada una se divide en otras dos que llevan el vapor a la turbina de alta presión.

Si se produce un rechazo de carga instantáneo de hasta un 50%, el sistema de suministro de vapor principal evita el disparo del reactor descargando el vapor directamente al condensador a través del sistema de bypass. A continuación de un disparo de turbina, de un rechazo de carga superior al 50% o cuando el sistema "bypass" de turbina no está disponible, el sistema de suministro de vapor principal efectúa un disparo seguro del reactor y elimina el exceso de calor del refrigerante del reactor descargando vapor del secundario a la atmósfera por las válvulas de alivio y seguridad. Estas válvulas protegen también a los GV y a las tuberías de vapor principal frente a un exceso de presión.

En el caso de rotura de una tubería de vapor principal, las válvulas de aislamiento cerrarían automáticamente.

## **2.2 TURBOGENERADOR.**

La turbina recibe el vapor saturado de los tres GV a través de cuatro válvulas de estrangulamiento y cuatro de control. El vapor que sale de la turbina de alta presión se dirige a través de cuatro separadores de humedad recalentadores dispuestos en paralelo dos a dos, hacia las dos turbinas de baja presión, que descarguen a su vez en el condensador principal. Hay una etapa de extracción de vapor en la turbina de alta que va a dos calentadores de agua de alimentación; y cuatro etapas en las turbinas de baja que van, análogamente, a cuatro calentadores de agua de alimentación.

El turbogenerador está diseñado para transformar en energía eléctrica la energía térmica del vapor producido en el NSSS. La turbina está prevista para un funcionamiento en base, con capacidad para seguir variaciones de carga cuando sea necesario. Posee un sistema de aceite de lubricación de cojinetes; un caudal en derivación de este aceite fluye continuamente por una purificadora para eliminar el agua y otras impurezas.

El vapor que sale de la turbina de alta pasa a los separadores de humedad recalentadores y entra en la turbina de baja por las cuatro válvulas de parada y las cuatro de intercepción del recalentado.

El control de la turbina corre a cargo del sistema de control digital electrohidráulico ( controlador DEH), que gobierna las válvulas de estrangulamiento y control mediante circuitos automáticos electrohidráulicos. En el funcionamiento automático, los puntos de tarado para la velocidad y la carga se genera en el "software". Westinghouse utiliza el término "Referencia" para estos puntos de tarado. En el control de velocidad, la "Referencia" es la velocidad deseada por el turbogenerador; el error en velocidad origina un cambio de posición en las válvulas de estrangulamiento y control. El controlador digital recibe tres realimentaciones de la turbina: velocidad, potencia de salida del generador y presión en la primera etapa (proporcional a

la carga de turbina). Si falla el controlador automático, el control del turbogenerador pasa al controlador análogo manual, en el que el operador posiciona directamente las válvulas hasta obtener la velocidad o carga deseada.

La turbina está dotada de un sistema de parada automática y disparo de emergencia, que cierra las válvulas de parada y control en caso de sobrevelocidad de turbina, baja presión de aceite de los cojinetes, poco vacío o fallo de los cojinetes de empuje. El disparo de turbina por alguna de tales causas, funcionando a una carga del 10% o mayor, produce una señal de disparo del reactor, que transmite al sistema de protección.

En el caso de que la turbina exceda la velocidad de régimen, las señales que actúan sobre las válvulas de vapor principal son:

- Válvulas de Estrangulamiento y válvulas de cierre de los Recalentadores: cuando la velocidad de la turbina sobrepasa aproximadamente el 111% de la de régimen, estas válvulas cerrarán accionadas por el contrapeso mecánico de sobrevelocidad más el disparo eléctrico de refuerzo.
- Válvulas de Control Principal: el controlador que protege contra la sobrevelocidad ordena el cierre total de las válvulas de control cuando la velocidad llega al 103% de la nominal. Si llegara a exceder el 111% de la de régimen, se ordenaría cierre inmediato de las válvulas por dos mecanismos: el disparo mecánico por sobrevelocidad y el disparo eléctrico de reserva.
- Válvulas de Intercepción de los Recalentadores: si la velocidad excediera el 111% de la nominal, estas válvulas dispararían cerrando por la acción de dos mecanismos: el peso mecánico de protección contra sobrevelocidad y el disparo eléctrico de reserva originado por el canal de control de la velocidad.

## **2.3 CONDENSADOR PRINCIPAL**

El condensador principal sirve como sumidero de calor del ciclo de vapor, y punto de recogida de, entre otros, los siguientes caudales: escape de la turbina principal, drenajes y venteos de los calentadores de agua de alimentación, escapes de las turbinas de las bombas de agua de alimentación, descarga del sistema de bypass de turbina, caudales de recirculación de las bombas de condensado y de agua de alimentación, drenajes de condensador de vapor de cierres y drenajes y venteos de equipos diversos. También sirve el condensador para desgasificar el condensado del sistema secundario y almacenarlo.

