

CNEA-AC 58/85

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

Curso Protección Radiológica y Seguridad Nuclear

Nivel Técnico

TEMA: SISTEMA DE DEPURACION DEL AIRE DE UNA INSTALACION NUCLEAR

Ing. Jorge MAJCHRZACK

Buenos Aires

1985

SISTEMA DE DEPURACION DEL AIRE DE UNA INSTALACION NUCLEAR

Ing. Jorge MAJCHRZACK

1.- INTRODUCCION

El sistema de depuración del aire de una instalación nuclear incluye el sistema de ventilación, el espacio físico limitado por ese sistema (por ejemplo: caja de guantes, celda caliente, sala o edificio) y el proceso que se desarrolla dentro del mismo.

El diseño de una instalación de purificación de aire tiene una importancia fundamental sobre la performance y los costos de operación del sistema de ventilación del cual forma parte.

A continuación se analizan en términos generales, algunos de los factores principales que deben ser considerados al diseñar instalaciones de depuración del aire.

La complejidad del sistema de depuración del aire requerido para asegurar condiciones satisfactorias de trabajo para el personal y para prevenir la descarga de sustancias tóxicas y/o radiactivas, depende de la naturaleza de los contaminantes a ser removidos (radioactividad, toxicidad, corrosividad, tamaño de las partículas, distribución por tamaños y forma aproximada de las mismas, así como capacidad de aglomeración), y de la temperatura y humedad del ambiente a ser controlado; de la probabilidad de un accidente o incidente y de la magnitud del riesgo asociado con los mismos.

Los caudales de ventilación de los distintos locales se basaron históricamente en requisitos de refrigeración, en el riesgo potencial de combustión y en el riesgo de inhalación de sustancias presentes en el local o que pueden ser liberadas al mismo. Actualmente, se exige, además, cumplir con los criterios de optimización recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

Las concentraciones de gases radiactivos y aerosoles en las áreas ocupadas permanentemente o en forma ocasional, no excederán de los valores establecidos por la autoridad pertinente para el personal profesionalmente expuesto.

Además, los gases radiactivos y los aerosoles pueden ser liberados accidentalmente en el caso de falla de un equipo, un derrame o un inconveniente funcional. El sistema de ventilación y depuración del aire debe ser diseñado teniendo en cuenta esas situaciones accidentales y deberá actuar durante y después de ocurrido el accidente en forma satisfactoria.

Los materiales radiactivos poseen características que los hacen potencialmente riesgosos, obligando a tomar precauciones especiales para su manipulación. Se trabaja dentro de contenedores especiales tales como campanas radioquímicas, celdas calientes o cajas de guantes.

Estos contenedores poseen sus propios circuitos de ventilación, independientes del sistema que sirve al edificio o local dentro del cual se encuentran ubicados.

El edificio puede ser dividido entonces en zonas de confinamiento relativo con respecto a los riesgos potenciales de los diferentes materiales radiactivos, las que se indican a continuación:

ZONA I:

El interior de una celda caliente, caja de guantes u otro tipo de contenedor para el manipuleo de material de elevada radioactividad. La estructura del contenedor deberá impedir la diseminación del material radioactivo contenido tanto durante la operación normal como en caso de incidente y hasta el caso extremo de accidente más grave concebible para la instalación nuclear de que se trate.

Esto exige la aislación completa (separación física) del contenedor de todo otro equipo de las inmediaciones, laboratorios, áreas operativas, etc.

Se prohíbe expresamente el ingreso hasta que el área es descontaminada hasta merecer la calificación de Zona II, ingresando únicamente con equipo protector completo (vestimenta y máscaras respiratorias).

Se requiere un sistema de extracción de aire independiente del que sirve al edificio o local dentro del cual se encuentra ubicado el contenedor.

Se requiere filtrado de alta eficiencia del aire de entrada y salida.

ZONA II:

Area de operación de las cajas de guantes y área de mantenimiento de las celdas calientes, talleres de mantenimiento u otra zona del edificio donde pueden presentarse altos niveles de radiación. En particular las operaciones químicas riesgosas desarrolladas en campanas de humos o cajas de guantes.

Es necesario extraer suficiente aire para poder inducir un flujo uniforme de entrada a la campana con una velocidad mínima (mínimo — minimorum) de 0,5 m/seg. Esta velocidad de ingreso debe incrementarse si se efectúan operaciones más riesgosas, o bien si existen fuentes de calor dentro de la campana.

Se recomienda que la entrada de la zona cuente con air-locks y facilidades para que el personal se cambie de ropa.

Se requiere monitoreo continuo de partículas radiactivas en el aire del área de trabajo.

El personal utilizará como mínimo ropa de laboratorio y en lo posible, cubiertas para el calzado en el área operativa de las cajas de guantes, y equipo de protección completa en las áreas de servicio.

Para el caso eventual de un incidente deberá contarse con equipos respiratorios o máscaras completas.

Todas las áreas clasificadas como de zona II serán consideradas de acceso restringido.

ZONA III:

Area de operación de las celdas calientes, laboratorios químicos, mantenimiento y otras áreas de trabajo que se consideran habitualmente frías, pero que son susceptibles para presentar ligeros niveles de contaminación del aire.

El personal operativo utilizará ropa de laboratorio u otro equipo equivalente. Se dispondrá de equipos respiratorios para emergencias. Se efectuarán monitoreos rutinarios de partículas radiactivas.

ZONA IV:

Oficinas administrativas y áreas frías. No se requiere ropa ni equipo protector específico. Pueden efectuarse monitoreos personales en los puntos de salida. Pueden efectuarse operaciones sobre la mesada de los laboratorios sin precauciones especiales, siempre que no se superen los niveles fijados por la autoridad oportunamente.

