



7
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN CUARTO LIMPIO
PARA EL ENVASADO DE UN PRODUCTO
ALIMENTICIO EN POLVO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:

AQUINO AQUINO ROGELIO

CARDENAS BAUTISTA MARTIN EDUARDO

MENDOZA CHAPARRO ERIC

ROCHA NAVARRO RAUL

ROJAS AGUILAR JAVIER

292154

Asesor: M.I. Leopoldo A. González González.

2001





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO	PAG.
INTRODUCCIÓN	1
I PROCESOS DE FABRICACIÓN Y ENVASADO DE LECHE EN POLVO	4
I.1 INTRODUCCIÓN, 4	
I.2 LECHE EN POLVO,4	
I.3 PROCESO DE SECADO, 5	
I.4 PROCESO DE SECADO EN TORRE DE PULVERIZACIÓN, 6	
II. CONCEPTO, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE CUARTOS LIMPIOS	11
II.1 INTRODUCCIÓN,11	
II.2 TIPOS DE CUARTOS LIMPIOS,14	
II.3 CARACTERÍSTICAS DE UN CUARTO LIMPIO,15	
II.3.1 Fuentes de generación de partículas en cuartos limpios, 16	
II.3.1.a Control de partículas, 16	
II.3.2 Control del patrón de flujo de aire, 17	
II.3.3 Control microbiológico en cuartos limpios, 19	
II.3.4 Sistemas de aire de recuperación, 19	
II.3.5 Temperatura y humedad, 20	
II.3.6 Presurización, 20	
II. 4 APLICACIONES DE CUARTOS LIMPIOS, 21	
III DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUARTO LIMPIO	23
III.1 INTRODUCCIÓN, 23	
III.2 PROPUESTA METODOLÓGICA, 26	
III.3 ÁREA DE ENVASADO, 33	
III.3.1 Consideraciones para el diseño del equipo, 34	

III.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS PARA EL CUARTO LIMPIO (PISOS, PAREDES, PUERTAS Y TECHOS), 38

III.4.1 Pisos, 38

III.4.2 Paredes, 43

III.4.3 Puertas, 49

III.4.4 Techos, 49

III.5 INSTALACIONES Y SERVICIOS, 54

III.5.1. Tuberías y conductos, 54

III.5.2 Alumbrado, 55

III.5.3 Energía eléctrica, 59

III.5.4 Filtración de aire en un cuarto limpio, 59

IV. SELECCIÓN DEL FILTRO HEPA Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD Y GASTO DE AIRE A TRAVÉS DEL FILTRO

61

IV.1. INTRODUCCIÓN, 61

IV.2. TIPOS DE FILTROS, 63

IV.3. DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIONES Y APLICACIONES DE LOS FILTROS HEPA, 66

IV.4. SELECCIÓN DEL FILTRO Y BALANCE DEL AIRE EN EL CUARTO LIMPIO, 70

IV.4.1. Tipos de intercambio de aire, 70

IV.4.2. Gasto de aire en el cuarto limpio, 71

IV.4.2.1. Cálculo de aire suministrado, 73

IV.4.2.2. Cálculo del número de filtros y velocidades a la salida de los filtros, 74

IV.4.2.2.a. Características de los difusores para filtros Hepa, 78

IV.4.2.3. Ubicación de los filtros en el cuarto limpio, 80

V. ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE DE LA SALA DE ENVASADO

81

V.1 INTRODUCCIÓN, 81

V.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE, 82

V.3 CARGA DE ENFRIAMIENTO, 87	
V.4 MEMORIA DE CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO EN LA SALA DE ENVASADO, 89	
V.4.1 Ganancia de calor total en la sala de envasado, 89	
V.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS, 102	
VI. AUTOMATIZACIÓN Y OPERACIÓN DEL CUARTO LIMPIO	104
VI.1 CONTROLES AUTOMÁTICOS, 104	
VI.2 TIPOS DE ACCIONES DE CONTROL, 106	
VI.3 SENSORES, 111	
VI.4 CONTROLADOR, 117	
VI.5 CONTROL DIGITAL DIRECTO (DDC), 117	
VI.6 PROPUESTA DE CONTROL PARA EL CUARTO LIMPIO, 118	
VI.7 REQUISITOS PARA OPERACIÓN EN EL CUARTO LIMPIO, 122	
VI.7.1 Personal, 122	
VI.7.2 Flujo de personal, 123	
VI.7.3 Flujo de materiales, 124	
VI.7.4 Uso de sanitizantes, 126	
VI.7.5 Evaluación rutinaria en el cuarto limpio, 127	
VI.7.6 Limpieza in situ del equipo para envasado de leche en polvo, 129	
RESUMEN	131
(Propuesta de diseño del cuarto limpio para la sala de envasado de leche en polvo)	
CONCLUSIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	139

INTRODUCCION

Uno de los alimentos básicos para la alimentación del ser humano debido a sus propiedades nutritivas es la leche, a lo largo de los años, este producto ha sido objeto de diferentes estudios, los cuales han permitido además de conocer sus propiedades, mejorar los procesos de fabricación, conservación y envasado de la leche.

La deshidratación es un método de conservación de la leche, el cual frena su degradación natural al privar a los micro-organismos de la humedad que necesitan para su actividad y por consecuencia prolongar la vida útil del alimento.

La calidad de la leche como producto final, la cual se puede definir como el conjunto de características que le confieren su actitud para satisfacer las necesidades del usuario, solo puede ser alcanzada si los procesos de producción se dan con los avances tecnológicos de vanguardia.

Resulta evidente la importancia que tiene para la conservación de la leche, el proceso, el equipo, los controles, las instalaciones y edificios para lograr la calidad del producto exigida por las normas internacionales.

Las instalaciones requeridas para este producto se les conoce como cuartos limpios (áreas asépticas) y sus características varían de acuerdo al lugar geográfico donde vaya a ser instalada la planta, un cuarto limpio puede definirse como un área delimitada por paredes, techos, piso y accesos, en el cual, se tiene un estricto control sobre la cantidad de material particulado presente, así como, las condiciones de temperatura, humedad y presión, requeridas por los procesos que en él se llevan a cabo.

En nuestro país se han utilizado los cuartos limpios por más de 50 años para diferentes aplicaciones, sin embargo no existe ningún documento que guíe al ingeniero mexicano para su diseño. Particularmente en la Universidad Nacional Autónoma de México, no existe un documento que ilustre los principios de funcionamiento de un cuarto limpio y mucho menos un método para su diseño.

Esto obliga a plasmar en un documento los conocimientos adquiridos durante el tiempo, por el extranjero y empíricamente, para que las generaciones presentes y futuras las conozcan y apliquen.

Por esta razón se decidió realizar un documento que contenga los fundamentos de cuartos limpios y una propuesta para su diseño.

El objetivo del presente trabajo es realizar la propuesta de diseño de un cuarto limpio (área limpia) incluyendo todos los equipos y sistemas necesarios para garantizar la calidad de los productos, la seguridad y confort del personal.

El alcance de este trabajo es realizar una propuesta de diseño para cuartos limpios, analizando las etapas de producción, preparando diagramas de flujo de proceso y analizando los requerimientos de producción proceso y espacio, sin llegar al diseño de detalle y proceso de construcción

El trabajo se divide en los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se expone el proceso de fabricación y envasado de leche en polvo, que es la aplicación particular de este trabajo, en el se establecen las características del producto y las etapas del proceso para la obtención de leche en polvo envasada

Posteriormente, el capítulo 2 presenta información sobre cuartos limpios, empezando con su definición, clasificación, características que se deben tomar en cuenta en su construcción, aplicaciones y parámetros a cuidar como son: Cantidad de partículas, presurización, humedad y temperatura, los cuales son establecidos por las normas internacionales y nacionales (FEDERAL ESTANDAR 209E, NOM-059-SSA1-1993)

En el capítulo 3 se considera la higiene, parte fundamental para tomarse en cuenta en el diseño y construcción del edificio que permita lograr un producto de calidad. En el diseño del edificio se tendrá en cuenta su ubicación, distribución de las áreas del proceso (lay out), distribución del área de envasado y manejo de materiales. Para la construcción se deben utilizar los materiales que mejor se adapten a las necesidades de las áreas limpias, así como, para las instalaciones de los servicios como son agua, drenaje, alumbrado, energía eléctrica, aire comprimido y filtración.

En el capítulo 4 se presentan los diferentes tipos de filtros que existen, el cálculo para realizar una selección y la cantidad y ubicación de los filtros dentro del cuarto limpio. Los filtros son los elementos que eliminan las partículas que pueden contaminar el cuarto.

En el capítulo 5 se muestran los tipos y características de los equipos de aire acondicionado, el procedimiento para obtener el cálculo de carga térmica y las toneladas de refrigeración necesarias para abatirla.

En el capítulo 6 se dan las recomendaciones para obtener el beneficio permanente del área aséptica en el cuarto limpio. Estas recomendaciones son: El mantenimiento de las instalaciones, control constante de los sistemas y equipos que intervienen en el cuarto limpio y la metodología necesaria que deberá realizar el personal para trabajar en el cuarto limpio.

CAPITULO I. PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENVASADO DE LECHE EN POLVO.

I.1 INTRODUCCIÓN.

I.2 LECHE EN POLVO.

I.3 PROCESO DE SECADO.

I.4 PROCESO DE SECADO EN TORRE DE PULVERIZACIÓN.

CAPITULO I. PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENVASADO DE LECHE EN POLVO.

I.1 INTRODUCCIÓN.

La leche, alimento básico para la alimentación del ser humano debido a sus propiedades nutritivas, a lo largo de los años ha sido objeto de diferentes estudios, los cuales han permitido, además de conocer sus propiedades, mejorar los procesos de fabricación y envasado.

Los principales constituyentes de la leche (agua (87%), grasa (4%), proteínas (3.4%), lactosa (4.8%) y minerales (0.8%)) pueden variar dependiendo del tipo de vacas así como de su alimentación.

Este primer capítulo se enfoca a describir el proceso de fabricación y envasado de leche en polvo a través de una "Torre de pulverización y secado", obteniendo con ello, leche en polvo, la cual representa como principales características; su alta solubilidad, buen sabor, alto valor nutricional, además de permitir variar el contenido de grasa, teniendo con ello el poder ofrecer al consumidor, diferentes tipos de leches en polvo tales como la leche entera, leche descremada, etc.

I.2 LECHE EN POLVO.

El método de preservar alimentos por evaporación, privando del agua necesaria a los microorganismos para su supervivencia, es conocido desde hace muchos siglos. Se tiene documentado que durante los viajes de Marco Polo por Asia y Mongolia ya evaporaban la leche con ayuda del sol.

La leche en polvo, hoy es producida a gran escala en plantas modernas, el polvo producido puede almacenarse por largos periodos sin sufrir cambios significativos en su sabor y propiedades nutritivas.

La leche en polvo descremada tiene una vida máxima de tres años, mientras que la leche entera en polvo tiene una duración aproximada de seis meses, esto se debe a que la grasa se oxida

durante un almacenamiento prolongado, y por consecuencia pierde gradualmente su sabor y eventualmente su aprobación para consumo humano.

1.3 PROCESO DE SECADO.

El secado considera al agua en la leche, como un producto líquido que deber ser removido hasta que el contenido de los "SOLIDOS TOTALES" de la leche se encuentre en un rango de 2.5 a 4% para impedir el desarrollo de bacterias. El secado permite ampliar la duración de la leche y simultáneamente disminuye su peso, su volumen, reduciendo así los gastos de almacenamiento y transportación del producto.