El condensador suele ser de un solo paso, de dos cuerpos, conectado a cada abertura de escape o cuerpos de baja presión de la turbina principal. Entre ambos cuerpos hay un conducto de interconexión que asegura que la

diferencia máxima de temperatura entre ellos no excederá de un valor prefijado en proyecto.

El condensador tiene dos pozos de condensado con capacidad de almacenamiento de agua suficiente para absorber las variaciones del sistema y la aportación de condensado durante transitorios moderados, sin acudir al almacenamiento de condensado de reserva. Cada tubería de entrada y salida de agua de circulación al condensador está provista de una válvula de aislamiento de mariposa.

Sí el condensador no esta disponible durante una parada normal de la central, un rechazo de carga instantáneo o un disparo de turbina, las válvulas de alivio y seguridad pueden descargar a la atmósfera todo el vapor principal y garantizar la parada segura del reactor; la indisponibilidad del condensador aquí considerada incluye el fallo de las bombas de agua de circulación, el fallo del sistema de evacuación del aire, entradas excesivas de aire a través de los cierres de turbina por fallo del sistema de vapor de cierres, o el fallo del condensador debido a cualquier causa.

## **2.4 SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AIRE DEL CONDENSADOR.**

Este sistema se emplea para establecer en el condensador el vacío inicial y mantenerlo durante el funcionamiento extrayendo todos los gases incondensables. Consta generalmente de tres bombas de vacío, tipo anillo hidráulico, accionadas por motor eléctrico, utilizándose normalmente dos de ellas y permaneciendo la tercera en reserva. La descarga de aire y de gases se realiza a la atmósfera a través de unos filtros, existiendo en la tubería un cierre hidráulico tipo sifón para evitar sobrepresiones. En caso de que no pueda funcionar el sistema, es posible que el vapor descargado al mismo no se condense, debido a la acumulación de gases incondensables y de aire; en este caso se considera indisponibilidad del condensador, y la parada segura de la central queda garantizada por las válvulas de alivio y de seguridad.

## **2.5 SISTEMA DE VAPOR DE CIERRES.**

Este sistema controla la presión de vapor correspondiente para hacer, en todas las condiciones de funcionamiento, un sellado adecuado de la turbina principal y de las turbinas de las bombas de agua de alimentación. El espacio anular entre el eje de la turbina y la carcasa necesita un sellado, que se hace por medio de vapor que recorre unos cierres de laberinto. En los puntos en los que el cierre se efectúa contra el vacío el vapor de cierres sale hacia un anillo de venteo, que se mantiene a un ligero vacío. Este espacio anular recoge también aire que entra del exterior, y esta mezcla de aire y vapor se envía al condensador de vapor de cierres. La presión en el colector de vapor de cierres se regula automáticamente a una presión fija, utilizando vapor principal a cargas bajas. A cargas más altas cuando el vapor de sobrante es superior a cuando se cierra contra vacío, el exceso del mismo se envía al condensador del vapor de cierres, que lo condensa y envuelve al condensador. Los gases no

condensables se descargan a la atmósfera por los extractores correspondientes. Si el sistema de vapor de cierre no estuviera en funcionamiento, es posible que el vapor descargado al condensador no se condensara, debido a la acumulación del aire; en este caso, análogamente, se considera fallo del condensador.

## **2.6 SISTEMA DE “BYPASS” DE TURBINA.**

Este sistema descarga el vapor principal directamente al condensador en condiciones transitorias de rechazos de carga, por disparo de turbina, y durante las paradas de arranque de la central. Está diseñado para una capacidad de descarga de un 40% del caudal de vapor utilizando para el diseño de la planta. Su capacidad, junto con el caudal correspondiente al 10% de variación de carga en escalón que admiten las barras del reactor, permiten absorber rechazo de carga instantáneo hasta de un 50% sin disparo del reactor, ni apertura de válvulas de alivio y seguridad del vapor principal.

De cada una de las cuatro tuberías de vapor que alimentan la turbina de alta presión, y antes de las válvulas de admisión a la misma, parte una línea del sistema de “bypass” de turbina, que descarga en el cuerpo A del condensador. Análogamente, del colector del vapor principal, aguas abajo de las válvulas de aislamiento, parte una línea que, después de alimentar los servicios auxiliares y reducir su tamaño, actúa como colector de las cuatro líneas del sistema de “bypass” que descarga en el cuerpo B del condensador. Por tanto, el sistema se compone de 8 líneas, con sus respectivas válvulas de descarga, que aumenta su tamaño para entrar en el condensador. Durante el funcionamiento modulado, las 8 válvulas abren en secuencia de dos en dos, siempre con el mismo caudal, yendo cada una a un cuerpo del condensador. En caso de gran reducción de carga o disparo de la planta, abren todas las válvulas. Las válvulas cierran automáticamente cuando falla el aire de instrumentos, se pierde el vacío en el condensador o fallan las bombas de agua de circulación.

