

Tercer Ejercicio. Seguridad Nuclear

Tema 3.A.13

**Sistemas de ventilación normal y de salvaguardias en centrales nucleares.
Sistemas de aire de instrumentos y de aire esencial en centrales nucleares.**

ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO Y RELACIÓN CON OTROS TEMAS
2. SISTEMAS DE VENTILACIÓN NORMAL Y DE SALVAGUARDIAS EN CENTRALES NUCLEARES
 - 2.1. Funciones y requisitos
 - 2.2. Criterios de diseño
 - 2.3. Descripción de los sistemas de ventilación de seguridad
 - 2.4. Equipos y componentes
 - 2.5. Normativa aplicable
3. SISTEMAS DE AIRE DE INSTRUMENTOS Y DE AIRE COMPRIMIDO ESENCIAL EN CENTRALES NUCLEARES
 - 3.1. Aire de instrumentos
 - 3.2. Aire comprimido esencial
4. BIBLIOGRAFÍA

1. RESUMEN EJECUTIVO Y RELACIÓN CON OTROS TEMAS

La primera parte de este tema está dedicada a los sistemas de ventilación en centrales nucleares. En ellos se incluyen aquellos sistemas que llevan a cabo funciones de ventilación, aire acondicionado (calefacción y enfriamiento) y filtración. Estos sistemas se denominan también HVAC, por sus siglas en inglés.

La segunda parte de este tema está dedicada al sistema de aire comprimido de una central nuclear. Dicho sistema está diseñado para producir y enviar aire de dos clases (aire de instrumentos y aire de servicios) a los distintos puntos de la planta que lo requieran. Este aire comprimido se utiliza para la actuación y control de instrumentos neumáticos, especialmente el accionamiento de válvulas (aire de instrumentos) y para herramientas, limpieza, etc. (aire de servicios).

Este tema se relaciona con los siguientes:

PRIMER EJERCICIO

Grupo B. Tema 11: Centrales nucleares de agua ligera tipo PWR.

Características, análisis de las mismas.

Grupo B. Tema 12: Centrales nucleares de agua ligera tipo BWR.

Características, análisis de las mismas.

2. SISTEMAS DE VENTILACIÓN NORMAL Y DE SALVAGUARDIAS EN CENTRALES NUCLEARES

2.1. Funciones y requisitos

Los sistemas de HVAC en las centrales nucleares tienen las siguientes funciones:

- a) Mantenimiento de las condiciones ambientales (presión, temperatura y humedad) adecuadas para los equipos y el personal.
- b) Control de efluentes radiactivos al exterior.
- c) Mantenimiento de la concentración de elementos radiactivos por debajo de los límites máximos admisibles, proporcionando la renovación de aire necesario.
- d) Habitabilidad de la Sala de Control en condiciones de emergencia.
- e) Controlar la concentración de H₂ en la atmósfera de los edificios.
- f) Apoyar al Sistema de Protección Contra Incendios (PCI).
- g) Dirigir el caudal de aire de las zonas más limpias a las potencialmente más contaminadas para protección del personal.

Con independencia del tipo de diseño básico de la central nuclear, el cumplimiento de los objetivos generales expuestos anteriormente lleva a establecer para los sistemas de HVAC los siguientes requisitos mínimos:

1. Evacuación controlada del aire extraído de los recintos con ambiente potencialmente contaminado mediante filtración de aerosoles y yodos

radiactivos.

2. Provisión de sistemas de purga y filtración para limitar la concentración de actividad en el aire de los recintos.
3. Mantenimiento de “zonas limpias” mediante escalonamiento de presiones entre recintos y adecuada situación de impulsiones y retornos.
4. Eliminación de carga térmica por recirculación y enfriamiento del aire en zonas contaminadas.
5. Extracciones independientes de gases nocivos (ej. salas de baterías).
6. Suministro de aire suficiente de ventilación a las áreas accesibles.
7. Provisión de los equipos adecuados para el mantenimiento de la temperatura y humedad en las áreas especificadas.
8. Consideración del tiempo de espera de gases nobles radiactivos de vida corta en relación con la exposición a la radiación de personas en el interior y exterior de la instalación. Para ello se establece un tiempo de residencia mínimo en los sistemas de filtración.

En todo caso, el establecimiento detallado de los requisitos de diseño, construcción, inspección y pruebas de los sistemas de HVAC se hace en base a la clasificación de calidad de los mismos, lo que supone una valoración de su función en relación con la seguridad.

Los objetivos a lograr por el sistema de HVAC indicados anteriormente son detallados a continuación:

- a) El sistema de HVAC ha de ser capaz de mantener las condiciones ambientales adecuadas para que los equipos mecánicos y eléctricos sean capaces de realizar sus funciones propias de seguridad. El mantenimiento de dichas condiciones ambientales se debe garantizar en condiciones normales, anormales y accidentes, y tanto tiempo como sean requeridos.

Con este fin, se han de prever para los equipos y componentes utilizados como salvaguardias tecnológicas (mitigación de accidentes), y los utilizados para la parada segura y la parada remota del reactor, los mismos sistemas de ventilación de seguridad redundantes, o bien cualificar los existentes para las condiciones ambientales anormales o de accidente.

También se incluirán impulsiones directas de aire fresco en contención en aquellas zonas donde se puedan alcanzar temperaturas superiores a 80 °C (penetraciones de vapor y agua de alimentación, estructuras soporte de la vasija del reactor), así como mantener las temperaturas mínimas de 15 °C en salas con depósitos o tuberías de agua borada con el fin de impedir la cristalización del ácido bórico.

- b) La limitación de los efluentes contaminantes hacia el exterior ha de mantenerse tanto durante la operación normal como durante los accidentes postulados:
 - Durante la operación normal se mantendrán los niveles de radiactividad de los efluentes tan bajos como sean razonablemente alcanzables de acuerdo con el criterio ALARA, el 10CFR50 Apéndice I y la normativa aplicable a cada caso.

- La emisión de partículas y gases radiactivos en condiciones de accidente de pérdida de refrigerante (LOCA) se realizará de acuerdo con los requisitos y bases de los cálculos radiológicos del emplazamiento según el 10CFR100.

Para la realización práctica de estos dos criterios se utilizan los siguientes métodos:

- (1) Filtración de los efluentes: mediante prefiltros y filtros HEPA para las partículas; y mediante filtros de carbón activo para los yodos radiactivos que son retenidos por adsorción.
 - (2) Dilución de los efluentes: con aire limpio, disminuyendo por tanto la concentración de agentes contaminantes.
 - (3) Dispersión de los efluentes: realizando la expulsión del aire al exterior a través de una chimenea con lo que se logra una liberación de los contaminantes por encima de los edificios colindantes y una difusión de los mismos debido a la velocidad del aire en el punto de descarga.
 - (4) Aislamiento de los efluentes: confinándolos en la zona donde está la fuente mediante válvulas de aislamiento herméticas, sitas en los conductos de ventilación.
 - (5) Adicionalmente, el área afectada o la envolvente de la misma se mantendrá en depresión respecto al exterior para evitar fugas incontroladas, filtrándose el pequeño caudal de aire necesario para mantener la presión negativa.
- c) Los aspectos más significativos de los sistemas de HVAC para Salas de Control con el fin de mantener su habitabilidad antes, durante y después de un accidente con:
- (1) Multiplicidad de tomas de aire exterior.
 - (2) Presurización a una presión positiva de $\approx 1/8$ in (3 mm) para impedir infiltraciones de aire incontroladas.
 - (3) Filtración del aire exterior mediante unidades de filtración que contengan filtros HEPA y de carbón activo. Como a pesar de la presurización la NRC prevé una filtración de 17 m³/h (10cfm) de aire exterior, puede ser necesaria la filtración de parte del aire recirculado.
 - (4) La habitabilidad de la Sala de control requiere un suficiente blindaje contra radiaciones γ y una construcción suficientemente estanca que posibilite el mantenimiento de la sobrepresión.
 - (5) Aislamiento de la Sala de Control mediante compuertas en los conductos de ventilación con excepción de la toma de aire exterior con menor actividad, a través de la cual se toma el caudal de aire necesario para mantener la sobrepresión.