Los métodos comerciales de secado, están basados en un calentamiento aplicado al producto para que el agua sea evaporada y removida en forma de vapor. El residuo es un producto seco denominado "leche en polvo".

La leche en polvo tiene una amplia variedad de aplicaciones, tales como.

- Mezclado en la pasta de la industria panificadora para incrementar el volumen del pan y de los pasteles; además de mejorar su capacidad de retención de agua para que permanezcan más frescos por un periodo de tiempo mayor.
- En la producción de chocolate a base de leche en la industria chocolatera.
- En la producción de salsas y comidas rápidas de cocinar en la industria alimenticia.
- En la producción de productos para bebés como sustituto de leche materna.
- En la producción de helados.
- En la producción de alimento para la cría de animales.

Cada campo de aplicación tiene una específica demanda sobre un tipo determinado de leche en polvo. Por ejemplo, si se va a mezclar con agua para consumo de manera directa (restitución), deberá tener el correcto contenido de grasa, buena solubilidad, así como su sabor y valor nutritivo adecuado.

Si va a ser utilizado para la producción de chocolate, el polvo deberá estar libre de grasa, ya que las membranas situadas alrededor de los glóbulos de grasa se separan dando mal aspecto al mismo.

Los dos principales métodos utilizados para el secado de la leche en la industria Láctea son:

- El secado rotatorio. (No se hará mención a este método por considerarse fuera del alcance de este trabajo).
- El secado en torre de pulverización (spray).

I.4 PROCESO DE SECADO EN TORRE DE PULVERIZACIÓN.

Descripción del proceso:

1. Recepción de leche: normalmente la leche fluida o líquida es recibida en su estado natural, es decir, cruda, entera y fría a una temperatura de 4°C para ser almacenada en Silos, previamente filtrada de materiales extraños. La leche que no presenta ésta temperatura, es enfriada para su posterior almacenamiento.
2. Estandarización: en esta etapa del proceso, se adicionan los ingredientes necesarios para uniformizar el "Bache" de leche a "Secar" tales como: grasa, proteína, lactosa y minerales, dependiendo del tipo de leche a elaborar.
3. Evaporación: en esta etapa, la leche recibe un pre-tratamiento al ser sometida a una evaporación parcial, hasta concentrar los "SÓLIDOS TOTALES" en un rango que varía del 45-55%. Esto se logra introduciendo la leche a un evaporador que trabaja al vacío y alta temperatura, con la finalidad de eliminar esporas de bacterias de la leche, mejorando con ello la calidad bacteriológica del producto final, cuidando además que la proteína del suero no se coagule; para que la solubilidad, aroma y sabor de la leche no se altere.
4. Homogenización: en esta etapa, la leche ya evaporada (45-55%), se somete a un tratamiento de homogenización que impide que los ingredientes contenidos en la leche se separen, (principalmente la grasa)

5. Pulverización y Secado: en esta etapa, el producto es introducido a una torre de pulverización y secado y en esta se llevan a cabo las tres siguientes etapas:
 - 5.1. Atomización de la sustancia concentrada en gotas muy finas.
 - 5.2. Mezcla de las gotas atomizadas con una corriente de aire caliente el cual evapora rápidamente el agua.
 - 5.3. Separación de las partículas de leche secas del aire caliente.
6. Envasado: una vez concluido el proceso de fabricación, la leche en polvo se almacena en silos para posteriormente envasarla, ya sea en latas, sacos de papel o plástico.

Normalmente el envasado se lleva a cabo en máquinas "llenadoras" que trabajan alimentando el producto a su envase por gravedad y de manera automática. Para el caso del envasado en lata, es de suma importancia mantener un área controlada en lo que a contaminantes se refiere, ya que podría recibir el producto algún tipo de bacteria ú hongos que pueden contaminar el producto.

Es por lo tanto que gran parte del objetivo de este trabajo, se centra en mantener las condiciones adecuadas de higiene, temperatura y humedad, para efectuar el envasado de leche en polvo, a través de la propuesta de diseño de un área libre de contaminación, además de cuidar el confort del personal que labora en el área.

7. Gasificación: en esta etapa, las latas de leche se introducen en cámaras de gasificación para someterlas a una presión de vacío, eliminando con ello el aire remanente en el interior de la lata, luego se introducen a una atmósfera de bióxido de carbono, el cual reemplaza el aire, posteriormente se sellan definitivamente las tapas del envase, garantizando con ello la duración de la leche en anaquel.
8. La etapa de etiquetado y embalaje consiste en la colocación de etiquetas a las latas ó envases que se van a utilizar para envasar el producto, para luego proceder a su embalaje, permitiendo con ello darle un manejo más adecuado del producto para su transporte, distribución y venta.

En la figura 1.1 se ilustra el proceso de fabricación y envasado de leche en polvo, descrito en los párrafos anteriores

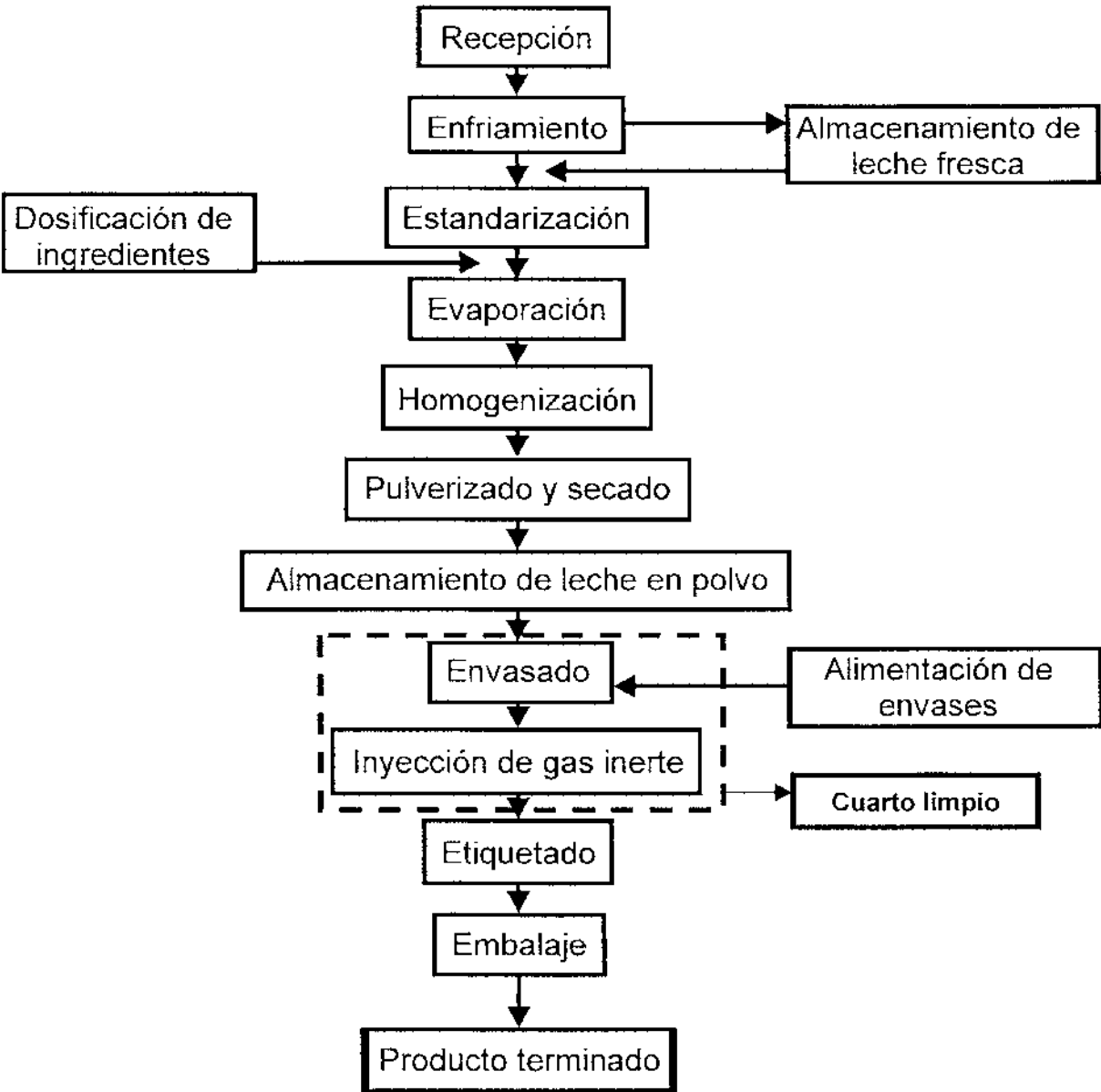


Figura 1.1 Proceso de fabricación y envasado de Leche en Polvo. También se indica la ubicación del cuarto limpio, objeto de este trabajo.

¿Por qué se requiere un área limpia en el área de envasado de leche en polvo?

Como se ha mencionado, la leche es un producto que contiene nutrientes que permiten el rápido desarrollo de bacterias y otros micro-organismos, tales como hongos y levaduras, que en presencia de algún medio sin control, como: la humedad, temperatura, medio ambiente, malas prácticas de fabricación, higiene del personal, etc., pueden alterar la calidad del producto de manera importante, y es en la etapa de ENVASADO, donde el producto tiene contacto con el medio ambiente y además, al existir la posibilidad de ser contaminado, es de suma importancia controlar el nivel de limpieza del área donde se realiza dicha etapa ya que si no se tiene el debido cuidado, se puede provocar la muerte sobre todo en niños y ancianos por "Salmonelosis" al consumir leche en malas condiciones.

Por lo tanto este trabajo se enfoca a proponer el diseño de un área limpia para el ENVASADO DE LECHE EN POLVO, con la finalidad de garantizar la calidad higiénica del producto, atendiendo desde la distribución de espacios del edificio, sistema de aire limpio, operación y mantenimiento del área limpia.

En el capítulo II se verán los tipos y características de cuartos limpios, debido a que son las áreas requeridas para el envasado de leche en polvo y es necesario conocer sus características principales antes de comenzar su diseño. En el capítulo III se encuentra el método de diseño propuesto para el cuarto limpio.

En la figura I.2 se muestra de manera esquemática el proceso de secado en torre de pulverización.

CAPÍTULO II. CONCEPTO, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE CUARTOS LIMPIOS.

II. 1 INTRODUCCIÓN.

II. 2 TIPOS DE CUARTOS LIMPIOS.

II. 3 CARACTERÍSTICAS DE UN CUARTO LIMPIO.

II.3.1 Fuentes de generación de partículas en cuartos limpios.

II.3.1.a Control de partículas.

II.3.2 Control del patrón de flujo de aire.

II.3.3 Control microbiológico en cuartos limpios.

II.3.4 Sistemas de aire de recuperación.

II.3.5 Temperatura y humedad

II.3.6 Presurización.

II. 4 APLICACIONES DE CUARTOS LIMPIOS.

CAPÍTULO II. CONCEPTO, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE CUARTOS LIMPIOS.

II.1 INTRODUCCION

Un área limpia (cuarto limpio), es una zona delimitada por paredes, techo, piso y accesos, además se tiene un estricto control sobre la cantidad de material particulado presente, así como de las condiciones de temperatura, humedad relativa y presión.