## **2.7 SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACIÓN.**

Tiene por misión suministrar al condensador principal un flujo continuo para eliminar la carga térmica que recibe. Generalmente, consta de cuatro bombas y las correspondientes tuberías y válvulas, capaces de aislar tanto la aportación como la descarga, e interconectar las líneas de flujo de las bombas.

## **2.8 SISTEMA DE PURGA DE LOS GENERADORES DE VAPOR.**

En caso de que el secundario se contamine con refrigerante primario, el sistema de tratamiento de la purga de los GV purifica el agua, de forma que pueda utilizarse de nuevo en el circuito o ser descargada en el ambiente.

Cada GV posee sus propias líneas de purga y de toma de muestras. El caudal de purga de cada uno se controla individualmente antes de que las tuberías respectivas se unan a un colector común. El fluido procedente de los generadores, antes de reducir su presión, pasa por los enfriadores de la purga



(uno a la salida de cada generador), para condensar su vapor, y, a continuación, por dos cambiadores de calor en paralelo, donde se enfrían mediante agua de refrigeración de componentes. A continuación se reduce la presión, y el líquido pasa, a través de doble válvula de aislamiento automática, al sistema de efluentes. Si hubiera fugas en algún GV, un detector situado en la línea de descarga actúa una alarma en la sala de control, e inicia automáticamente la desmineralización cuando las válvulas de aislamiento han cerrado automáticamente. La parte del sistema para tratamiento consiste en dos filtros en paralelo (uno en funcionamiento y otro en reserva), cuatro desmineralizadores de lecho mixto (conectados de forma que pueda trabajar uno solo o dos en serie) y un filtro dúplex.

## **2.9 SISTEMAS DE CONDENSADO Y DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.**

Los sistemas de condensado y de agua de alimentación sirven para llevar el vapor condensado a los GV. También son los encargados de mantener el nivel automáticamente en los GV, tanto en régimen permanente como en transitorios, y de compensar las pérdidas de fluido del sistema por vertido a la atmósfera durante los cambios de carga o enfriamiento, así como las originadas por la purga continua de los GV. El sistema consta generalmente de cuatro bombas de condensado, dos de alimentación de velocidad variable accionadas por turbina, dos de drenaje de calentadores, dos cadenas de calentadores de agua de alimentación y un condensador de vapor de cierres.

Las bombas de condensado aspiran agua por los pozos del condensador, y la impulsan hasta la aspiración de las bombas de agua de alimentación, a través del condensador de vapor de cierres y cinco etapas de calentadores de baja presión. A continuación, las bombas de alimentación impulsan el agua a través de una etapa de calentadores de alta presión hasta un colector, del que se deriva cada conjunto independiente de líneas de alimentación a cada GV.

## **4. ASPECTOS DE SEGURIDAD.**

Desde el punto de vista operacional de la planta. La principal función del circuito secundario es la de convertir la energía térmica del vapor térmico generado en el NSSS en eléctrica. Sin embargo, desde el punto de vista de la seguridad, su misión principal es la de garantizar en todo momento un sumidero para el calor generado en el primario; por ello, y al margen de lo que comentaremos a continuación, solo se consideran de seguridad en él, y están sujetas a requisitos sísmicos y de clase de seguridad, las porciones comprendidas entre los GV y las válvulas de aislamiento (incluyendo éstas y las de seguridad y alivio), y entre el colector procedente de las últimas etapas del calentamiento del agua de alimentación y los GV. De esta forma y mediante el sistema de agua de alimentación auxiliar (considerado como salvaguardia tecnológica), y empleado como sistema de reserva y emergencia para suministrar agua de alimentación al secundario de los generadores de vapor, en caso de pérdida del caudal normal de agua de alimentación, se asegura que ante todas las situaciones operacionales previsibles y aun cuando el

condensador principal estuviera disponible, las válvulas de alivio y seguridad facilitarán la liberación del vapor a la atmósfera y existirá una fuente de alimentación segura a los GV.

En cuanto a la operación normal, el circuito secundario presenta determinados aspectos de seguridad de importantes repercusiones sobre la seguridad global de la planta.

Respecto al sistema de suministro principal, la principal misión de seguridad esta encomendada a las válvulas de alivio y seguridad y a las de aislamiento. Se exige a estas ultimas que puedan asumir las siguientes situaciones: rotura en el colector de vapor, aguas abajo de la válvula de aislamiento; y rotura de tubos en el generador de vapor. En el primer caso, se ha de garantizar la imposibilidad de vaciamiento de mas de un GV.

