



Sistemas HVAC en cuartos limpios

Guía para diseñar y controlar cuartos limpios en la industria



04	●	Cuatro reglas fundamentales para aplicar en los cuartos limpios
06	●	Qué debe conocer un responsable de facilities antes de operar un cuarto limpio
08	●	Principales fuentes de contaminación en cuartos limpios
10	●	Cuatro componentes básicos para definir un ambiente controlado
12	●	Diseño de sistemas HVAC para cuartos limpios
14	●	Metodologías para el diseño de flujos de aire en cuartos limpios
16	●	Especificaciones para el diseño de sistemas de filtración en cuartos limpios
19	●	Diseño de patrones del aire del cuarto limpio
24	●	Aire de remplazo en cuartos limpios
26	●	Cómo reducir los costos de operación y mejorar la productividad en cuartos limpios
29	●	Controles de distribución de electricidad unificada y unidades de filtro de ventiladores (FFU) de bajo consumo.
31	●	Contacto



Sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) en cuartos limpios

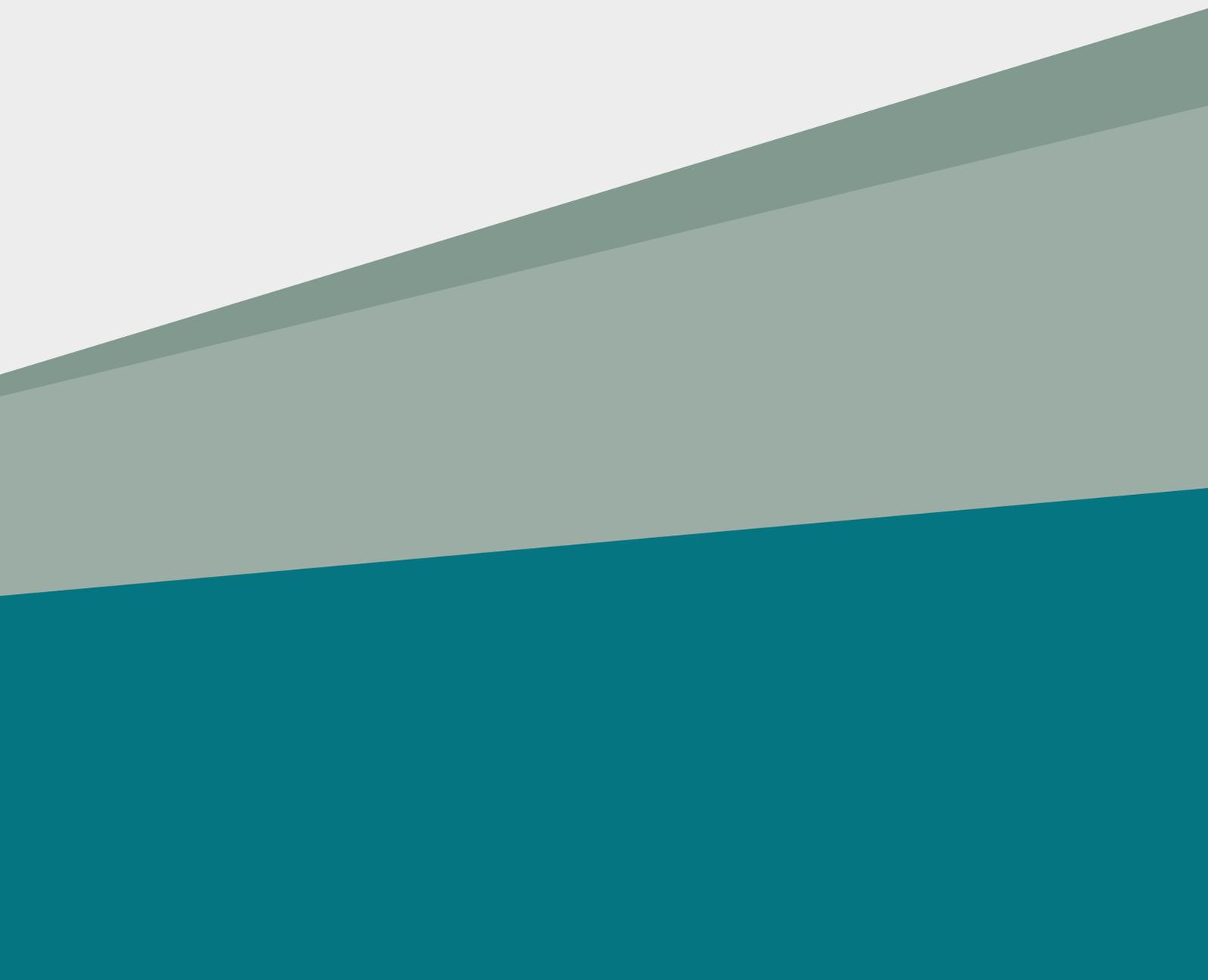
Guía para diseñar y controlar cuartos limpios en la industria

El objetivo del sistema de aire acondicionado en cuartos limpios es proveer de un flujo de aire con un volumen y una limpieza suficientes para mantener la media de limpieza del cuarto. El aire es introducido en el cuarto limpio de una manera que se eviten las áreas de estancamiento donde las partículas podrían acumularse. El aire también debe estar acondicionado para cumplir con los requisitos de temperatura y humedad del cuarto limpio. Además, se debe introducir el suficiente aire acondicionado de reemplazo para mantener la presión positiva especificada.



La calidad de aire en interiores es de suprema importancia para la salud y el confort de los seres humanos. El aire, bien sea que venga de fuera o que se recircule dentro de un área cerrada, actúa como vehículo de contaminantes aéreos que se introducen por el movimiento de las personas, de los materiales, etc. Teniendo en cuenta que muchos de esos contaminantes aéreos son dañinos para los productos o para las personas que trabajan en determinados ambientes, es necesaria su remoción por cuestiones legales, sociales o económicas. Los cuartos limpios son espacios cerrados y controlados, especialmente contruidos, en los que la concentración de partículas aéreas (contaminantes) se mantiene dentro de unos límites especificados. En la industria Mexicana, los cuartos limpios se utilizan en la fabricación de *hardware* electrónico como los circuitos integrados (ICs) y los discos duros. En biotecnología y medicina, los cuartos limpios se utilizan cuando es necesario garantizar un ambiente libre de bacterias, virus u otros patógenos.

CUATRO REGLAS FUNDAMENTALES PARA APLICAR EN LOS CUARTOS LIMPIOS





Cuatro reglas fundamentales para aplicar en los cuartos limpios

1

Lo primero es que los contaminantes provenientes del exterior no deben introducirse en el ambiente controlado.

2

En segundo lugar, los aparatos y equipos que se encuentren dentro del ambiente controlado no deben generar o aumentar los contaminantes (por ejemplo como resultado de la fricción, de reacciones químicas o de procesos biológicos).

3

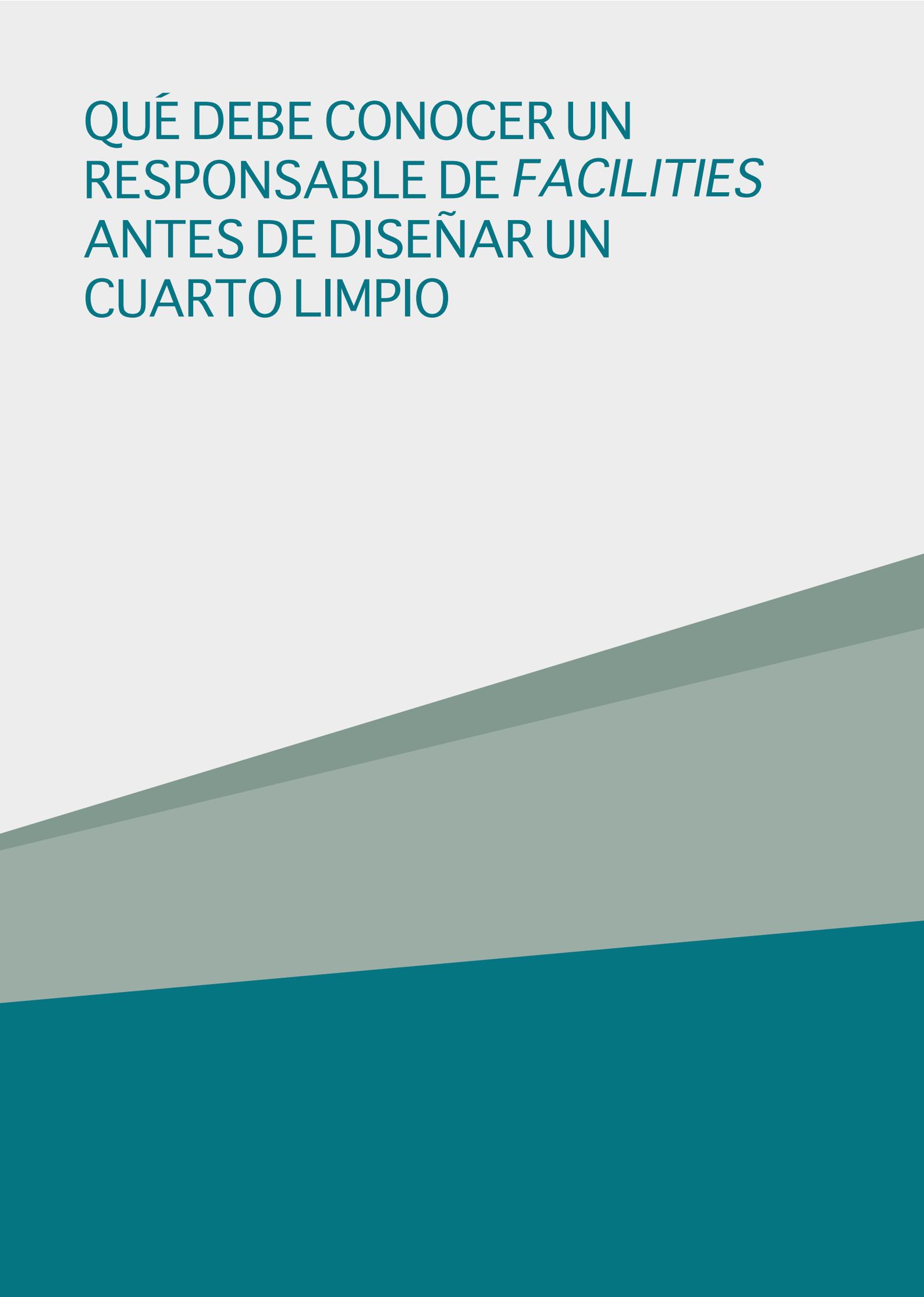
Tercero, no se debe de permitir que los contaminantes se acumulen dentro del ambiente controlado.

4

Cuarto, los contaminantes existentes deben ser eliminados en la mayor cantidad posible, y tan rápido como se pueda.

Los sistemas de aire acondicionado para los cuartos limpios en México son un campo especializado que requiere un profundo conocimiento de las directrices de limpieza, de los flujos y las corrientes de aire, de los requerimientos de temperatura, de humedad y de filtración; un conocimiento por parte de los directores de *facilities* sobre los códigos y estándares, además de un equipo, instrumentación y controles especializados, entre muchos otros detalles son clave para diseñar y operar cuartos limpios. Este Ebook describe algunos de los requisitos básicos para el diseño de sistemas **HVAC para aplicaciones en cuartos limpios**.

