

FILTRACION DE AIRE APLICADO AL CONTROL DE CONTAMINACION EN AREAS DE PRODUCCION FARMACEUTICA Y HOSPITALARIA

MINO COVO

Temario:

Cap. 1: Introducción - Contaminantes atmosféricos - Los aerosoles - Mecanismos de separación de los mismos - Su recuento * Cap. 2: Los filtros de aire - Clasificación y evaluación - Métodos de ensayo * Cap. 3: Separadores inerciales - Filtros metálicos y de fibras de vidrio - Filtros de aire de alta eficiencia, medios filtrantes - Filtros absolutos - Areas limpias y con flujo laminar * Cap. 4: Diversas aplicaciones de filtrado de aire en la industria - Cabinas de pintura * Caso particular: pintura de carrocería de automotores - El filtrado de aire en la industria electrónica de precisión - Filtros en áreas limpias en Industria Farmacéutica - Aplicación de filtros de aire para turbinas de gas - Filtrado de aire para quirófanos - Filtrado del aire en usinas nucleares - Otros casos.

Cap 1 y 2 Ver en revista N° 2 Setiembre de 1978
Cap 3 Ver en Revista N° 3 Febrero de 1978

CAPITULO IV

DIVERSAS APLICACIONES INDUSTRIALES DEL FILTRADO DE AIRE

Filtrado de aire para turbinas de gas

Los sistemas de filtración de aire para turbinas de gas son usados para evitar tres factores que influyen negativamente el rendimiento de las mismas y que causan problemas serios en su mantenimiento.

Estos factores son:

El ensuciado, la erosión y la corrosión de los álabes, debido a partículas suspendidas en el aire, comúnmente denominadas aerosoles.

Debe tenerse en cuenta que en turbinas de gas el filtrado es crítico si se considera que las mismas ingieren de 200 a 250 m³ de aire por minuto por cada megawatt de potencia generada.

Mientras polvo de mineral relativamente grueso puede erosionar los álabes del rotor y del estator,

partículas muy finas oleosas, provenientes de hidrocarburos o adhesivas, pueden depositarse sobre los álabes. En ambos casos el daño es evidente por cuanto sea por erosión o por ensuciado se modifican los perfiles de los álabes. En el primer caso el daño es permanente debiendo reemplazarse a los álabes averiados, mientras que en el segundo caso las partes pueden ser limpiadas.

Erosión

Partículas de arena o polvos minerales duros pueden afectar al compresor y toberas. Se considera mayor el efecto de erosión a partir de los 10 μ de diámetro y crítico cuando estas partículas superan los 20 μ . La erosión que provocan depende de la masa de la partícula, su energía cinética, el ángulo de impacto sobre los álabes, etc.

La experiencia indica que partículas inferiores a los 10 μ no provocan problemas de erosión.

Partículas superiores a ese tamaño, particularmente arriba de los 20μ y en concentraciones grandes pueden provocar problemas serios como roturas de álabes por reducción de su sección.

Ensuciado de álabes

Normalmente este fenómeno se debe a partículas muy pequeñas inferiores normalmente a los 5μ , tales como hollín, gotas de aceite, vapores oleosos y a veces hasta al adhesivo que usan ciertos tipos de filtros.

La mayoría de los filtros usados son poco eficientes para partículas pequeñas pero el ensuciado de los álabes puede quitarse por medio de elementos pulverizados que son suficientemente erosivos para desprender los depósitos e incrustaciones sobre los álabes sin dañar a los mismos.

Corrosión

La corrosión puede ser causada por depósitos húmedos de nieblas salinas, ácidos, cloruro de sodio, etc. Además de problemas de oxidación, las superficies de los álabes quedan deterioradas.

En las toberas y en el tubo de fuego ciertas sales metálicas, combinándose con azufre y oxígeno en la combustión, provocan la oxidación de partes. Sales particularmente peligrosas son las de sodio, potasio, vanadio y plomo.

Selección del sistema de filtrado

No existe un sistema de filtrado óptimo, si no es considerado en función del lugar en que se instalará la turbina y de la contaminación ambiental del mismo. Dada la selección del sistema de filtrado para una máquina determinada, deberá tenerse en cuenta no sólo la misma sino el tipo de contaminación del lugar donde será instalada, conociéndose la composición de los contaminantes y sus tamaños de partículas.

Normalmente los filtros son alojados en casetas del tipo ilustrado en la figura 24. Estas casetas están colocadas como paso previo a la entrada de aire al compresor. La caseta ilustrada en la figura tiene instalados filtros rotativos de lana de vidrio.

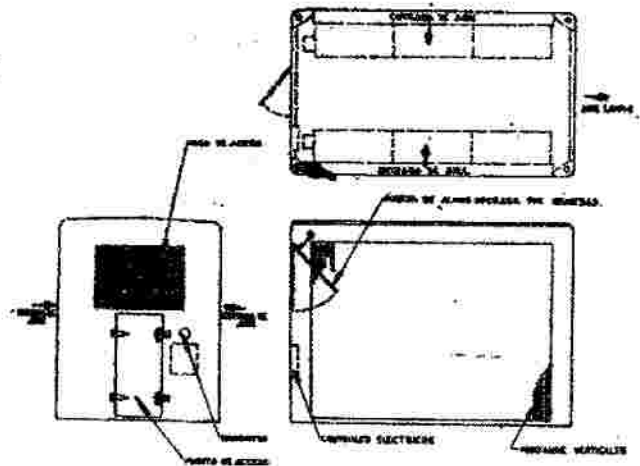


Figura 24

Filtros con renovación automática de medio filtrante (figura 25)

a) Filtros con lana de vidrio sin adhesivo

Este filtro consiste en una bobina de lana de vidrio de diámetro de fibras de 15μ de diámetro y densidad progresiva en el sentido del aire. Inicialmente el rollo limpio se coloca en la parte superior y se va desenrollando a medida que la diferencia de presión a través del medio filtrante llega a un valor máximo (normalmente 14 mm de columna de agua).

El mecanismo es comandado por un presóstato o un timer que lo acciona cada intervalo fijo de tiempo.

La lana de vidrio desprovista de adhesivos es de un rendimiento muy pobre en cuanto a eficiencia, no superando el 30 % por ensayos de tipo gravimétrico. No se aconseja la aplicación de esta clase de filtros en áreas que no sean de contaminación baja.

b) Filtros con lana de vidrio impregnada

El mecanismo no difiere del anterior. La única diferencia está en que la lana de vidrio está impregnada de tricresilfosfato lo que aumenta su eficiencia a un 75 % por el método gravimétrico.