Como medida preventiva de seguridad, se aplican además a este sistema requisitos muy estrictos en cuanto a materiales. Para componentes de clase 1, 2, 3 la selección de materiales y su fabricación deberá realizarse de acuerdo con el apéndice I de la Sección III del Código ASME y las partes A, B y C de la sección II del mismo, debiendo seguirse la guía reguladora 1.85 “Aceptabilidad de los Casos del Código de los Materiales ASME Sección III” en conjunción con dichas especificaciones. Para las componentes de acero inoxidable austenítico, se tomaran medidas especiales para impedir el empleo de acero inoxidable sensibilizado, y se controlara estrictamente la composición de los aislamientos técnicos externos y los procedimientos de soldadura, debiendo seguirse las recomendaciones de las guías reguladoras 1.44 (‘Control del Uso de Acero Inoxidable Sensibilizado’), 1.36 (‘Aislamiento térmico no Metálico para Acero Inoxidable Austenítico’), y 1.31 (‘Control del Contenido en Ferrita en Soldaduras de Acero Inoxidable’). Para todos los elementos en general, deberán establecerse procedimientos de cualificación de soldadores para áreas de limitada accesibilidad, y procedimientos de ensayo no destructivos de acuerdo con el código ASME, ajustados a las guías reguladoras 1.71 (“Cualificación de Soldadores para Áreas de Limitada Accesibilidad”) y 1.31 (“Requisitos de Garantía de Calidad para Limpieza de Sistemas Fluidos y Componentes Asociados en Plantas Nucleares Refrigeradas por Agua”). Para los componentes de acero de baja aleación deberán seguirse las directrices marcadas por la G.R 1.50 (“Control de la Temperatura de Precalentado para Soldaduras en Acero de Baja Aleación”).

En cuanto al grupo turbogenerador, lo más importante desde el punto de vista de seguridad es impedir la generación de turbomisiles que pudieran afectar a otros sistemas esenciales de la planta. Para ello, se imponen requisitos muy estrictos a los materiales seleccionados para la fabricación de la turbina, especialmente en cuanto a composición química de los forjados, propiedades de resistencia a la fractura, temperatura de transición dúctil-frágil, propiedades a alta temperatura y compatibilidad de las mismas con las condiciones de funcionamiento. Se exigen, asimismo, para la turbina, unos programas de inspección preservicio, e inspección en servicio exhaustivos, con un examen volumétrico, superficial y visual de cada disco, con los criterios clase I de ASME Secc. III y V, antes de la puesta en marcha de la instalación.

Los agujeros, taladros y chavetas deben someterse también a ensayos superficiales por partículas líquidas y magnéticas penetrantes. Cada rotor debería probarse a giro a la máxima velocidad esperada durante un rechazo de turbina. La inspección en servicio de la turbina debe cumplir los siguientes criterios: desmontaje al menos cada 10 años, e inspección visual, superficial y volumétrica ( ASME IX), e inspección visual durante la parada para la recarga a intervalos no superiores a tres años.

El sistema de protección contra sobrevelocidades de turbina deberá ser capaz de asumir el criterio de fallo único, y podrá probarse con la turbina en funcionamiento. La redundancia en las válvulas de parada, control, parada posteriores a los recalentadores y válvulas interceptoras, así como su inspección preservicio y en servicio, deben garantizar la imposibilidad de producción de unas condiciones de sobrevelocidad de turbina. Estas válvulas deben probarse al menos una vez cada siete días, al menos un ciclo completo desde la posición de operación, y al menos una vez cada 31 días, por observación directa del movimiento de cada de las válvulas citadas, en un ciclo completo desde la posición de operación. En cuanto a los requisitos de inspección en servicio, en intervalos de 3 años y 1/3, aproximadamente, durante recarga o mantenimiento coincidente con la parada, se desmontaran una válvula de parada, otra de control, una de parada posterior a los recalentadores y una interceptora, para realizar inspecciones visuales de las mismas; y, si se encuentran defectos inaceptables, se procederá al desmontaje de las restantes.

El condensador principal no es necesario para garantizar la parada segura de la planta, pero se encuentra estrechamente ligado a la seguridad. Una rotura en sus cajas de aguas provocaría una inundación en el edificio de la turbina, que podría afectar a componentes de seguridad, en caso de que estuvieran ubicados en las proximidades o hubiera comunicación entre este edificio y otros. Asimismo, se deberá impedir la producción de mezclas explosivas en el condensador, mediante la instrumentación y control necesaria para detectar y anunciar su generación. Si no pudieran preverse adecuadamente, deberá proyectarse el condensador para soportar la presión de pico de la explosión. De otro modo, una explosión en el condensador podría afectar adversamente a otros componentes de seguridad y comprometer severamente la capacidad de parada segura de la instalación.