QUÉ DEBE CONOCER UN RESPONSABLE DE *FACILITIES* ANTES DE DISEÑAR UN CUARTO LIMPIO





Qué debe conocer un responsable de *facilities* antes de diseñar un cuarto limpio

CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS AÉREAS

Las partículas aéreas son sólidos suspendidos en el aire. Para nuestro propósito las partículas se definen como cuerpos con:

A

UNAS FRONTERAS FÍSICAS EN TODAS LAS DIRECCIONES



B

UNOS DIÁMETROS COMPRENDIDOS ENTRE 0.001 MICRON Y 100 MICRONES*



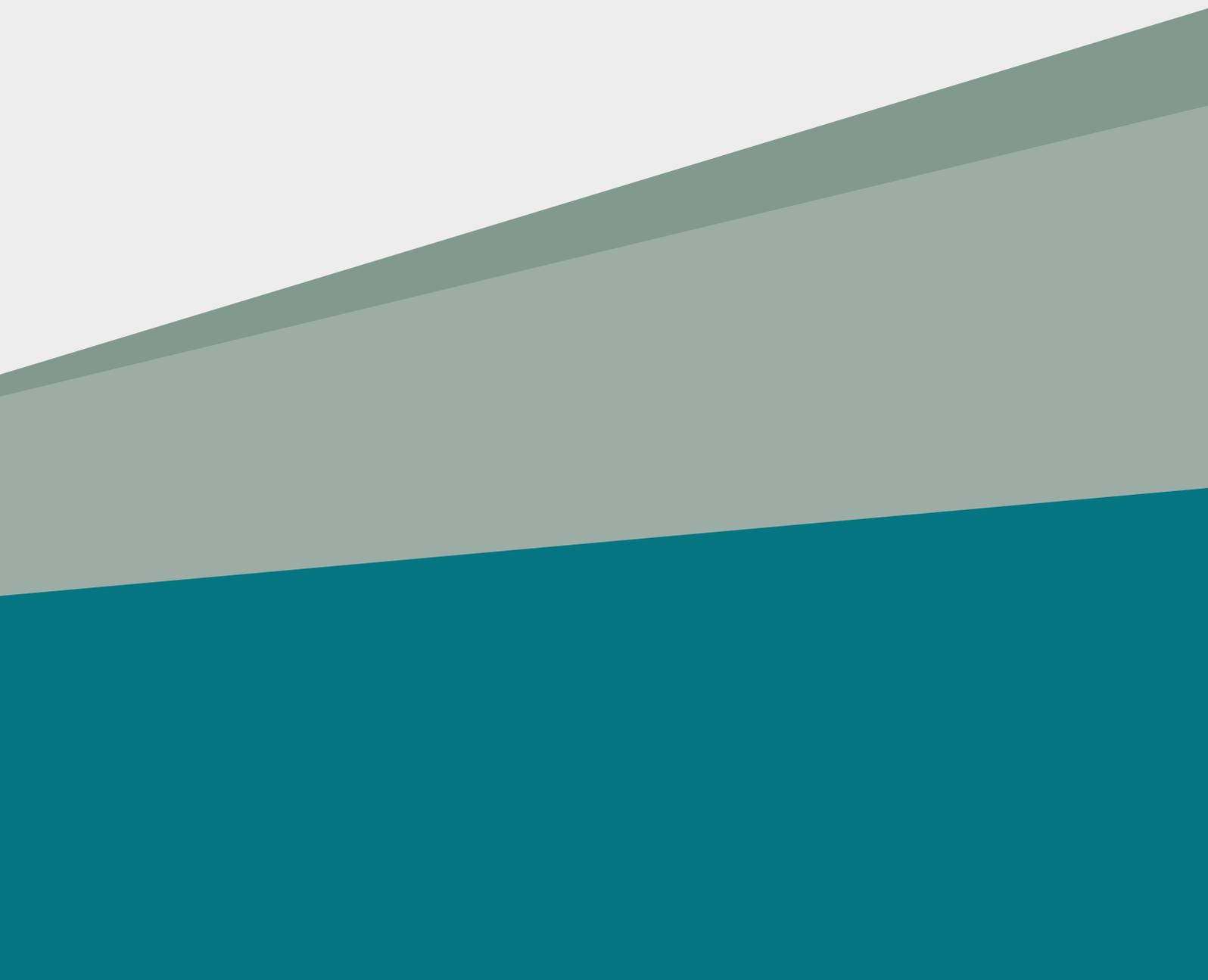
C

CARACTERÍSTICAS MATERIALES DE ESTADO SÓLIDO O LÍQUIDO



* El tamaño de los contaminantes y de las partículas normalmente se describe en micrones; un micrón es una millonésima de un metro. En unidades americanas un micrón equivale a 1/25,400 de pulgada. Para hacerse una idea, un pelo humano tiene un diámetro de entre 75 y 100 micrones. Una partícula de 0.5 micrones (200 veces más pequeña que un pelo humano) puede causar un desastre mayor en un cuarto limpio.

PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN CUARTOS LIMPIOS

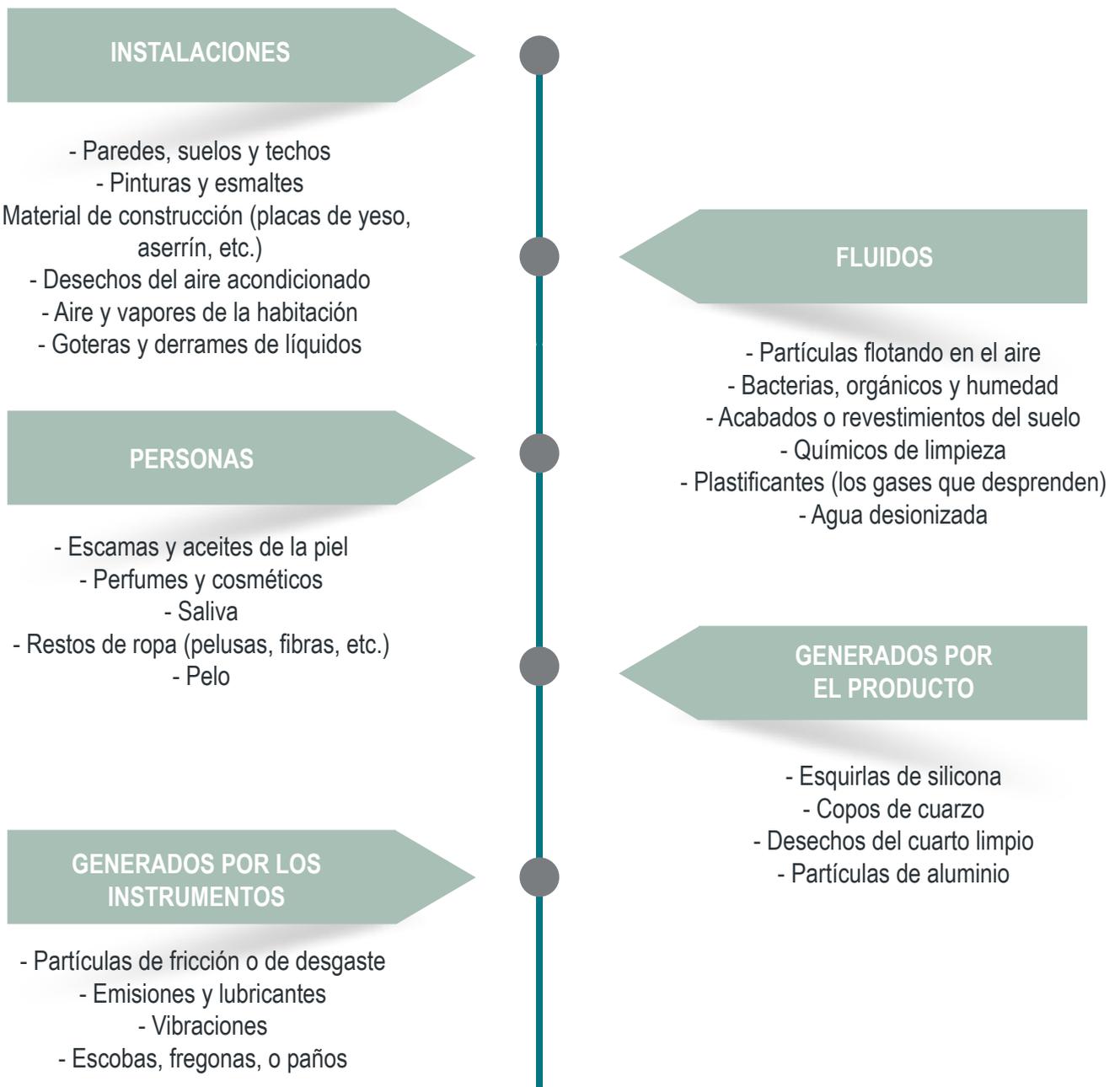




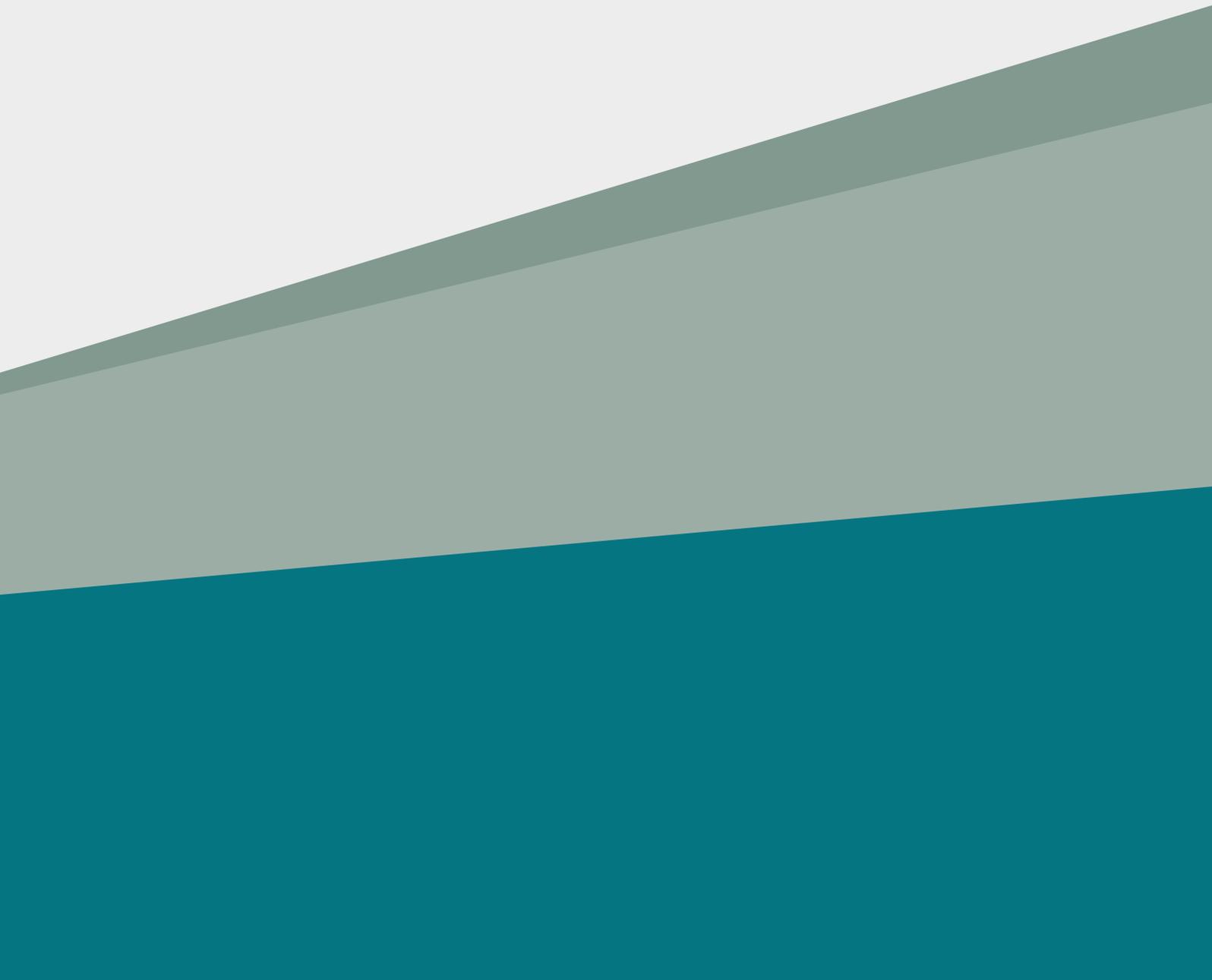
Principales fuentes de contaminación en cuartos limpios

El nivel de contaminación aérea de un cuarto limpio depende en gran medida de las actividades generadoras de partículas que se estén llevando a cabo en el cuarto, además del personal que también contribuye con los niveles de contaminación. Se ha comprobado que muchos de estos contaminantes son generados

por cinco fuentes básicas (1) las instalaciones, (2) las personas, (3) los instrumentos, (4) los fluidos y (5) el producto que está siendo manufacturado. Revise la siguiente lista para una mejor comprensión sobre dónde se origina la contaminación.