El diseño de un cuarto limpio abarca mucho más que el diseño tradicional de aire acondicionado que controla sólo temperatura y humedad. En el diseño se debe tener control de contaminación por partículas, control del flujo de aire, control de ruido y vibración, así como aspectos de ingeniería industrial tienen que ser considerados. El objetivo de un buen diseño de cuarto limpio es controlar dichos parámetros, manteniendo costos razonables de instalación y operación

Un cuarto limpio típico, tiene un sistema de control, que controla temperatura, humedad y barreras de entrada por medio de filtros, que pueden filtrar hasta la partícula de polvo más pequeña (hasta 0.12 μm). Las paredes y techos son de diferentes materiales, los más usados son, el aluminio, polietileno, poliuretano, acero inoxidable y los materiales antiestáticos, los cuales son de una sola pieza sin rompimientos, para que el polvo no se pueda concentrar y sean lavados y aspirados diariamente.

Los pisos, paredes y techos deben contar con superficies construidas sin depresiones o huecos, con un mínimo posible de bordes salientes; las uniones entre pared-piso, pared techo y pared-pared, deben estar terminadas con curvas "media caña" sanitarias para facilitar su limpieza además de ser pulidas y lisas

En el recubrimiento de pisos, paredes y techos, se utilizan materiales que resisten los agentes químicos como desinfectantes de fumigación y de limpieza, a fin de que con su uso continuo no se genere eventualmente material particulado.

Antes de entrar a un cuarto limpio, los trabajadores deben cambiar su ropa por trajes especiales. que incluyen cofias, botas además de pasar por debajo de una "regadera de aire" que remueve

todas las partículas. El material que es usado en el proceso es completamente limpiado antes de introducirlo al cuarto limpio; el material debe pasar al cuarto limpio a través de una esclusa de materiales.

Las dimensiones de un cuarto limpio deben permitir en forma desahogada, el desempeño de los trabajos que se realizan, tomando en cuenta las dimensiones de los equipos necesarios para la operación.

Para acceder a los cuartos limpios, se utilizan pasillos por donde se permite el flujo de materiales (envases primarios, materias primas, soluciones estériles y productos terminados) y el flujo de personal.

El flujo de materiales y personal debe ser en un sólo sentido para evitar flujos encontrados. Los cuartos limpios que se utilizan para el llenado de polvos estériles, sobre todo si se trata de derivados de la penicilina o bien de productos hormonales, deben estar siempre separados y alejados de los que se emplean para el proceso de soluciones y suspensiones estériles.

Las puertas y ventanas deben estar emparejadas con las paredes para reducir al mínimo los espacios donde se pudieran acumular contaminantes.

Las puertas deben ajustar con sus marcos tanto en la parte superior como en la inferior. Las ventanas no pueden abrirse.

Los difusores de entrada de aire y las rejillas de retorno deben estar a nivel en techos y paredes.

Las tuberías de agua, vacío, aire u otros servicios, así como los ductos de cables de energía deben ser instalados de manera que no corran a través de las paredes del interior del cuarto limpio, lográndose con ello que en dichas paredes aparezcan únicamente las salidas correspondientes a cada servicio.

Desde que los cuartos limpios fueron contruidos y diseñados ampliamente por empresas Estadounidenses, los procedimientos de prueba han sido dictados por los estándares de este gobierno. La norma Federal Standard 209 fue ampliamente aceptada como la que define los niveles de limpieza para espacios limpios en todo el mundo. Pero aspectos de la ejecución en un

cuarto limpio, no son cubiertos en la Federal Standard 209D^{*}. Por otro lado, métodos y prácticas de prueba estandarizados han sido desarrollados y publicados por: el Instituto de Ciencia del Ambiente (IES), American Standard of Test and Materials (ASTM), y otros grupos.

Las áreas limpias se pueden clasificar por el número de partículas que manejan en un metro cúbico de aire. En la clasificación por número de partículas, las áreas o cuartos limpios, tienen diferentes clases. Es decir, dependiendo del número de partículas que tenga el cuarto limpio tendrá una clase determinada. A menor número de partículas en el área, su número de clase es mejor. En la tabla 2.1 se muestran los límites de cada clase y su correspondiente número de partículas. En la figura 2.1 se puede observar la gráfica de líneas de límite de la clase de limpieza según la Federal Estándar 209E.

Clase Número		CONCENTRACIÓN DE PARTICULAS POR CLASE									
		0.1 μm		0.2 μm		0.3 μm		0.5 μm		5 μm	
		Unid. de vol.		Unid. de vol.		Unid. de vol.		Unid. de vol.		Unid. de vol.	
SI	Inglés	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10	0.283		
M 1.5	1	1,240	35	265	7.5	106	3	35.3	1		
M 2		3,500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83		
M 2.5	10	12,400	350	2,650	75	1,060	30	353	10		
M 3		35,000	991	7,576	214	3,090	87.5	1,000	28.3		
M 3.5	100			26,500	750	10,600	300	3,530	100		
M 4				75,700	2,140	30,900	875	10,000	283		
M 4.5	1,000							35,300	1,000	247	7
M 5								100,000	2,850	618	17.5
M 5.5	10,000							353,000	10,000	2,470	70
M 6								1,000,000	28,300	6180	175
M 6.5	100,000							3,530,000	100,000	24,700	700
M 7								10,000,000	283,000	61,800	1,750

Tabla 2.1 Clasificación de cuartos limpios según la "Federal Standard 209E"

* La Federal Estándar tiene actualizaciones que son marcadas con una letra por orden alfabético lo cual indica la actualización que está rigiendo en este momento.

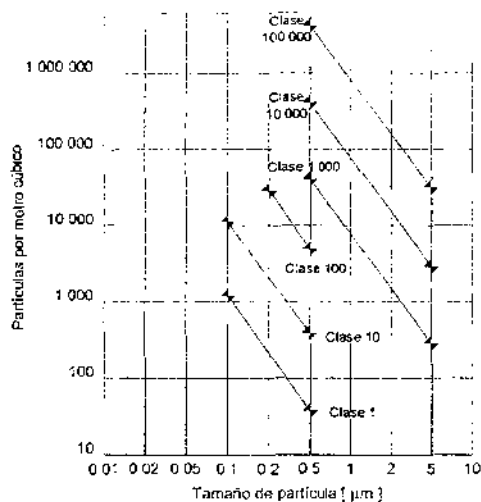


Figura 2.1 Líneas de límite de clase.

II.2 TIPOS DE CUARTOS LIMPIOS.

Existen áreas limpias tipo modular y tipo convencional, la diferencia entre las dos, es que la construcción modular es aquella que tiene sistemas previamente ensamblados en fábrica para que su instalación sea rápida y desarmable para fines de movilidad, aplicaciones temporales, problemas de espacio o tiempo, además se puede rediseñar, ampliar y reubicar. Son generalmente pequeñas y pueden usarse como un cuarto limpio pequeño que puede moverse ó como un cuarto limpio modular dentro de un cuarto limpio convencional, como un área crítica.

Un ejemplo de este tipo de construcciones modulares, son las campanas de flujo laminar, las cuales son áreas críticas dentro del cuarto limpio, con un flujo de aire muy controlado para disminuir el número de partículas que se manejan. Si el cuarto limpio convencional necesita un área crítica, pueden usarse este tipo de construcciones modulares.

En la figura 2.2 se pueden observar cuartos limpios tipo modular.

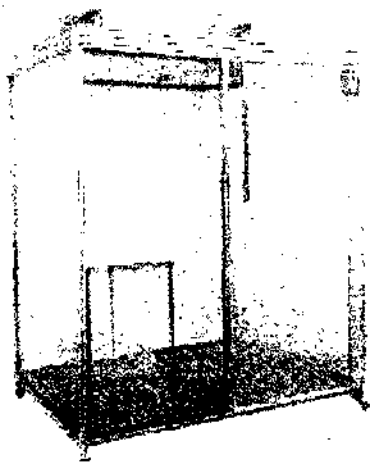


Figura 2.2 Construcción tipo modular.

Un cuarto limpio convencional, es aquel donde su instalación es por medio de un proyecto definido, donde su ubicación no cambia.

Este tipo de cuartos son ampliamente usados para las fábricas ya establecidas.

En la figura 2.3, se pueden observar diferentes tipos de cuartos limpios tipo convencional.

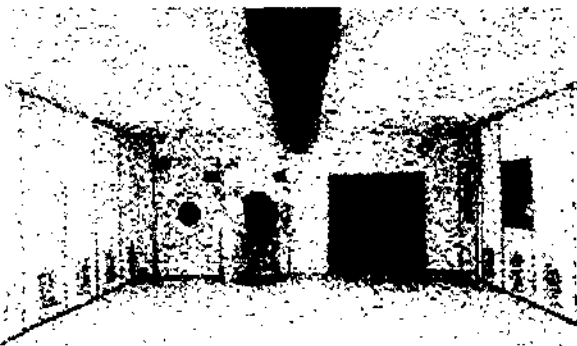


Figura 2.3 Tipos de construcción convencional.

II.3 CARACTERÍSTICAS DE UN CUARTO LIMPIO.

Los espacios o cuartos limpios involucran aspectos adicionales a los que normalmente se usan en el diseño de sistemas de aire acondicionado donde solo se considera el control de la humedad

y temperatura. estos son: control sobre la concentración de partículas y su dispersión, temperatura, humedad, vibración, ruido, patrón de flujo de aire y su construcción, manteniendo costos razonables de instalación y operación.

II.3.1 Fuentes de generación de partículas en cuartos limpios.

En general, las fuentes de generación de partículas en un cuarto limpio se agrupan en dos categorías:

- Fuentes externas
- Fuentes internas

Fuentes externas: Son aquellas fuentes que se generan fuera del cuarto limpio. La principal fuente de partículas externa es el aire de retorno inyectado al sistema de aire acondicionado, otras fuentes provienen de infiltración a través de puertas, ventanas, huecos en paredes, etc. Las fuentes de partículas externas pueden ser controladas mediante el filtrado del aire de retorno, presurización del cuarto limpio y sellando cualquier apertura en el espacio controlado.

Fuentes internas: La contaminación por partículas generadas dentro del cuarto limpio es el resultado del movimiento del personal, desgaste de las superficies, derramamiento de materiales, equipo de proceso, ingreso de material y el proceso de producción en sí. La principal fuente de generación de partículas interna, la constituye el personal, generando varios miles de millones de partículas por minuto, estas partículas son usualmente escamas cutáneas, gotas de sudor, humo residual exhalado, cosméticos y cabello.

Mediante un flujo de aire diseñado para lavar continuamente al personal con aire limpio, vestimenta especial para cuartos limpios y procedimientos adecuados, las partículas generadas por el personal pueden controlarse.

II.3.1.a Control de partículas.

La mayoría de las partículas generadas por fuentes externas pueden ser prevenidas de entrar al cuarto limpio con un filtrado de aire adecuado. Para tales efectos se tienen

- Filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air): Estos filtros tienen una eficiencia nominal del 99.997% para remoción de partículas de 0.3 μm .
- Filtros ULPA (Ultra Low Penetrating Air): Estos filtros son 99.9997% eficientes para remoción de partículas de 0.12 μm .

II.3.2 Control del patrón de flujo de aire.

Las turbulencias de aire dentro de un cuarto limpio son influenciadas por la configuración de suministro y retorno de aire, el tráfico de personal y la distribución del equipo de proceso. La correcta selección de la configuración del patrón de aire es el primer paso en el correcto diseño de un cuarto limpio. Las configuraciones de patrón de flujo de aire generalmente comprenden dos categorías: flujo de aire unidireccional (flujo laminar) y flujo de aire no-unidireccional (flujo turbulento).