En cuanto al sistema de condensado y agua de alimentación, es importante la posibilidad de inestabilidades de flujo ("Water Hammer") en las conexiones del sistema de agua de alimentación normal y auxiliar con los GV; esto podría llevar a rotura de la tubería, o de otras tuberías, estructuradas, sistemas o componentes necesarios para la seguridad.

Respecto a sistema de purgas de GV, su relación con la seguridad consiste únicamente en su influencia sobre las dosis recibidas por el público en general en el entorno de la central; es uno de los puntos fundamentales de generación y emisión de efluentes radiactivos.

Con relación al programa de pruebas preoperacionales para los diferentes sistemas que componen el circuito secundario, deberá seguirse la G. R 1.68 “ Programa de Pruebas Iniciales para Plantas Nucleares”.

## **5. FIGURAS**

- Figura 8.1- Circuito secundario de un PWR. Disposición general
- Figura 8.2- Diagrama simplificado. Circuito secundario
- Figura 8.3.a- Sistema de Vapor Principal
- Figura 8.3.b- Sistema de Vapor Principal
- Figura 8.4- Sistema de Agua de Alimentación Principal
- Figura 8.5- Sistema de Agua de Circulación ( Vandellós II)

## **6. RELACIÓN CON OTROS TEMAS DEL TEMARIO**

### Primer ejercicio

#### **B. FÍSICA Y TECNOLOGÍA NUCLEARES\* -7 11, 12**

#### **C. SEGURIDAD NUCLEAR \*-7 4, 5, 6, 11**

### Tercer ejercicio

#### **A. SEGURIDAD NUCLEAR \*-7 2, 7, 20, 22**

- Existen otros temas del temario que pueden estar relacionados con el Sistema secundario, se señalan únicamente aquellos que se consideran necesarios para la correcta comprensión del tema.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

1. Informe Final de Seguridad
2. Church, E.F, Steam Turbines. McGraw Hill Company, N.Y. 1950
3. Rueter, K.M., Ed Therma Hydraulic Principles and Applications to the PWR, Westinghouse Electric Corp, 1982.