Es un filtro muy usado aunque presenta el inconveniente que el adhesivo se evapora después de un tiempo relativamente corto. Algunos fabrican-

CRITERIOS BASICOS QUE DEBEN REGIR EN LA SELECCION DE UN ANTIBIOTICO

El Prof. Dr. Sidney Selwyn y el Cuerpo de Investigadores del Grupo de de Hospitales de Westminster, Londres, estableció criterios para la selección de un antibiótico basados en siete factores claves:

- * Actividad en suero, estudios in vitro
- * Resistencia a las B-lactamasas
- * Actividad en vivo (Indice Terapéutico)
- * Resistencia a ser metabolizado
- * Distribución en tejidos
- * Ausencia de toxicidad renal
- * Vías de administración



"Las conclusiones obtenidas han seleccionado a Cefradina como la cefalosporina de elección para el grupo de Hospitales de Westminster".

Lancet, Setiembre 18, 1976

pág. 616 - 619



UN SIGLO DE EXPERIENCIA INSPIRA CONFIANZA

6
Schering AG
Berlin/Bergkamen



Schering
Uruguay, S.A.

RESPALDAN LA CALIDAD
DE SUS PRODUCTOS
FARMACEUTICOS



tes de turbinas no lo usan porque consideran que el tricresilfosfato al evaporarse tiende a ensuciar los álabes.

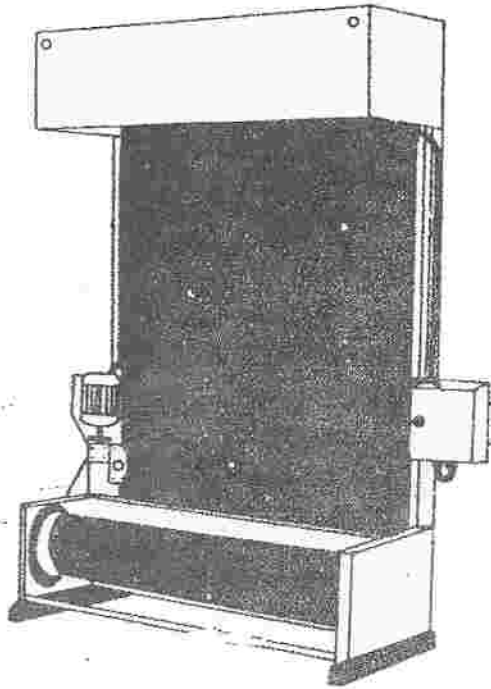


Figura 25

La velocidad de paso de aire recomendada a través del medio filtrante es de 160 ms por minuto y la caída de presión estática para esa velocidad del filtro es de 9 mm de columna de agua.

En lugares desérticos o donde hay tormentas de tierra o arena corre el peligro de saturarse el medio en poco tiempo.

Separadores inerciales

Los separadores inerciales ya descritos en el capítulo III presentan varias características esenciales.

Siendo su eficiencia alta a partir de los 10μ y creciente para tamaños superiores y cuanto mayor la densidad de las partículas, se soluciona el problema de la erosión.

Otra ventaja fundamental es que la eficiencia no varía con la concentración de polvo, siendo insustituibles en lugares desérticos y arenosos donde otros filtros se saturarían velozmente.

En los casos en que se deseara además un filtrado ultrafino, pueden usarse los separadores iner-

ciales como prefiltros de elementos mucho más eficientes en los rangos de partículas pequeñas como son los cartuchos celulósicos o filtros secos de alta eficiencia.

Filtros rotativos con baño de aceite

El filtro rotativo con baño de aceite ilustrado en la figura 26 consta de paneles metálicos que se desplazan en forma continua en una cortina sin fin. Los paneles se sumergen en la parte inferior del equipo en aceite que actúa como adhesivo, reteniendo las partículas de polvo que impactan sobre los mismos. Al actuar este filtro por el mecanismo de inercia su eficiencia aumenta con la velocidad del paso del aire. El inconveniente reside en que para mayores velocidades de paso de

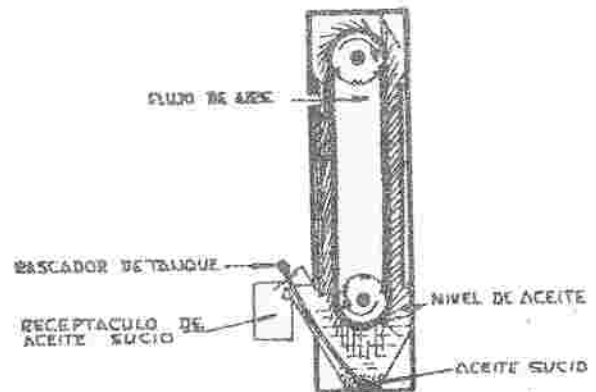


Figura 26

aire existe la posibilidad de desprendimiento de gotitas de aceite que redundarían en el ensuciado de los álabes.

La aplicación del adhesivo especificado, así como el control periódico de la cuba inferior y el cambio del aceite, son otros de los inconvenientes que presenta el filtro.

Filtros de alta eficiencia de medio filtrante seco

Los filtros de alta eficiencia en el rango de partículas pequeñas se usan en turbinas de gas como filtros secundarios colocados después de los sepa-

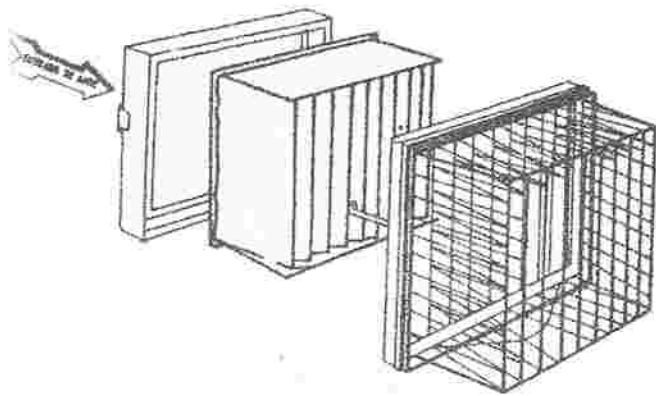


Figura 27

Separadores inerciales. Se utilizan en ambientes contaminados con humos, óxidos metálicos y sales.

Un filtro típico es el ilustrado en la figura 27. El elemento filtrante es un cartucho de material no tejido o lamilla de vidrio de diámetro promedio de fibras de 3μ . El cartucho se sostiene rígidamente por un canasto de alambre sujetado por un marco metálico, a una estructura portante de perfiles.