CUATRO COMPONENTES BÁSICOS PARA DEFINIR UN AMBIENTE CONTROLADO





Cuatro componentes básicos para definir un ambiente controlado

1 | ARQUITECTURA DE UN CUARTO LIMPIO

Los materiales de construcción y los acabados son importantes para establecer los niveles de limpieza y son fundamentales para minimizar la generación de contaminantes internos de las superficies.

TECNOLOGÍA DE INTERACCIÓN

3

La tecnología de interacción incluye dos elementos: (1) el movimiento de materiales y de personas dentro del área y (2) el mantenimiento y la limpieza. Es necesario realizar instrucciones administrativas, protocolos y tomar acciones sobre cuestiones de logística, de estrategias operativas, de mantenimiento y de limpieza.

2 | EL SISTEMA HVAC

La integridad del ambiente de un cuarto limpio está creada por la diferencia de presión en relación con las áreas adyacentes a través de los sistemas de calefacción, de ventilación y de aire acondicionado. Los requerimientos de los sistemas HVAC incluyen:

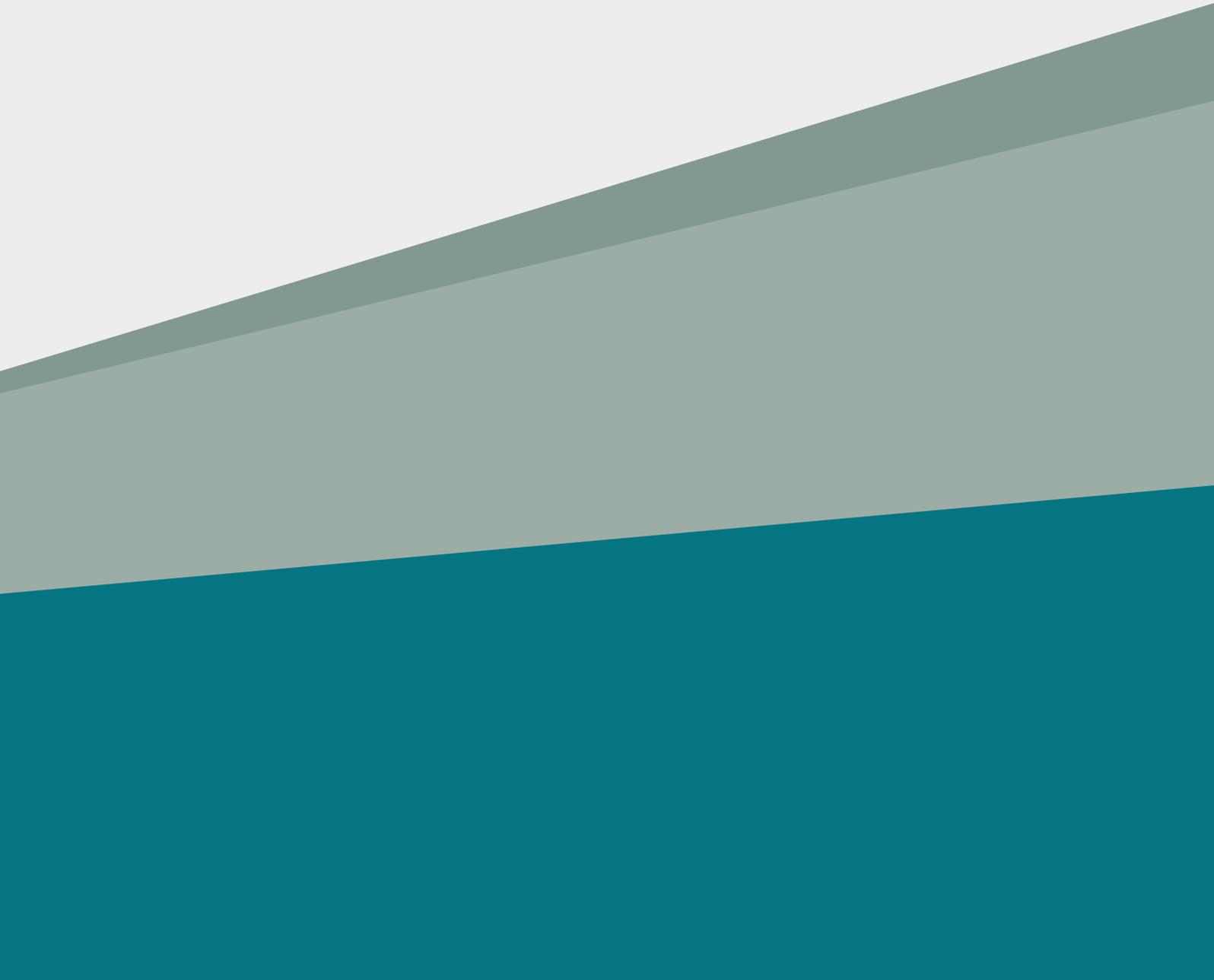
- El suministro de un flujo de aire con un volumen y una limpieza suficiente para mantener el nivel de limpieza del cuarto.
- La introducción de aire de una manera en la que se eviten las áreas de estancamiento donde las partículas puedan acumularse.
- El filtrado del aire exterior y del que se recircula a través de filtros de aire de alta eficiencia para partículas HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance).
- Acondicionar el aire para que cumpla con los requerimientos de temperatura y humedad del cuarto limpio.
- Asegurar el suficiente aire acondicionado de remplazo para mantener la presión positiva especificada.

SISTEMAS DE MONITOREO

4

Los sistemas de monitoreo incluyen los medios para indicar que el cuarto limpio está funcionando correctamente. Las variables monitoreadas son la diferencia de presión entre el ambiente exterior y el cuarto limpio, la temperatura, la humedad y, en algunos casos, el ruido y las vibraciones. Los datos de control deben ser registrados de manera rutinaria.

DISEÑO DE SISTEMAS HVAC PARA CUARTOS LIMPIOS





Diseño de sistemas HVAC para cuartos limpios

Los sistemas de HVAC en cuartos limpios son tremendamente diferentes de sus contrapartidas en los edificios comerciales en términos de diseño del equipo, de los requerimientos del sistema, de la fiabilidad, del tamaño y de la escala.

¿Qué diferencia un sistema HVAC de un cuarto limpio de un sistema HVAC convencional?

El diseño de un cuarto limpio implica mucho más que el control de la humedad y la temperatura de un sistema convencional. El aire promedio de un edificio de oficinas contiene entre 500,000 y 1,000,000 partículas (de 0.5 micrones o más) por cada pie cúbico de aire. Un cuarto limpio Clase 100 está diseñado para no permitir más de 100 partículas (de 0.5 micrones o más) por pie cúbico de aire. Los cuartos limpios de Clase 1 y Clase 10 están diseñados para limitar las partículas a 1 y 10 partículas por pie cúbico respectivamente. Un cuarto limpio se diferencia de un espacio de confort normal con aire acondicionado en lo siguiente:

AUMENTO EN LA RECIRCULACIÓN DE

Aunque el aire acondicionado para confort requeriría un cambio de entre 2 y 10 veces por hora, un cuarto limpio requiere normalmente entre 20 y 60 cambios de aire y puede llegar hasta 600 para una limpieza absoluta. La gran recirculación de aire se produce sobre todo para eliminar el asentamiento de las partículas y diluir, mediante el filtrado, la contaminación producida en el cuarto a un nivel de concentración aceptable.

EL USO DE FILTROS DE ALTA EFICIENCIA

El uso de filtros de aire de alta eficiencia para partículas (HEPA) con una eficiencia de filtrado de un 99.97% hasta 0.3 micrones es otra de las características distintivas de los cuartos limpios. Los filtros HEPA para los cuartos limpios más rigurosos se localizan normalmente en el extremo terminal de los conductos de aire y en algunos de los casos proporcionan una cobertura del 100% del techo.

PRESURIZACIÓN DEL CUARTO

El cuarto limpio tiene presión positiva (hasta 0.05 in-w.c.) con respecto a las áreas adyacentes. Esto se consigue introduciendo más aire del que se extrae y del que se pierde a través fugas hacia las áreas adyacentes.

Hay mucho más en el diseño de los cuartos limpios en términos de los detalles técnicos del equipo, tipos de filtros, eficiencia, flujo de aire, presurización, redundancia, ruidos y vibraciones, y la conservación de la energía. Veamos a continuación los más importantes a tener en cuenta.

METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE FLUJOS DE AIRE EN CUARTOS LIMPIOS

The background features a series of overlapping, slanted geometric shapes. At the bottom is a solid teal shape. Above it is a light grey-green shape, and at the top is a darker grey-green shape. The lines between these shapes are diagonal, creating a sense of movement and depth.



Metodologías para el diseño de flujos de Aire en cuartos limpios

El diseño del flujo del aire filtrado a través del cuarto limpio suele ser más complejo en los cuartos limpios más rigurosos y disminuye en la medida en que los requerimientos de limpieza también lo hacen. El flujo del aire generalmente se especifica como el número de cambios de aire por hora (AC/H por sus siglas en inglés).

El enfoque del promedio de la velocidad del aire se suele utilizar cuando se instalan filtros terminales en falso plafón. Durante años el valor de 90 FPM (0.46 m/s) +/- 20% ha sido utilizado para especificar el flujo de aire de los cuartos limpios de manera estándar. Esto se basó en el diseño de los primeros cuartos limpios durante el programa espacial en los años 60's y 70's.

En los últimos años, las compañías han experimentado con velocidades inferiores y se han dado cuenta de que las especificaciones con rangos de entre 70 y 100 fpm (0.35 hasta 0.51 m/s) \pm 20% pueden ser exitosas, evidentemente dependiendo de las actividades y del equipo dentro del cuarto.