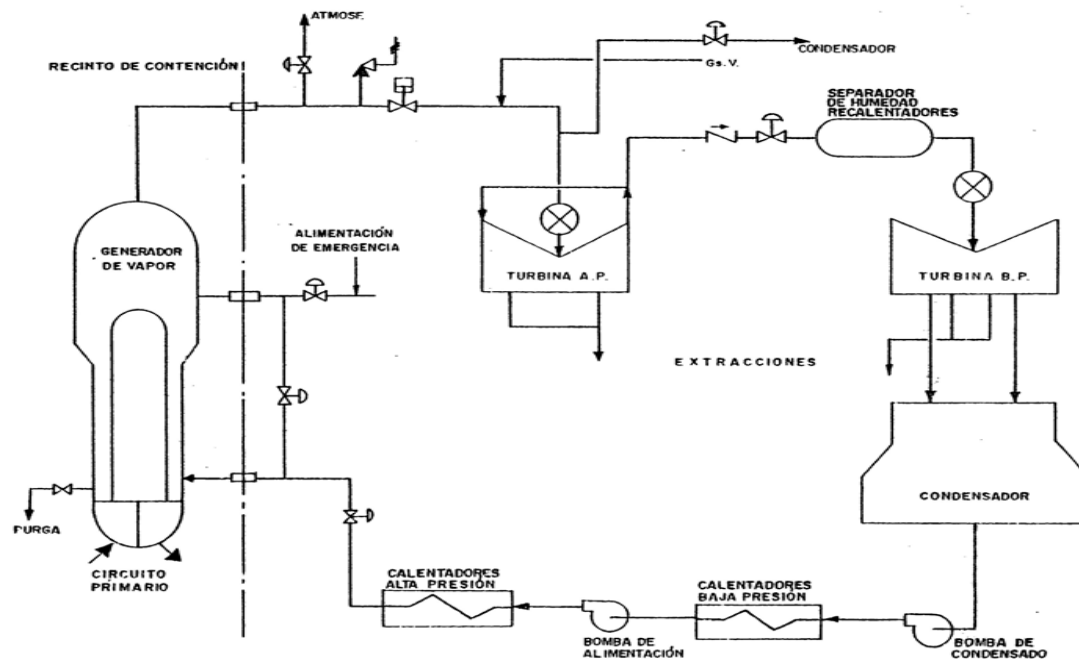


Figura 8.1- Circuito secundario de un PWR. Disposición general

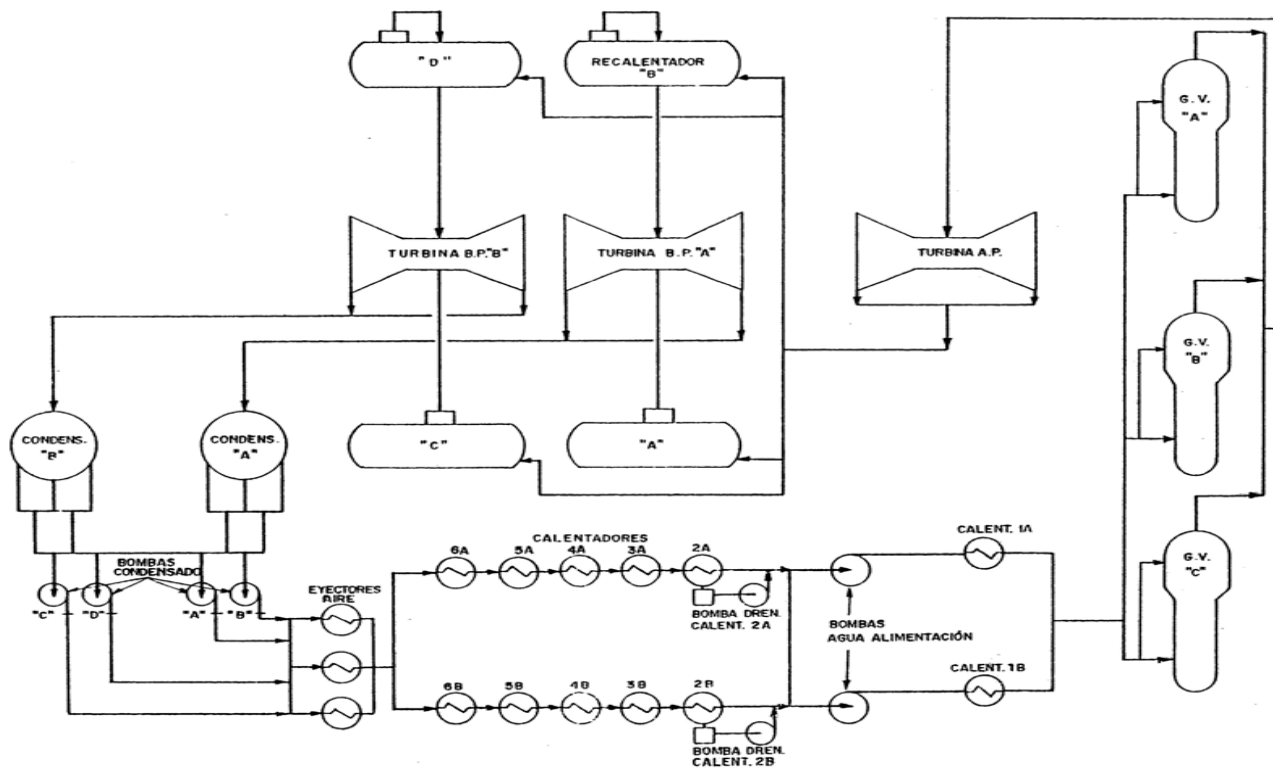


Figura 8.2- Diagrama simplificado. Circuito secundario