Comparación de los diferentes filtros

En la figura 28 se ilustran las eficiencias porcentuales por tamaños de partículas de cada filtro.

Se ha subdividido el gráfico en 3 partes para mostrar los efectos de ensuciado y erosión en función del tamaño de partículas, pudiendo compararse la efectividad de los filtros para daños de erosión o ensuciado.

La zona intermedia de 5 a 10μ no presenta mayores problemas por cuanto en esos tamaños las partículas no afectan mayormente al funcionamiento de la turbina ni por erosión ni por ensuciado.

Para la selección del filtro adecuado conviene conocer la distribución de contaminantes, según su porcentaje y tamaños, del ambiente donde será instalada la máquina.

Dicha evaluación se podrá hacer por los contadores de partículas descritos en el capítulo I y se evaluarán los filtros por los métodos de ensayo de eficiencia de los mismos ya descritos en el

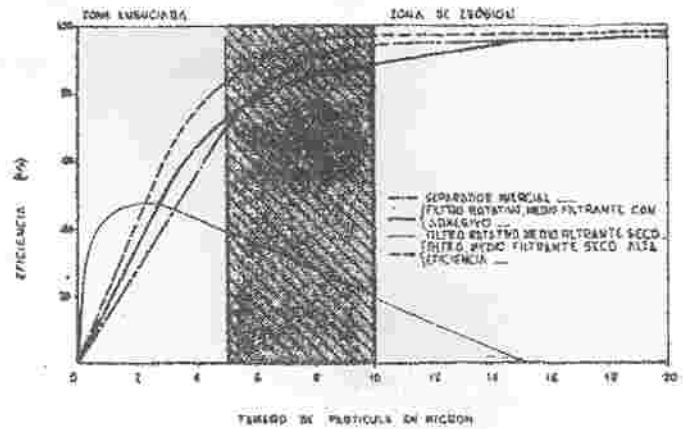


Figura 28

capítulo II. Las consideraciones económicas sobre costos de instalación, amortización y mantenimiento de las máquinas son básicos para hacer la selección apropiada.

Filtrado de aire para cabinas de pintura

Uno de los procesos industriales donde es más común la necesidad del filtrado de aire es el de los procesos de pintura de los gabinetes metálicos y particularmente de carrocerías de automotores.

Una vez más las consideraciones económicas tienen lugar en la selección del sistema de filtrado óptimo debiendo balancearse el costo de instalación del sistema y el costo de retrabajo de elementos producidos por rechazos de control de calidad.

Se ha verificado que las partículas que provocan daños visibles en un gabinete metálico son las que superan los 5μ de diámetro y muy especialmente las fibras textiles eventualmente suspendidas en el aire.

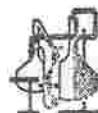
Para un buen diseño de cabinas de pinturas es conveniente estudiar dos etapas de filtrado. En la primera se utilizarán prefiltros para la retención de la contaminación grosera, que pueden ser del tipo de separadores inerciales, filtros metálicos, de lana de vidrio rotativos.



Shampoo anticaspa

selsun
azul

"el especialista."

L. PEREYRA SIRI S.A.

1928 - MARZO - 1978

IMPRESION INDELEBLE VITRIFICADA

Sobre ampollas y/o frascos de vidrio.

REPRESENTANTES Y DISTRIBUIDORES DE:

VARIAN CORP. USA = Cromatográficos y espectrofotómetros

SINTORGAN SA-RA = Productos Químicos y Reactivos
Analíticos PPA.-

OSA SACIFIA-RA = Productos Agroquímicos

TINTAS PILKA * 50 años sirviendo al País

REPUBLICA 2174

ANTEL 26026

SAVONNA S.A.

Como segunda etapa se aplicarán filtros de mayor eficiencia, como los de medio filtrantes seco, descritos en el capítulo III o como en el ilustrado en la figura 27. Si bien los filtros de alta eficiencia tienen costos iniciales considerables, su vida útil es grande, dada su amplia capacidad de almacenamiento. Asimismo, con un sistema de prefiltros adecuados la vida útil del filtro secundario aumenta considerablemente.

En cada caso el fabricante debe considerar las especificaciones de control de calidad y muy especialmente el tipo de contaminación del ambiente donde está situada la cabina.

Una vez más es conveniente tomar muestras del polvo contaminante y clasificarlas en función del tamaño de partículas.

Un aspecto importante, que se debe tener en cuenta es el estado en que las carrocerías entran a la cabina de pintura. Es inútil filtrar el aire de la cabina si las carrocerías no vienen convenientemente limpias. Aunque ésta es una verdad de perogrullo, más de una vez ha habido rechazos por pintarse superficies no acondicionadas previamente.

Además de cuidarse la inyección de aire a la cabina, deberá evitarse el manipuleo de elementos susceptibles de desprender partículas o fibras dentro de la misma.

Actualmente la tendencia en cabinas de pintura es usar filtros de eficiencias aún mayores que los anteriormente indicados. Esto se debe a que partículas que individualmente no crearían problemas sobre una carrocería, tienden a aglomerarse entre sí.

Por lo anterior diversos fabricantes europeos y norteamericanos especifican para cabinas de pintura filtros de eficiencia NBS mínima 40 % admitiendo algunos la conveniencia de usar filtros que tengan una eficiencia NBS del 80 %.

La contaminación en la industria de los semiconductores

El peligro de fallas debidas a la contaminación ambiental, en el mundo de la electrónica y muy especialmente en lo que a la industria de semiconductores y circuitos integrados se refiere, ha crecido con el desarrollo de la misma.

La búsqueda de confiabilidad en circuitos elec-

trónicos ha forzado a la industria a desarrollar equipos especiales que limiten la contaminación a niveles muy bajos.

Circuitos integrados

Un circuito integrado es un conjunto de componentes electrónicos en una estructura pequeña de alrededor de 10 mm² con un número de componentes que pueden variar entre 20 y 8.800. Hay dos tipos básicos de circuitos integrados: de película delgada y monolíticos.

Circuitos integrados de película delgada

Un circuito de película delgada tiene todos los componentes pasivos (resistencias y capacitores) en forma de películas delgadas depositadas sobre una capa inerte. Los componentes activos (transistores) son dispositivos discretos conectados a la capa por soldadura.

El conjunto final se encapsula generalmente en resina epoxy de manera de protegerlo.