Flujo de aire unidireccional: Se caracteriza por ser un flujo de aire en una misma dirección a través de la zona o cuarto limpio, generalmente son líneas de flujo paralelas y las corrientes de aire son continuas. A pesar de que el personal y equipo distorsionan las líneas de flujo, un estado de velocidad constante se mantiene.

Flujo de aire no-unidireccional: Un flujo de aire no unidireccional, tiene como característica múltiples pasos en su circulación y líneas de flujo que no son paralelas. Las variaciones en las corrientes de aire no-unidireccional se basan principalmente en la localización de las entradas y salidas del aire de suministro y de la localización de los filtros. El flujo de aire se suministra normalmente al cuarto a través de difusores con filtros HEPA como se muestra en la figura 2.4, en la manejadora de aire (figura 2.5) el aire es prefiltrado en los componentes del sistema de suministro realizando un filtrado HEPA en las estaciones de trabajo donde el ambiente limpio es requerido.

Un flujo de aire no-unidireccional puede proporcionar un nivel de control satisfactorio para niveles de limpieza clase 1,000 a clase 10,000. La obtención de niveles de limpieza con diseños similares a los de las figuras 2.4 y 2.5 presuponen que la mayor fuente de contaminación proviene de fuentes externas (aire de retorno) ya que la remoción de contaminantes es realizada por los filtros HEPA en la manejadora de aire o ductos.

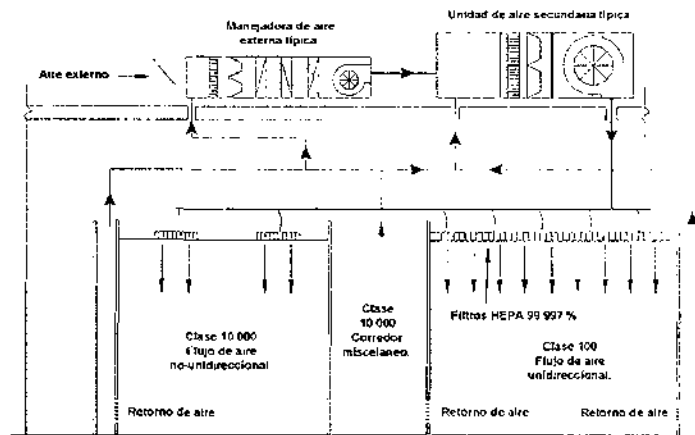


Figura 2.4 Cuartos limpios con filtros HEPA localizados en ductería.

Cuando se tienen fuentes de contaminación interna, es necesario instalar estaciones de trabajo limpias dentro del cuarto limpio, como se muestra en la figura 2.5

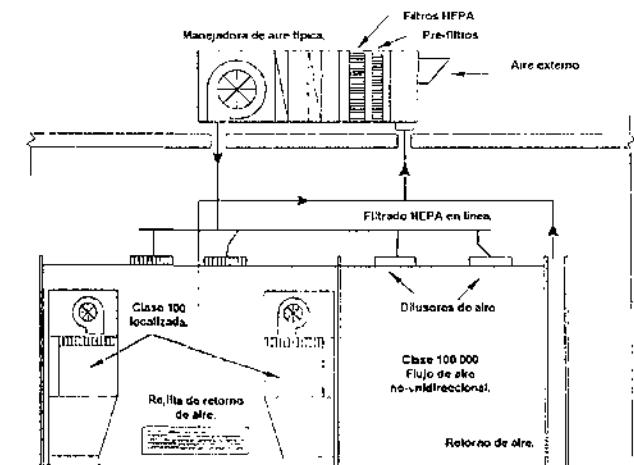


Figura 2.5 Cuartos limpios con filtros HEPA localizados en manejadora de aire.

A pesar de que el flujo turbulento es dañino en los métodos de control de flujo, este es necesario para mejorar la distribución de concentraciones altas y bajas de partículas, proporcionando un nivel de concentración de partículas homogéneo.

El control de los patrones de flujo y una reducción de flujo turbulento se obtiene con sistemas de flujo de aire unidireccional. Estos sistemas normalmente introducen aire a través del techo y es

retornado a través del piso o de compuertas en la base de las paredes, este tipo de sistema se conoce como cuarto de flujo laminar vertical. Una metodología similar usando una pared como suministro de aire y la pared opuesta como retorno se conoce como cuarto limpio de flujo horizontal.

II.3.3 Control microbiológico en cuartos limpios.

La industria farmacéutica se interesa más en el control de bacterias y virus que en el control de partículas. En esta industria, los materiales de construcción son críticos y es importante asegurar que ningún material beneficiará el crecimiento de bacterias.

Los cuartos limpios para la industria farmacéutica tienden a ser clase 100, 1,000 y 10,000 con flujo laminar.

II.3.4 Sistemas de aire de recuperación.

El aire de recuperación, es aquel aire introducido al sistema secundario de aire, para ventilación, presurización y reemplazo del aire de extracción.

El control del aire de recuperación y del aire de desalojo, afecta la presurización del cuarto limpio, la humedad y la limpieza del mismo. El nivel de flujo de aire de retorno requerido depende de los volúmenes de aire para desalojo y presurización, es por esto que el volumen de aire de retorno es comúnmente mucho mayor que el volumen de aire de extracción, pues ayuda a mantener una presurización adecuada. El volumen de aire de retorno es controlado por medio de controladores de flujo por zona, variadores de velocidad en los ventiladores, rejillas en las entradas, etc.

El aire de recuperación es la fuente principal de partículas externa en un cuarto limpio, por lo que es necesario realizar un filtrado antes de introducirlo al cuarto limpio, es recomendable realizar este filtrado en etapas de 30, 80 y del 95% de eficiencia.

II.3.5 Temperatura y humedad

El control preciso de temperatura es requerido en todos los cuartos limpios independientemente de su aplicación, algunos procesos químicos, por ejemplo, pueden cambiar bajo diferentes temperaturas. El control de temperatura es realizado con controles internos con tolerancias muy precisas.

El control y precisión de la humedad es un requerimiento muy importante para cualquier proceso. De esto depende la prevención de la condensación en superficies frías dentro del cuarto limpio y el control de electricidad estática en cuartos donde se ensamblan productos electrónicos, las tolerancias de humedad son dictadas por los requerimientos del proceso.

La humidificación del aire es realizada con humidificadores, rociadores de agua o enfriadores de evaporación con agua de alta pureza, la cual es transportada por tubería de acero inoxidable y unidades calentadoras de acero inoxidable.

El control y la precisión de la temperatura y humedad depende del tipo de proceso a realizar dentro del cuarto limpio. Si no existen especificaciones estrictas, se sugiere el uso de las siguientes condiciones:

- Temperatura: De 18 a 22 °C
- Humedad: 35% HR $\pm$ 5%. Inferior siempre a 50% HR

II.3.6 Presurización.

Las partículas externas al cuarto entran al espacio por infiltración a través de puertas, esclusas y otros medios como tuberías, ductos, etc. Por lo tanto, se debe mantener una presión positiva dentro del cuarto limpio para asegurar siempre un flujo de aire desde el espacio más limpio hacia el menos limpio.

Niveles de presión diferencial de 12 [Pa] (1.2248 mm C.A, columna de agua) es un estándar ampliamente usado basado en la recomendación de la norma Federal Standard 209 B. Para los valores de presión diferencial entre cuartos adyacentes, se debe cumplir que el cuarto más limpio tenga la presión más alta y ésta debe ir decreciendo como va disminuyendo la clase de cada cuarto.

Los niveles de presión dentro de un cuarto limpio son establecidos principalmente por el balance entre la presión de extracción y el volumen de la manejadora de aire, así como los volúmenes de inyección y de retorno.

Los requerimientos de la extracción son dictados por el proceso y el equipo instalado. Las diferencias de presión deben mantenerse tan bajas como sea posible mientras se mantenga la misma dirección del flujo de aire. El problema de tener grandes diferencias de presión entre cuartos puede ocasionar corrientes de aire en puertas, lo que se traduce como problemas de vibración.

Para el diseño de las condiciones de presurización en el conjunto de áreas que integran a los procesos asépticos, se toma como referencia a la sala de mayor condición crítica. En la propuesta, se parte de la asignación del nivel de presurización de la **“Sala de llenado o envasado”**; para lo cual, debe considerarse un diferencial de presión de aire de carga positiva de por lo menos 1.5 mm de columna de agua.

II.4 APLICACIONES DE CUARTOS LIMPIOS.

Un cuarto limpio es de uso amplio dentro de un gran sector industrial donde se requiere que la atmósfera este libre de contaminantes. El ensamble dentro de un cuarto limpio es imperativo para muchos sistemas que van dentro de misiles, vehículos para viajar en el espacio, equipos complejos que son especialmente sensibles a la contaminación ambiental, para los cuales una partícula de polvo u otras condiciones fuera de ciertos límites puede causar un mal funcionamiento.

Industria alimentaria: Los cuartos limpios son usados en el procesado y empaclado aséptico de comida, envasado y sellado del proceso de la leche, empaclado de productos alimenticios diarios y en el procesado de carne, el nivel de limpieza depende de cada producto alimenticio, el nivel más usado es el de clase 100.

Industria de semiconductores: Los avances en la industria de los semiconductores continúa guiando el estado del arte en el diseño de un cuarto limpio. Los cuartos limpios en la industria de los semiconductores representan un porcentaje significativo de todos los cuartos limpios en operación en los Estados Unidos, siendo la mayoría de clase 100 o menores

Industria farmacéutica y biotecnología: La preparación de productos farmacéuticos, productos biológicos y médicos, e investigación en ingeniería genética, son buenos ejemplos de aplicaciones de cuartos limpios. Los espacios limpios son necesarios para controlar el crecimiento de bacterias indeseables.

Aplicaciones misceláneas: Los cuartos limpios también se usan en la manufactura de brazos, piernas y uniones artificiales, industrias de óptica y láser, la investigación de materiales avanzados, la industria fotográfica, textil, química y laboratorios de investigación. Los quirófanos en un hospital pueden ser clasificados como cuartos limpios, aunque su función primaria es limitar tipos particulares de contaminantes más que cantidad de partículas. Los cuartos limpios son usados en el aislamiento de pacientes y cirugía donde el riesgo de infección existe.

Una misma clase de cuarto limpio puede funcionar para diferentes aplicaciones, como se muestra en la tabla 2.4.

Industria	Aplicación.	Clase			
		100	1,000	10,000	100,000
Comida	Envasado y sellado del proceso de la leche,	***			
	Bebidas lácticas ácidas y bebidas suaves				
	Empacado de productos diarios			***	***
	Procesado de la carne	***			
	Cultivo de hongos	***			
Medicina	Manufactura de inyecciones y ampolletas selladas	***			
	Manufactura de medicina capsulada	***	***	***	
	Manufactura de tabletas	***	***	***	
	Cuartos médicos	***	***		
	Depósitos de sangre, y vacunas	***	***		
Laboratorio de animales	Animales libres de microbios	***			
	Animales de bioterio	***			
	Animales normales			***	***
Hospitales	Cuartos de operaciones libres de gérmenes	***			
	Quirófanos		***	***	
	Cuartos para niños recién nacidos y prematuros			***	***
	Cuartos de hospital y consultorios médicos			***	***
Control de Horticultura	Laboratorio de botánica		***		
Facilidades de Biorriesgo	Laboratorio de gérmenes	***			
	Laboratorio de animales infecciosos		***		

Tabla 2.4 Aplicaciones de cuartos limpios

CAPITULO III DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUARTO LIMPIO.