Los edificios divididos en zonas de acuerdo a la clasificación anterior se ventilan de tal manera que el caudal de aire circula desde la zona más fría (menos contaminada) hacia la zona más caliente (más contaminada).

Puede admitirse recirculación de aire dentro de una misma zona, haciendo pasar el caudal a través de un sistema de depuración de alta eficiencia antes de reinyectarlo, pero se prohíbe expresamente la recirculación de aire proveniente de una zona de mayor contaminación.

El interior de los conductos de extracción y recirculación se consideran como del mismo riesgo relativo que la zona a la cual pertenecen.

El caudal de aire debe ser suficientemente grande a los efectos de proveer el necesario grado de dilución de la contaminación y el consiguiente enfriamiento, manteniendo al mismo tiempo las diferencias de presión relativas entre zonas, inclusive en condiciones de incidente o perturbación.

Se recomienda una presión diferencial mínima entre las zonas del edificio, mientras que en lugares más exigentes desde el punto de vista radiosanitario se requerirán presiones diferenciales proporcionalmente mayores.

1.1.- Celdas calientes:

a.- Se mantendrá una diferencia de presión relativa con el medio ambiente que las rodea, de 25 mm. de columna de agua como mínimo, a los efectos de asegurar un flujo positivo constante hacia el contenedor.

b.- La extracción de aire del contenedor o celda caliente será como mínimo el 10 por ciento del volumen contenido por minuto para reducir los riesgos de explosión por la presencia de solventes volátiles y para asegurar que en caso de presurización de la

celda por cada explosión, el retorno a las condiciones normales se produzca en un mínimo de tiempo.

- c.- El ritmo de pérdidas máximo admisible será el 1 por ciento del volumen del contenedor por minuto para celdas standard y el 0,1 por ciento del volumen del contenedor por minuto para celdas selladas. La determinación de las pérdidas se efectuará mientras las celdas se encuentren sometidas a una sobrepresión relativa de 50 mm. de columna de agua a los efectos de asegurar que el escape de material será mínimo aún en el caso de presurización.

El ritmo de pérdidas máximo admisible para los conductos es de 0,1 por ciento del volumen por minuto con una presión interior igual a 1,5 veces la presión estática de diseño.

- d.- Los sellos o burletes y las puertas deberán poder soportar una diferencia de presión mínima de 250 mm. de columna de agua a los efectos de garantizar la integridad de las aberturas y penetraciones bajo cualquier condición operativa incluyendo el accidente más grave concebible.
- e.- La estructura de la celda o contenedor deberá soportar el accidente más grave concebible sin sufrir daños estructurales ni deficiencias en su funcionamiento.
- f.- Los procedimientos operativos se planificarán de tal manera que se regulen las cantidades de material inflamable y solventes dentro de los límites tales que puedan ser manejados por el sistema de ventilación sin comprometer la integridad funcional del equipo depurador de aire.

1.2.- Caja de guantes:

- a.- Se mantendrá una diferencia de presión relativa con el medio ambiente que las rodea, de 7,5 mm de columna de agua como mínimo, a los efectos de asegurar un flujo positivo constante hacia la caja.

- b.- Generalmente no se especifican los requisitos del caudal de extracción, el que deberá ser suficiente para controlar la carga térmica y las exigencias de dilución que plantean las operaciones conducidas en la caja.

- c.- El flujo de aire será el suficiente para mantener una velocidad lineal de ingreso mínima de 0,5 m/seg. a través de una abertura de guantes o por la compuerta de acceso. El objetivo de esta exigencia es evitar la dispersión de la contaminación, en el caso de rotura de un guante.

- d.- Las cajas de guantes deberán contar con válvulas de cierre que permitan aislarlas independientemente, una respecto de otra, para impedir la propagación del fuego.

1.3.- Campana de humos:

- a.- Se mantendrá una diferencia de presión relativa de 2,4 mm de columna de agua entre el laboratorio en el cual se encuentra la campana y el corredor de acceso al mismo.

- b.- El caudal de extracción de la campana de humos será el suficiente para mantener una velocidad de ingreso mínima de 0,5 m/seg. a los efectos de prevenir el escape de gases y humos hacia el laboratorio. Esta condición debe cumplirse independientemente de la apertura frontal de la campana, de los equipos acumulados y de los desplazamientos del operador.

- d.- Cada campana del laboratorio será aislable por medio de válvulas para impedir que, cuando no está en servicio, se produzca el retorno del flujo de otras campanas.

- d.- Cada campana utilizada para manipular material radiactivo deberá tener un filtro absoluto en su conducto de extracción, y ubicado en la entrada del mismo. Todas las campanas descargarán, en lo posible, en un conducto común.

- e.- Las campanas serán operadas sobre la base

de flujo unidireccional sin recirculación hacia el local del laboratorio.

Esta última condición puede ser reexaminada si razones funcionales o de conservación energética así lo exigen.

Si se piensa instalar un sistema de recirculación, la instalación de depuración del aire deberá asegurar que no se producirán emanaciones de partículas tóxicas o radioactivas, humos o gases hacia el local del laboratorio, aún bajo las condiciones operativas más desfavorables.

1.4.- Estructura de confinamiento secundario:

a.- Esta estructura de confinamiento, que no es sino el edificio que alberga a la instalación nuclear, se diseñará de tal modo que impida la dispersión de la contaminación (originada por un accidente en una celda caliente, caja de guantes, campanas de humos o en el mismo edificio), hacia lugares no previstos o hacia el medio ambiente.

b.- En situaciones de emergencia el edificio deberá poder soportar la depresión relativa mínima de 7,5 mm de columna de agua con respecto a la atmósfera exterior.