Circuitos integrados monolíticos

Son así llamados porque los elementos del circuito activos y pasivos se encuentran conformados en una única oblea de silicio por técnicas de difusión planar. Debido a que los circuitos monolíticos con transistores internamente difundidos se hacen en un único proceso de fabricación requiriendo un mínimo de interconexiones, su confiabilidad potencial es mayor que los de película delgada (figura 29).

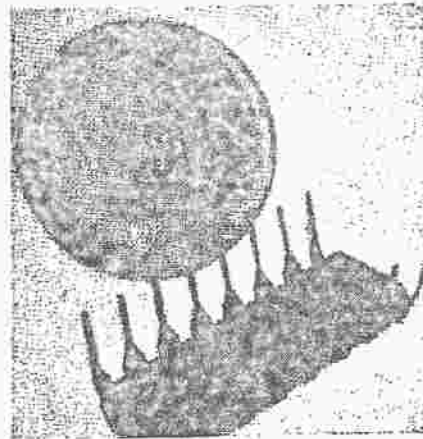


Figura 29.—Circuito monolítico encapsulado de alto grado de integración. Contiene miles de elementos de circuito.

12 Fabricación

La fabricación de un circuito integrado monolítico parte del crecimiento de un cristal de silicio de alta pureza. Después de la formación de un cristal de silicio de 15 cm de largo por 2,5 cm de diámetro, centenares de obleas finas de una décima de milímetro de espesor se producen por corte y ataque químico.

Debido a que el circuito integrado final yacerá enteramente en una capa de unos 30μ , la oblea de silicio deberá tener una terminación especular y perfectamente limpia.

Las obleas limpiadas y pulidas son colocadas luego en una estufa donde el óxido de silicio se expande sobre todo en la superficie. Luego, pequeñas aberturas correspondientes a las deseadas áreas de la base son cortadas en el óxido por medio de fotolitografía y ataque químico. Esto se hace cubriendo la superficie con resina fotosensible, la cual se expone a través de una máscara fotográfica llamada retícula. Las áreas expuestas de la resina fotosensible son endurecidas por la exposición a la luz.

Luego por revelado se remueven las partes no endurecidas, dejando al descubierto la capa inferior de óxido de silicio. Por ataque químico se cortan las ventanas de base a través de la capa de óxido de silicio dejando al descubierto el cristal de base.

A continuación, la resina fotosensible se quita por medio de solventes y la oblea queda lista para la difusión de base. El término difusión significa la distribución de impurezas o dopantes por migración atómica dentro del cristal de silicio a altas temperaturas. Debido a que ciertos dopantes difunden en el óxido de silicio mucho más lentamente que en el silicio, el óxido remanente sirve como máscara.

Circuitos monolíticos complejos usan capas epitaxiales semiconductoras. Esta técnica incluye el crecimiento de una capa muy fina de silicio sobre una oblea madre del mismo material. Estas capas crecen por la deposición átomo por átomo de silicio obtenido de la descomposición de tetracloruro de silicio.

Por repetición de estos pasos básicos —difusión, ataque químico y crecimiento epitaxial— el circuito monolítico integrado se construye. Diodos, resistencias y transistores son formados por arre-

plos de las varias capas producidas durante los pasos de difusión. Interconexiones entre los elementos del circuito se hacen depositando líneas delgadas de metal.

Luego la oblea es cortada y partida para separar los circuitos individuales. La primera protección del circuito se provee frecuentemente por la deposición de una fina capa de vitrificado.

La porción de oblea o "chip" es luego montada con soldadura de punto, del circuito a las terminales.

La producción de monocristales perfectos y la deposición y proyección de capas uniformes eléc-

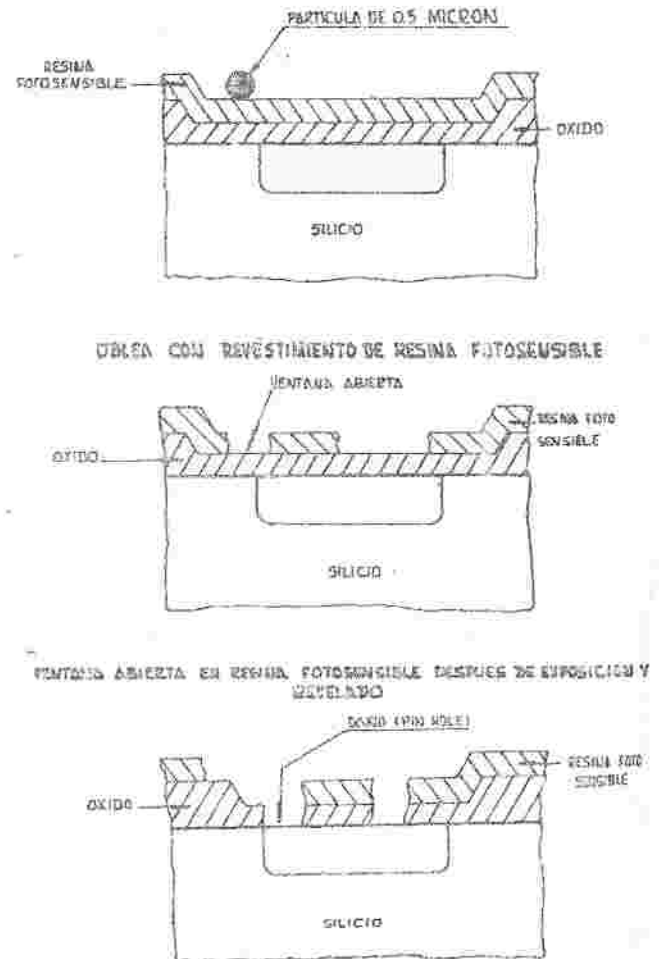


Figura 30.—Efectos de la contaminación por una partícula en el proceso de generación en un circuito de silicio

rica y geoméricamente son algunos de los procesos de la industria moderna.

Vamos a mostrar con un ejemplo práctico las consecuencias que origina el impacto de una partícula de $0,5 \mu$ sobre la superficie de una oblea. Recordemos que en este tamaño están las bacterias más pequeñas, partículas de humo de tabaco, pigmentos, etc.

Durante el proceso de fabricación de circuito integrado la partícula depositada sobre la resina fotosensible de la superficie, forma un defecto básico conocido como "pin hole" o agujero muy pequeño, en este caso (como ilustra la figura 30) en el óxido de la superficie protectora de la oblea.