III.1 INTRODUCCIÓN.

III.1.1 Selección del lugar.

III.1.2 Diseño de edificios.

III.2 PROPUESTA METODOLÓGICA.

III.3 ÁREA DE ENVASADO.

III.3.1 Consideraciones para el diseño del equipo.

III.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS PARA CUARTOS LIMPIOS. (PISOS, PAREDES, PUERTAS Y TECHOS).

III.4.1 Pisos

III.4.2 Paredes

III.4.3 Puertas

III.4.4 Techos

III.5 INSTALACIONES Y SERVICIOS.

III.5.1. Tuberías y conductos

III.5.2 Alumbrado

III.5.3 Energía eléctrica.

III.5.4 Filtración de aire en un cuarto limpio

CAPITULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUARTO LIMPIO.

III.1 INTRODUCCIÓN

La higiene es una de las exigencias que debe ser tomada en cuenta para el diseño de una planta para la fabricación de leche en polvo. Este debe incluir: la instalación, los equipos, los edificios (tanto lo referente a su construcción como a su distribución interna), la provisión de servicios, la planificación e instalación de medios para realizar la limpieza interna.

Los principales factores que se deben tomar en cuenta para realizar el diseño higiénico de un cuarto limpio son:

- La selección del lugar
- El diseño de los edificios
- El diseño y distribución de equipo (Se describe en la propuesta metodológica de este capítulo).

A continuación se describen los dos primeros puntos:

Selección del lugar.

Ya sea que se trate de construcción de áreas nuevas o mejorar las ya existentes; la premisa fundamental para seleccionar el lugar de ubicación o reubicación, es el factor riesgo de contaminación procedente de otras actividades adyacentes a las áreas, además deben estar protegidas de aspectos meteorológicos y ambientales externos, como pueden ser: lluvia, viento, polvo, filtración solar, ruido, insectos y fauna nociva.

El factor riesgo de contaminación es muy importante ponderarlo, ya que de este nace la distribución de áreas.

Diseño de edificios.

El diseño, construcción y/o remodelación del conjunto de áreas que integran el concepto limpio, deben satisfacer la premisa de 'Espacios Amplios', para poder desarrollar las diferentes operaciones.

El diseño y construcción de las áreas limpias y la instalación del equipo y maquinaria, al igual que todos los servicios requeridos, tienen que garantizar tanto los criterios de calidad para mantener la integridad del producto contra cualquier tipo de contaminación, así como los criterios de seguridad para el personal que labore en un ambiente sin riesgo alguno.

En el plano 3.1 se muestra la planta de envasado de leche en polvo, indicándose las áreas que integran la planta

III.2 PROPUESTA METODOLÓGICA

A continuación se proponen los pasos a seguir para diseñar un cuarto limpio para la elaboración de productos alimenticios, esperando contribuir con una propuesta metodológica para diseñadores de instalaciones limpias (ver diagrama 3.1)

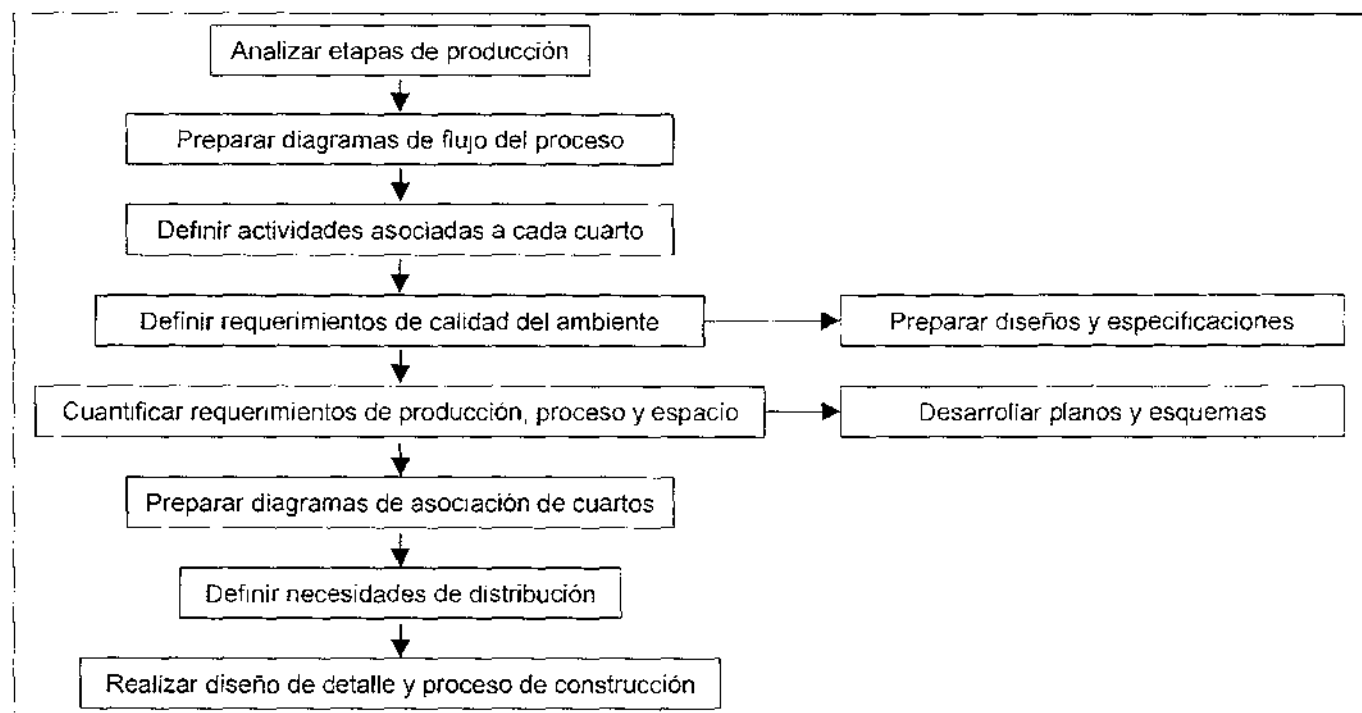


Diagrama 3.1 Metodología propuesta para el diseño de un cuarto limpio.

Como se indicó en el capítulo I, el requerimiento del cuarto limpio es envasar leche en polvo de la forma más limpia. Para lograr esto el cuarto limpio debe estar bien diseñado. La propuesta metodológica analiza cuidadosamente el producto con la intención de lograr un buen diseño; los pasos de esta propuesta se describen a continuación:

Etapas de producción (proceso de elaboración de leche en polvo).

Recepción de leche: Normalmente la leche es recibida en su estado natural; es decir, cruda, entera y fría a una temperatura de 4°C para ser almacenada en silos, previa filtración de materiales extraños.

Estandarización: Se adicionan los ingredientes necesarios para uniformar el lote de leche a secar, tales como: grasa, proteína, lactosa y minerales, dependiendo del tipo de leche a elaborar.

Evaporación: La leche recibe un pre-tratamiento al ser sometida a una evaporación parcial con la finalidad de eliminar esporas de bacterias de la leche, mejorando con ello la calidad bacteriológica del producto final

Homogenización: La leche ya evaporada (45-55%), se somete a un tratamiento de homogenización que impide que los ingredientes contenidos se separen (principalmente la grasa).

Pulverización y Secado: El producto es introducido a una torre de aspersión y secado durante el cual se llevan a cabo las siguientes etapas:

- Atomización de la sustancia concentrada en gotas muy finas

- Mezcla de las gotas atomizadas con una corriente de aire caliente el cual evapora rápidamente el agua.

- Separación de las partículas de leche secas del aire caliente

Envasado: Teniendo la leche en polvo como producto terminado, se almacena en silos para posteriormente envasarla, ya sea en latas, sacos de papel o plástico dependiendo de la presentación final del producto. Para el caso del envasado en lata se introducen las latas y la tapa pre-sellada de las mismas al área de envasado, siendo en éste caso muy importante mantener el área de almacenamiento de envases controlada en lo que a contaminantes se

refiere ya que podría recibir el producto algún tipo de bacterias ú hongos que pueden contaminar el producto

Gasificación: Las latas de leche se introducen en cámaras de gasificación para someterlas a un vacío, eliminando con ello el aire remanente en el interior de la lata, posteriormente se introducen a una atmósfera de bióxido de carbono que reemplaza el aire y finalmente se sellan definitivamente las tapas del envase, garantizando con ello la duración de la leche en anaquel.

Etiquetado y embalaje: Consiste en la colocación de etiquetas a las latas ó envases

Diagramas de flujo del proceso.

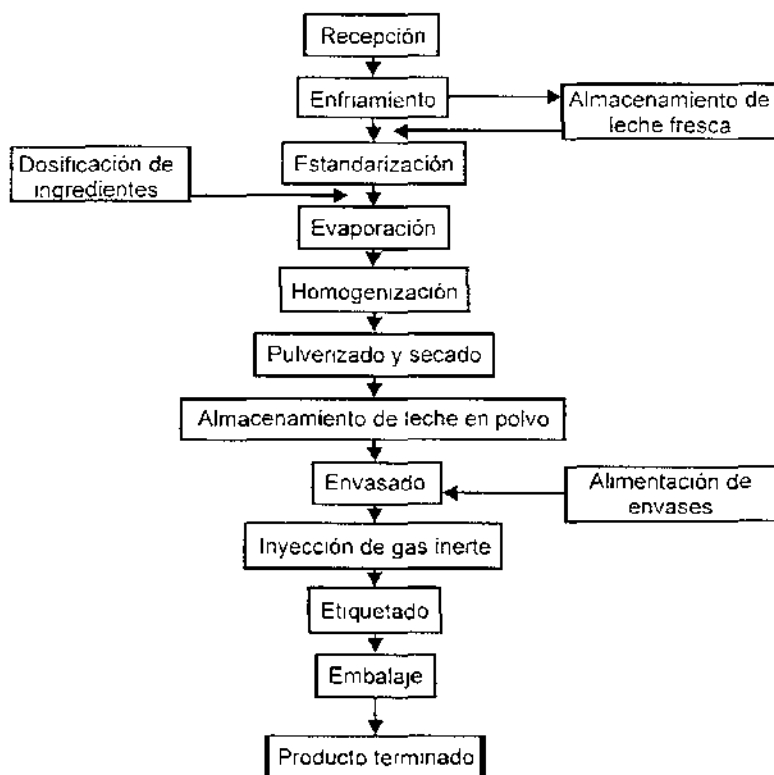


Diagrama 3.2 Proceso de fabricación y envasado de Leche en Polvo

Actividades asociadas a cada cuarto y requerimientos de calidad del ambiente.