En las centrales de diseño alemán (KWU) no se prevén las anteriores medidas ya que de acuerdo a los cálculos de dosis, no se sobrepasan los valores máximos permitidos en el exterior en caso de LOCA.

En las centrales de diseño americano, los niveles de radiación a los que se pueden exponer los operadores de Sala de Control tras un accidente han de estar de acuerdo al Apéndice a del 10 CFR50 que prevé una dosis menor

de 5 rem.

- d) El control de la concentración de H_2 en Salas de Baterías y en el Edificio de Contención se ha de realizar con el objetivo de mantener la misma por debajo de los valores en que existe riesgo de explosión.

Para ello, en dichas salas se prevé un caudal de extracción tal que asegure una concentración de $H_2 < 2 \%$, mientras que en contención hay que limitarla después de LOCA por debajo del 4 %. Estos objetivos se cumplen actuando en dos frentes:

- (1) Mediante sistemas de mezclado que homogeneizan la atmósfera de contención para lo que se utilizan dos tipos de sistemas:
 - Por efecto del sistema de spray en contención de centrales americanas.
 - Mediante un sistema independiente de recirculación que toma aire en las zonas donde presumiblemente se producen mayores concentraciones y lo proyecta a muy alta velocidad.
 - (2) Mediante sistemas de recombinación de H_2 que forman agua a través de recombinadores térmicos y catalíticos. En algunos casos un sistema de purga ayuda al anterior, renovando parte del aire que es expulsado al exterior a través de una unidad de filtración.
- e) El apoyo de los sistemas de HVAC al sistema de PCI está basado en los siguientes aspectos:
- (1) Control de la extensión del incendio mediante compuertas cortafuegos que impiden la propagación del fuego y humos a través de la red de conductos de ventilación.
 - (2) Extracción de humos para asegurar el acceso al lugar donde se haya producido el incendio, bien para controlarlo o para realizar una rápida evaluación de daños y tomar acciones sobre la marcha.
 - (3) Control de la dispersión de los humos para evitar el paso de los mismos y de los gases desde la zona donde se genera el incendio a otras. Especialmente se pretende evitar la infiltración de humos en escaleras y zonas definidas como rutas de escape del personal en caso de incendio, o de acceso del personal asignado a las patrullas contra incendios.
 - (4) Mantenimiento de la concentración del agente extintor en aquellas salas en que se utilicen sistemas de extinción de incendios por inundación, bien por CO_2 o Halón, a través del aislamiento del sistema de ventilación mediante compuertas suficientemente herméticas y resistentes a la presión.

2.2. Criterios de diseño

En los criterios para clasificar un sistema o componente de ventilación como relacionado con la seguridad se pueden distinguir unos generales y otros específicos:

- Criterios generales: en las plantas americanas se clasifican como relacionados con la seguridad las estructuras, sistemas o componentes requeridos:
 - (a) Como apoyo para mantener la integridad de la envolvente del edificio del reactor (clase 2).
 - (b) Como apoyo para asegurar la capacidad de parada del reactor y su mantenimiento en condiciones de parada segura (clase 3)
 - (c) Para mitigar las consecuencias de los accidentes que puedan implicar una emisión gaseosa radiactiva al exterior (clase 2 ó 3)
- Criterios específicos: según la norma ANSI/ANS-59.2-1985, son relacionados con la seguridad aquellos sistemas de ventilación situados fuera de contención y que cumplen las siguientes funciones en caso de accidente:
 - (a) Calefacción:
 - Mantenimiento de una temperatura mínima requerida por equipos de seguridad y como protección anticongelación.
 - Mantenimiento de una humedad relativa inferior al 70 % para filtros de carbón de sistemas de extracción de seguridad.
 - Mantenimiento de la habitabilidad durante y después de un accidente.
 - (b) Enfriamiento:
 - Mantenimiento de una temperatura máxima requerida por equipos de seguridad.
 - Mantenimiento de una humedad relativa inferior al 70 % para filtros de carbón de sistemas de extracción de seguridad para aquellos flujos de aire con alta temperatura de entrada.
 - Mantenimiento de la habitabilidad durante y después de un accidente.
 - (c) Ventilación:
 - Para aquellas zonas en las que se puedan acumular gases combustibles con riesgo de explosión. Ej. salas de baterías y salas de depósitos de combustible.
 - Mantenimiento de la habitabilidad en aquellas salas donde se puedan acumular gases tóxicos como cloro, humo o CO₂.

(d) Efluentes:

- Mantenimiento de las emisiones al exterior por debajo de las admisibles en caso de accidente.
- Idem en caso de fuego. Esta limitación de los efluentes se realizará mediante el aislamiento adecuado de las zonas afectadas y el venteo a través de lavadores de aire y filtros para alta temperatura.

Estas mismas funciones mencionadas anteriormente, efectuadas antes de que se requiera la operación del equipo de seguridad asociado, pueden ser realizadas por sistemas no relacionados con la seguridad, así como las siguientes:

- Control de las condiciones ambientales durante modos de operación normales y anormales.
- Apoyo a PCI siempre y cuando no se postule fuego simultáneo con accidente.

Para los sistemas no relacionados con la seguridad nuclear, los criterios de diseño mínimos exigidos son:

(1) Fiabilidad

- Para ello se dispondrá de los suficientes equipos de reserva. Ej. Pozo seco y contención (4 de 6)
- Los equipos han de estar fraccionados en cuanto a la potencia que suministran. Ej. 2 x 50 % mejor que 1 del 100 %
- Calidad de los componentes e instrumentos mediante la utilización de fabricantes homologados y dando una importancia secundaria al coste.
- Sencillez del sistema y controles de forma que se obtenga una mayor fiabilidad cuanto menor sea el número de componentes.
- Prioridad de la fiabilidad frente al ahorro energético.
- Mayor control sobre componentes que más fallan como son finales de carrera, interruptores, relés, monitores de radiación, etc.

(2) En los equipos de construcción industrial pesada se recurrirá a fabricantes de equipos específicos para uso industrial y a equipos hechos a medida como pueden ser fan-coils, unidades de filtración y calentadores eléctricos. Se ha de realizar una evaluación de los espesores correctos de chapautilizados en conductos y fan-coils y la construcción será generalmente soldada.