Después del impacto sobre la resina fotosensible, la partícula actúa como una máscara indeseable, la cual es afectada por ataque en las operaciones siguientes. El circuito es pasible de rechazos.

En cada uno de los pasos sucesivos, contaminación significa desastre. Esto se aplica igualmente a productos químicos, cámaras y gases. Por lo tanto la industria de semiconductores desafía todos los aspectos del control de la contaminación.

Control de contaminación ambiental

Una breve revisión de operaciones típicas servirá para aclarar la real dimensión del problema.

Un circuito integrado de gran integración (LSI) se dibuja típicamente en una escala 400 veces mayor que la medida final, sobre un reticulado de 20.000 grillas, estando el circuito contenido en 6 grillas o más.

Estas grillas o mallas son reducidas fotográficamente 40 veces para formar retículas que serán usadas para proyectar el circuito completo sobre un "chip" de 10 mm^2 . El número de elementos contenidos en un circuito integrado (transistores, diodos, resistencias, capacitores) puede llegar a los miles.

Dispositivos en miniatura de tal complejidad obviamente se deben hacer bajo tolerancias extremadamente estrictas y bajo condiciones cuidadosamente controladas. Típicamente, las retículas deben ser cuidadas hasta $0,5 \mu$ de tolerancia y el circuito completo no tendrá tolerancias mayores a 1μ .

Todos los controles de contaminación requeridos para este proceso de fabricación son extremada-

mente severos.

Influyen:

1) *Aire ambiente*: Todas las operaciones críticas de fabricación deben ser realizadas bajo condiciones de clase 100 de la norma 209a, las que se mantendrán hasta el encapsulado final del circuito terminado.

2) *Agua*: El proceso requiere típicamente agua de 18 megaohms filtrada por filtros de $0,25 \mu$ a $0,50 \mu$ y expuesta a la luz ultravioleta para prevenir desarrollos de contaminantes biológicos.

3) *Gases*: Requerimientos de pureza para gases usados en el proceso como helio y nitrógeno son equivalentes a los del agua.

4) *Temperatura y humedad*: Requerimientos típicos son temperaturas de $20-22^\circ \text{C}$ y humedad de $42,5 \% \pm 2,5 \%$. El hecho de que el aire pueda ser recirculado en ciertos lugares hace que éstas sean condiciones difíciles de cumplir.

Vibraciones. Debido a tiempos de exposición fotográfica relativamente largos (hasta 10 ó más segundos) la operación de fabricación es particularmente sensible a las vibraciones. Por esta razón equipos que pueden ocasionar vibraciones como bombas o ventiladores deben aislarse de la estructura donde se asientan cámaras y dispositivos montándolos sobre fundaciones totalmente aisladas.

Luz. En algunas áreas la luz roja deberá usarse para proteger la película de exposición accidental. Los niveles de limpieza son determinados por las necesidades del proceso. Un proceso de tolerancias estrictas admite un muy pequeño número de partículas sólidas en el aire de $0,5 \mu$ y mayores, como son los equipos de clase 100.

En el ambiente general de una fábrica de semiconductores podrá admitirse 200.000 partículas por pie cúbico en zonas no críticas, bajando a 10.000 como máximo en las zonas limpias y dentro de ellas existirán las mesas y campanas con no más de 100 partículas admitidas por pie cúbico de aire.

Si bien las mesas y campanas de flujo laminar son conjuntos autónomos, sus niveles de limpieza son afectados por el ambiente que los circunda. Aunque se trabaje con los mayores cuidados, el operador traslada con sus manos y brazos partículas colectadas en las zonas que circundan estos equipos.

4 La figura 31 muestra cómo el nivel de contaminación exterior a una mesa de trabajo de flujo laminar influencia al nivel de limpieza interior. De la figura se desprende cómo cuando un operador trabaja normalmente con actividad media, las partículas de $0,5 \mu$ y mayores llegan a 1.000 por pie cúbico para una contaminación ambiental de 200.000 por pie cúbico.

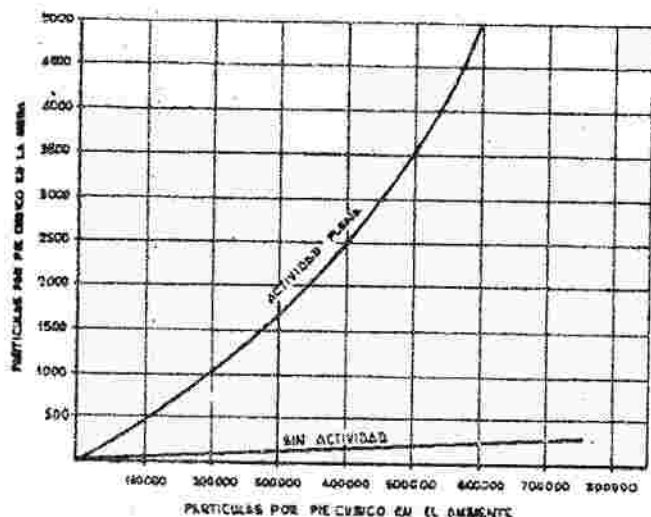


Figura 31. - Nivel de limpieza de la mesa en función del ambiente que la rodea

En la parte inferior de la figura se ve que no habiendo actividad de personal, los niveles de contaminación de la mesa bajan a un mínimo. De acuerdo con las especificaciones deberán bajarse los niveles relativos de contaminación del ambiente que rodea a los equipos de flujo laminar. Lo anterior se consigue por medio de controles de movimiento y ropa del personal, por medio de filtros de aire del sistema de ventilación, por extracción al exterior del aire donde el proceso de manufactura es de por sí generador de polvo, manteniendo los ambientes con presión positiva, controlando la humedad relativa y cuidándose de no entrar a las zonas elementos generadores de contaminantes.

El filtrado de aire en quirófanos y sus aplicaciones en hospitales

En este tema específico se considera la interrelación entre contaminación ambiental y microbio-

lógica teniendo en cuenta que las partículas dispersas en el aire son en muchos casos vehículos de microorganismos, bacterias y virus. De ahí que en el caso particular del quirófano y muy especialmente de operaciones con heridas grandes y expuestas por tiempos prolongados al aire ambiente, la relación de la contaminación ambiental con el porcentaje de infecciones es en muchos casos evidente.

Nos referiremos en adelante a datos y experiencias obtenidas por bacteriólogos, farmacéuticos hospitalarios, cirujanos e ingenieros que tuvieron y tienen participación en el diseño y operación de quirófanos en Europa, Estados Unidos y Sudáfrica.