Para una mayor confiabilidad, a menudo se cumple esta condición durante la operación normal de la instalación.

En el caso de no poder mantenerse constantemente la depresión durante la operación de la planta, el sistema de ventilación deberá reducir la presión estática hasta el mínimo estipulado en menos de 20 segundos. Todo el aire extraído de la estructura de confinamiento será filtrado a través de filtros HEPA.

Durante una emergencia, las diferencias de presión relativas entre los diferentes lugares clasificados como Zona I y el resto del edificio deberán ser mantenidas sin interrupción.

c.- Dentro del edificio deberán mantenerse flujos direccionales desde las zonas menos

contaminadas hacia las zonas de mayor contaminación.

d.- Se permite la recirculación de aire dentro de un área localizada o laboratorio, pero se prohíbe expresamente la mezcla con aire de extracción.

1.5.- Sistema de tratamiento de aire:

a.- Los sistemas de ventilación (recirculación o extracción) y descarga de gases serán complementados por instalaciones redundantes de depuración del aire (incluyendo filtros y ventiladores) los que deberán mantener las condiciones especificadas aún en los casos de: falla de ventilador, rotura de filtros, cortes de energía, o cualquier otro inconveniente funcional.

b.- El aire extraído de las áreas normal u ocasionalmente ocupadas será conducido a través de prefiltros y como mínimo una etapa de filtros HEPA.

El aire extraído de zonas normal u ocasionalmente contaminadas (tales como celdas calientes, cajas de guantes o cualquier otra estructura de confinamiento primario o recipiente) será conducido a través de dos etapas de filtros HEPA en serie, además de los prefiltros, adsorbedores, scrubbers o cualquier otro dispositivo de depuración del aire requerido por esa operación particular.

El aire que se encuentra normalmente limpio pero que está expuesto a una contaminación como resultado de un incidente operativo (por ejemplo: ingreso de aire de un área operativa de Zona II, o durante operaciones de servicio cuando el área considerada se comunica con zonas de mayor contaminación), y el aire proveniente de un área potencialmente contaminada pero en forma ligera (por ejemplo Zona III) requieren solamente una etapa de filtros HEPA.

c.- La humedad y los contaminantes corrosivos, capaces de dañar los filtros HEPA y los ad-

sorbedores serán removidos o neutralizados antes de que puedan alcanzar los componentes que puedan ser afectados.

- d.- Los filtros HEPA y los adsorbedores (cuando sean necesarios) serán probados in - situ con la frecuencia prescripta (usualmente dos veces por año).

Cada etapa de filtros HEPA tendrá una eficiencia mínima de 99,97 por ciento determinada por un ensayo in - situ, y para partículas de 0,3 micrones.

Los límites de concentración para sustancias tóxicas, nocivas o irritantes están especificados en las diferentes normas establecidas por la autoridad pertinente.

2.- PARTICULAS, AEROSOLES Y GASES

Si bien las partículas, aerosoles y gases originados en el proceso constituyen la razón primaria para la instalación de sistemas de depuración del aire y filtros, una gran proporción del polvo y partículas recolectadas por dichos filtros se compone de polvo atmosférico introducido en el edificio por el sistema de inyección de aire o bien por infiltración y por partículas generadas y/o introducidas por los ocupantes (cabellos, escamas de piel, recortes de uñas, filamentos de tejidos, etc.)

Estas partículas contribuyen a la degradación de los filtros, pudiendo adsorber gases y vapores radioactivos cuando se encuentran expuestos a ciertas condiciones operativas. Debido a que las partículas de significación higiénica, es decir las comprendidas en el rango 0,05 a 5 micrones, son retenidas en los pulmones al ser inhaladas, es necesario prestar gran atención a las mismas en toda operación que involucra el uso de material radiactivo, como así también en el caso de contaminantes industriales.

Los estudios afectados para determinar la concentración de partículas en aire se basaron generalmente en la determinación del peso de las mismas. Sin embargo, las partículas de peso significativo, representan una cantidad numéricamente insignificante, mientras que la casi totalidad de ellas representa porcentualmente en peso, menos de la unidad.

Por consiguiente, un filtro puede tener una eficiencia alta si se mide ésta por el peso del polvo que retiene y ser al mismo tiempo de muy baja efectividad en los rangos de partículas pequeñas. Este es el comportamiento habitual de la mayoría de los filtros utilizados como prefiltros.

Por el contrario, un filtro HEPA, posee una alta eficiencia para todos los tamaños de eficiencia para todos los tamaños de partículas, incluso las más pequeñas indicadas en la tabla.

La eficiencia mínima del 99,97 por ciento exigida para estos filtros, lo es con respecto al rango de partículas más penetrantes (entre 0,07 y 0,3 micrones).

Las concentraciones de polvo atmosférico varían ampliamente de un lugar a otro, dependiendo además de la estación y de la hora del día.

Generalmente, las concentraciones de polvo atmosférico son menores durante los meses de verano, en aproximadamente un 30 por ciento que en los restantes meses del año.

Sin embargo, la selección de los filtros (en particular los prefiltros y los filtros de la sección de suministro de aire al edificio) debe efectuarse tomando en consideración las concentraciones de polvo atmosférico que puedan encontrarse en cualquier época del año.

Las variaciones en la forma de la partícula, tamaño medio, rango de tamaños presentes y concentración, afecta la vida útil de los filtros, los costos de mantenimiento y la efectividad operativa.