## SISTEMA DE VAPOR PRINCIPAL

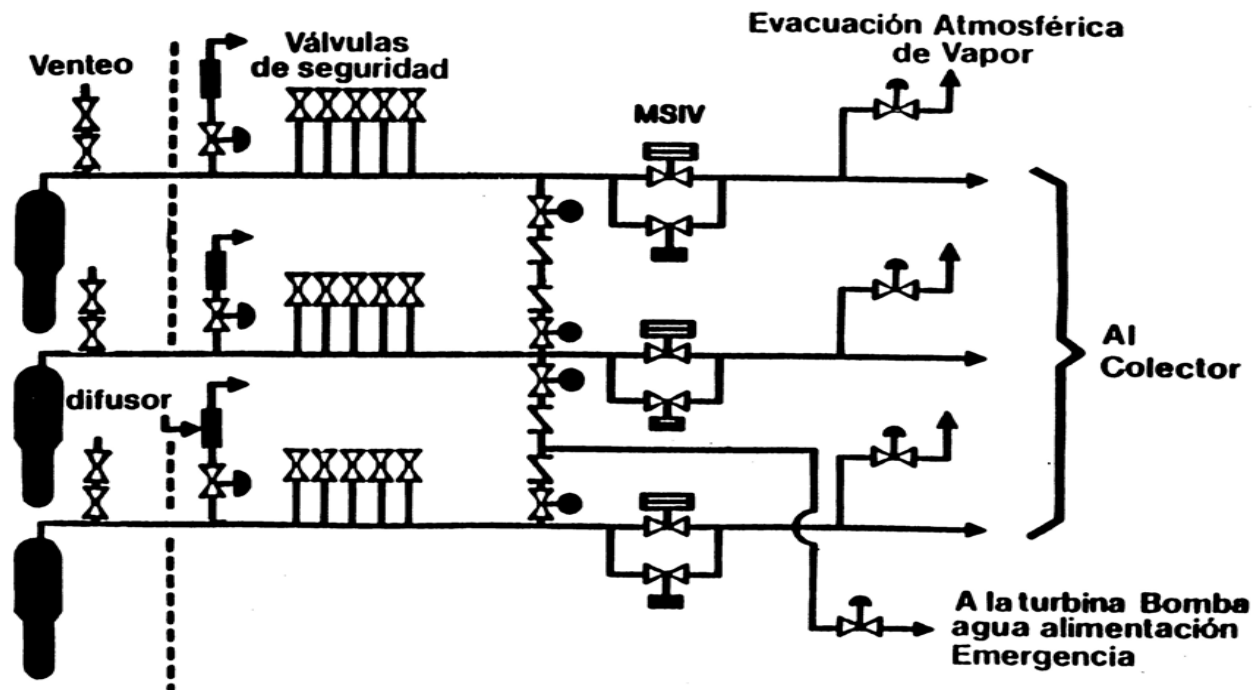


Figura 8.3.a- Sistema de Vapor Principal

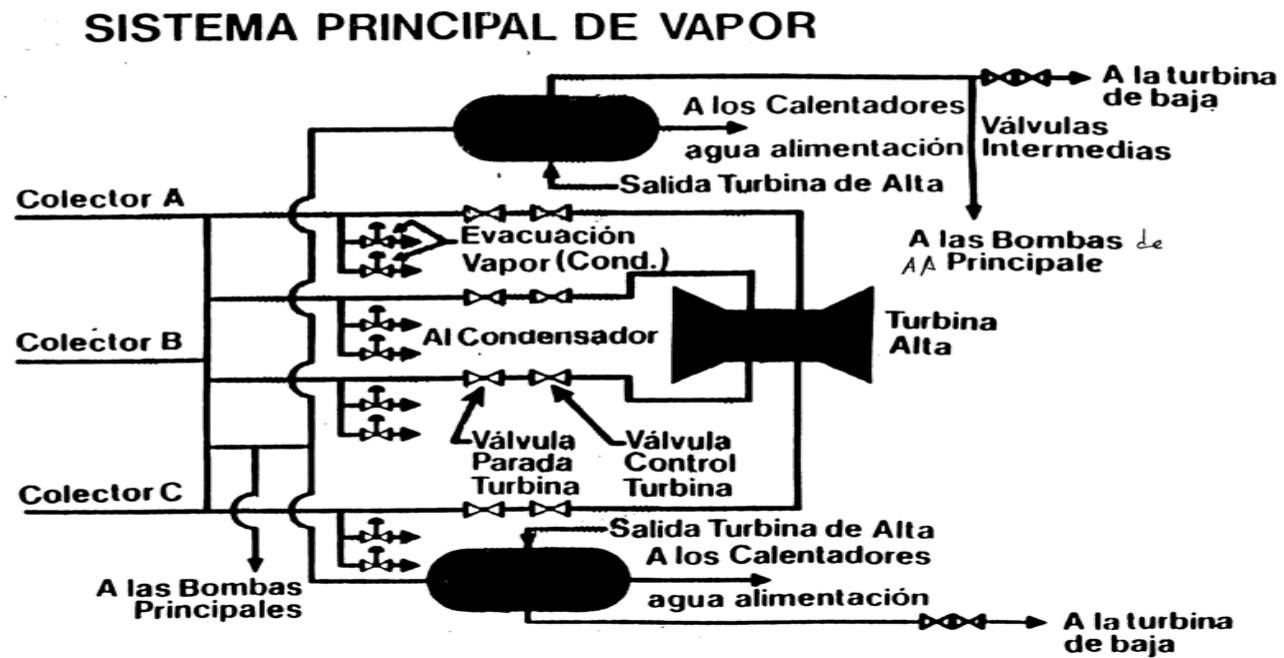


Figura 8.3.b- Sistema de vapor principal