Si bien desde la aplicación de técnicas de asepsia por Lister a fines del siglo pasado hasta métodos más modernos en nuestros días, bajó notablemente el peligro de infecciones, el problema de la infección hospitalaria sigue siendo de una importancia considerable.

Cifras estadísticas de operaciones quirúrgicas en Estados Unidos referidas al año 1967 dan como total 31.600.000 personas entradas en hospitales de las cuales 18.000.000 fueron sometidas a algún procedimiento quirúrgico. Se estima que el 7.4 %, es decir, 1.300.000 personas, tuvieron infecciones. Más adelante se calculó que el promedio de costo de la infección de una herida es de alrededor de US\$ 7.000. Si multiplicamos 7.000 dólares por 1.300.000 pacientes, tenemos un costo de 9.100.000.000 de dólares por heridas infectadas en un año.

La referencia anterior fue tomada del siguiente informe: "Infection, Immunology, Gnotobiosis" de Altemeier, WA y Levenson, S. J. of Trauma 1084-1086.

Lo anterior no es una mera pintura deshumanizada de un problema humano referido a costos económicos, sino que se pretende dar una idea de la magnitud del mismo. En Gran Bretaña se ha visto que infecciones en heridas mantienen los pacientes una semana extra promedio en el hospital. Cifras obtenidas en Sudáfrica con unas 600.000 intervenciones anuales da un promedio de 4.200.000 días-paciente en el hospital por infecciones.

Hay muchos microorganismos causantes de infecciones en heridas, pero los más comunes son

variantes resistentes a antibióticos de estafilococos dorados.

Por supuesto que son muchos los factores que gravitan en la posibilidad de infecciones siendo los más destacables, cuerpos extraños en las heridas, la duración de la operación, la superficie expuesta de la herida, el tratamiento con antibióticos, la resistencia y el estado general del paciente, su edad y otros factores. Un paciente puede tener una infección también como resultado de organismos presentes en su cuerpo así como resultado de infección cruzada después de su entrada en el hospital.

Otras fuentes de infección pueden estar dentro del quirófano como en el equipo quirúrgico, polvo, gasas e instrumentos. Es decir, para separar las fuentes de contaminación las dividiremos en dos grandes grupos:

a) Por contacto,

b) Por partículas dispersas en el aire.

Como ejemplo, la contaminación por contacto sucede cuando los organismos entran en la herida por contacto directo de un guante contaminado del cirujano, o un bisturí o instrumento en las mismas condiciones.

La infección por partículas de aire ocurre cuando organismos agregados a partículas de polvo o rocío y llevadas por corrientes de aire se depositan sobre la herida. Pese a todo, una vez que la herida se ha infectado, es muy difícil determinar por qué vía se ha producido la infección.

Vamos a ver ahora los resultados obtenidos en quirófanos donde se puso especial cuidado en limitar la contaminación ambiental utilizando cerramientos con inyección de aire filtrado, pero vamos a detenernos previamente sobre las partículas portadoras de microorganismos.

Las partículas vehículos de organismos son dispersadas en el aire del quirófano por dos medios principales:

1) Provenientes de la actividad de los cirujanos y su equipo. Proviene del aparato respiratorio de los individuos al hablar, estornudar, toser o de movimientos que desparraman partículas de escamas de la piel o ropa donde se han acumulado.

2) Pueden provenir por dispersión en el aire de partículas depositadas en superficies contaminadas como el piso, por ejemplo.

Pueden dividirse en rocíos, núcleos de gotitas y polvo.

Rocíos y núcleos de gotas

Al hablar, y especialmente al toser o estornudar, enormes cantidades de gotitas son expelidas al ambiente cayendo las más grandes al piso donde se entremezclan y adhieren a partículas de polvo, pero las más pequeñas evaporan velozmente y su contenido cristaliza. El residuo de la gota después de la evaporación, que contiene a los microorganismos es llamado núcleo de gota. Estos núcleos varían en tamaño de 2 a 10 μ en diámetro y caen tan lentamente en aire quieto que cuando hay suaves corrientes de aire se mantienen dispersos en el mismo hasta que se expulsan por una ventilación adecuada.

En un trabajo presentado en el "Journal of the American Medical Association", Dic. 7 de 1963, vol. 186, por C. W. Walter, Kundsinn y Brubaker, llamado "The Incidence of Airborne wound infection during operation", se mencionan casos de infecciones en heridas por gotitas expulsadas a través de los barbijos.

La irradiación ultravioleta de suficiente intensidad y bajo condiciones adecuadas, puede destruir efectivamente microorganismos presentes en los núcleos de gotas. Sin embargo existen serios inconvenientes en la aplicación de lámparas ultravioletas como ser:

a) Si los cirujanos o el paciente son expuestos a la luz ultravioleta, la piel y los ojos deben ser protegidos adecuadamente. Esto es muy difícil y engorroso.

b) El poder de la radiación decrece notablemente para humedades relativas mayores al 60 %.

c) Las ondas ultravioletas no atraviesan el polvo o las partículas extrañas depositadas sobre los tubos.

d) La radiación disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia del foco.

e) Puede ser tanto o más efectivo y mucho más confortable la eliminación de los núcleos de gotas por medio de mayores renovaciones del aire acondicionado. (Téngase en cuenta que esto sucede para más de 60 renovaciones por hora, y normalmente en aire acondicionado las renovaciones horarias son de 12 a 18).

Polvo

Como vimos en el capítulo I el polvo varía enormemente en su estado de dispersión. Las bacterias varían en tamaño de 0,4 μ a 14 μ pero normalmente se encuentran aisladas o en colonias sobre partículas superiores a los 3 μ .