El personal que trabaja en las áreas controladas también contribuye a la contaminación atmosférica. En efecto, la casi totalidad de las fibras que se encuentran en los filtros absolutos se originan en la abrasión de la ropa de trabajo por el solo hecho de ser utilizada. Además una persona que efectúa trabajos en actitud reposada genera numerosas partículas (escamaciones de la piel, cabellos, etc.) y gotas de humedad (estornudos, saliva, etc.) por unidad de tiempo y en el rango de tamaños de 0,3 a 1 micrones.

La fuente principal de contaminación está constituida por los aerosoles generados en el proceso en sí, los que se clasifican en dos rangos de tamaños.

Las partículas producidas por maquinado, abrasión, pulido y otras operaciones mecánicas son relativamente grandes, variando su tamaño entre 1 y varias decenas de micrones (según la naturaleza del proceso) y pueden ser removidas con efectividad por filtros de aire comunes y otras técnicas convencionales.

Las partículas producidas por evaporación/condensación/sublimación como resultado de operaciones químicas son relativamente pequeñas, variando su tamaño ampliamente dentro del rango submicrónico, y pueden ser removidas con efectividad del aire y otros gases únicamente con filtros HEPA y otras técnicas no convencionales.

Un capítulo aparte está constituido por los contaminantes generados por el proceso y que incluyen gases nobles y halógenos radiactivos.

Debido a su inercia química, reducida reactividad con los solventes disponibles y gran dificultad de separación, los gases nobles (Xenón y Krypton) fueron tratados antiguamente por simple retención a los efectos de permitir el decaimiento de los elementos de vida media corta antes de ser descargados a la atmósfera convenientemente diluidos.

Prácticas más modernas incluyen la separación de los gases nobles por fraccionamiento criogénico, adsorción sobre carbones, y almacenamientos.

Los gases halógenos, principalmente el yodo elemental y ciertos ioduros orgánicos, constituyen el componente principal de los efluentes gaseosos y son retenidos por adsorción sobre carbón activado y ciertas zeolitas sintéticas.

3.- CONSIDERACIONES OPERACIONALES

3.1.- Modo operativo:

De acuerdo con las exigencias operativas, un sistema de depuración del aire puede ser operado en forma continua, en forma temporal o simplemente mantenido en stand - by para servicios de emergencia.

El diseñador del sistema de depuración puede verse enfrentado a la decisión de elegir

entre la operación continua o el funcionamiento temporal durante las horas del proceso. Tendrá que evaluar entonces los efectos de las puestas en marcha diarias sobre la performance y vida útil de los filtros y otros componentes versus la mayor potencia necesaria y los costos de mantenimiento que exigen la operación continua.

La experiencia ha demostrado que, la operación continua de las plantas de depuración del aire de las instalaciones nucleares, constituye el modo operativo más satisfactorio desde el punto de vista de la seguridad radiológica. Ello se debe a que, durante los períodos de parada, se produce inevitablemente la uniformidad de las presiones en todos los locales de la planta y en consecuencia desaparece el concepto de zonificación.

Existen también instalaciones "stand - by" que están destinadas a ser operadas únicamente en emergencias. En este caso especial el diseñador debe afrontar el problema adicional que representa la acumulación de humedad y las lógicas consecuencias de deterioro y corrosión.

3.2.- Frecuencia de cambio de los filtros:

Los principales costos de operación de un sistema de depuración del aire de alta eficiencia son: la energía necesaria para impulsar los ventiladores, el reemplazo de los filtros y adsorbedores y la correspondiente mano de obra. El principal factor que afecta los costos de estos últimos es la frecuencia de cambio de los mismos, por lo que un correcto manejo de la planta puede traducirse en una importante economía.

En un estudio efectuado por el Harvard Air Cleaning Laboratory se puso en manifiesto esta circunstancia al demostrarse que del costo total de funcionamiento de una planta de depuración del aire durante un período de 20 años (incluyendo los costos financieros), el reemplazo de filtros y adsorbedores con la correspondiente mano de obra, insumió el 70 por ciento, correspondiéndole a la energía eléctrica tan solo el 15 por ciento de dicho total.

A los efectos de reducir la frecuencia de cambio de los filtros, y de los costos corres-

pondientes, pueden adoptarse medidas tales como: utilización de filtros de alta eficiencia en el sistema de suministro de aire, utilización de prefiltros antes de los filtros HEPA, operar el sistema debajo de su capacidad nominal y utilizar los filtros HEPA hasta que estos hayan alcanzado valores elevados de resistencia de carga antes de reemplazarlos.

Todos estos detalles se analizan en las secciones siguientes.

4.- FILTROS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

Polvo atmosférico introducido en el edificio de la instalación nuclear con el aire de ventilación constituye una fracción importante de la carga de contaminantes que actúa sobre el sistema de limpieza de aire. En la medida en que pueda impedirse su entrada al edificio o reducirse su magnitud, se obtendrá el doble beneficio de proteger los filtros de salida y reducir los costos de limpieza del edificio. Para ello será conveniente instalar en el sistema de suministro de aire, filtros de mediana eficiencia (50 a 65 por ciento) a los efectos de reducir drásticamente la carga sobre el sistema de extracción, y transformar el problema en cambiar un prefiltro "caliente" (radioactivo) en el sistema de extracción por el trabajo relativamente más sencillo de cambiar un prefiltro "frio" en el sistema de suministro de aire.

A los efectos de proteger los prefiltros de entrada de las agresiones climáticas, deberán instalarse persianas regulables, separadores de gotas, rejillas anti - insectos, calentadores, etc. La lluvia, nieve, hielo e incluso las hojas de árboles consiguen obstruir y hasta dañar los filtros de entrada, además de modificar las presiones relativas dentro del edificio.