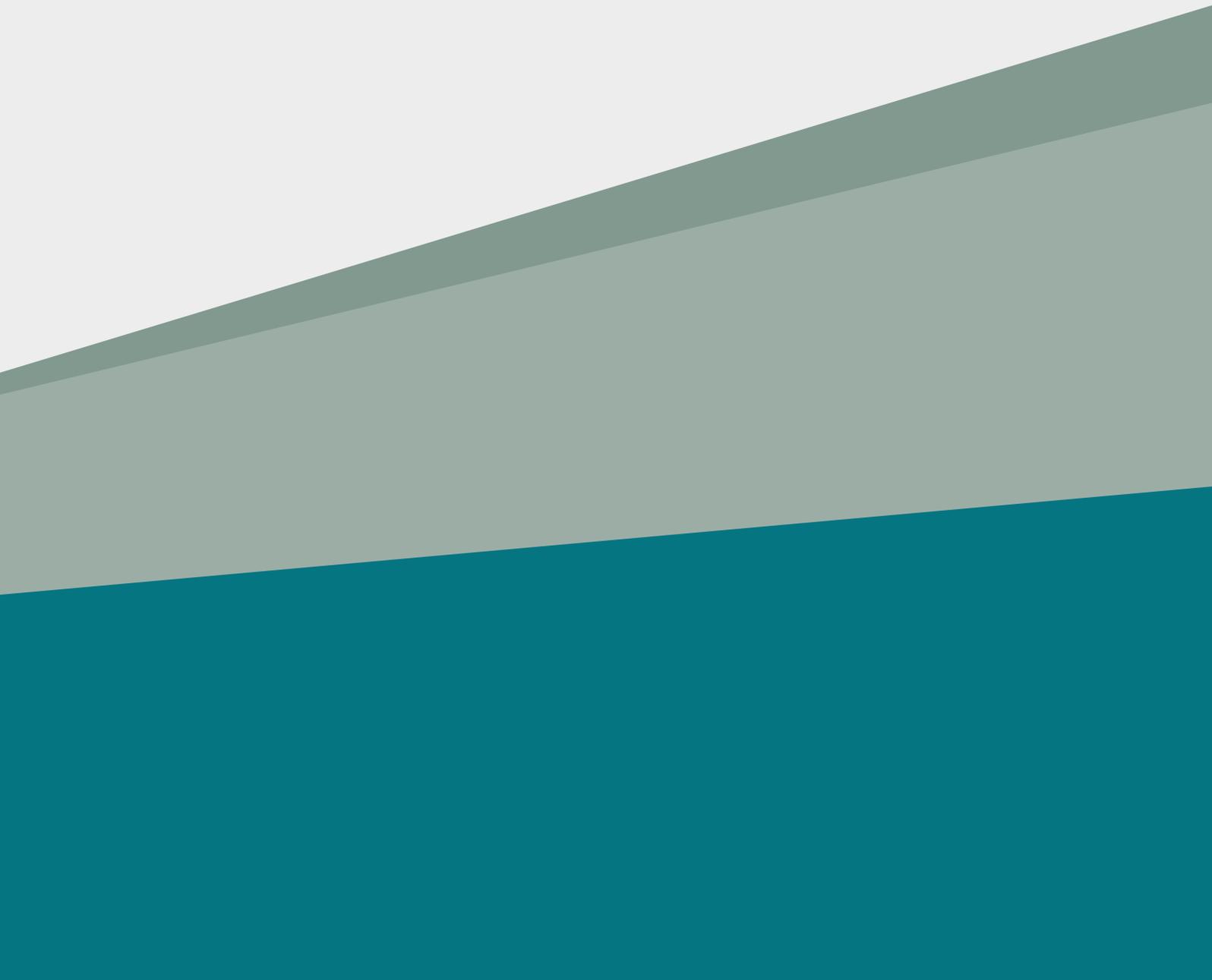
Los valores más altos son usados en cuartos con un mayor nivel de actividad de personal o de procesos con equipos que generan partículas. Los valores más bajos se usan en cuartos con un personal menor y más sedentario, así como con un equipo con menor potencial de generar partículas.

En IAASE hemos visto de manera frecuente que los directores de facilities y gerentes de plantas con conocimientos y una amplia experiencia en cuartos limpios especifican el valor más bajo del rango de velocidad que necesitan. No existe un único valor de velocidad media del aire aceptado por la industria para un cuarto limpio con una clasificación determinada. La única excepción para esta afirmación es la velocidad de 90 ± 20 fpm (0.46 ± 0.10 m/s) especificada por la FDA para ciertas áreas estériles de llenado, consideradas críticas en la industria farmacéutica.



La especificación de cambio de aire por hora se encuentra de manera más común en cuartos limpios con una rigurosidad intermedia o menor en la limpieza requerida. Los cuartos limpios intermedios se diseñan comúnmente con unos cambios de aire por hora de entre 30 y 160, mientras que los cuartos limpios menos rigurosos tienen unos rangos de hasta 20 AC/H. El diseñador selecciona un valor basándose en su experiencia y en su comprensión del potencial de generación de partículas de los procesos de los clientes. La tendencia en los últimos años ha ido yendo hacia un flujo de aire menor.

ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRACIÓN EN CUARTOS LIMPIOS





Especificaciones para el diseño de sistemas de filtración en cuartos limpios

Todo el aire que se introduce en un área controlada debe ser filtrado. La filtración de aire involucra la separación de las “partículas” de las corrientes de aire. Los métodos para retirarlas son casi tan diversos como los rangos de tamaño de las partículas generadas. La comprensión de las técnicas de separación requiere una definición exacta de lo que son las partículas. En la medida en que las partículas se hacen muy pequeñas, dejan de comportarse como partículas para asemejarse más al comportamiento de las moléculas en estado gaseoso. Es difícil determinar si realmente esas partículas están suspendidas en el aire (áreas) o se difuminan a través de él (gas o vapor). El límite inferior en que las partículas actúan realmente como partículas es de más o menos 0.01 micrones. La teoría normal de separación no se aplica a partículas por debajo de este tamaño y removerlas del aire requiere técnicas reservadas para los materiales gaseosos. Las partículas por encima de 0.01 micrones se consideran normalmente como filtrables.

Todo el aire que entra en un cuarto limpio debe ser tratado por uno o más filtros. Los filtros de aire de alta eficiencia para partículas (HEPA) y los filtros de penetración de aire super baja (ULPA) son los filtros más utilizados en los cuartos limpios.

Por muchos años, la industria de la microelectrónica ha sido pionera en la tecnología de los cuartos limpios. La necesidad de unos filtros más eficientes ha venido desde ésta y otras industrias relacionadas. El filtro ULPA (Ultra Low Penetration Air filter) con una eficiencia del 99.9995% en partículas de 0.12 micrones ha sido utilizado de manera efectiva en los cuartos limpios más rigurosos. Existen filtros más eficientes disponibles, pero son costosos y no han encontrado una gran aceptación. Existen eficiencias de hasta el 99.99% y el 99.999% en filtros que están a la venta por una serie de fabricantes y que han probado su efectividad en su aplicación en cuartos limpios muy rigurosos.

Los filtros HEPA (de aire de alta eficiencia para partículas) tienen una eficiencia del 99.97% en partículas de 0.3 micrones,

y han sido los caballos de batalla de la industria de cuartos limpios por muchos años. Todavía se usan ampliamente en la industria farmacéutica para cumplir incluso con los requisitos más estrictos de limpieza de la FDA. En la medida en que los instrumentos de medición de los filtros han madurado y cada vez se pueden medir partículas más pequeñas de manera fiable, los datos evaluados muestran que tanto los filtros ULPA como los HEPA dejan pasar más partículas en el rango de 0.1 a 0.2 micrones que de cualquier otro tamaño. De hecho, los filtros muestran sus rangos de eficacia tanto en el tamaño de partículas de 0.12 como de 0.3 micrones y tienen una eficiencia más alta en las partículas más grandes y más pequeñas. Para aplicaciones más rigurosas, es común ver las especificaciones de eficiencia de los filtros basadas en el tamaño de partícula más penetrante (MPPS, Most Penetrating particle size) en lugar de un tamaño específico de 0.12 o 0.3 micrones. El MPPS puede variar ligeramente entre los lotes de filtros. La especificación de la eficacia deseada en el “peor de los casos” de un tamaño de partícula ha encontrado el favor de algunos diseñadores y fabricantes de filtros.

La mayoría de los cuartos limpios intermedios o más rigurosos se construyen con los filtros en el techo. Los filtros pueden ser instalados en grupos alojados en un sistema modular de cámaras de presión que facilita su instalación y limpieza en el techo del cuarto limpio. También pueden ser instalados en alojamientos individuales de filtros, conductos individuales, suspendidos en un sistema de soporte de rejilla de “T” invertida, y sellados para prevenir la entrada de aire sin filtrar en el cuarto limpio. Las cámaras de presión “Stick Built” todavía se utilizan. Sin embargo, los diferentes esquemas modulares disponibles ofrecen un mejor control de la velocidad del aire, así como un mejor control del ambiente y prácticamente han reemplazado el diseño de “Stick Built”

El uso de unidades de filtro/ventilador integrados se ha expandido. En algunos productos el filtro es reemplazable. En otros, el módulo entero se desecha al final de su vida útil. Vienen en diversos tamaños y están diseñados para



Especificaciones para el diseño de sistemas de filtración en cuartos limpios

encajar en un sistema de rejilla de "T" invertida. También están disponibles diferentes voltajes de motor para soportar una variedad de esquemas de diseño eléctrico. Algunos esquemas de control sofisticados han sido ideados para monitorear la operación individual de los ventiladores de los filtros, registrar el uso de energía, señalar un fallo en el motor, controlar los bancos de los ventiladores de los filtros y variar la velocidad de los ventiladores en función de las distintas operaciones a lo largo del día. Su aplicación es útil en todas las clases de cuartos limpios.

El uso de unidades de filtro/ventilador integrados se ha expandido. En algunos productos el filtro es reemplazable. En otros, el módulo entero se desecha al final de su vida útil. Vienen en diversos tamaños y están diseñados para encajar en un sistema de rejilla de "T" invertida. También están disponibles diferentes voltajes de motor para soportar una variedad de esquemas de diseño eléctrico. Algunos esquemas de control sofisticados han sido ideados para monitorear la operación individual de los ventiladores de los filtros, registrar el uso de energía, señalar un fallo en el motor, controlar los bancos de los ventiladores de los filtros y variar la velocidad de los ventiladores en función de las distintas operaciones a lo largo del día. Su aplicación es útil en todas las clases de cuartos limpios.

La velocidad de entrada de los filtros montados en el techo generalmente puede llegar a ser tan alta como 130 fpm (0.66m/s) o tan baja como 50 fpm (0.25 m/s) dependiendo del diseño del sistema. Debido a que el sistema de soporte de los filtros, como la rejilla de "T" invertida, puede llegar a ocupar hasta el 20% del área del techo, una velocidad de entrada del filtro de 100 fpm (0.51 m/s) se traduce en una velocidad media de 80 fpm (0.41 m/s) en la superficie de trabajo dentro del cuarto limpio.