## SISTEMA DE ALIMENTACION PRINCIPAL

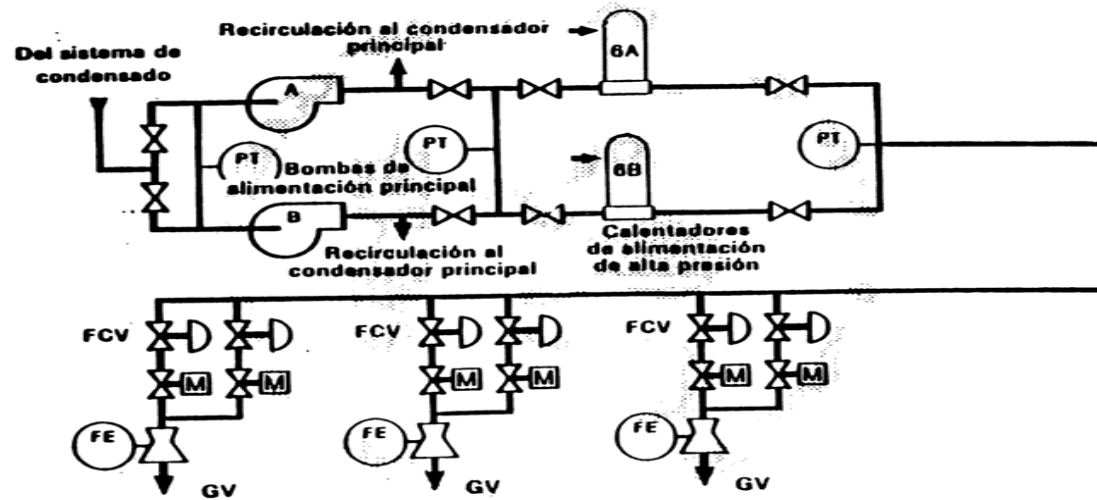


Figura 8.4- Sistema de Agua de Alimentación Principal

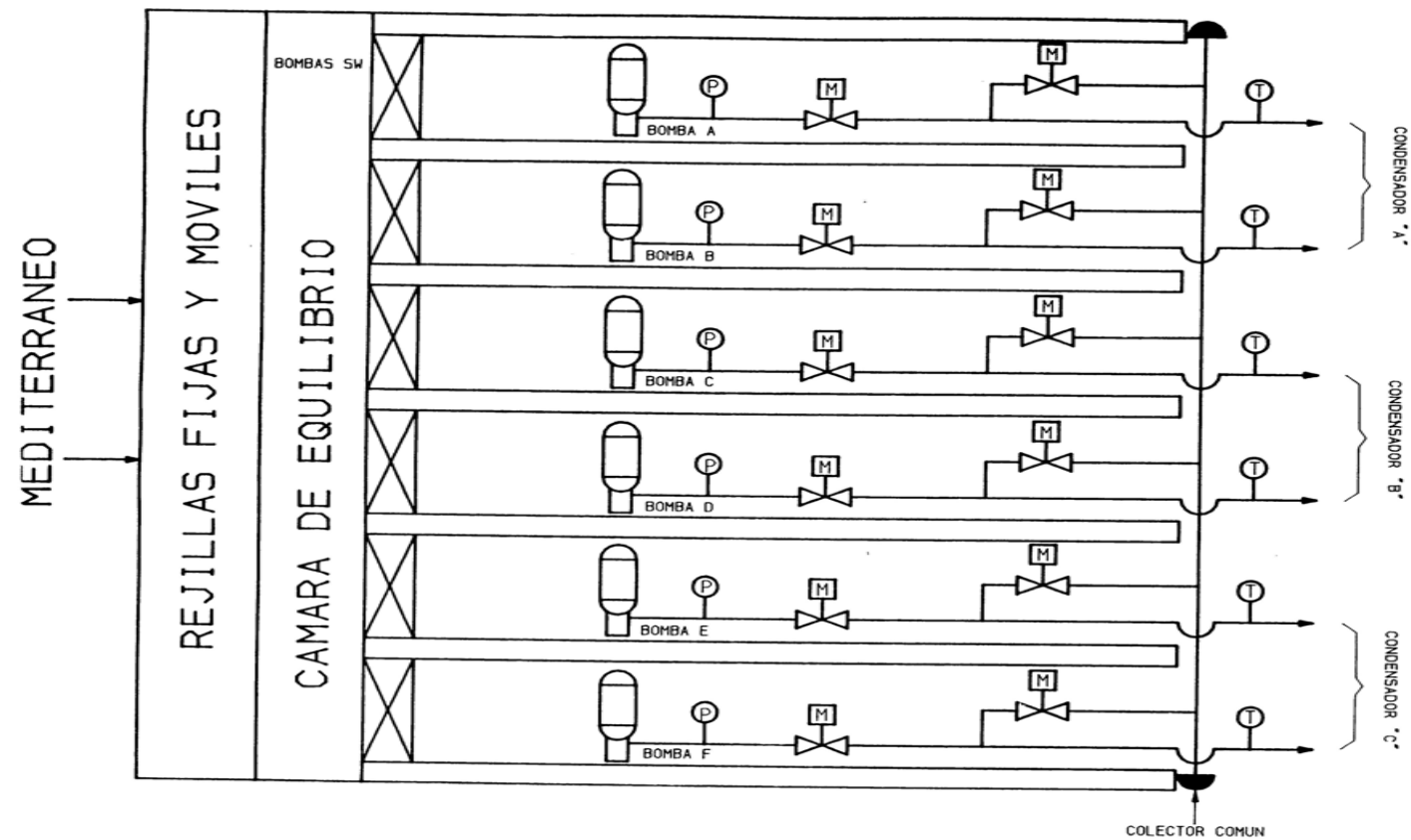


Figura 8.5- Sistema de Agua de Circulación ( Vandellós II)