5.- PREFILTROS

Los filtros HEPA fueron concebidos para la remoción de partículas submicrónicas y por esa razón no deberán utilizarse para la retención de gruesas partículas de polvo. Además, poseen una capacidad de retención relativamente

reducida y se colmatan rápidamente al ser expuestos a grandes concentraciones de polvo, fibras o humos.

El filtro HEPA constituye además, el elemento más crítico del sistema de depuración del aire, desde el punto de vista del mantenimiento de la estanqueidad dinámica del edificio, y su mal funcionamiento compromete al sistema.

Los prefiltros, instalados tanto en el sistema de suministro de aire, como en la sala de máquinas del sistema de extracción, o en ambos, extienden la vida útil de los filtros HEPA y constituyen además una barrera adicional de protección.

Naturalmente, en un caso particular, el incremento de vida útil dependerá tanto de la calidad del prefiltro seleccionado como de la naturaleza y concentración de las partículas del sistema.

Generalmente, se decide la utilización de prefiltros cuando la concentración potencial de polvo en el aire que lleva al sistema de depuración excede de 23 mg/m³ (10 grains por cada 1000 pies cúbicos) y se analizará su instalación cuando la concentración de polvo excede de 2,3 mg/m³ (1 grain por cada 1000 pies cúbicos).

Los prefiltros se instalarán en un marco independiente ubicado por lo menos 1,2 a 1,5 mts. antes de los filtros HEPA. Este tipo de montaje requiere más lugar y mayores costos de inversión (especialmente justificado por el incremento que se obtiene en la seguridad y confiabilidad del sistema. Una precaución adicional a adoptarse cuando las posibilidades de incendio son notables, consiste en una pantalla removible construída con malla de alambre lo suficientemente fina (10 a 20 mallas) como para detener las chispas y ubicada después de los prefiltros.

6.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CON GRAN DIFERENCIA DE PRESION

La mayor parte de la literatura disponible y los folletos de los fabricantes de filtros HEPA sugiere el reemplazo de éstos cuando

la resistencia debida a la carga de partículas alcanza el valor límite de 50 mm H₂O (2 pulgadas). Sin embargo, los filtros HEPA, para cumplir con las especificaciones deben ser capaces de soportar una diferencia de presión (cuando nuevos) de 10 pulgadas de columna de agua (250 mm H₂O) sin sufrir daños estructurales o reducción de su eficiencia.

El reemplazarlos cuando la caída de presión es de solamente 50 mm, constituye una subutilización innecesaria de los filtros.

Las ventajas de operar la instalación con gran diferencia de presión deben no obstante ser balanceadas con los costos primarios (ventiladores con mayor presión estática, motores de mayor potencia y conductos de construcción pesada) y de explotación (energía consumida y menor eficiencia de la instalación). Los ventiladores y motores tendrán que tener la suficiente capacidad para suministrar el caudal de diseño con la máxima presión con la cual el sistema habrá de funcionar, y con los filtros sometidos a la caída de presión máxima establecida.

Debe tomarse en cuenta además, que el ventilador funcionará gran parte del tiempo en condiciones desfavorables debido a que debe suministrar el caudal de diseño con las presiones correspondientes al amplio rango comprendido entre la instalación del filtro nuevo y el reemplazo del colmatado.

Las dos circunstancias que más influyen sobre estos costos son la accesibilidad adecuada a aquellos componentes que requieren servicio y ensayo periódicos, y la frecuencia de cambio de los filtros y adsorbentes.

La falta de accesibilidad adecuada se traduce en definitiva en mayores tiempos de operación, los que son a su vez incrementados si se trata de sistemas contaminados radioactivamente. En efecto, en este último caso deberá hacerse frente a una o varias de las siguientes etapas: vestir al personal con equipos protectores antes de comenzar la tarea y retirarlos al finalizar las mismas; limpiar y descontaminar la zona de trabajo, herramientas y equipos utilizados; manipular los filtros contaminados hasta su destino final, descontaminación y control del personal por el oficial de seguridad.

Todas las medidas que puedan adoptarse y que conduzcan a reducir la frecuencia de cambio de los filtros y adsorbentes, darán por resultado la reducción de los costos de operación del sistema y del tiempo no operativo de la planta.

7.- SITUACIONES DE EMERGENCIA

El sistema de ventilación y depuración del aire de una instalación en la cual se manipulan o procesan materiales radiactivos, constituye una parte integral del sistema de contención de dicha instalación. En algunas circunstancias estos sistemas de ventilación y depuración del aire deben ser cerrados como en el caso de una falla operacional, corte de energía, incendio, accidente u otra emergencia, y en otras deben continuar funcionando para mantener los caudales y las diferencias de presión entre los sectores del edificio y entre éste y la atmósfera exterior que aseguran el confinamiento.

El verdadero peligro se presenta cuando resultan dañados los filtros absolutos de la última etapa (y las celdas de adsorbente en las instalaciones y pueden liberarse gases radiolíticos), los que constituyen la barrera final entre el espacio confinado (caja de guantes, celda caliente, local o edificio) y el espacio adyacente o la atmósfera exterior.

Aún cuando el sistema deba ser cerrado en el caso de una emergencia, es imprescindible proteger los filtros absolutos de salida para prevenir el escape de aire contaminado hacia la atmósfera o hacia las zonas ocupadas del edificio.

Para cumplir su misión, el sistema de depuración del aire y de retención de gases deberá hacer frente a sobrepresiones, calor, fuego y carga de humedad como consecuencia de haber sufrido alguna situación de emergencia mencionada anteriormente. Esto se logrará, además de haber utilizado elementos de alta calidad, con un adecuado diseño de los conductos y de su distribución espacial, por haber previsto circuitos redundantes o fuentes de energía alternativas y por último previendo controles de la descarga de chimenea que funcionan aún duran-

te las condiciones de emergencia.