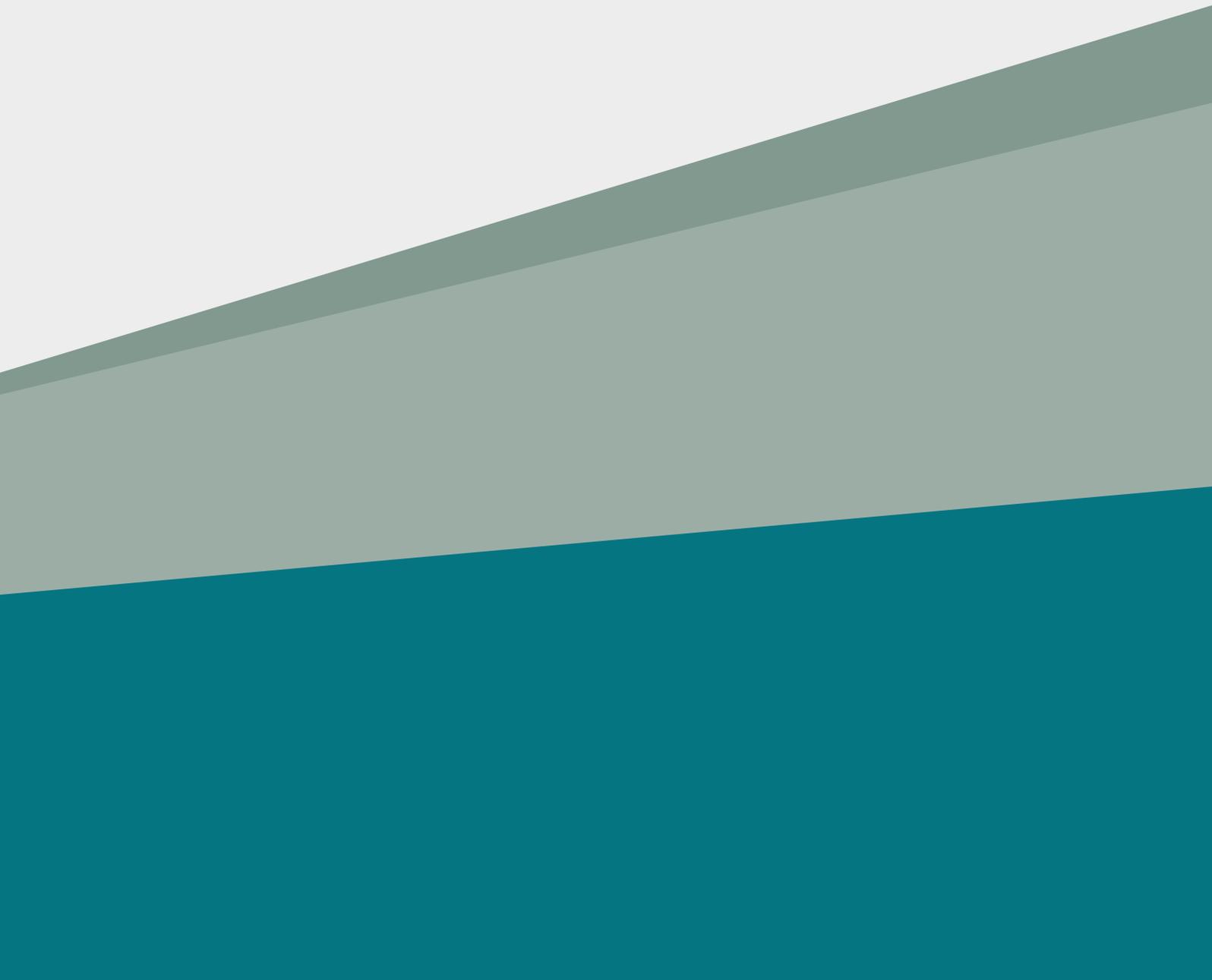
Instalar los filtros HEPA/ULPA directamente en el techo del cuarto limpio se haría como consecuencia del deseo de minimizar, si no eliminar, las superficies donde se pueda acumular el polvo, como el interior de los ductos, entre la cara inferior del filtro y el cuarto limpio. El montaje remoto de los filtros HEPA es común en cuartos limpios menos rigurosos, ya que el número de partículas que pueden aportar los ductos

corriente abajo de los filtros HEPA se encuentra en una pequeña proporción que puede ser tolerada. Una excepción sería cuando un sistema tradicional de aire acondicionado sin una clasificación de limpieza se actualiza para soportar un cuarto limpio que pretende obtener la calificación del estándar federal 209 o el estándar ISO 12644. En ese caso, todos los ductos corriente abajo del filtro deben ser limpiados en profundidad. Los ventiladores de cabina o manipuladores de aire con rejillas de filtros HEPA en el lado de salida son utilizados en los cuartos limpios menos rigurosos.

Los filtros HEPA utilizados en estas instalaciones son generalmente filtros de alta velocidad, basados en una velocidad de entrada del filtro de 500 fpm (2.54 m/s), con una disminución de presión significativa en comparación con aquellos utilizados en las instalaciones del techo. Un filtro HEPA de alta velocidad de 2ft x 2ft (600mm x 600mm) puede tener un descenso de presión de w.c. de 1.5 pulgadas (375 Pa) a 500 fpm (2.54 m/s). El típico filtro de techo está diseñado para un descenso de presión en el orden de 0.5 pulgadas C.A. (columna de agua) (125 Pa) con una velocidad de entrada de 100 fpm (0.5 m/s).



DISEÑO DE PATRONES DEL AIRE DEL CUARTO LIMPIO

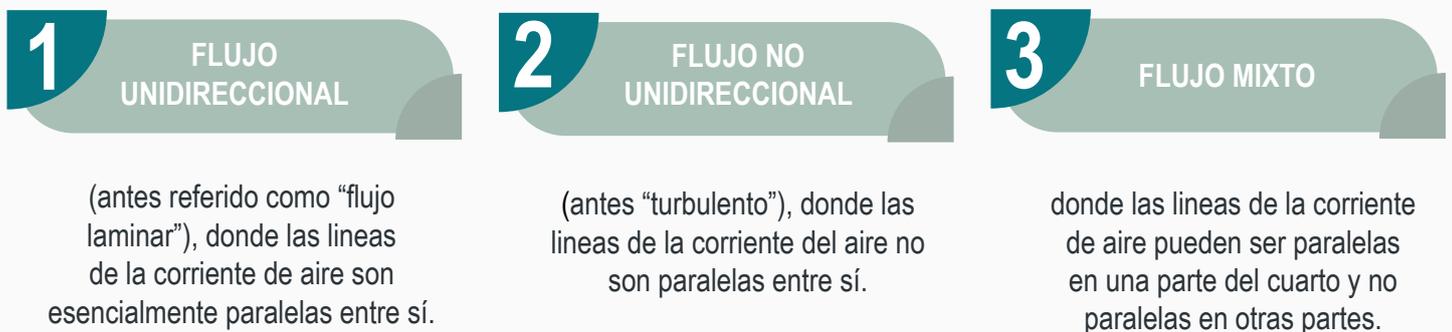




Diseño de patrones del aire del cuarto limpio

El aire introducido en un cuarto limpio, al haber pasado por los filtros HEPA o ULPA, es esencialmente libre de partículas. El aire que entra en el cuarto tiene dos propósitos, el primero, diluir las concentraciones de partículas que se puedan haber formado en el cuarto debido al personal o la actividad de los procesos. En segundo lugar, conseguir que estas partículas entren a formar parte de la corriente de aire y poder extraerlas del cuarto.

Se identifican tres tipos de corrientes de aire:



Los cuartos limpios más rigurosos son casi siempre diseñados con un flujo de aire unidireccional. Esto se consigue proveyendo una cobertura del techo del 100% con filtros HEPA/ULPA y con la instalación de un suelo elevado con paneles de suelo perforados. El aire se mueve de forma vertical hacia abajo desde el techo a través de los paneles perforados del suelo hacia una cámara de retorno de aire debajo del suelo. El aire se mueve luego lateralmente hacia los ductos de retorno en la periferia del cuarto y eventualmente hacia ventiladores para la recirculación de vuelta al cuarto limpio.

Cuando el espacio limpio es bastante reducido, en el orden de entre 14 y 16 pies (4.2 a 4.8 metros) de pared a pared, el suelo elevado se elimina con frecuencia en favor de rejillas bajas de retorno al lado de las paredes. El aire se moverá de manera vertical hacia abajo hasta entre 2 o 3 pies (0.6 a 0.9 metros) por encima del suelo antes de dividirse y moverse hacia los retornos al lado de las paredes. Esto ha demostrado su efectividad en diversos cuartos limpios rigurosos, particularmente cuando se actualiza un espacio existente en el que nos encontramos con un espacio superior insuficiente. En un cuarto limpio unidireccional, los muebles y el equipo afectan el patrón de flujo del aire. Colocar estos obstáculos de tal manera que prevengan el desarrollo de espacios de aire estancados, minimiza su efecto en la limpieza.

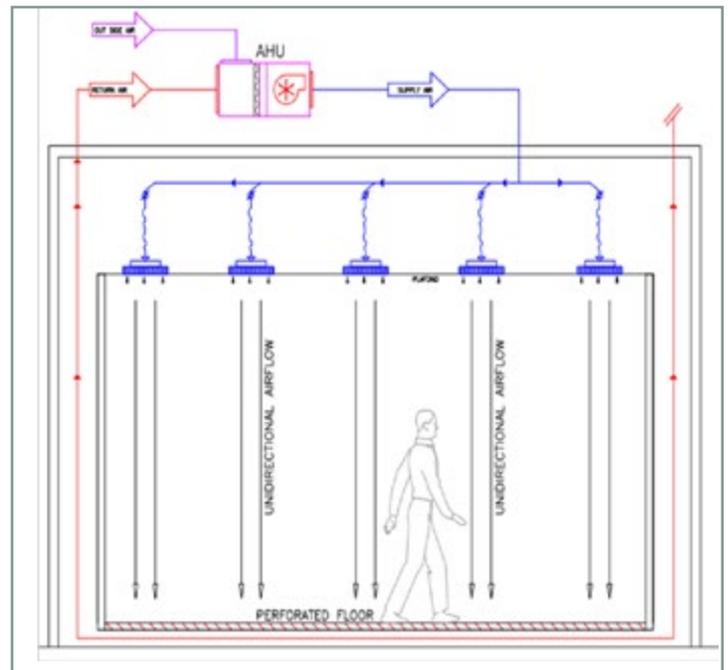


Diseño de patrones del aire del cuarto limpio

El flujo de aire no direccional es normalmente utilizado en cuartos limpios intermedios. Los filtros HEPA se instalan en el techo en un patrón que provee una cobertura bastante uniforme. El aire se mueve hacia abajo dentro del cuarto limpio. Sin embargo, las líneas de corriente de aire son aleatorias sin un patrón definido. Mientras que el aire que entra en el cuarto está esencialmente libre de partículas, el conteo de partículas en las superficies de trabajo críticas alcanzará unos determinados niveles dependiendo del número de partículas generadas en el cuarto limpio; el efecto de dilución de la cantidad de cambios de aire limpio y la velocidad con la que las partículas son retiradas del área crítica de trabajo. En general, cuanto mayor sea la cantidad de cambios de aire, más limpio será el cuarto intermedio pero los patrones de flujo de aire también juegan un papel importante.

El retorno de aire es particularmente importante en los cuartos limpios no direccionales. Las rejillas de retorno del aire de las paredes son comúnmente utilizadas en estos cuartos. Las rejillas deben ser uniformemente distribuidas alrededor de la periferia del cuarto. Esto puede representar un reto cuando se planea que el equipo de los procesos vaya en la pared. Cuando sea posible, el equipo debe ser separado de la pared para permitir que el aire fluya detrás de él. El equipo también puede ser elevado en una plataforma (pedestal) con aire fluyendo por debajo de él. En la mayoría de los casos el diseñador del cuarto limpio intentará facilitar el movimiento de partículas desde la altura de las superficies de las mesas de trabajo hacia el suelo y luego hacia los lados en dirección a los retornos de aire de las paredes. Este patrón de flujo lleva las partículas fuera del cuarto, y eventualmente hacia los filtros donde son atrapadas. Las excepciones pueden involucrar equipo de los procesos que generen partículas en un lugar por encima de la superficie crítica de trabajo. Por lo que puede que tenga que diseñarse algún tipo de mecanismo de captura de retorno alto. Generalmente el flujo “de arriba hacia abajo” es lo que se sugiere.

En cuartos limpios menos rigurosos, con los filtros HEPA colocados a distancia, se pueden instalar difusores estándares de aire acondicionado en el techo. Se pueden crear patrones de aire similares a aquellos de espacios estándares con



aire acondicionado. Se sugieren retornos bajos de pared para seguir las prácticas de diseño de los cuartos limpios que traen el aire limpio por arriba y lo retiran por abajo. Cuando se utilizan retornos de aire de techo, puede haber áreas con un alto conteo de partículas en el espacio limpio, particularmente durante los periodos de mucha actividad. Los retornos de techo se han usado en algunos cuartos limpios menos rigurosos. El éxito se relaciona más con el nivel de partículas generadas que con la habilidad del sistema para eliminarlas.