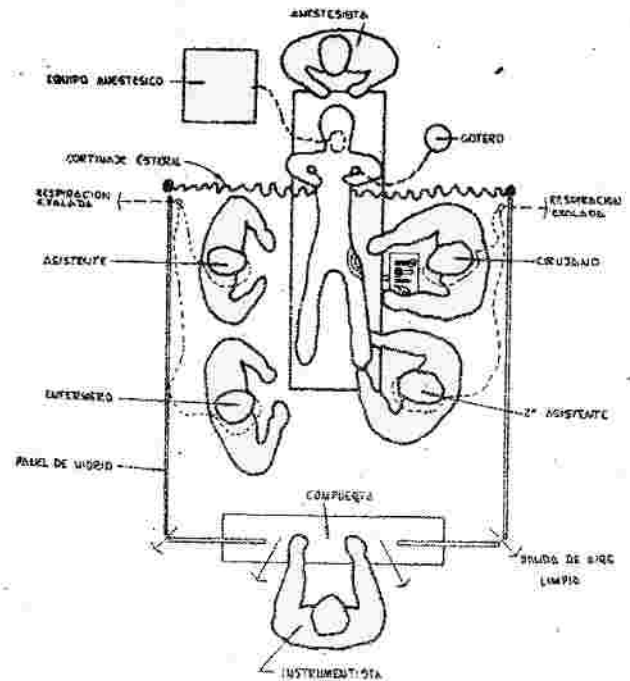
El polvo puede provenir de varias fuentes, como la contaminación del aire exterior, de otras partes del hospital, de las superficies de paredes y pisos, del sistema de ventilación y *muy especialmente del personal quirúrgico y del paciente*. Recordaremos los siguientes datos, algunos de ellos ya mencionados en capítulos anteriores:

- Una persona moviéndose normalmente puede generar hasta 5.000.000 de partículas por minuto mayores de $0,5 \mu$.
- Caminando a 5 km/h la generación de partículas llega a 7.500.000.
- Como generadores de aerosoles bacterianos un individuo como promedio genera 4.000 colonias con poca actividad hasta 50.000 a plena actividad.
- En el hombre una capa completa de piel se escama cada 2 días.
- En una ciudad industrial el promedio de partículas mayores de $0,5 \mu$ puede variar de 5.000.000 a 10.000.000 por pie cúbico. Es decir, 175.000.000 a 350.000.000 por m^3 .
- Consecuencia de lo anterior en forma muy resumida es que el nivel de limpieza está condicionado a la efectividad de filtración del contaminante exterior y a la limitación de la generación de la contaminación interior.
- Un último punto a tener en cuenta es que los filtros usados comúnmente en ventilación y aire acondicionado no son efectivos para la remoción de las partículas pequeñas portadoras de contaminantes bacterianos.

El quirófano de Charnley

Sin duda alguna el doctor John Charnley, cirujano ortopedista del Whritington Hospital, en Gran Bretaña fue el pionero en la búsqueda de la eliminación de contaminación ambiental en quirófanos.

En el año 1964 Charnley presentó un informe titulado *A sterile aire operating theatre enclosure* ("British Journal of Surgery").



PLANTA DEL QUIRÓFANO CHARNLEY

Figura 32. - Planta del quirófano Charnley

En el informe de Charnley se destaca que en operaciones de atroplastia de cadera llegó a tener un porcentaje de infecciones postoperatorias del orden del 9,5 %.

En el mismo informe destacaba haber desarrollado un quirófano desmontable con aire totalmente filtrado a través de filtros de alta eficiencia (no absolutos) con un muy alto número de renovaciones de aire acondicionado horarias (entre 320 y 420). Figura 32.

Además, en su afán de bajar la contaminación del aire interior, él y su equipo actuaban enfundados en túnicas con la cabeza totalmente cubierta y un sistema de aspiración llevaba el aire de abajo de sus máscaras a una succión de salida que extraía fuera del quirófano el aire respirado.

Con esta innovación la cantidad de infecciones había bajado drásticamente a 1,1 %. Dado el notable éxito de la estructura del quirófano desarmable, Charnley construyó un quirófano fijo, especialmente diseñado para operaciones de cadera.

La estructura de laterales de vidrio es de 2,13 × 2,13 m provista enteramente de aire exterior filtrado y acondicionado. Desde el techo se inyecta aire limpio manteniéndose el quirófano con una sobrepresión en su interior.

El quirófano de Charnley fue un significativo adelanto en el aislamiento y control de las in-

Un ejemplo de la adaptación de los elementos de flujo laminar modulares a quirófanos es la ins-

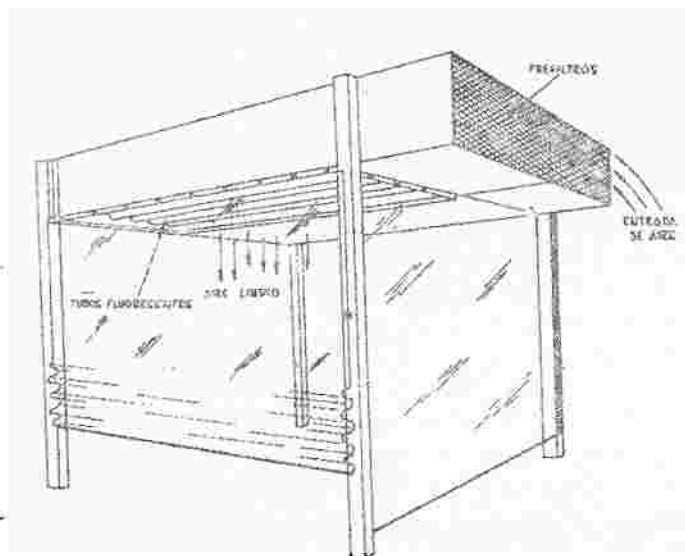


Figura 33. — Quirófano portátil de flujo laminar vertical

fecciones debidas a partículas dispersas en el aire, pero presentaba los siguientes problemas:

- a) Grandes volúmenes de aire que al no recircular implicaban grandes costos en su acondicionamiento, particularmente en climas templados.
- b) Su diseño es elaborado exclusivamente para operaciones de cadera.
- c) Los laterales de vidrio hacen el sistema poco flexible.
- d) El sistema de iluminación exterior es caro y poco flexible.

Quirófanos con flujo laminar y filtros HEPA

El paso siguiente de los resultados obtenidos, fue el de buscar la adaptación de equipos desarrollados para la NASA utilizando filtros HEPA con flujo laminar de aire filtrado. Figura 33.

Se buscó además de mejorar las condiciones de control de contaminación, bajar los costos de aire acondicionado y equipos por la preparación de quirófanos con elementos modulares, desarmables y fácilmente transportables.

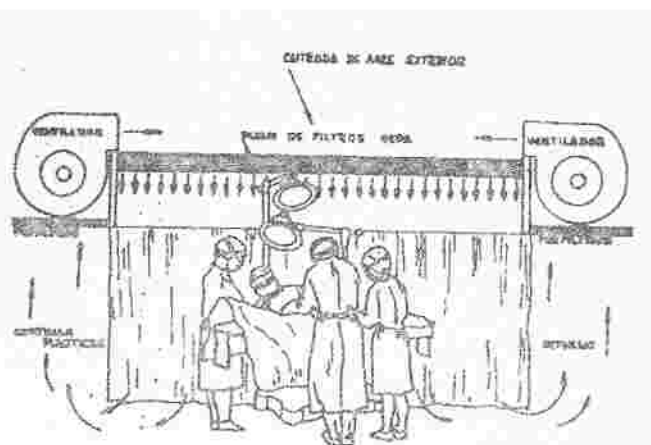


Figura 34. — Quirófano desmontable de tubo laminar vertical

talación del quirófano de flujo de aire vertical que se hizo en el Bataan Memorial Hospital en Albuquerque, New Mexico, Estados Unidos.