8.- SOBREPRESION

En caso de explosión en un área operativa del edificio, se puede producir una onda expansiva en el sistema de depuración del aire con efectos destructivos considerables cuando las ondas de presión tienen períodos del orden del segundo. En este caso, la responsabilidad por el daño ocasionado recae enteramente en la presión estática.

En cambio, en las ondas expansivas que tienen períodos del orden del milisegundo, lo que equivale a variaciones casi instantáneas de la presión, como sucede en la mayoría de las explosiones químicas, la destrucción es función directa del momento de la onda de presión.

Los golpes de presión originados por el movimiento brusco y no programado de los dampers, así como los golpes de presión originados por terremotos se ubican entre los ejemplos extremos mencionados.

La protección de los filtros finales y prefiltros contra el daño originado por golpes de presión puede efectuarse aislándolos por medio de pantallas o rejillas de metal desplegado colocadas antes de los prefiltros y entre éstos y los filtros HEPA. También se ha utilizado con éxito tela gruesa. Los adsorbentes, tanto las unidades individuales como los bancos completos, son generalmente de construcción robusta, los que los hace relativamente inmunes a los golpes de presión.

La protección contra los golpes de presión de los componentes primarios del sistema de depuración de aire puede ser mejorada incluyendo cámaras de expansión que permitan amortiguar las ondas, o también con gruesas placas perforadas ubicadas en los conductos.

Si bien las válvulas reguladoras de caudal, los desviadores, los separadores de humedad y hasta los prefiltros pueden resultar dañados por la onda de presión en una instalación no protegida, este daño ha logrado también atenuar su fuerza en cierta proporción, protegiendo en consecuencia los filtros absolutos.

El daño de las válvulas reguladoras de caudal y de los desviadores constituye un problema serio porque a partir de allí se presentan dificultades para controlar el caudal y/o aislar una rama determinada.

En algunas instalaciones dependientes de la ERDA (Energy Research Development Agency) se utilizan bancos de arena como protección de los filtros finales y para prevenir escapes de material radioactivo hacia la atmósfera en el caso de explosiones, terremotos, tornados, incendios, etc.

Descriptos en forma muy elemental, podemos decir que los lechos de arena están constituidos por capas sucesivas de piedras, cantos rodados y arenas, con un espesor total del orden de los 3 metros. La dirección del flujo de aire es ascendente y el tamaño de los gránulos de material disminuye en la dirección de la corriente en una relación de 2 a 1 entre cada una de las capas. Se agrega una última capa de arena gruesa, a los efectos de prevenir la excesiva fluidización de la arena fina.

Debido a que la eficiencia de retención de partículas submicrónicas no supera el 99,7 por ciento y la necesidad de impedir cualquier eventual fuga de material contaminado en el caso de explosión o terremoto, los filtros o lechos de arena no pueden recomendarse como solución final de una instalación, debiendo existir siempre los filtros HEPA.

La gran masa de arena y piedras constituye además un gran sumidero de calor, por lo que, en caso de incendio en el área ventilada se logra que los filtros HEPA no estén expuestos a temperaturas inconvenientes.

Las desventajas más notorias de los lechos de arena son su elevado costo inicial y la gran resistencia que ofrecen al pasaje de la corriente de aire.

9.- INCENDIOS

El incendio de un sistema de adsorción de carbón-activado ha recibido considerable atención en los últimos años de parte de los diseñadores pero en cambio, la posibilidad de fuego

en otros componentes del sistema de depuración del aire, tales como conductos y filtros, fue generalmente subestimado excepto en casos especiales.

Los incendios de las cajas de guantes, celdas calientes, laboratorios y otras instalaciones de confinamiento presentan especiales dificultades para el sistema de depuración del aire, debido a la necesidad de contener todas las partículas radiactivas generadas en la emergencia. La liberación de humo contaminado a través de un filtro HEPA perforado o de una fisura en el sistema del contenedor puede tener consecuencias más serias que las del incendio mismo.

Cuando es posible aislar completamente el lugar del edificio en el cual se está desarrollando el incendio, o el edificio completo, incluyendo el sistema de ventilación, las consecuencias del fuego sobre los filtros y otros componentes, no son importantes y pueden ser no tomadas en cuenta en primera instancia.

Sin embargo, en algunas instalaciones es necesario mantener cierto caudal en circulación a través del sistema de extracción a los efectos de mantener las presiones diferenciales entre los diferentes sectores de la planta y entre ésta y el exterior.

En estos casos, los filtros finales y los ventiladores, o bien el sistema redundante correspondiente debe permanecer operativo durante y después de la emergencia.

Por otra parte, inclusive cuando el sistema de ventilación debe ser detenido durante el desarrollo de un incendio, es importante proteger los filtros finales para lograr la depuración del aire contaminado del edificio una vez que el fuego se ha extinguido.

En los casos de incendio se reconocen generalmente cinco riesgos principales para el sistema de depuración del aire. Estos son:

- 1) Calor y aire caliente, los que pueden:
 - a) dañar los filtros.
 - b) originar la ignición del polvo acumulado en los conductos y filtros.
 - c) deformar las partes y/o componentes metálicos hasta el punto de que los filtros no cumplan sus misión y las válvulas reguladoras de caudal resulten inutilizables.