En la tabla 3.1 se presentan las condiciones para cada una de las áreas de la planta productora de leche en polvo (ver plano 3.1)

# de área	Nombre de área	Vol. (m ³)	Nivel de Filtración % de DOP	Temp. Interior °C	Humedad Relativa %	Nivel de Presurización mm. C.A.	Clase de Área	Cambios de Aire por Hora
1	Recepción	183.4	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	5 – 48
2	Estandarización	234.6	99.95	18-20	45	(+) 1.0	10,000	60 – 90
3	Evaporización	259.4	99.95	18-20	35	(+) 1.2	10,000	60 – 90
4	Pulverización	194.5	99.95	40 +/- 5	35	(+) 1.2	10,000	60 – 90
5	Envasado	116.13	99.997	20 +/- 2	35 +/- 5	(+) 2.54	100	240 – 480
6	Etiquetado y empaque	209.9	99.95	26 +/- 2	35	(+) 1.5	10,000	60 – 90
7	Vestidor	29.2	99.997	22 +/- 4	40	(+) 1.5	100	240 – 480
8	Esclusa personal	45.0	99.997	18-20	40	(+) 1.0	100	240 – 480
9	Air lock	41.9	99.997	26 +/- 4	40	(+) 2.0	100	240 – 480
10	Esclusa materiales	19.4	99.95	18-20	40	(+) 1.5	100	240 – 480
11	Almacén de materiales	105.8	99.95	18-20	45	(+) 1.2	10,000	NA
12	Pasillo supervisión	152.64	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	NA
13	Oficina	240.4	95	18-20	45	(+) 1.2	100,000	NA
14	Laboratorio	15.8	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	NA
15	Oficina	18.8	95	18-20	45	(+) 1.2	100,000	NA
16	Almacén general	833.1	NA	30	Ambiente	NA	NA	NA
17	Baños	31.0	NA	Ambiente	Ambiente	NA	NA	NA
18	Pasillo carga		NA	Ambiente	Ambiente	NA	NA	NA

* Sombreado: Especificación del cuarto limpio.

Tabla 3.1 Condiciones internas de las áreas del proceso de fabricación y envasado de leche en polvo

Requerimientos de producción, proceso y espacio.

La tabla 3.2 muestra los requerimientos de producción y proceso, en el diagrama 3.3 se muestran los requerimientos de espacio.

Producto	Cantidad de producto por hora	Tem. de entrada y salida	Humedad de entrada y salida
Leche en Polvo	2,250 Kg / h	43 °C a 42 °C	3%

Tabla 3.2 Requerimientos de producción y de proceso

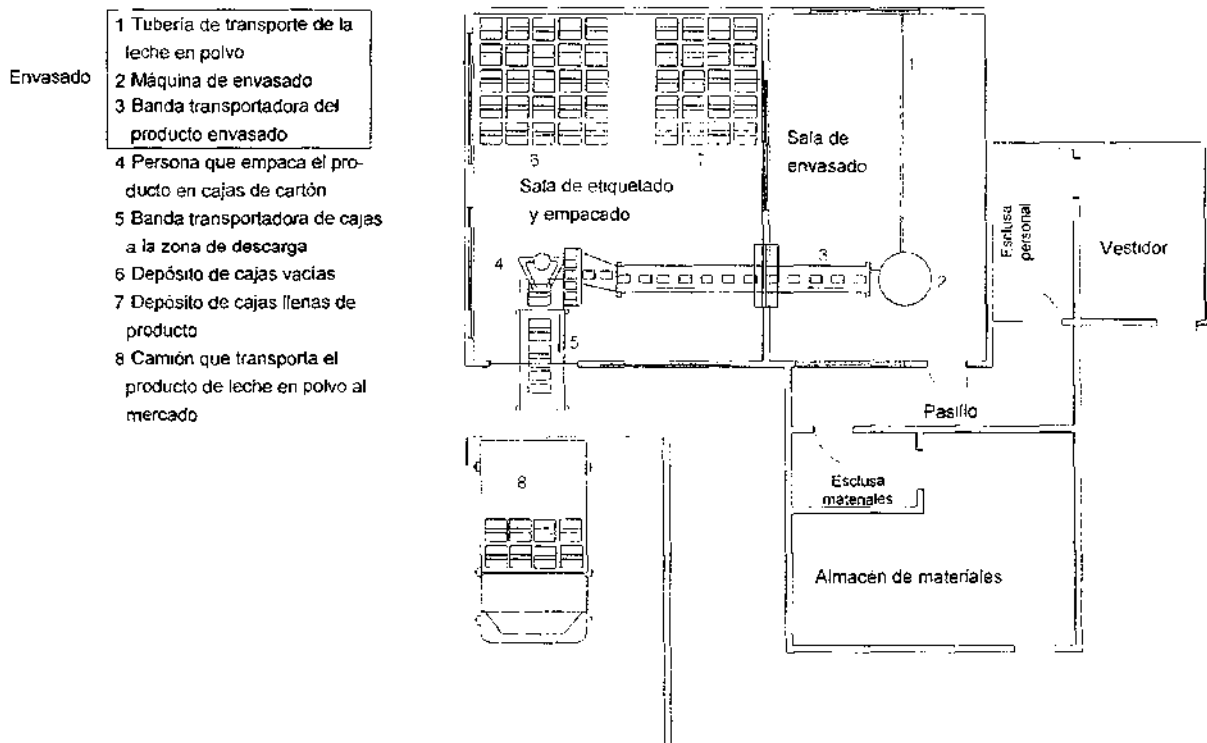


Diagrama 3.3 Requerimientos de espacio y distribución.

NOMBRE DEL AREA	DIMENSIONES
	(m ²)
ENVASADO	38.71
ETIQUETADO Y EMPACADO	52.47
VESTIDOR	7.3075
ESCLUSA PERSONAL	11.2575
AIRLOCK	10.465
ESCLUSA MATERIALES	4.845
ALMACEN DE MATERIALES	105.83

Tabla 3.3 Requerimientos de espacio.

Diagrama de asociación de cuartos.

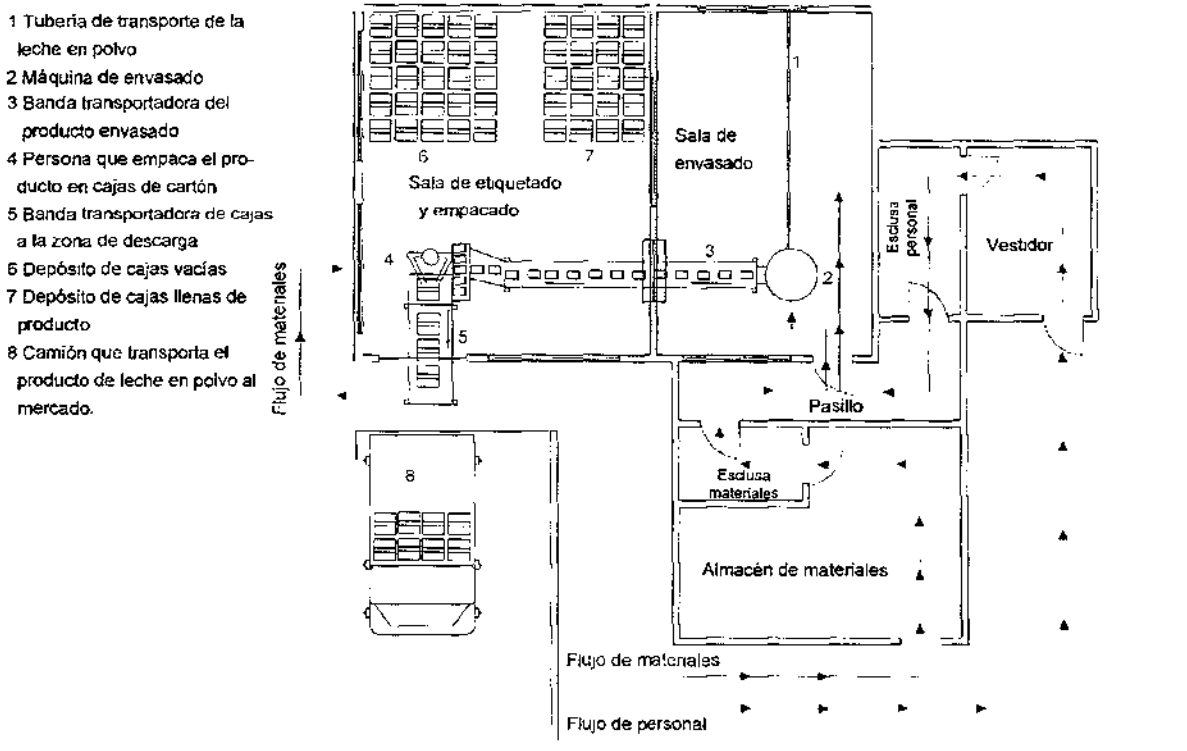


Diagrama 3.4 Asociación de cuartos.

Necesidades de distribución.

Aspectos a considerar para realizar la distribución de la planta propuesta.

- Eliminar los riesgos de una contaminación.
- Eliminar los riesgos de una confusión.
- Reducir el manejo de materiales.
- Reducir los inventarios en proceso.
- Reducir el tiempo de producción.
- Disminuir los retrasos.
- Aumentar los volúmenes de producción.

- Incrementar la productividad.
- Ahorrar espacios.
- Evitar bloqueos (extintores, pasillos, salidas de emergencia, etc.)
- Manejo con seguridad y garantía los productos.
- Facilidad en la supervisión e inspección.
- Mayor control sobre la administración de los tiempos.
- Mayor control sobre la administración de los movimientos.
- Generar orden y limpieza.
- Generar un clima organizacional motivante

El diagrama 3.5, muestra la distribución de la planta para el proceso de elaboración y envasado de leche en polvo.

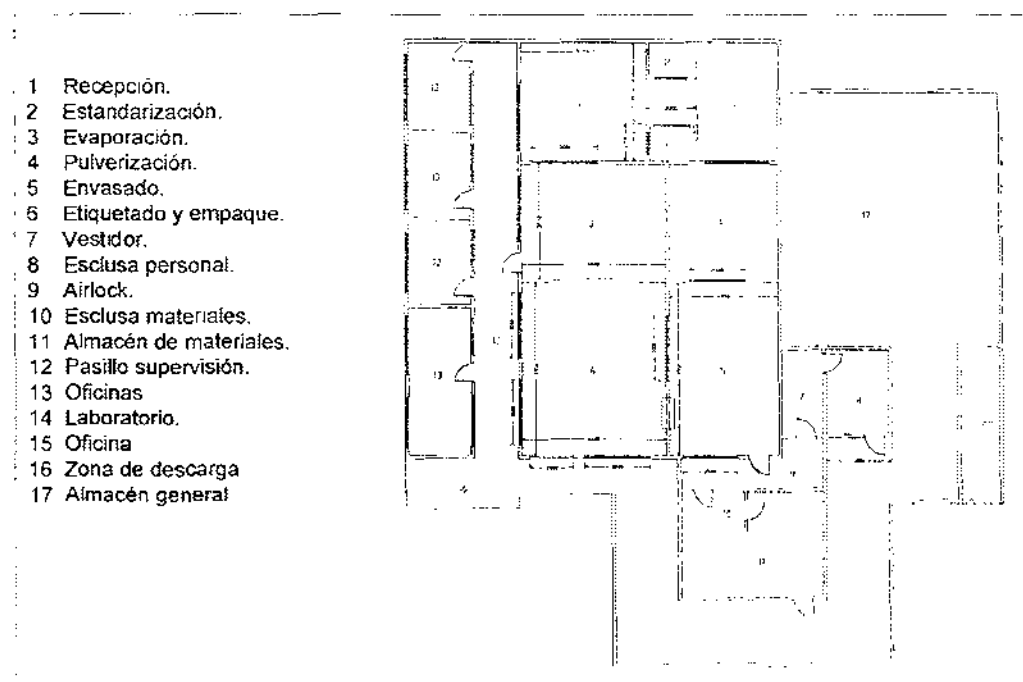


Diagrama 3.5 Distribución de la planta para el proceso de fabricación y envasado de leche en polvo.