(3) La vida de diseño será de 40 años por lo que habrá que realizar previsiones de mantenimiento en cojinetes (vida media de 100.000 horas), motores (vida media de 60.000 horas), correas (factor de servicio de 1,5) y actuadores (para de diseño = 1,5 para requerido). Los mantenimientos más frecuentes serán cambio de juntas de estanqueidad, revisiones periódicas de vibraciones, tensión de las correas y engrase. En los grupos frigoríficos se realizará un contrato de mantenimiento. Asimismo se realizarán previsiones en el diseño para permitir la realización de las pruebas periódicas de las unidades de filtración como son la comprobación de la estanqueidad de la envolvente, estanqueidad de filtros HEPA y penetración

de filtros de carbón.

(4) Control de calidad de los equipos y componentes mediante la certificación de materiales, el programa de puntos de inspección (PPI), control de soldaduras (AWS D1.1 o ASME XI), inspección dimensional y de acabado, realización de pruebas procedimentadas (las más habituales son las de obtención de la curva caudal-presión de ventiladores según AMCA 210; pruebas de ruido según AMCA 300 y pruebas de equilibrado de rodets).

(5) El diseño ha de ser lo suficientemente conservador como para tener en cuenta las posibles incertidumbres surgidas de los cambios de necesidad a lo largo del proyecto. Para ello los cálculos de carga térmica tendrán en cuenta factores como la simultaneidad de cargas, factor de uso, aislamiento, temperaturas de operación, transmisiones máximas y factores de seguridad; los cálculos de pérdida de carga han de tener en cuenta el fenómeno de la recuperación estática.

Los motores se calcularán con un margen de potencia del 10 % para tener en cuenta posibles aumentos de caudal y presión, equivalente al 33 % en potencia para ventiladores con transmisión por correas.

En los filtros se diferenciará entre la eficiencia especificada (99 %) y reconocida (95 %) para filtros HEPA y de carbón.

(6) Se tendrán en cuenta las condiciones ambientales (temperatura, humedad presión, radiación) en las que va a trabajar el equipo, tanto en el diseño como en la localización de los mismos. En la especificación de equipos de ventilación se incluirán las condiciones en las que éstos han de operar con el fin de prevenir impactos negativos sobre el aislamiento de los motores, materiales de juntas, grasas, pinturas e instrumentos. Como criterio general, los equipos se localizarán fuera de las zonas más adversas siempre que sea posible.

(7) El diseño ha de tener en cuenta la posibilidad de descontaminar los equipos por lo que se preverán drenajes en las unidades de filtración y se utilizarán pinturas y materiales de fácil descontaminación. Deberá existir facilidad de limpieza de quipos y conductos contaminados con el fin de eliminar la posible radiactividad transportada por el aire en forma de gases y polvo.

(8) Los criterios sísmicos serán aplicables al mantenimiento de la integridad estructural con el objetivo de proteger los equipos de seguridad localizados en el área. Para el cálculo de los esfuerzos admisibles se tendrán en cuenta los límites elásticos y de rotura de tal manera que las deformaciones permanentes del equipo no produzcan su pérdida de estanqueidad. De igual forma, el soportado se calculará de forma que no pueda afectar a equipos de seguridad situados en las proximidades.

(9) Para tener en cuenta la accesibilidad para mantenimiento la localización del equipo será en zonas de ambiente lo más suave posible. El acceso hasta el equipo puede ser mediante escalera y/o plataformas; el acceso al interior del equipo se puede realizar a través de puertas y/o paneles desmontables.

(10) Se analizará en el diseño las consecuencias de una pérdida de energía

exterior para conocer qué tipo de suministro eléctrico habrá que aportar. Para ello se estudiará la operabilidad del equipo en condiciones normales y anormales y las consecuencias que se producirían si un sistema no puede operar en LOOP.

- (11) El diseño tendrá en cuenta las previsiones para pruebas: en las unidades de filtración se contará con puntos de inyección y muestreo para pruebas periódicas; en los conductos se incluirán puntos para medición de caudal y presión.

Para los sistemas relacionados con la seguridad, los criterios a tener en cuenta en el diseño son todos los anteriores más los siguientes:

(1) Cualificación ambiental:

- Condiciones ambientales aplicables: las normales, anormales y de accidente. Estas últimas incluyen rotura de tubería en sala adyacente y accidente con pérdida de refrigerante.
- Los componentes a cualificar son sobre todo los equipos eléctricos clase 1E según la IEEE-323 (1974) y los actuadores según la IEEE-382 (1980). Otros componentes son grasas, correas, juntas de estanqueidad.
- La secuencia de operaciones a efectuar se incluye en el NUREG-588:
 - Inspección previa
 - Operación en condiciones ambientales normales y anormales
 - Envejecimiento: térmico mediante estufas; radiación; ciclos de operación con arranques y paradas.
 - Prueba sísmica según la IEEE-344
 - Operación en condiciones de accidente y post-accidente
 - Desmontaje e inspección
- Todo el proceso de cualificación queda finalmente plasmado en el certificado de materiales en el que se indican las temperaturas, humedad y resistencia a la radiación.

(2) Fallo único. Redundancia. Modos de fallo.

- En el diseño de los sistemas de HVAC de seguridad se postula el fallo único de componente activo de seguridad y no se puede contar con equipos o componentes no relacionados con la seguridad. Para los componentes pasivos no se postula el fallo pero se requiere la protección anti- proyectiles.
- Las compuertas, tanto neumáticas como motorizadas o cortafuegos (manuales) se diseñarán teniendo en cuenta sus modos de fallo característicos.
- Las alimentaciones de agua de refrigeración, eléctricas y aire comprimido esencial han de ser redundantes.
- Se analizan los fallos de modo común.

- (3) Se diseñan los sistemas de HVAC de seguridad con la separación adecuada entre trenes redundantes con el fin de que la distancia sirva como protección contra proyectiles, fuego, inundación y explosión. La separación se aplicará tanto a

los equipos como a las alimentaciones de agua, eléctricas y aire comprimido esencial.

- (4) Se aplicarán los criterios sísmicos al diseño de los equipos de clase sísmica I: mantener su función durante y después de un SSE (terremoto de parada segura) y un OBE (terremoto base de operación).
- (5) Las cargas a tener en cuenta en el diseño son: peso, presión, dilatación térmica, cargas sísmicas y dinámicas, así como la combinación de las mismas.
- (6) Se aplicarán programas de garantía de calidad tanto al diseño, materiales, fabricación, pruebas. El fabricante ha de aportar con el equipo un manual de garantía de calidad del equipo. Todo lo anterior queda recogido en el dossier de calidad.
- (7) Se proveerá a los equipos de seguridad de suministro eléctrico en caso de LOOP y LOCA. Se incluirán las cargas de ventilación en las secuencias de los generadores diesel.