- 2) Chispas y partículas encendidas que puedan originar la ignición del polvo y producir perforaciones en el material filtrante.
- 3) Humo que produce el taponamiento de los deshumidificadores, prefiltros y filtros absolutos hasta el punto de reducir seriamente el caudal de aire y/u originar la ruptura de los filtros por el incremento de presión.
- 4) Sobrepresión debida a la expansión del aire, la que da origen a daños diversos según la duración e intensidad de la onda de presión.
- 5) Gotas provenientes de los pulverizadores o partículas de otros métodos de extinción de incendios, los que pueden perforar el material filtrante, obturar los filtros o reducir sus propiedades funcionales.

La primera línea de defensa contra el desarrollo de incendios en filtros y conductos está basada en prácticas operativas seguras ejecutadas dentro de la zona operativa servida por esos conductos y filtros, y su perfeccionamiento constante. Esto significa, por ejemplo, la eliminación de uno o más de los componentes básicos del fuego: combustibles, fuentes de ignición y oxígeno. Incluye también el control constante sobre las características y volúmenes almacenados de los combustibles líquidos y gaseosos; vigilancia de mecheros, quemadores, hornos y cualquier otra fuente de calor y llama. En el caso de los espacios totalmente contenidos tales como cajas de guantes o celdas calientes, puede lograrse una atmósfera inerte con nitrógeno, argón u otro gas compatible con la operación allí desarrollada.

Las prácticas operativas seguras también incluyen:

- 1) El ensayo completo de un incendio programado, con el control de los posibles daños, cumplimiento del reglamento ad-hoc por parte de cada miembro del personal y velocidad de evacuación de la zona.
- 2) Instalación de medios para detectar y suprimir rápidamente las distintas clases de fuego.

10.- CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES INTERIORES DE LOS SISTEMAS DEPURADORES DE AIRE

En este capítulo se describirán los componentes básicos de una instalación de depuración del aire utilizada en la industria nuclear.

10.1.- Filtros HEPA:

Los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Airborne) también llamados de muy alta eficiencia, de extrema eficiencia, de super intercepción. AEC (Atomic Energy Commission), CWS (Chemical Warfare Service), absolutos, etc., han demostrado ser el medio más efectivo, confiable y económico capaz de remover concentraciones ligeras de partículas submicrónicas con una eficiencia de colección mayor o igual a 99,97 por ciento para partículas de 0,3 micrones.

Los filtros HEPA son entonces filtros descartables, de superficie de filtrado extendida y del tipo seco, que poseen una resistencia al pasaje de la corriente de aire de 25 mm. de columna de agua. Esta resistencia se refiere al filtro nuevo, cuando circula el caudal nominal.

Eficiencia de retención y resistencia al pasaje de la corriente de aire:

Los filtros HEPA se clasifican, de acuerdo a la normalización del IES (Institute of Environmental Sciences), en los siguientes tipos:

TIPO A:

Filtros que son ensayados con el caudal nominal únicamente.

TIPO B:

Filtros que son ensayados con el caudal nominal y además sometidos a otro ensayo con el 20 por ciento del caudal nominal a los efectos de descubrir pérdidas en el sello periférico y pequeñas fisuras no detectables con el ensayo al 100 por cien.

TIPO C:

Filtros especiales para análisis de áreas limpias.

Los filtros de Tipo A se recomiendan principalmente para sistemas de depuración del aire de recirculación.

Los filtros de Tipo B se recomiendan para la mayoría de las aplicaciones nucleares y todas aquellas que no admiten recirculación.

Los filtros de Tipo C se recomiendan únicamente para análisis de áreas limpias y no pueden utilizarse en instalaciones nucleares.

La eficiencia del filtro mide de alguna manera su habilidad para retener partículas. Los ensayos de los filtros destinados a determinar su eficiencia y su capacidad de almacenamiento son complicados por varias consideraciones teóricas y prácticas, al extremo que no existe un ensayo adecuado para todos los filtros.

Idealmente en el laboratorio debería simularse la operación del elemento bajo las condiciones reales de funcionamiento, pero en el caso de filtros de aire esto se hace dificultoso por la gran variación en la cantidad y tipo de partículas presentes en el aire a ser limpiado.

Otra gran dificultad es relacionar performances medidas con los requerimientos específicos de cada usuario. Los ensayos ideados a través del tiempo se basan en los siguientes principios:

- 1) Un polvo sintético consistente en mezclas definidas de partículas de distintos tamaños se inyecta en el aire que va al filtro. La relación entre el peso del polvo retenido y el inyectado permite calcular la eficiencia de retención. El inconveniente de este método consiste en que debe garantizarse la granulometría del polvo sintético a utilizar en los diferentes ensayos, a los efectos de obtener resultados coherentes en el tiempo.
- 2) Se filtra aire atmosférico sin ninguna inyección artificial de polvo y el efecto de mancha del aire filtrado se compara con la del aire sin filtrar por métodos fotoeléctricos. Este sistema aparentemente más sencillo que el anterior, presenta dificultades casi insalvables de normalización debido a la gran variación existente en la composición del polvo atmosférico. Esta variación, referente tanto a la compo-

ción y granulometría como a la cantidad relativa presente en la unidad de volumen, varía incluso en el mismo punto de muestreo debido a fenómenos locales, a la estación del año, etc.

- 3) Se inyectan partículas uniformes en tamaño y peso y se determina el porcentaje retenido.

Este método admite variaciones operativas según el tipo de partícula utilizado, siendo los más conocidos, los siguientes:

- azul de metileno.
- cloruro de sodio.
- ftalato de dioctilo (D.O.P.)
- uranina.

Los filtros HEPA destinados a la industria nuclear son ensayados en su inmensa mayoría por medio de aerosoles de ftalato de dioctilo, según procedimientos desarrollados por diferentes organismos oficiales norteamericanos y actualmente normalizados por la Energy Research and Development Administration (ERDA).