Debido a que sería un trabajo arduo aplicar todos los factores que se deben tomar en cuenta para realizar el diseño de todos los cuartos que están involucrados en el proceso de elaboración de leche en polvo. Se considera hacer la aplicación de factores al área de envasado, ya que es considerada una de las áreas más críticas. Además de que se tomará como ejemplo para las demás áreas limpias

III.3 ÁREA DE ENVASADO

La distribución del área de envasado depende básicamente de dos factores:

- El diseño del equipo a utilizar en el proceso de envasado
- El flujo de la materia prima, de los materiales de envasado y del personal que estará laborando dentro del cuarto limpio.

El diagrama 3.6 muestra la distribución del área de envasado.

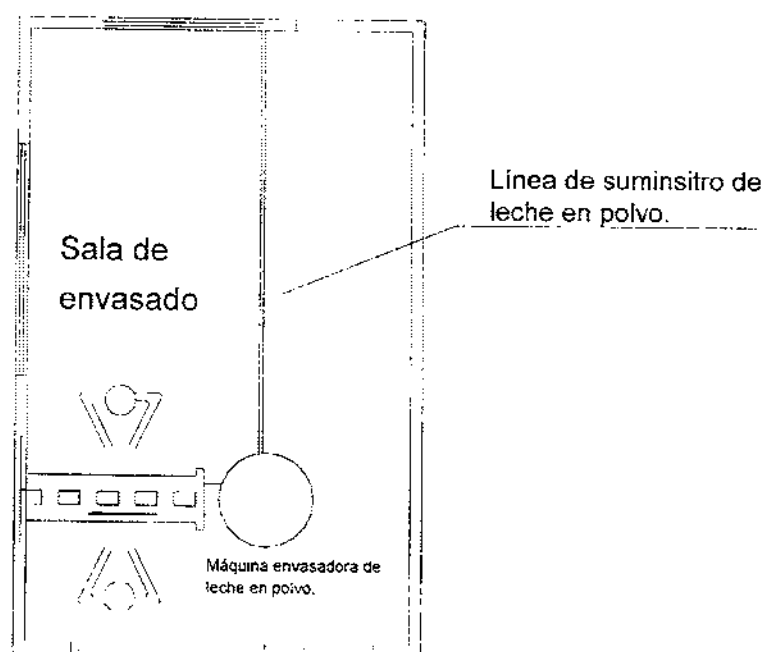


Diagrama 3.6 Distribución del cuarto de envasado.

III.3.1 Consideraciones para el diseño del equipo.

Generalmente se requiere que el diseño de los equipos y su distribución en el cuarto limpio, basado en consideraciones de utilidad e higiene presente lo menos posible fallos frecuentes en la elaboración de alimentos.

Las exigencias de diseño del equipo, varían según la naturaleza de los alimentos que se procesen, pero los principios básicos son comunes. En general, el diseño, los materiales de construcción y los métodos de instalación de los equipos deben facilitar su limpieza y desinfección. Por ello deben de ser fáciles de montar y desmontar con herramientas sencillas o estar diseñados para su "Limpieza in Situ" (Capítulo 6)

Principios de diseño sanitario para superficies que entran en contacto con los alimentos.

1. Todas las superficies que están en contacto con un alimento deben ser inertes frente al mismo en las condiciones de uso y no deben migrar al alimento ni ser absorbidas por este.
2. Todas las superficies que entren en contacto con los alimentos deben de carecer de poros, de manera que no queden partículas de alimentos, bacterias o huevos de insectos que queden atrapados en grietas superficiales microscópicas, de forma que sean difíciles de desprender y puedan convertirse en fuentes potenciales de contaminación.
3. Todas las superficies que entren en contacto con los alimentos deben ser visibles para inspección, en caso contrario, el equipo debe ser fácilmente desmontable para su inspección, de no ser así, deberá demostrarse que los procedimientos de limpieza rutinaria eliminan la posibilidad de contaminación por bacterias.
4. Todas las superficies que entren en contacto con alimentos, deben ser de fácil acceso para su limpieza manual; si no fueran fácilmente accesibles, deben desmontarse con facilidad para su limpieza manual o, si se utilizan técnicas de limpieza in situ, debe demostrarse que los resultados obtenidos sin desmontar las piezas son equivalentes a los que se obtendrían realizando una limpieza manual tras desmontarlas.

5. Todas las superficies interiores que entren en contacto con alimentos, deben estar dispuestas en forma que el equipo se vacíe y drene automáticamente.
6. El equipo debe estar diseñado de forma que proteja el contenido contra la contaminación externa
7. Las superficies exteriores o que no entren en contacto con los alimentos, deben disponerse de forma que no puedan alojar suciedad (paredes y soportes).

En estos principios es evidente la preocupación por el importante papel que juega la naturaleza de las superficies del equipo. La naturaleza de estas superficies esta relacionada con los materiales de construcción y los métodos de fabricación y uso.

No se debe utilizar en la construcción de los equipos que están en contacto con productos alimenticios sustancias tóxicas que puedan constituir un riesgo para la salud de quienes los consuman. Los metales que se encuadran ordinariamente en esta categoría son: cobre, hierro, zinc, cadmio, antimonio y plomo principalmente. Algunas normas permiten la inclusión de plomo en los materiales de soldadura en cantidades no superiores al 5%.

El acero inoxidable es el material más usado para las superficies que entran en contacto y en la construcción de aparatos, equipos, tuberías, etc., este material ofrece buena resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y abrasión y resistencia al choque térmico.

En las figuras 3.1 y 3.2, se puede observar como el acero inoxidable puede ser pulido mecánicamente o electro pulido hasta lograr un excelente acabado que de una superficie lisa, de fácil limpieza.

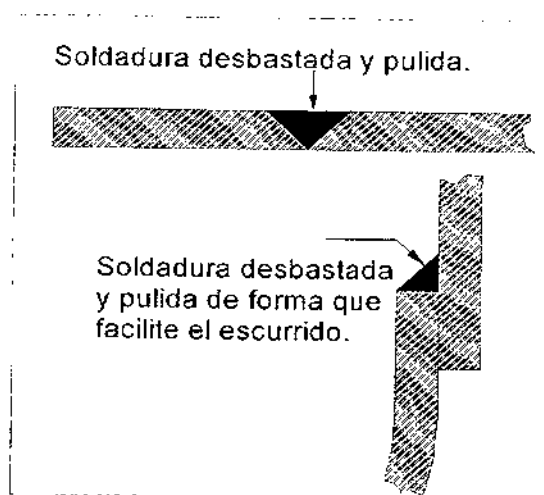


Figura 3.1 Soldaduras de láminas paralelas y láminas superpuestas

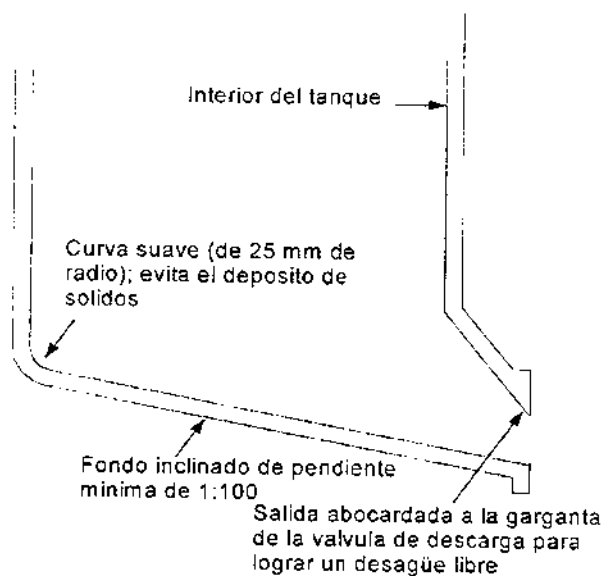


Figura 3.2 Características de un depósito.

Manejo de materiales

Se entiende como manejo de materiales: el movimiento organizado en la cantidad adecuada, hacia o desde su correcto emplazamiento, en el mínimo tiempo, con el mínimo esfuerzo y desperdicio y con la máxima seguridad.

En la tabla 3.4 se resumen algunas consideraciones para el manejo adecuado de materiales. Las principales técnicas relacionadas con estas consideraciones son:

- Un planteamiento general a la hora de planificar un programa de manejo de materiales.
- El manejo de los materiales a granel.
- La automatización.

Consideraciones para el manejo de materiales	
Consideraciones.	Acciones.
Ahorro de espacio de planta y de almacenamiento	No transportar los materiales innecesariamente reducir cualquier tipo de transporte
Mejor control de reservas ("stocks")	Manejar los materiales en lotes
Mejora de las condiciones de trabajo	Embalar o agrupar los materiales para facilitar su manejo
Mejora de la calidad del producto	Sistematizar el aporte de los materiales
Reducción del tiempo de elaboración	Utilizar siempre que sea posible sistemas continuos
Menor desperdicio de materiales, reducción y mejor aprovechamiento de la mano de obra	Utilizar todo el volumen de la planta utilizar maquinaria versátil para varios usos utilizar siempre que sea posible el transporte por gravedad

Tabla 3.4 Consideraciones y acciones para el manejo de los materiales.

Antes de proceder al diseño de los métodos adecuados, con objeto de optimizar el flujo de los materiales en la cadencia correcta a lo largo del proceso productivo (Fig. 1.2), evitando cuellos de botella o escasez en el suministro, es preciso tomar en consideración las ventajas e inconvenientes de los sistemas disponibles para su manejo, antes y durante el proceso de elaboración, así como también de producto terminado. El suministro para toda la planta debe ser lo más sencillo posible, con objeto de abaratar los costos de producción y evitar posibles confusiones que podrían conducir a la contaminación de los materiales, y del alimento elaborado. El método elegido debe también proporcionar condiciones de trabajo adecuadas para los operarios.

III.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS PARA CUARTOS LIMPIOS. (PISOS, PAREDES, PUERTAS Y TECHOS)

III.4.1 Pisos

Los pisos de un cuarto limpio para que sean adecuados tienen que ser durables, exentos de hendiduras y oquedades, resistentes a los ácidos, drenar adecuadamente, ser fáciles de limpiar y no ser resbalosos. La cimentación y estructura de los pisos debe ser capaz de soportar al equipo, especialmente a los grandes tanques de almacenamiento, la carga de trabajo y el tránsito. La superficie del piso no solamente debe tolerar un uso físico excesivo, sino también choques térmicos y presencia de ácidos. Los sólidos de la leche pueden caer al piso en las áreas de elaboración y si éstos sólidos permanecen en los poros, resquebrajaduras o uniones del piso, se fermentan y producen un ácido que reacciona químicamente con los materiales del piso, los corroe y los daña. Para protección de los trabajadores y empleados, el piso no deberá ser resbaloso. Una superficie rugosa puede evitar los resbalones, pero una superficie así es difícil de limpiar.

Se debe evitar el encharcamiento ya que el agua pronto se convertirá en fuente de contaminación. Los materiales que se utilizan comúnmente para el piso de un cuarto limpio son: concreto, piedra caliza y terrazo.

Las características de estos materiales se pueden observar en la tabla 3.5.

Material de construcción	Características
Concreto	Barato y puede repararse fácilmente. Si se pulveriza, se desgasta y se disuelve por los ácidos. Durabilidad ampliamente mejorada de los pisos bajo el tráfico. Apariencia atractiva. Menores costos de mantenimiento.
Piedra caliza	Alta dureza Textura fina. La corroe el ácido. Las uniones entre los bloques provocan dificultades.
Terrazo	Concreto reforzado con pedacería de mármol y molido hasta darle un acabado liso.