2.3. Descripción de sistemas de ventilación de seguridad

Para cumplir los objetivos y funciones de seguridad definidos en los apartados anteriores, los sistemas de HVAC de una central nuclear son los siguientes:

SISTEMAS DE CONTENCIÓN: son sistemas CLASE 2. En los reactores PWR viene definidos en la norma ANSI/ANS-56.6; para los BWR la norma aplicable es la ANSI/ANS-56.7 Apéndice B

PWR

- a) Sistema de enfriamiento de la contención: su función es el control y seguimiento de la temperatura máxima, con control y seguimiento indirecto de la presión máxima. Forma parte de los sistemas que mantienen la integridad de la contención (salvaguardias tecnológicas). Se encuentra en las plantas estándar de Westinghouse (por ejemplo, en CN Almaraz).
- b) Penetraciones y válvulas de los sistemas de purga de contención: forma también parte de los sistemas que mantienen la integridad de la contención al ser frontera de presión con sus válvulas. Su función principal es el aislamiento para evitar dosis al exterior superiores a las requeridas por el 10 CFR100 (en caso de accidente).
- c) Sistemas de control de H₂ post-accidente: compuesto principalmente por recombinadores de H₂. También puede efectuarse una purga controlada de H₂ haciendo pasar el aire por filtros de alta eficacia (HEPA). Sin embargo, esta última no es una función a la que se dé crédito en el análisis de accidentes; por ello, el sistema de purga de hidrógeno no es un sistema relacionado con la seguridad.

BWR

- a) Sistema de recirculación y presión negativa del anillo: su función es el mezclado de la atmósfera de la contención secundaria así como el mantenimiento de la depresión en la misma.
- b) Penetraciones y válvulas de los sistemas de purga de la contención: idem a los de los PWR.
- c) Sistemas de control de H₂ post-accidente: idem a los de los PWR.
- d) Sistema de reserva de tratamiento de gases: su función es garantizar que los materiales radiactivos que fugan de la contención primaria a la contención secundaria después de un accidente base de diseño sean filtrados y adsorbidos antes de su descarga al exterior. Para evitar las fugas desde la contención secundaria al exterior, el sistema es capaz de conseguir y mantener una depresión en la contención secundaria.

SISTEMAS EXTERNOS A LA CONTENCIÓN: se trata de sistemas de CLASE 3 y son comunes a los dos tipos de centrales.

- a) Sistemas de control radiológico de efluentes: controlan la dosis al exterior de acuerdo al 10CFR50 Ap. I y 10CFR100.
- b) Sistemas de calefacción o enfriamiento de compartimentos con equipos de seguridad: mantiene las temperaturas dentro del rango admisible por los equipos. Ej: salas de bombas de los ECCS.
- c) Sistema de ventilación del edificio de combustible gastado: se trata de un sistema de ventilación de salvaguardia al que se da crédito en el accidente de manejo de combustible del análisis de seguridad de las centrales (en el caso de las centrales BWR esta función de seguridad la lleva a cabo el sistema de reserva de tratamiento de gases).
- d) Sala de Control: es el sistema encargado de mantener la habitabilidad desde el punto de vista radiológico y de confort de los operadores, todo ello compatible con las exigencias de la instrumentación que contiene la sala. Las variables controladas son temperatura, ventilación, presión, concentración de elementos radiactivos en el aire, elementos tóxicos, fuego externo (queda excluido el fuego interno salvo en el caso de C.N. Trillo).
- e) Salas de baterías relacionadas con la seguridad: el sistema de HVAC en estas salas es el encargado de mantener la temperatura entre 75-80 °F (23,8-26,6 °C). También mantiene la concentración de H₂ por debajo del 2 % mediante la extracción y el mezclado de la atmósfera. La normativa aplicable para requisitos ambientales y de producción de H₂ es la IEEE-484.
- f) Salas de generadores diesel de emergencia: su función es mantener la temperatura ambiente en el rango admisible para los equipos mecánicos,

instrumentación y cuadros y mandos de control.

- g) Salas de cables: el sistema de HVAC realiza el aislamiento automático de la sala si el sistema de PCI es por gas. Asimismo se encarga de la extracción de humos y venteo independiente para evitar la contaminación con gases tóxicos. Además, mantiene la temperatura máxima en el caso de que la pérdida de ventilación produzca una temperatura de equilibrio superior a la admisible por los cables.
- h) Panel de parada remota: el sistema de ventilación es el encargado de mantener la temperatura dentro del rango admisible.
- i) Sistemas de agua enfriada esencial: proporcionan agua subenfriada a equipos de ventilación esenciales para mantenimiento de temperatura ambiente. Asimismo el agua subenfriada actúa en circuitos intermedios de freón.
- j) Salas de equipos de ventilación relacionados con la seguridad nuclear: en ellas se mantendrá la temperatura ambiente, así como la ventilación de los circuitos de freón.
- k) Salas de interruptores relacionados con la seguridad: la ventilación en estas salas ha de mantener la temperatura máxima admisible por los equipos en relación con la cualificación ambiental y de temperatura de diseño.
- l) Áreas post-accidente: los sistemas de HVAC, además de proporcionar ventilación adecuada y de mantener un rango de temperaturas, se dedicarán al muestreo de las áreas para detección de radiación.

2.4. Equipos y componentes

Los componentes más importantes de ventilación son:

- | | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------|
| (1) Ventiladores | (5) Climatizadores | (9) Compuertas |
| (2) Serpentes | (6) Separadores de gotas | (10) Conductos |
| (3) Filtros
Filtración | (7) Calentadores eléctricos | (11) Unidades de |
| (4) Humectadores | (8) Silenciadores | |

- (1) Ventiladores: el ventilador se define como una máquina capaz de producir la circulación del aire en un sistema gracias a la diferencia de presión creada por la alteración que en el vector velocidad de aire introduce un elemento giratorio llamado rodete (impulsor). La conversión de energía mecánica que tiene lugar en el rodete define fundamentalmente las características de funcionamiento de cada tipo de ventilador. Los ventiladores son clasificados generalmente atendiendo a la dirección del flujo de aire a través del elemento impulsor:

- a) Centrífugos: el aire entra en dirección paralela al eje y sale en dirección

perpendicular al mismo. Pueden ser radiales o mixtos.

- b) Axiales: El movimiento del aire se realiza según una dirección paralela al eje de giro. Pueden ser de baja, media y alta presión.

Baja presión → $\Delta P < 10 \text{ mbar}$

Media presión → $10 \text{ mbar} < \Delta P < 30 \text{ mbar}$

Alta presión → $30 \text{ mbar} < \Delta P < 100 \text{ mbar}$

Los parámetros característicos del ventilador se reflejan en sus curvas características que relacionan el caudal (Q) de aire suministrado con el incremento de presión (ΔP) comunicado al mismo, para distintas velocidades de giro del rodete o diferente ángulo de pala (ventiladores axiales). Además de las curvas características, los fabricantes representan las curvas de rendimiento, potencia absorbida y nivel de potencia sonora. En cuanto a las aplicaciones de estos equipos a CCNN tenemos las siguientes:

- Ventiladores axiales: por ser componentes que proporcionan movimiento de grandes volúmenes de aire con ΔP total poco importante, se utilizan en redes de conductos simples, sistemas de ventilación para aire exterior, etc.
- Ventiladores centrífugos: presentan un amplio intervalo de utilización en cuanto a caudales y presiones de trabajo. Se utilizan en redes de conductos complejos y formando parte de equipos compactos de acondicionamiento de aire (unidades climatizadoras).