Estas normas establecen que los ensayos de eficiencia para filtros HEPA se efectuarán con aerosoles monodispersos de ftalato de dioctilo, generados térmicamente y que poseen un diámetro medio de 0,3 0,03 micrones.

Dimensiones, caudales y capacidades:

Las dimensiones y capacidades de filtros HEPA que se indican a continuación han sido normalizadas para uso en instalaciones nucleares.

Pueden obtenerse filtros de otras dimensiones pero deben ser considerados como especiales (no standard).

Si bien se incluye el tamaño (61 x 61 x 15 cms) o (24 x 24 x 5 7/8 pulgadas) por razones históricas, se hace notar que es estructuralmente débil y debe evitarse su utilización en instalaciones reales.

Los caudales mencionados son nominales y deben ser considerados para la resistencia de 25 mm de columna de agua.

Si bien algunos fabricantes afirman que sus productos admiten mayores caudales trabajando con esa resistencia, los valores de la tabla anteriormente indicada, deben ser adoptados como valores de diseño.

Capacidad de retención de partículas:

La capacidad de retención de partículas de un filtro es una función del tipo, forma, tamaño, densidad, adhesividad y concentración de las partículas del polvo al que se encuentra expuesto.

Un filtro HEPA puede almacenar una considerable cantidad de polvo granular fino, pero las sustancias fibrosas poseen la tendencia a entrecruzarse sobre los pliegues del papel disminuyendo así considerablemente la capacidad de retención de partículas.

Las partículas fibrosas y con forma de escama constituyen una parte substancial del polvo atmosférico y de las partículas generadas por los seres humanos.

La capacidad de retención de polvo tiene una relación directa con la vida útil del filtro

FILTROS HEPA STANDARD

Sección Transversal		Profundidad		Caudal de diseño con resistencia de 25mm de columna	
pulgadas	cm	pulgadas	cm	pie ³ /min.	m ³ /hora
24 x 24	61 x 61	11 1/2	29,2	1000	1700
24 x 24	61 x 61	5 7/8	15	500	850
12 x 12	30,5x30,5	5 7/8	15	125	215
8 x 8	20,3x20,3	5 7/8	15	50	85
8 x 8	20,3x20,3	3 1/16	7,8	25	45

y si bien es muy difícil simular las condiciones de servicio por la variedad de factores en juego, suele aceptarse como valor de diseño: 4 libras por cada 100 pies³ por minuto (2 kgs. por cada 1.700 m³/hora).

Características constructivas:

El núcleo del filtro, es decir el medio filtrante, se arma plegando papel especial de una bobina continua, sobre separadores corrugados que ofrecen gran resistencia al núcleo al mismo tiempo que conforman los conductos de pasaje del aire entre los pliegues.

El núcleo es sellado en su periferia sobre el marco de madera o metal, con adhesivos complejos de base elastomérica o poliuretánica.

Se conoce una sola variante constructiva del núcleo filtrante, en la que el fabricante efectúa el plegado y prensado sobre los separadores corrugados en medio húmedo. Al secarse el papel filtrante el conjunto adquiere la suficiente rigidez como para poder prescindir de los separadores, conservando no obstante todas sus propiedades.

Medio filtrante:

El papel especial que forma el medio filtrante se compone básicamente de una matriz de fibras relativamente grandes (1 a 4 micrones) sobre las cuales se dispersan fibras submicrónicas, además de un adhesivo orgánico que permite mantener la disposición relativa de las fibras e incrementar la resistencia a la tracción del papel terminado.

Los medios filtrantes resistentes al fuego se fabrican con fibras de vidrio y un porcentaje de asbestos que mejoran la resistencia al ácido fluorhídrico.

La resistencia a la tracción del papel se reduce bruscamente (50 por ciento) al alcanzar éstas temperaturas del orden de 200°C debido a la desintegración del adhesivo.

Las especificaciones correspondientes a las propiedades mínimas de los filtros HEPA se detallan en las normas del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica: "Military Specification MIL-F-51079, Filter Medium, Fire Resistant, High Efficiency".

Separadores:

Los separadores corrugados se intercalan entre los pliegues del medio filtrante para separar estos y formar los conductos de pasaje del aire, y otorgar solidez al conjunto armado.

Los separadores de los filtros HEPA resistentes al fuego se construyen con lámina de aluminio duro, o también con papel de asbestos corrugado y resistente al agua y a las sustancias corrosivas.

El papel Kraft y otros materiales combustibles, utilizados a menudo como separadores de filtros absolutos a utilizar en áreas limpias y quirófanos, no se permiten en instalaciones nucleares.

Lo mismo puede decirse de los materiales plásticos en general, ya que el reblandecimiento que se produce a temperaturas relativamente moderadas produce su desmoronamiento y el colapso del filtro como conjunto.

Además, al desaparecer la rigidez relativa que se otorgan los pliegues, el filtro suele romperse, virtualmente explotar, al ser expuesto al caudal nominal de diseño.

11.- CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES EXTERIORES DE LOS SISTEMAS DEPURADORES DE AIRE

Los componentes externos (o exteriores) de los sistemas depuradores de aire comprenden los ventiladores, el sistema de conductos, válvulas, contenedores, chimeneas, instrumentos y otros elementos relacionados con el movimiento, control, distribución y monitoreo del flujo de aire y/o de gases.

En la mayoría de los casos, los componentes exteriores constituyen una parte de la barrera de presiones relativas de la estructura de confinamiento secundario.

El dimensionamiento y distribución del sistema de conductos que deben proveer el caudal de aire, el número de renovaciones, la velocidad de transporte y otros requisitos funcionales constituye el objetivo básico de los especialistas en ventilación industrial, por lo que no será analizado en esta oportunidad.