El acercamiento de flujo mixto se ha utilizado cuando procesos críticos y no críticos están en el mismo espacio limpio. Si no hay espacio para llevar a cabo las operaciones críticas en un cuarto separado, un sólo cuarto limpio puede ser creado con zonas de limpieza diferenciadas.

Las zonas se crean ajustando el patrón de los filtros en el techo. En el área crítica se instalan más filtros en el techo. En el área menos crítica se instalan menos filtros. El suministro de aire puede que tenga que ser canalizado hacia abajo sobre la zona crítica antes de que se difumine en el espacio general. Dependiendo de la altura del techo del cuarto limpio,



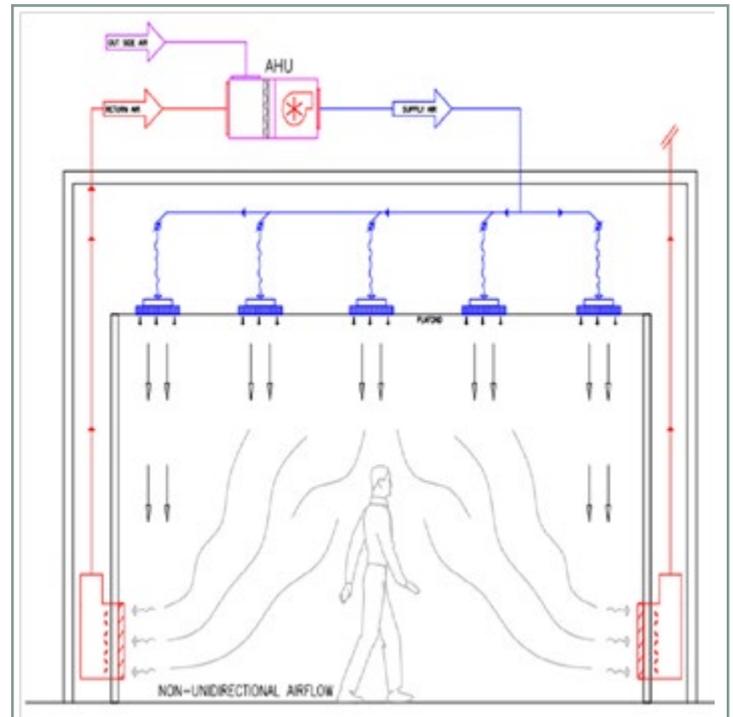
Diseño de patrones del aire del cuarto limpio

un escudo alto de Plexiglas de 0.2 pies (0.6 m), o incluso una cortina plástica flexible que caiga hasta unas 12 o 18 pulgadas (304mm hasta 457mm) por encima del suelo, pueden ser utilizados.

Los patrones de retorno se ajustan colocando adecuadamente las rejillas de retorno para dar cabida a las cantidades variables de aire filtrado y para prevenir la contaminación cruzada. Un suelo elevado con un retorno de aire completo sería aún más efectivo. Sin embargo, se suele descartar debido al presupuesto del cliente, quién normalmente suele decidir por un cuarto de flujo mixto como una solución para rentabilizar unos recursos limitados.

Una desventaja de los cuartos limpios no direccionales son las bolsas de aire con un alto conteo de partículas. Estas bolsas pueden persistir por un periodo de tiempo, y luego desaparecer. Esto es consecuencia de las corrientes que se producen dentro del cuarto debido a la actividad relacionada con los distintos procesos combinados con la naturaleza aleatoria de la corriente de aire que desciende. Se ha hecho un esfuerzo para simular el flujo unidireccional creando una cámara de presión positiva debajo del techo del cuarto limpio principal, y luego instalando un mecanismo de difusión del aire como un segundo techo. Se han utilizado paneles perforados de plástico o aluminio, así como un sistema de filtrado patentado hecho de materiales tejidos y no tejidos.

El resultado ha sido unas características que se acercan al flujo unidireccional en unas velocidades significativamente inferiores a aquellas observadas en los cuartos limpios más rigurosos. El efecto de émbolo de los patrones de flujo de aire previene la formación de bolsas cargadas de partículas y normalmente resulta en un nivel de limpieza más predecible. Este rendimiento se consigue con las velocidades de aire más bajas, características del diseño de cuartos limpios intermedios y menos rigurosos.





Diseño de patrones del aire del cuarto limpio

Carga de enfriamiento sensible en cuartos limpios

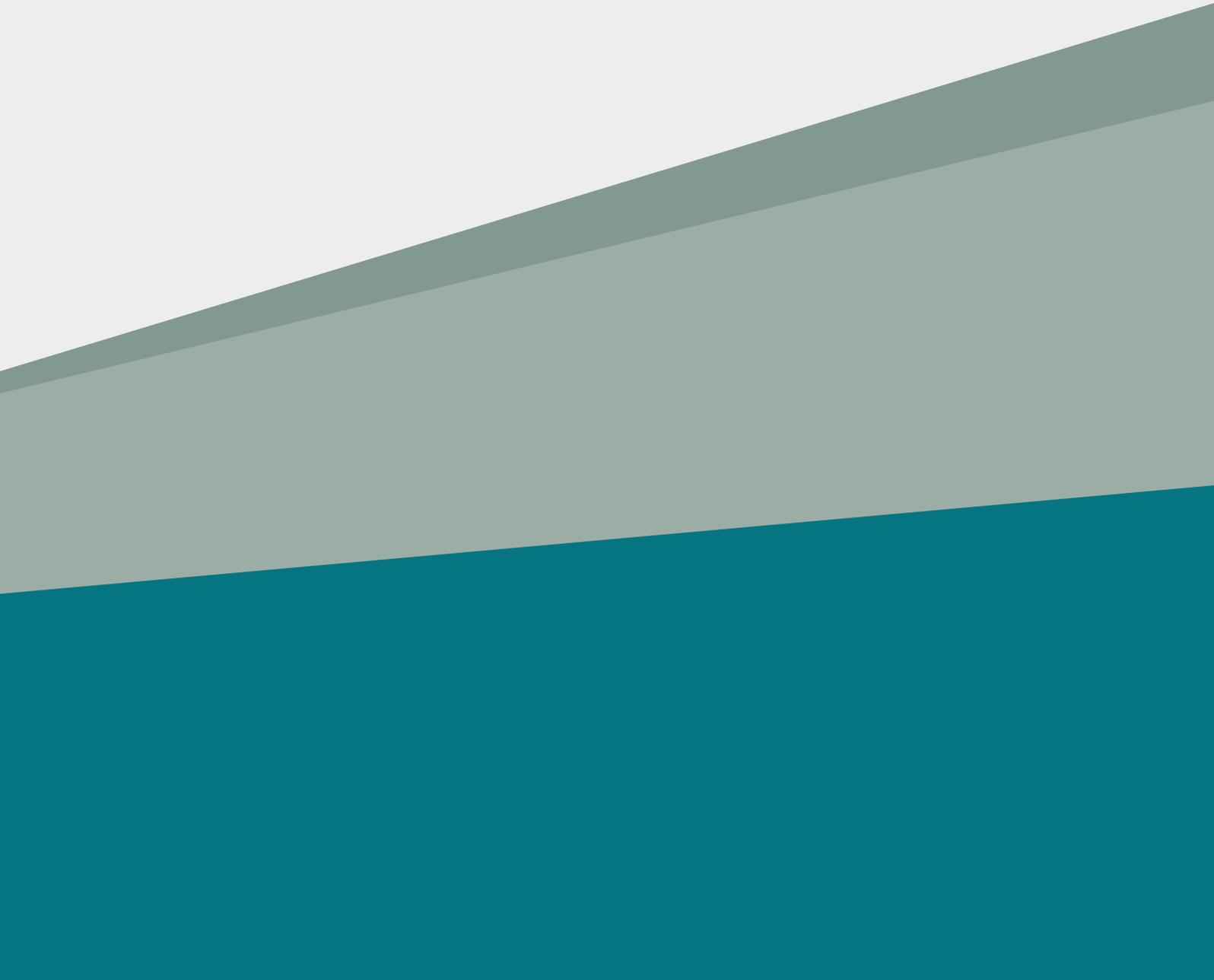
La cantidad de carga de enfriamiento y calentamiento sensible en la mayoría de los cuartos limpios supera el 95%. Se suele requerir enfriamiento a lo largo del año debido a la alta contribución calórica de los ventiladores hacia la corriente de aire, así como el calor generado dentro del cuarto limpio por los equipos de los procesos. Una pequeña carga latente es generada por el personal. Cada cuarto limpio es un proyecto único y debe ser cuidadosamente analizado para confirmar la naturaleza de la carga de enfriamiento.

En los cuartos limpios rigurosos e intermedios, la mayoría de las grandes cantidades de aire que fluyen por el cuarto no es aire acondicionado. Es aire recirculado por ventiladores. El enfriamiento lo realizan aparatos con serpentines enfriadores que toman un porcentaje del total del flujo de aire, lo enfrían, y luego lo vuelven a liberar en la corriente principal de aire antes de que llegue a los ventiladores de recirculación.

La temperatura del aire entrando a un cuarto limpio riguroso puede que sólo esté unos cuantos grados por debajo de la del aire de retorno debido al gran volumen de aire que está siendo enfriado. La diferencia de temperatura normalmente permite que se usen filtros HEPA/ULPA de techo, con un flujo de aire hacia abajo que no genera unas condiciones incómodas para los trabajadores.

En los cuartos limpios menos rigurosos puede que en algunos casos la cantidad total de la corriente de aire se acerque a aquella utilizada por un equipo normal de enfriamiento. Eso quiere decir que la temperatura del aire que entra en el cuarto puede estar entre 15°F y 20°F (8.3°C a 11°C) más fría que el aire de retorno. En estos casos, unos difusores de aire estándares u otras estrategias que conduzcan a minimizar las corrientes incómodas dentro del cuarto deberían ser utilizados.

AIRE DE REMPLAZO EN CUARTOS LIMPIOS





Aire de remplazo en cuartos limpios

Presurización positiva y ventilación

La presurización positiva de áreas sensibles es un método efectivo para controlar las infiltraciones contaminantes a través de cualquier mínima apertura o rendija en el perímetro del cuarto. Esta presurización positiva se consigue mediante el suministro de más aire desde el exterior del aire que se saca del cuarto. Es, sin embargo, muy importante que el aire introducido para la presurización se haya acondicionado adecuadamente.

Límites de presurización.

Generalmente se recomienda un valor de presión de 0.05 in w.c (12 Pa) para el espacio limpio en comparación con las áreas sin clasificar. En los espacios limpios con múltiples cuartos, las áreas más sensibles deben ser las que cuenten con una presión más alta. La tendencia es mantener una presión positiva de 0.02 in w.c. (5 PA) entre espacios limpios adyacentes diferenciados, con la presión más alta en el espacio con un rango de limpieza más alto. Esto asegura que el aire no se transfiera desde espacios menos limpios hacia los espacios limpios más rigurosos. La única excepción en usar una presión positiva diferencial, sería en el caso de la utilización de materiales peligrosos para los que las regulaciones de las agencias de salud y seguridad requieren que el cuarto tenga una presión negativa.

Se necesita aire exterior de remplazo para mantener la presión positiva durante los procesos de extracción dentro del espacio limpio. El aire de remplazo es muy costoso ya que se le debe ajustar la temperatura y la humedad y debe ser limpiado antes de ser introducido en el cuarto limpio. Aunque es imposible no necesitar aire de remplazo, este debe ser minimizado en la medida de lo posible en el interés de la conservación de la energía y de la economía.

Generalmente las presiones de los cuartos limpios suelen ser positivas en comparación con el espacio sin medir. Normalmente se recomienda un valor de presión de 0.05 in w.c. (12 Pa) para el espacio limpio en comparación con las áreas sin clasificar. Las presiones más altas suelen generar silbidos y dificultar la apertura y el cierre de las puertas. En espacios limpios con diversos tipos de limpieza, la tendencia es a mantener una presión de 0.02 in w.c. (5 PA) entre espacios adyacentes de diferentes clasificaciones, con la presión más alta en el espacio con una clasificación más alta de limpieza.