- (2) Serpentines: son intercambiadores de calor destinados a modificar las condiciones termohigrométricas del aire. Normalmente están contruidos por un tubo aleteado en el que el aire circula forzadamente por el exterior del mismo y el medio de intercambio térmico (agua, vapor, fluido refrigerante) por el interior. Para la elección del tipo a utilizar deben considerarse los siguientes factores: función, capacidad, disponibilidad de fluidos a utilizar, temperatura de entrada y salida. Se clasifican en:

- Según el servicio previsto:
 - De calefacción
 - De enfriamiento (con o sin deshumidificador)
- Según el medio de transferencia de calor:
 - De agua (fría o caliente)
 - De vapor
 - De expansión directa con fluidos refrigerantes como el freón que actualmente está siendo sustituido por otros refrigerantes no contaminantes.
 - Otros refrigerantes como el glicol.

- (3) Filtros: son dispositivos que permiten la limpieza del aire recirculado en las instalaciones de ventilación fijando en un medio filtrante por diversos mecanismos (impacto, estrechamiento, efecto electrostático, etc.) las

materias contaminantes que pueden ser polvo atmosférico, aerosoles radiactivos, iodo radiactivo. Pueden ser de los siguientes tipos:

- De medio filtrante fibroso (filtros viscosos, secos y de muy alta eficiencia)
- De medio filtrante renovable tipo resinas
- Filtros electrónicos
- Filtros de carbón activo

(4) Humectadores: son componentes destinados a incrementar el contenido de vapor de agua en el aire. Pueden ser de vapor o de agua y normalmente forman parte de las unidades climatizadoras.

(5) Climatizadores: son unidades de enfriamiento/calentamiento que incluyen una combinación de los siguientes componentes:

- Filtros: enrollables, secos de baja eficiencia o secos de eficiencia media
- Serpentin de calentamiento: por agua caliente, por vapor o eléctrico (resistencias)
- Serpentin de enfriamiento: por agua fría o por expansión directa.
- Ventilador: centrífugo o axial

(6) Separadores de gotas: tienen la función de depositar sobre una superficie de contacto las gotas que, de diversa procedencia (procesos químicos, humectadores, condensación, etc.), pueda arrastrar el aire circulante. En una C.N. tienen la misión de proteger los filtros HEPA y de carbón activo del taponamiento debido al depósito de las gotas de agua. Los hay de diversos tipos: de chapa delgada, de fibras especiales o de chapas perforadas.

(7) Calentadores eléctricos: es un intercambiador de calor que se utiliza para calentar el flujo de aire mediante al energía calorífica disipada por efecto Joule por una corriente eléctrica al atravesar un conducto arrollado en espiral.. Según el elemento térmico utilizado pueden ser de hilo descubierto o de tubo aleteado en el que el hilo va alojado en un tubo metálico.

(8) Silenciadores: son componentes destinados a atenuar el nivel sonoro de una fuente de ruido que en las instalaciones de HVAC pueden ser los compresores y los ventiladores. Se basan en la capacidad de diversos materiales (fibras de vidrio, lana de roca) para absorber las ondas sonoras. Pueden ser de tipo circular (acoplado a ventiladores) y rectangulares (en conductos).

(9) Compuertas: controlan caudal, presión o dirección del flujo de aire en un sistema de ventilación. Según la función se clasifican en: de regulación, de cierre, de aislamiento, antirretorno, de alivio, de protección contra sobrepresiones y cortafuego.

(10) Conductos: en los sistemas de HVAC se mueven grandes masas de aire a baja presión por lo que los conductos utilizados son rectangulares. Los tipos de conductos se clasifican según la construcción y la utilización que se les dé.

- SMACNA baja velocidad y baja presión: utilizados en zonas administrativas, oficinas y áreas de no seguridad nuclear en las que la presión estática no exceda ± 5 cmca, y/o 13 m/s de velocidad. Las fugas de aire no deben exceder del 5 % del caudal en circulación.
- SMACNA alta velocidad y media presión positiva: utilizados en sistemas de impulsión a todas las áreas y de extracción de áreas de baja radiactividad en que la presión estática no exceda 15 cmca con respecto al exterior. Las fugas no deben exceder del 1 % del caudal en circulación.
- SMACNA alta velocidad y alta presión positiva: utilizados en sistemas de impulsión a todas las áreas y de extracción de áreas de baja radiactividad en que la presión estática interna no exceda 25 cmca con respecto al exterior. Las fugas no deben exceder del 1 % del caudal en circulación.
- SPECIAL SMACNA alta velocidad y alta presión: utilizado en zonas con moderado potencial radiactivo. Los conductos no deben llevar redondos internos como refuerzo. Las juntas de las bridas deben tener el ancho total de la brida. Las fugas no deben exceder el 0,2 % del volumen del conducto por minuto basado en una presión negativa de 5 cmca.
- SOLDADO: para salvaguardias técnicas como extracción de contención secundaria o conductos de la Sala de Control localizados fuera de la envolvente de ésta. Las fugas no deben exceder el 0,1 % del volumen del conducto por minuto, basado en una presión negativa de 5cmca.
- SOLDADO SIN FUGA: para conducción de gases que requieran control absoluto de dicho gas.

Además de los equipos y componentes anteriores, para el cumplimiento de sus funciones de seguridad, los sistemas de HVAC cuentan con numerosa instrumentación asociada. Dicha instrumentación posibilita la medición de las variables de proceso asociadas al funcionamiento de los sistemas de HVAC para, a través de los lazos de control adecuados, poder mantenerlas en sus valores especificados o, en el caso de rebasarse los límites admisibles, generar las señales de alarma pertinentes.

Los tipos de instrumentos básicos son termostatos (en conducto y ambientales), presostatos (ambientales o asociados a equipos como por ejemplo filtros), humidostatos, caudalímetros y medidores de revoluciones.

Los tipos de señal utilizadas pueden ser locales o remotas y tratadas mediante lazos de control lógicos o analógicos.

Las funciones de esta instrumentación pueden ser: mantenimiento del punto de consigna, aviso de valores límite, alarma, protecciones e indicaciones.

2.5 Normativa aplicable

La Instrucción del CSN IS-27, sobre criterios generales de diseño (CGD) en centrales nucleares, incluye varios criterios relativos a los sistemas de ventilación: CGD-19 (relacionado con la sala de control), CGD-41/42/43 (relacionados con el recinto de contención) y CGD-70 (relacionado con el almacenamiento y manejo de combustible y residuos radiactivos).

Para las pruebas periódicas de los sistemas de ventilación relacionados con la seguridad y de todos sus componentes importantes (excepto las unidades de filtración, que tienen un tratamiento específico), el CSN publicó en 2007 la Guía de Seguridad 1.16 ("Pruebas periódicas de los sistemas de ventilación y de aire acondicionado en centrales nucleares"). Esta Guía de Seguridad, que está inspirada en la norma ASME N-511 ("In-service testing of nuclear air treatment, heating, ventilating and air-conditioning systems"), no es de obligado cumplimiento para las centrales nucleares.

Dado que no existe una normativa específica española de detalle para los sistemas de ventilación de centrales nucleares, se usa normativa de los países de origen de la tecnología de las centrales nucleares (concretamente de EEUU y de Alemania).

Como se ha indicado anteriormente, la norma ANSI/ANS-59.2-1985 clasifica los sistemas relacionados con la seguridad de acuerdo con las funciones a cumplir en caso de accidente.

Para el caso más concreto de los sistemas de Clase 2 de reactores PWR y BWR, los sistemas de HVAC con los que éstos deben contar se encuentran en las normas ANSI/ANS-56.6 y ANSI/ANS-56.7 Apend. B respectivamente.