De este quirófano, en funcionamiento desde octubre de 1966, tenemos estadísticas de los primeros 54 meses de uso, es decir hasta marzo de 1971. Las operaciones realizadas en el mismo fueron 3.408, ocurriendo 27 infecciones, lo que implica un porcentaje de 0,79 %.

En el Hospital H. F. Verwoerd en Pretoria, Sudáfrica, se instaló en 1970 un quirófano con módulos de filtros absolutos y flujo laminar vertical. Figura 34.

Su tamaño es de 2,70 m × 2,70 m con una altura de 2,50 m y se instaló en un cuarto ya existente de 6,70 m × 6,10 m. Este quirófano autoportante se sostiene por cuatro columnas metálicas de 100 × 100 mm, siendo los laterales de PVC.

Tiene en una de las paredes una abertura permanente de 600 × 450 mm para el paso de instrumentos durante la operación.

Todo el ciclorraso está formado por filtros HEPA teniendo prefiltros de eficiencia NBS 35 %. Los siguientes son resultados de recuentos de bacterias con placas de Petri, durante una operación que duró cuatro horas.

En las primeras 3 horas de operación con 10 placas a nivel de la mesa de operaciones se contaron 3 colonias, es decir un promedio de 0,33.

En las primeras 3 horas de operación con 8 placas a nivel del piso se contaron 10 colonias, es decir un promedio de 1,25.

En la última hora de la operación sobre la mesa se recolectaron 6 colonias en 10 placas, lo que da un promedio de 0,6 colonias por placa.

En la última hora de la operación y a nivel del piso se recolectaron 7 colonias en 7 placas, lo que da un promedio de una colonia por placa.

La experiencia indicada anteriormente y ratificada por conteos similares indica que la posibilidad de infectar una herida por partículas dispersas en el aire en un quirófano con flujo laminar es muy remota.

Si bien el primer quirófano con filtros absolutos y flujo laminar fue instalado en los Estados Uni-

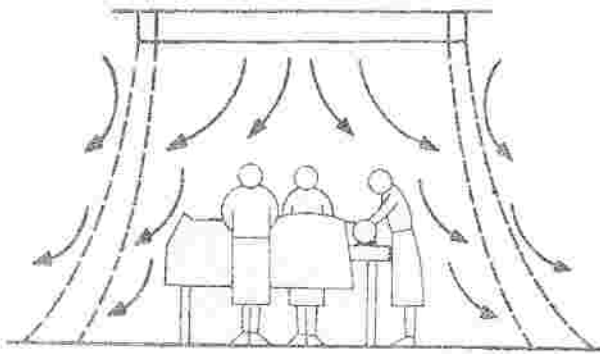


Figura 35

dos en 1966, hacia 1970 había instalados más de 100, desarrollándose a partir de entonces su uso muy especialmente en ortopedia, neurocirugía, cirugía cardiovascular, trasplantes, etc.

Actualmente en los Estados Unidos, Europa y Sudáfrica, existen decenas de compañías especializadas en la fabricación e instalación de equipos de flujo laminar para quirófanos, además de otras aplicaciones hospitalarias.

Otra de las aplicaciones del flujo laminar en hospitales se da en casos de tratamientos de quemaduras, leucemia, unidades de terapia intensiva, tratamiento del cáncer, etc.

Sobre las instalaciones ya indicadas de flujo laminar caben algunas variantes, aunque todas parten del mismo concepto.

Una variante interesante es la que ilustra la figura 35. Una superficie del cielorraso sobre la mesa de operaciones y el equipo está formado totalmente por filtros absolutos y se encuentra circundado en su perímetro por 2 canales laterales que expelen el aire también filtrado por filtros HEPA a velocidades mayores.

La cortina de aire así formada impide la entrada a la zona crítica del aire más contaminado que la circunda.

Filtrado de aire en centrales nucleares

Las centrales nucleares se proyectan para ser tan seguras como es posible. Además se prevén sistemas de seguridad para el cierre de la planta en caso de fallas en el equipo. Por último, toda la planta se encuentra sellada dentro de un edificio de contenimiento, de manera de que aún en el caso casi imposible de imaginar una falla simultánea de todos los sistemas de seguridad, no se enviaría radioactividad al ambiente exterior.

El éxito de estos proyectos y métodos se verifica por el hecho de que nunca una planta nuclear de generación de energía ha sido causa de accidentes o desastres. Se considera generalmente que la única manera en la cual elementos radiactivos pudieran salir al ambiente exterior es por salida de efluentes, ya sea por vapor de agua que circula dentro de la planta o por los sistemas de ventilación de aire y gases.

Por esta razón los sistemas de ventilación y filtrado de aire son una parte importante del sistema de seguridad general.

Los sistemas de filtrado de aire se dividen en dos grupos:

- a) Sistemas de ventilación de operación normal.
- b) Sistema de emergencia o limpieza después de accidentes.

Los sistemas de limpieza de aire tienen varias funciones. La primera es eliminar materiales radiactivos de flujos de aire que salen al exterior para prevenir la contaminación ambiental.

En plantas con sistemas cerrados, los sistemas de limpieza de aire se usarían sólo para limpiar el aire interior permitiendo el acceso del personal durante los periodos de mantenimiento.

Finalmente, en la eventualidad del accidente, los sistemas de emergencia permiten la limpieza del aire contaminado antes que el personal entre al reactor.

La radiactividad puede ser causada por aerosoles (polvo radiactivo, material contaminado, etc.) o en forma gaseosa.

15
Los sistemas de limpieza de aire contienen en consecuencia elementos para filtrar ambas formas de elementos radiactivos. Básicamente, todos los sistemas de ventilación constan de filtros de alta eficiencia, filtros absolutos, y conjuntos de lechos de carbón adsorbedor de gases, enmarcados en elementos metálicos especiales.

AUFYBI

AGRADECE AL Sr. MINO COVO

SU AUTORIZACION PARA

TRANSCRIBIR ESTE TRABAJO