El mecanismo para obtener aire de remplazo requiere del acondicionamiento del aire exterior para que sea compatible con los parámetros de diseño del cuarto limpio. Esto normalmente requiere filtración, pre-calentado, enfriamiento, re-calentado, deshumidificación y humidificación.

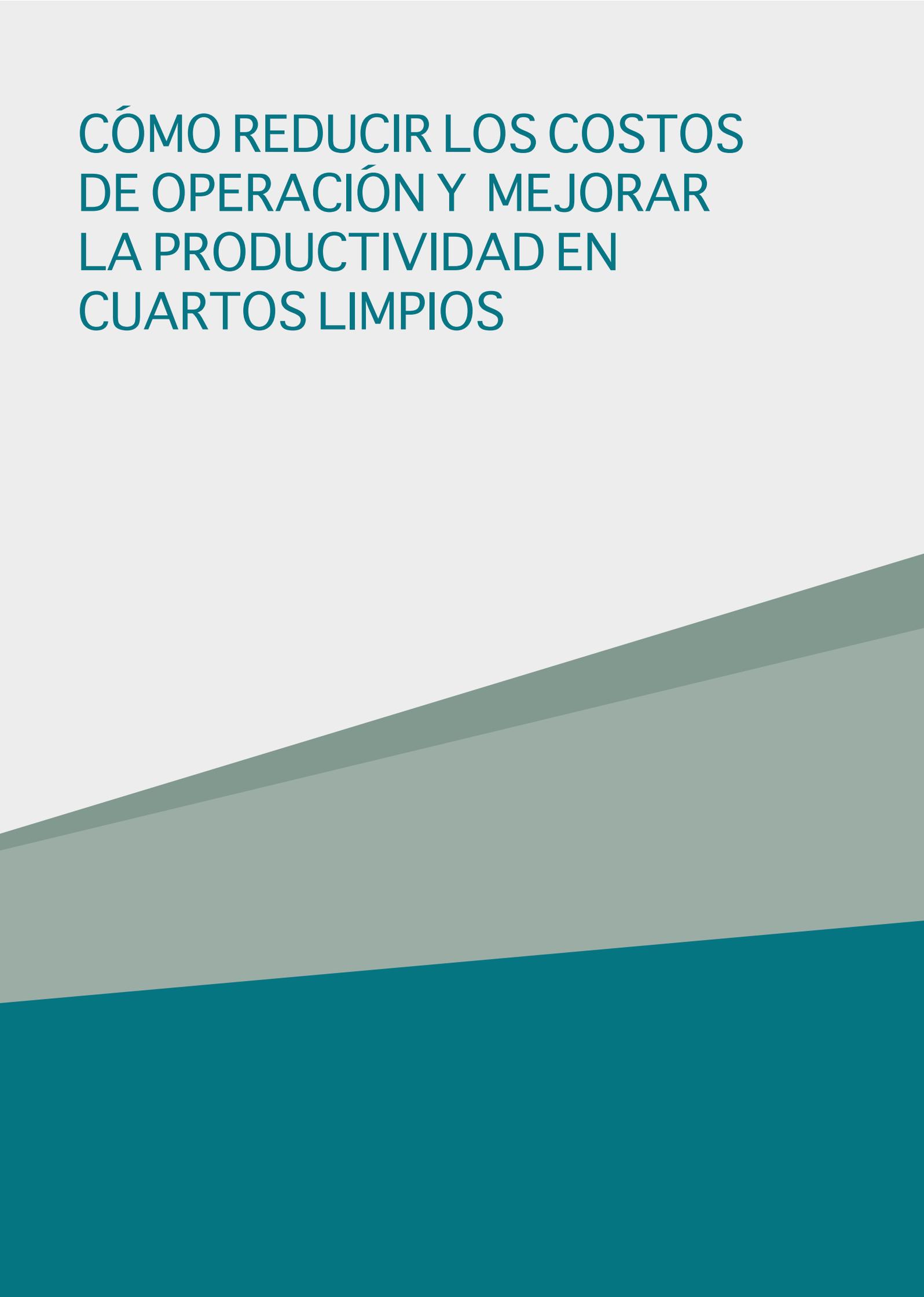
En los cuartos limpios rigurosos, las unidades suelen tener tres fases de filtrado, un pre-filtro con una eficiencia del 30-35% (MERV-8), un filtro de eficiencia intermedia (90-95% MERV-14) y un filtro HEPA final. Los cuartos limpios intermedios y los menos rigurosos suelen tener sólo dos fases de filtrado, el pre-filtro de 30% y el filtro final del 95%. Como lo indica su nombre, el filtro final se encuentra en la zona de descarga de la unidad.

El enfriamiento y la deshumidificación se consiguen en el serpentín de enfriamiento donde el punto de condensación del cuarto limpio es de $\geq 42^{\circ}\text{F}$ (5.6°C). Como los cuartos limpios rigurosos con trabajadores completamente vestidos puede mantenerse a una temperatura de bulbo seco tan baja como 66°F (19°C), esto pone el límite más bajo de control de humedad efectiva a través de la refrigeración tan sólo a un 40% más o menos de humedad relativa. El recalentamiento se hace necesario para elevar la baja temperatura del aire que sale del serpentín de enfriamiento después de la deshumidificación. Para calcular el recalentamiento se debe tener en cuenta el calor que se añade a la corriente de aire por los ventiladores de recirculación. Éste puede llegar a ser bastante significativo en los cuartos limpios más rigurosos. El recalentamiento es un proceso de alto consumo de energía. Este puede en muchos casos evitarse mediante el análisis psicrométrico de la aplicación específica logrando ahorros de energía muy importantes.

Alcanzar temperaturas que puedan producir un punto de condensación inferior a 42°F (5.6°C) puede ser un problema. Cuando se requiere una humedad relativa inferior al 40%, una práctica común es utilizar un sistema desecante de algún tipo o la utilización de anticongelantes en el fluido refrigerante.

En cuartos limpios menos rigurosos, el volumen total del aire recirculado puede ser cercano al volumen de aire que se requiere para acondicionar. En este caso puede que no haya ventiladores de recirculación sino más bien un mecanismo de manipulación del aire, o incluso varios de ellos, que acondicionan y recirculan todo el aire que se necesita en el cuarto limpio.

CÓMO REDUCIR LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN CUARTOS LIMPIOS





Cómo reducir los costos de operación y mejorar la productividad en cuartos limpios

En la medida en que los cuartos limpios crecen en tamaño y sofisticación, la demanda de energía aumenta considerablemente, además, el funcionamiento 24 horas, 7 días a la semana, los 365 días del año, implica una carga sustancial de partículas en los filtros, aumentando los costos de manutención y probablemente creando cierres por mantenimiento inesperados y costosos.

Para evitar estos sobre costos, los administradores de las instalaciones harían bien en considerar la posibilidad de utilizar un cuarto limpio modular para la zona más rigurosa del cuarto limpio. En general, los cuartos limpios que funcionan para alcanzar los estándares de limpieza más rigurosos se ven beneficiados con el uso de: cuartos limpios modulares pequeños, controles inteligentes para la operación óptima del sistema de aire acondicionado en general, y filtros HEPA motorizados (Fan Filter Units “FFUs”) con filtros reemplazables. Aunque todas estas soluciones añaden un sobre costo inicial, pueden significar una gran diferencia en la reducción de costos de electricidad y de largos intervalos de cierre o paros de producción por mantenimiento. Esto hace que haya un rápido retorno de la inversión inicial en instalaciones de cuartos limpios con mucha exigencia, normalmente en poco más de un año.

Aquí hay algunos enfoques más avanzados para mejorar el desempeño y la productividad de un cuarto limpio.

Aire acondicionado y recirculación

La existencia de un sistema de aire acondicionado (HVAC) que funcione en el edificio alrededor del cuarto limpio puede proporcionar un medio más económico para enfriarlo. Para instalaciones de cuartos limpios más grandes o con una mayor demanda, un sistema de aire acondicionado exclusivo puede reducir los gastos de operación disminuyendo el uso de electricidad y minimizando los cierres y paros por mantenimiento.

Los módulos de aire acondicionado proporcionan un enfriamiento económico en instalaciones con un sistema HVAC adecuado. En muchas de estas instalaciones el calor extraído del cuarto limpio se mantiene en el área donde se encuentra el cuarto limpio. Para una operación más eficiente, este calor puede ser liberado fuera del edificio. Con los cuartos limpios más grandes, los fabricantes pueden trabajar con un contratista local para instalar un sistema HVAC dividido, que lleva el compresor (generador de calor) fuera del edificio para reducir la cantidad de calor dentro de las instalaciones.

En todos estos enfoques, una pared doble así como una cámara de techo aislante aumentan la eficiencia energética al permitir la recirculación del aire frío y filtrado. Las cámaras de techo también aumentan la vida de los filtros al reducir la carga de partículas, ya que el aire recirculado es más limpio que el aire fresco. Los módulos del sistema HVAC proveen sólo el aire fresco de reemplazo mínimo necesario para mantener los requisitos de ventilación (normalmente alrededor de 20 CFM de aire fresco por ocupante del cuarto limpio); el resto del aire proveniente de los ventiladores se va hacia la cámara del techo por medio del retorno vertical del aire.

Un sistema de recirculación bien diseñado puede duplicar o triplicar el intervalo operativo entre los paros por mantenimiento, aumentando la productividad del cuarto limpio.

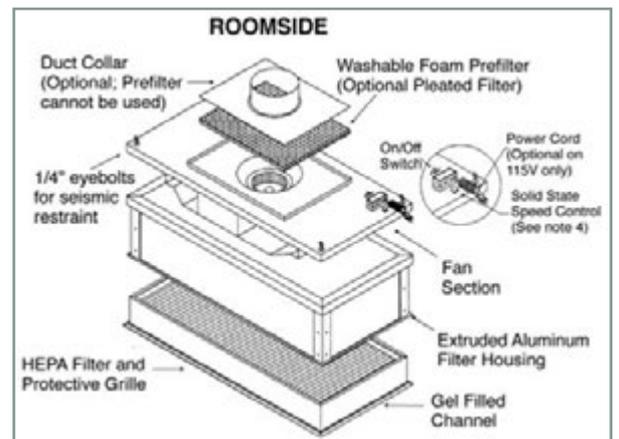


Cómo reducir los costos de operación y mejorar la productividad en cuartos limpios