La calificación sísmica y ambiental se lleva a cabo siguiendo las IEEE-323 para calificación de componentes eléctricos, IEEE-382 para actuadores y IEEE-344 para calificación sísmica.

Las unidades de filtración de salvaguardias tecnológicas se diseñan, construyen y comprueban según la Guía Reguladora de la USNRC RG-1.52. Para las unidades de filtración de sistemas que no son salvaguardias tecnológicas se utiliza la Guía Reguladora de la USNRC RG-1.140.

Estas guías reguladoras referencian y endorsan las siguientes normas de ASME:

- ASME N509-1989, "Nuclear Power Plant Air-Cleaning Units and Components"
- ASME N510-1989, "Testing of Nuclear Air-Treatment Systems"
- ASME AG-1-1997, "Code on Nuclear Air and Gas Treatment"

Las prácticas de construcción están reseñadas en el cap. 4 del **Nuclear Air Cleaning Handbook**.

En el caso de las centrales nucleares de diseño alemán, la norma de referencia para los sistemas de ventilación, aire acondicionado y filtración es la KTA-3601, "Sistemas de ventilación en centrales nucleares".

En cuanto a normativa alemana se emplean la **DIN 1946** Sistemas de Ventilación, y las **VDI** y **VDMA** para ventiladores.

3.- SISTEMAS DE AIRE DE INSTRUMENTOS Y DE AIRE COMPRIMIDO ESENCIAL EN CENTRALES NUCLEARES

El sistema de aire comprimido está diseñado para enviar aire de dos clases (aire de instrumentos y aire de servicios) a los siguientes puntos de la planta: estructura de toma de agua de circulación y servicios esenciales; edificio de turbina; edificio de salvaguardia; edificio de contención; edificio de combustible; edificio auxiliar; edificio de tratamiento de purgas; edificio eléctrico; edificio de tratamiento de condensado; edificio de talleres calientes y descontaminación; edificio de acceso a zona controlada (CAF).

Dentro de estos edificios, se envía el aire donde sea requerido. La diferencia entre el aire de instrumentos y el de servicios, es que el primero pasa por unos secadores de aire, inmediatamente después de su salida de los calderines, y el segundo no.

El aire de instrumentos se usa para la actuación y control de instrumentos neumáticos, especialmente las válvulas de control.

El aire de servicios se usa para herramientas, limpieza, etc. Los códigos de diseño que se han seguido en estos sistemas son: ASTM, ANSI, NEMA, TEMA, ASME, ISA, NEC, y AWSA.

Tanto el aire de instrumentos como el aire de servicios en la CCNN españolas son sistemas no relacionados con la seguridad puesto que su actuación no es necesaria en caso de accidente. Tan solo en aquellas válvulas, compuertas o actuadores neumáticos en general, para los que el análisis de accidentes determina que es requerida su actuación, se dispondrá de acumuladores de aire que permitan realizar las funciones requeridas.

Únicamente la CN de Cofrentes cuenta con un diseño sísmico y de seguridad para el Aire comprimido esencial (sistema P54).

3.1 Aire de instrumentos

Bases de Diseño y Funciones de Seguridad

El sistema de aire de instrumentos está diseñado para suministrar aire para la actuación de las válvulas de control de los diferentes sistemas fluidos. En el caso de las CCNN españolas, excepto Cofrentes, éste sistema es considerado como no relacionado con la seguridad y no se diseña para condiciones de accidente. No obstante el sistema dispone de una serie de acumuladores aislados con sus correspondientes válvulas de retención, que en el caso de pérdida de aire de instrumentos son responsables de garantizar la actuación de las válvulas de los diferentes sistemas que tengan asignadas funciones de seguridad (excepto para aquellas válvulas neumáticas que por fallo del aire de instrumentos cumplen su función de seguridad yendo a su posición segura).

Los componentes clase nuclear de este sistema deben cumplir con los Criterios Generales de Diseño 1, 2, 4 y 5 de la Instrucción del CSN IS-27, y estar diseñados contra fenómenos naturales y posibles proyectiles, y con los criterios 54 y 57 de integridad del recinto de contención.

Los sistemas soporte necesarios para la operación del aire de instrumentos son los siguientes:

- Sistema de agua de enfriamiento del edificio de turbinas: suministra agua de refrigeración a los compresores (enfriadores, cilindros y culatas) del sistema de aire de instrumentos.
- Sistema de agua de servicios no esenciales: suministra agua de refrigeración de emergencia a los compresores.
- Sistema de centros de fuerza de 380V: suministra corriente alterna a los motores de los compresores del sistema.
- Sistema de centros de control de motores de 380V: suministra corriente alterna a los secadores de aire de instrumentos.
- Sistema de barras de corriente continua de 125V: suministra corriente continua a las válvulas neumáticas del sistema y a los circuitos de control de los motores de 380V.

El sistema de aire de instrumentos, según las Guías Reguladoras de la USNRC RG-1.26 y RG-1.29 es de no seguridad nuclear y no categoría sísmica, a excepción de los tanques acumuladores y tramos de tubería hasta las válvulas de retención que aíslan dichos tanques que deben de ser clase nuclear 3 y categoría sísmica 1, y las líneas que penetran en el recinto de contención, que son clase nuclear 2 y categoría sísmica 1.

Las señales de actuación de las válvulas de aislamiento del recinto de contención son clase 1E.

Características esenciales del sistema

Los tanques acumuladores del sistema asociados a válvulas neumáticas con función de seguridad asignada deben dimensionarse teniendo en cuenta el movimiento de la válvula a actuar que puede ser todo-nada o bien tratarse de válvulas de regulación. En este último caso, el consumo de aire es mayor. Asimismo deberá tenerse en cuenta el número de actuaciones requeridas de la válvula.

La Carta Genérica de la USNRC GL-88/14 *Instrument air supply system problems affecting safety-related equipment* puso de manifiesto una serie de problemas que afectaban a los sistemas de aire de instrumentos, algunos de ellos relacionados con la calidad del aire suministrado. Actualmente las características requeridas al aire de instrumentos son: temperatura máxima 60 °C; Punto de rocío < 2 °C (en instalaciones interiores); tamaño de partícula < 3 µm; contenido en aceite < 1 ppm.

En una instalación típica se dispone en operación normal de un compresor por unidad. En la planta de tratamiento de condensado puede disponerse de un compresor para suministro de aire a la misma.

En caso de fallo de suministro eléctrico, el sistema mantiene la presión en la red por la actuación de un compresores diésel de emergencia situado en zonas exteriores.

Cada compresor dispone de un calderín que sirve de punto de toma de presión para controlar el arranque, parada o carga parcial del compresor en función de la demanda del sistema.

A diferencia con el aire de servicios, el aire de instrumentos dispone de secadores de aire inmediatamente después de su salida de los calderines, interconectados entre sí, por lo que se consigue dar redundancia al servicio.

En caso de baja presión en el sistema, éste se alimenta del de aire de servicios que conecta con el aire de instrumentos antes de los secadores.

El sistema debe suministrar aire de instrumentos a las válvulas de accionamiento neumático y compuertas de ventilación con función de seguridad.

El suministro de aire a válvulas que deban realizar alguna actuación en el accidente queda garantizado con un acumulador neumático. El resto de válvulas con suministro de aire de instrumentos no necesitan acumulador al no requerirse actuación en el accidente y estar diseñadas para ir a su posición requerida en caso de fallo del aire de instrumentos.

Cada uno de los compresores del sistema general de aire de instrumentos aspira el aire del edificio de turbinas, donde están situados, y lo envía, después de comprimido en dos etapas con enfriador intermedio a un enfriador final. De este enfriador el aire pasa a un calderín de aire. Los enfriadores del compresor se refrigeran con el sistema de enfriamiento del edificio de turbina.

De cada colector sale una línea que va a un secador de aire y de aquí a los diferentes puntos de la planta establecidos.

En caso de pérdida de la energía eléctrica exterior, o pérdida total de corriente alterna, la presión en la red de aire se mantiene por la actuación del compresor diésel situado en exteriores. Estos compresores se arrancan y paran manualmente desde su panel local. La refrigeración de los generadores diésel se hace por aire a través de un circuito cerrado de refrigeración provisto de radiador. La unidad lleva acoplado un ventilador que impulsa el aire exterior hacia el interior de la carcasa de protección.

La presión mínima requerida en el sistema es del orden de 5,78 kg/cm².

Este no es un sistema de seguridad (excepto en el caso del sistema P54 de CN Cofrentes) y no se diseña para condiciones de accidente. En caso de pérdida de las alimentaciones eléctricas exteriores o pérdida total de corriente alterna, la presión en la red de aire de instrumentos puede ser restablecida mediante el arranque manual de dos compresores diésel. Salvo en el caso de que la pérdida de potencia exterior sea debida a un sismo, en cuyo caso no se garantiza el suministro de aire comprimido debido a que la instalación de compresores, colectores y valvulería no está diseñada para soportar terremotos.

Además, en la red de aire de instrumentos, también hay unos depósitos acumuladores aislados en los que se mantiene aire a presión para suministrarlo a aquellas válvulas que tengan funciones de seguridad tanto a la apertura como al cierre, en caso de fallo de aire en la red principal. Los depósitos acumuladores son clase nuclear 3 y de categoría sísmica I.

Los compresores, enfriadores, calderines de aire y secadores están diseñados como categoría sísmica II.

Los tramos entre las válvulas de aislamiento, incluidas las mismas, de las líneas de aire de instrumentos y aire de servicios que entran en el recinto de contención son clase de seguridad nuclear 2 y categoría sísmica I.

La línea de aire de instrumentos que entra en el recinto de contención lleva una válvula de aislamiento antes de la penetración en la pared. Esta válvula es neumática y cierra en la fase "B" de aislamiento del recinto de contención, cuando hay una señal de muy alta presión en el mismo. Esta válvula también puede cerrarse desde el panel de control principal. La presión en el recinto de contención es medida por unos biestables de presión que actúan sobre las válvulas. Después de la penetración hay una válvula de retención que actúa como barrera de aislamiento.

En la línea de aire de servicios que entra en el recinto de contención hay una válvula de aislamiento antes de la penetración en la pared y otra después (dentro del recinto de contención), accionadas manualmente y que normalmente están cerradas. Solo abren cuando se necesite aire para alguna herramienta neumática en dicho recinto.

Las válvulas de aislamiento descritas (de aire de instrumentos y de servicios)

también protegen contra cualquier salida al exterior de la atmósfera del recinto de contención, a través de las líneas de aire, en caso de accidente.

Pruebas e Inspecciones

Los equipos han sido probados en los talleres del fabricante. Las partes sometidas a presión han sido probadas de acuerdo con el código ASME Sección VIII, División I.

Asimismo se efectuarán pruebas una vez instalados en la planta.

El suministrador extenderá certificados de las pruebas y de los materiales constitutivos de los equipos.

Instrumentación y Control

El sistema lleva diferentes instrumentos (manómetros, termómetros, interruptores de presión, medidores de caudales, etc.) montados localmente y en los dos paneles (uno de los compresores y otro de los secadores) para vigilar el funcionamiento de los equipos.

En operación normal funcionan un compresor de aire de instrumentos y otro de servicios. El compresor de aire de instrumentos está equipado con control automático y manual de arranque y parada y control automático de capacidad. El compresor de aire de instrumentos de reserva arranca automáticamente mediante señal de baja presión en cualquiera de los calderines asociados a los compresores en servicio, cuando éstos no son capaces de mantener la presión requerida en las unidades que están alimentando.

Si con el compresor de reserva en marcha continuara descendiendo la presión, al alcanzar señal de baja presión en el colector de aire de instrumentos, antes del secador, se abre la válvula de control que lo interconecta con el colector de aire de servicios correspondiente. Finalmente, si la presión en la red de aire no ha podido ser restablecida, los compresores diesel se arrancarán manualmente restableciendo la presión en un plazo máximo de media hora.

Los compresores disparan automáticamente por cualquiera de las siguientes señales: mínima tensión en barras, alta temperatura del aire en el enfriador posterior, baja presión del aceite de lubricación, y bajo caudal del agua de refrigeración.

En los colectores generales de aire de instrumentos, a la entrada de los secadores, existe un medidor de caudal con indicador local, y un totalizador que registra localmente la producción total de aire del compresor. También se dispone de medidores de caudal con indicación local en las líneas de entrada de aire de instrumentos al edificio de contención.

Los secadores de aire son automáticos, de manera que mientras una de las torres de secado está en funcionamiento la otra está en regeneración. El cambio de una a otra lo realiza automáticamente un programador temporizador. Las torres de secado disparan por señal de baja presión en el secador. Las

resistencias de calentamiento se desconectan por señal de alta temperatura. A la salida de cada secador del sistema general hay un detector de humedad con alarma en el panel principal que permite vigilar que el aire obtenido está dentro del límite de humedad fijado.

3.2 Aire comprimido esencial

Bases de diseño y funciones de seguridad

El Sistema de Aire Comprimido Esencial de CN Cofrentes consta de dos compresores esenciales, dos trenes de secado de aire, filtros, y las tuberías, válvulas, accesorios, instrumentación y controles asociados.

El sistema proporciona aire comprimido seco y limpio para los siguientes servicios:

- Sellado de las penetraciones a la contención primaria de las líneas de agua de alimentación al reactor y de la línea de vapor para el Sistema de Refrigeración del Núcleo Aislado y Sistema de Extracción de Calor Residual, durante el período posterior al accidente de pérdida de refrigerante.
- Accionamiento de las válvulas neumáticas de control de presión del Sistema de Control de Fugas por Derivación de la Contención (E33) durante el período posterior al accidente de pérdida de refrigerante, de la válvula neumática de control de presión del depósito de agua del Sistema E33 y mantener la presión en el citado depósito.
- Llenado de los acumuladores de las válvulas de alivio/seguridad de las líneas de vapor principal, pertenecientes al Sistema de Despresurización Automática, y de los calderines de suministro de aire para las válvulas de alivio/seguridad asociadas al Sistema de Parada Remota, en el caso de que lo precisen, independientemente del estado de funcionamiento de la Central .
- Accionamiento de las válvulas neumáticas de aislamiento del Sistema de Aire Acondicionado de la Sala de Control, después del accidente de pérdida de refrigerante.
- Accionamiento de las válvulas neumáticas del Sistema de Reserva de Tratamiento de Gases durante la actuación del mismo.
- Accionamiento de las válvulas rompedoras de vacío de la contención y Pozo Seco del Sistema de Mezclado de la Atmósfera de la Contención/Pozo Seco.
- Accionamiento de las válvulas de suministro de agua a las unidades enfriadoras de las salas de las unidades enfriadoras de Sistema de Agua Enfriada Esencial.