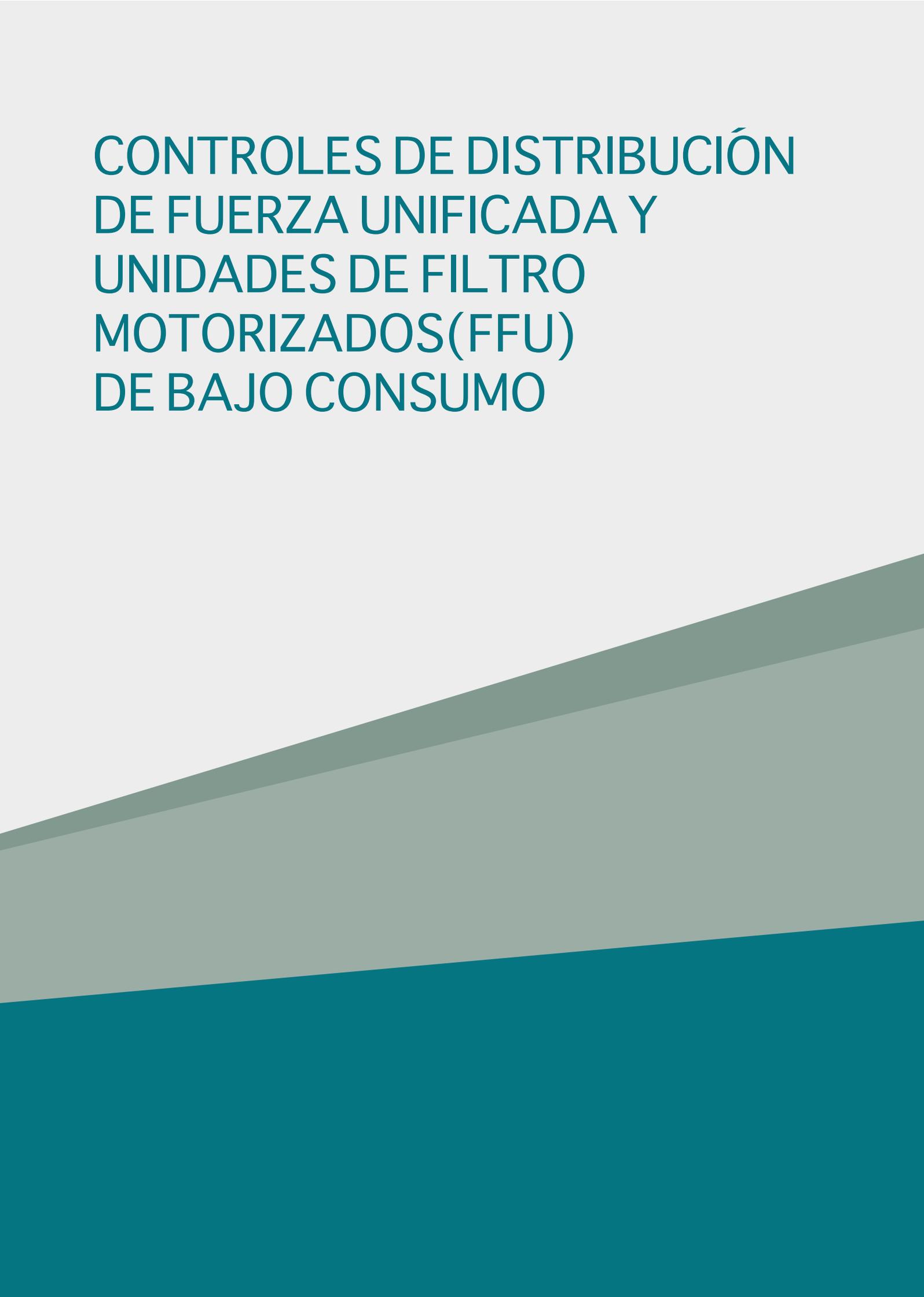
Filtros motorizados (Fan Filter Units “FFUs”) con filtro reemplazable

Cuando finalmente los filtros se obstruyen, la velocidad del aire y los rangos de reemplazo de aire caen hasta el punto en que la instalación ya no puede mantener la clasificación de limpieza deseada. El reemplazo de los filtros de un FFU convencional suele conllevar una contaminación sustancial del cuarto limpio, ya que la barrera del techo debe ser traspasada para acceder a los filtros. Esto implica tener que volver a limpiar, equilibrar, evaluar y certificar el cuarto limpio después de cada cambio de filtro.

Las unidades de filtros motorizados con filtros reemplazables (RSR FFUs) permiten el cambio de filtros desde el interior del cuarto limpio, de una manera rápida y con el mínimo de contaminación. En lugar de tener que abrir el techo permitiendo que el polvo acumulado entre en el cuarto, se suelta el mecanismo del filtro desde dentro del cuarto limpio sin tener que mover el resto del ventilador motorizado. Un sello de gel en el filo del lugar del filtro provee un excelente sello gracias al propio peso del ventilador lateral, sin necesidad de una tapa separada, sin herramientas y sin tener que trepar por encima del cuarto limpio para desmantelar las filtros motorizados.



CONTROLES DE DISTRIBUCIÓN DE FUERZA UNIFICADA Y UNIDADES DE FILTRO MOTORIZADOS(FFU) DE BAJO CONSUMO





Controles de distribución de electricidad unificada y unidades de filtro de ventiladores(FFU) de bajo consumo.

La mayoría de los cuartos limpios tienen Módulos de Distribución Fuerza (PDMs) que proporcionan un control agrupado y una protección de circuitos de los FFU y de las luces. Los PDMs simplifican la instalación y el mantenimiento de los cuartos limpios pero no permiten un fácil ajuste de la velocidad de los ventiladores desde un lugar conveniente. El sistema de ahorro de energía si lo permite. Este sistema economizador interactúa con los PDMs para permitir el control de variables desde una consola instalada en el panel de control principal del cuarto limpio, ofreciendo dos ventajas fundamentales:

Ajuste remoto del volumen de aire:

Una vez seleccionada la zona de la unidad de filtro del ventilador (FFU) en la consola, se puede elevar o disminuir la velocidad del ventilador para conseguir la velocidad de aire, la presión interna, y los cambios de aire por hora adecuados. Como estas zonas suelen ser cuartos o zonas de procesos separadas, el control de esta variable te permite equilibrar el desempeño de tu FFU de una zona limpia a otra, permitiendo asegurar que se mantienen los diferenciales de presión y los cambios de aire por hora que se necesitan cuando nos vamos moviendo de una clasificación de limpieza a otra.

Además, en la medida en que los filtros se van obstruyendo y la velocidad del aire disminuye, el sistema de ahorro de energía te permite realizar pequeños ajustes de velocidad para mantener las especificaciones asociadas con cada clasificación de nivel de limpieza.

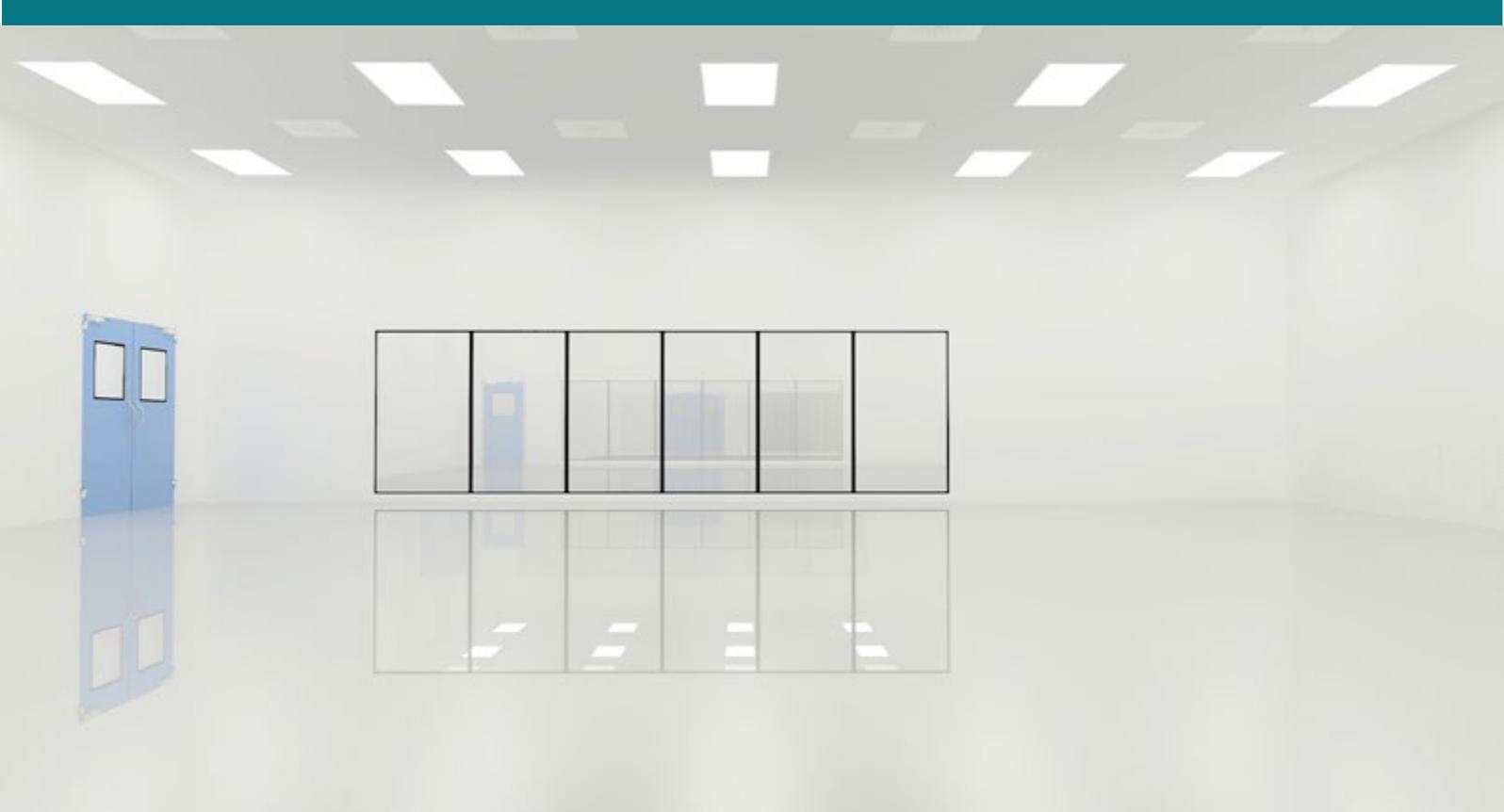
Ahorro de costos:

Los ahorradores de energía mantienen a tus FFUs funcionando a la velocidad óptima, moviendo sólo la cantidad necesaria de aire para mantener el sistema dentro del rango de limpieza especificado. Este desempeño eficiente alarga la vida de los filtros al eliminar unas cargas innecesarias que resultan por operar en velocidades innecesariamente altas.

Lo más importante es que los sistemas de ahorro de energía disminuyen la factura de la energía eléctrica. Un modo de uso reducido (o modo desocupado) programable disminuye el consumo de la operación del sistema durante las horas de menor utilización, lo que puede llegar a representar un 70% del tiempo en una semana cualquiera. Este modo de ahorro mantiene la integridad del cuarto limpio con un consumo energético y una generación de calor mucho menor que la que se necesita durante las horas hábiles cuando la carga de contaminación es mucho más alta. Esta operación reducida también disminuye la carga sobre los filtros y su mantenimiento, proporcionando un ahorro adicional. Estos ahorradores de energía suelen pagarse normalmente dentro de los primeros 24 meses de utilización del cuarto limpio.

Motores DC conmutados electrónicamente

También conocidos como motores DC sin escobillas, estos motores de ventiladores motorizados (FFU's) para los cuartos limpios carecen de escobillas, tienen un menor desgaste y generación de partículas y tienen una mayor eficiencia energética que los AC y que los motores DC convencionales. Un controlador electrónico reemplaza a la escobilla, o al ensamblaje del conmutador mecánico del motor DC con escobillas, que continuamente está cambiando la fase utilizando un controlador de estado sólido. Estas capacidades también hacen que las FFUs con motores conmutados electrónicamente sean la solución ideal para un control inteligente, ya que la velocidad y el esfuerzo de torsión pueden ser predichos y administrados de manera fiable. Estos enfoques en el diseño del flujo del aire, del control de las FFU y de las luces, así como la tecnología del motor de la FFU contribuyen conjuntamente para obtener un ahorro sustancial a largo plazo.



IAASE

Ingeniería en Acondicionamiento del
Aire y Sistemas de Enfriamiento



IAASE, S.A. DE C.V.
Navolato 1082, Fracc.San Marcos
Mexicali B.C. México C.P. 21050
Tel:(686)555-38-03 FAX:(686)558-22-29

www.iaase.com.mx