Características esenciales del sistema

El sistema está dividido en dos subsistemas idénticos redundantes, asignados respectivamente a las Divisiones I y II. Cada subsistema está diseñado con la suficiente capacidad para que en caso de fallo de uno de ellos el restante realice las funciones para las que ha sido diseñado.

El Sistema de Aire Comprimido Esencial cuenta con dos compresores, que se utilizan para reponer las fugas existentes en el sistema, cuando los compresores del Sistema de Aire Comprimido de Apoyo no sean capaces de mantener la

presión requerida. El Sistema de Aire Comprimido de Apoyo consta de dos compresores, con refrigerador intermedio y final incorporados.

Se clasifica como Clase de Seguridad 2, Grupo de Calidad B y Categoría Sísmica I.

Independientemente de los sistemas a los cuales alimenta, el Sistema de Aire Comprimido Esencial está ligado en su funcionamiento con el Sistema de Agua de Servicio Esencial, el cual refrigera a los compresores en caso de accidente de pérdida de refrigerante. Los compresores son refrigerados por el Sistema de Agua de Servicio de la Central en caso de funcionamiento normal de la misma.

En funcionamiento normal de la Central es el Sistema de Aire Comprimido de Apoyo el que mantiene la presión de los calderines. Los compresores esenciales arrancan o paran mandados por los presostatos de los calderines para reponer posibles pérdidas del sistema cuando el Sistema de Aire Comprimido de Apoyo no sea capaz de mantener la presión requerida.

Los compresores del Sistema de Aire Comprimido Esencial se utilizan, por tanto, para reponer las fugas existentes en el sistema durante el funcionamiento normal de la Central.

En caso de pérdida de energía eléctrica exterior los compresores esenciales arrancan o paran mandados por los presostatos de los calderines para reponer posibles pérdidas del sistema. La alimentación eléctrica proviene de las tomas de salvaguardia respectivas. Los compresores del Sistema de Aire Comprimido de Apoyo no tienen posibilidad de funcionar ya que la alimentación proviene de barras normales.

En caso de Accidente de pérdida de refrigerante o actuación del Sistema de Reserva de Tratamiento de Gases (SGTS), los compresores esenciales funcionan igual que en el caso de funcionamiento normal de la Central, recibiendo la alimentación eléctrica de las barras de salvaguardia. Los compresores del Sistema de Aire Comprimido de Apoyo tienen posibilidad de funcionar en caso de Accidente de Pérdida de Refrigerante o actuación del SGTS no coincidentes con pérdida de tensión exterior.

El funcionamiento del Sistema de Aire Comprimido Esencial se requiere para prevenir o mitigar las consecuencias de accidentes limitando la liberación de actividad y por tanto las dosis en el exterior a valores por debajo de los indicados en el 10 CFR 50.67, y para mantener la Sala de Control a presión positiva en caso de accidente de pérdida de refrigerante, suministrando aire a las válvulas de aislamiento de la Sala de Control. Por tanto el sistema está clasificado como Clase de Seguridad 2, Grupo de Calidad B, y Categoría Sísmica I.

El sistema está diseñado para resistir un fallo único activo o pasivo, sin que ello implique pérdida en la capacidad de realizar las funciones para las que ha sido diseñado.

El sistema está dividido en dos subsistemas, asignados respectivamente a las Divisiones I y II, separados físicamente y protegidos para que un suceso exterior al sistema no incida a la vez sobre ambos, de forma que siempre permanezca en operación uno de los subsistemas, suficiente para cumplir sus funciones.

El proyecto eléctrico y de instrumentación cumple los requisitos de la IEEE-279.

Pruebas e inspecciones

Todos los equipos del sistema fueron inspeccionados e hidrostáticamente probados de acuerdo con los códigos aplicables en los talleres del fabricante. A su vez, el sistema una vez montado fue sometido a una prueba hidrostática. Periódicamente se demostrará la operabilidad del sistema de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, al tratarse de un sistema de seguridad.

Instrumentación y control

El Sistema de Aire Comprimido Esencial es un sistema de funcionamiento automático, salvo en pruebas. El control del sistema se realiza desde la Sala de Control. En caso de pruebas, este control se realiza desde el panel local situado adyacente a los componentes.

La instrumentación o vigilancia del sistema está referida a las variables de presión y temperatura:

Dos interruptores de presión, uno por calderín arrancan/paran el compresor por baja/alta presión en el calderín para mantener la presión en el mismo. Otros cuatro interruptores de presión situados a la descarga de los compresores y en los calderines y asignados a las Divisiones I y II activan alarmas en Sala de Control por baja presión en la descarga de los compresores y en los calderines de aire. La señal de baja presión de aire en la descarga del compresor se temporiza 40 segundos para evitar la presencia de la señal en el arranque del compresor.

El motor temporizado que controla las válvulas de tres vías en tándem que permiten el paso del compresor por una torre u otra, se energiza/desenergiza por arranque/parada, tanto de los compresores de aire esencial como de los compresores del Sistema de Aire Comprimido de Apoyo.

Dos interruptores de temperatura situados en los colectores de descarga de cada compresor (uno por cada compresor y asignados respectivamente a las Divisiones I y II), activan alarma por alta temperatura en el panel local de control y disparan el compresor.

Además los compresores se disparan (al tiempo que se activan alarmas en el panel local de control) en caso de bajo de caudal de refrigeración, baja presión de aceite de lubricación, fugas en la cabeza superior o lateral, además de las protecciones propias del motor de accionamiento (sobrecargas o disparo automático).

Se producen alarmas en la Sala de Control por anomalía de compresores esenciales, anomalía de compresores del Sistema de Aire Comprimido de Apoyo, anomalía en los secadores de aire, compresor esencial en prueba o parada y anomalía en el panel local de control.

Existen en el sistema indicadores locales de las variables citadas que permiten tener indicación continua de las mismas.

La calidad del aire de este sistema se controla mediante la medida de los siguientes parámetros: punto de rocío, tamaño máximo de las partículas y contenido de aceite. El punto de rocío es controlado mediante dos analizadores de humedad con indicación situados en la salida de los equipos secadores. El punto de rocío (a la presión de la línea) no debe superar los 2 °C (35,6 °F). El sistema dispone de cuatro puntos de toma de muestras de conexión rápida para controlar el tamaño máximo de las partículas así como el contenido de aceite en el aire. El tamaño máximo de las partículas no debe exceder de 3 micras y la cantidad de aceite, excluidos los incondensables, no debe sobrepasar 1 ppm.

4. BIBLIOGRAFÍA

Además de la referenciada a lo largo del tema:

- NUREG 0800. Standard Review Plan. Marzo 2007. Capítulos 9.4.1, 9.4.2, 9.4.3, 9.4.4, 9.4.5.
- Estudio Final de Seguridad de cada una de las centrales nucleares españolas.