Tabla 3.5 Características de los materiales de construcción para el piso de un cuarto limpio.

Por las características que ofrece el **concreto**, se propone utilizarlo como material de construcción para el piso del cuarto limpio del “**Área de envasado**”.

Con frecuencia se especifican endurecedores de superficie para mejorar la durabilidad del piso. Estos son más efectivos cuando se planean como una parte de la instalación original del piso, sin embargo, el mantenimiento de protección para los pisos existentes incluye usualmente selladores de piso de concreto, y acabados de piso de concreto. Estos son productos que proporcionan una capa o recubrimiento en la superficie del piso (sellador) o sobre ella (como un acabado o recubrimiento). Para un cuarto limpio, es indispensable el uso de selladores que garanticen la eliminación de hendiduras y oquedades en el piso, las cuales son fuente de contaminación.

Acabados de pisos de concreto.

Estos incluyen los recubrimientos orgánicos que dejan una película delgada de 2 a 3 milímetros en la parte superior del piso. Brillantes o semibrillantes en apariencia, llenan los poros del concreto en 2 o 3 capas. La aplicación es con brocha, con aplicador (o rodillo) o con pistola de aire, dependiendo de la recomendación del fabricante. Existen disponibles recubrimientos opacos pigmentados en diversos colores.

En la figura 3.3 se puede observar la técnica de aplicación de acabados y selladores

Una vez sellado y acabado el concreto, se preparará el piso para el cuarto limpio con la aplicación de un recubrimiento para garantizar los requerimientos de limpieza.

Los sistemas de preparación de pisos para cuartos limpios se describen a continuación.



Figura 3.3. Técnicas de aplicación de acabados y selladores.

sistemas de piso en el cuarto limpio.

La efectividad contra el deterioro causado por el uso y el tiempo, es el criterio principal para un buen sistema de piso usado en un cuarto limpio. Para obtener sistemas efectivos de piso, deben ser contruidos siguiendo los principios de construcción mostrados en la figura 3.4.

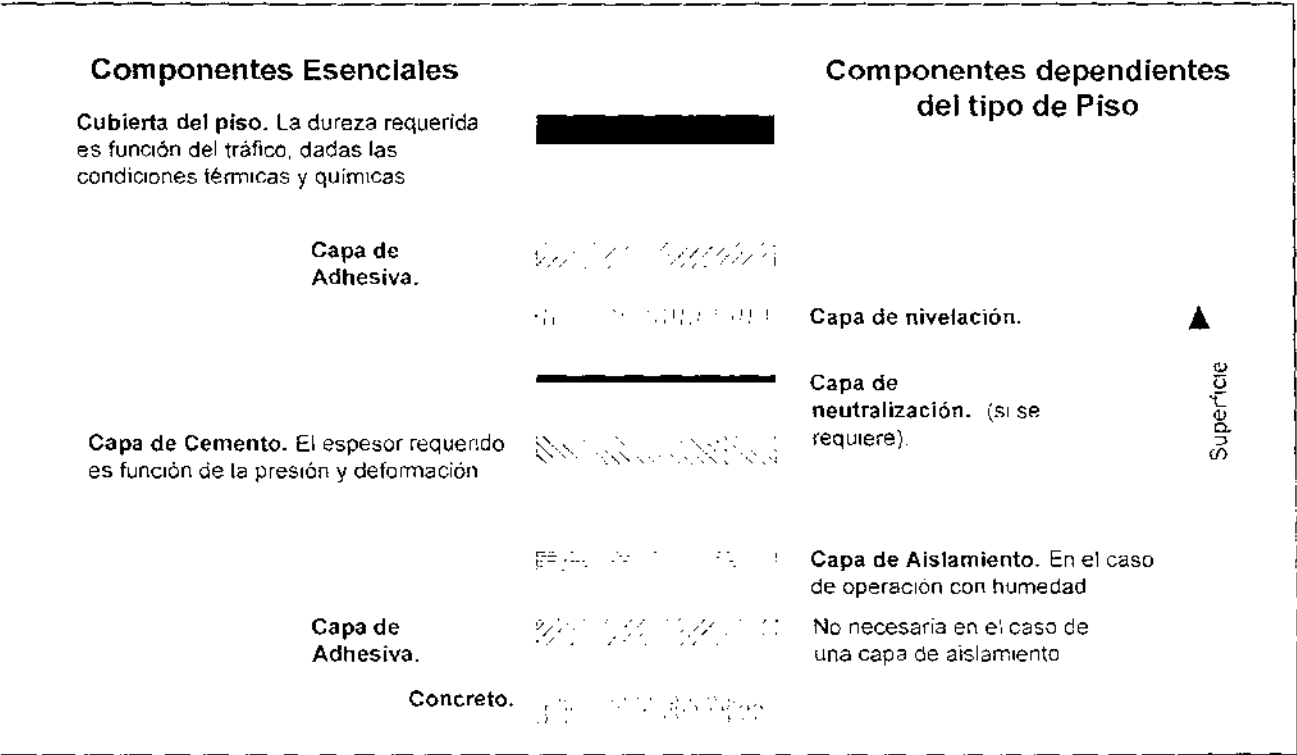


Figura 3.4 Sección transversal a través de un sistema de piso para cuarto limpio.

Los requerimientos generales para la durabilidad de una buena cubierta del piso son:

- Un buen trabajo manual de la capa con los materiales de mejor calidad, buena mano de obra y con un periodo suficiente de tiempo.
- Consideración de las aberturas requeridas en la construcción, por ejemplo, juntas de expansión y juntas de construcción.
- Una construcción que resista esfuerzos dinámicos y estáticos.

III.4.2 Paredes

Las paredes de un cuarto limpio están construidas por dos métodos:

- Método de construcción "in situ" (similar al usado en métodos de construcción ordinarios).
- Ensamble "in situ", donde componentes prefabricados son unidos para formar un cuarto limpio.

Construcción In situ.

En este método de construcción, las paredes hechas de bloques o secciones de metal son usadas como la base de construcción de los cuartos. Las secciones de metal se adaptan mejor a los servicios que deben pasar a través de la pared. Si se usan paredes de bloques, se debe asegurar un acabado firme, duro y liso, y ser cubiertas con una capa de pintura plástica y epóxica.

Ensamble in situ.

En este método las paredes son prefabricadas y ensambladas en el sitio. Las paredes están normalmente levantadas libremente y por esta razón tienen que ser de suficiente elasticidad y espesor para permanecer levantadas con el mínimo soporte. Se unen por cualquiera de los dos métodos: por una sección "H" de un material como el aluminio anodizado o plástico, ó aseguradas interiormente por varios métodos. Estas paredes son típicamente de 50 mm de espesor teniendo un interior comprimido.

Los centros internos tienen los siguientes materiales: caucho, vidrio, y espuma de poliestireno, aunque otros materiales convenientes pueden ser usados. Las superficies compatibles externas del cuarto limpio, son materiales como acero pintado con epóxico, aluminio, acero inoxidable y láminas de plástico, las cuales son laminadas y formadas alrededor de los materiales internos.

Las figuras 3.5 a 3.13 muestran elementos típicos de las paredes de un cuarto limpio y sus detalles de construcción como: materiales internos, uniones, conexiones entre elementos de pared, conexiones para techo y pisos. Elementos comprimidos se muestran en las figuras 3.5 a 3.8. Estos tipos de elementos son manufacturados con materiales de **alta calidad** para obtener

tolerancias muy precisas. Los espacios entre uniones entre los elementos son menores a 0.1 mm y por esto no existen uniones visibles con silicón. Con esto se logran superficies muy lisas en el cuarto limpio. Las figuras 3.9 a 3.13 muestran elementos de **buena calidad** de construcción. Estos elementos usan materiales menos caros y no son tan precisos en sus dimensiones. Para requerimientos altos (cuartos limpios de clase 1 a 10) son necesarios elementos de alta calidad como los mostrados en las figuras 3.5 a 3.8. Para requerimientos medianos o bajos los elementos de buena calidad son satisfactorios figuras 3.9 a 3.13.

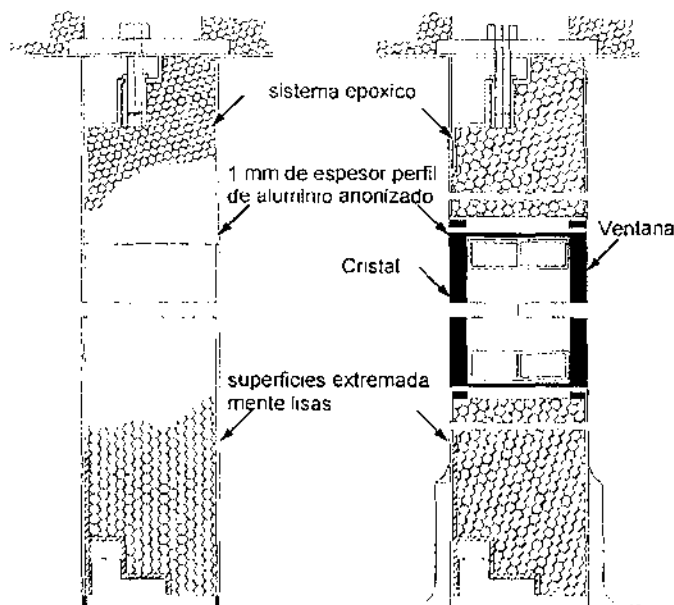


Figura 3.5. Elementos de pared comprimida de alta calidad.

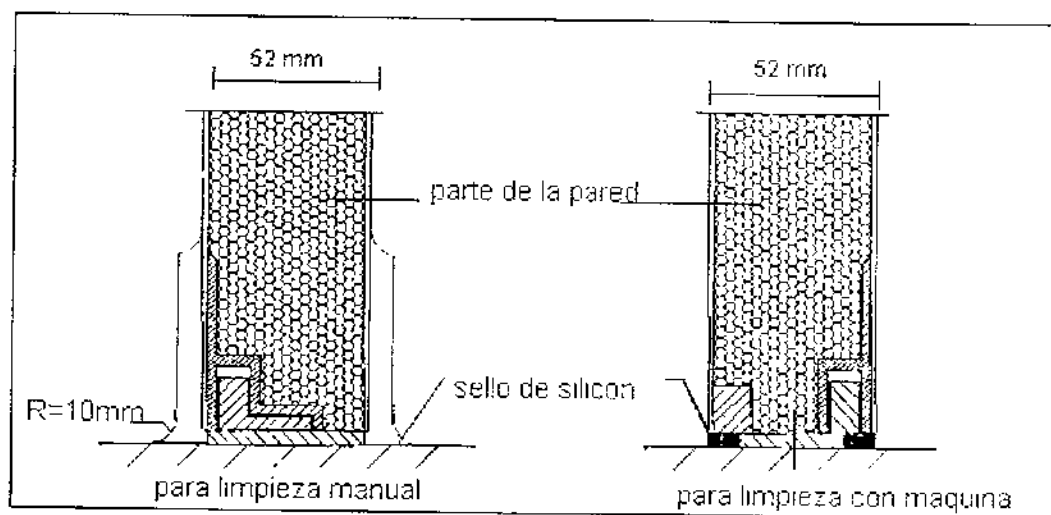


Figura 3.6. Detalle de elementos de pared comprimida para altos estándares de calidad, mostrando dos alternativas de conexión para el piso conveniente para la limpieza manual y lavado con máquina

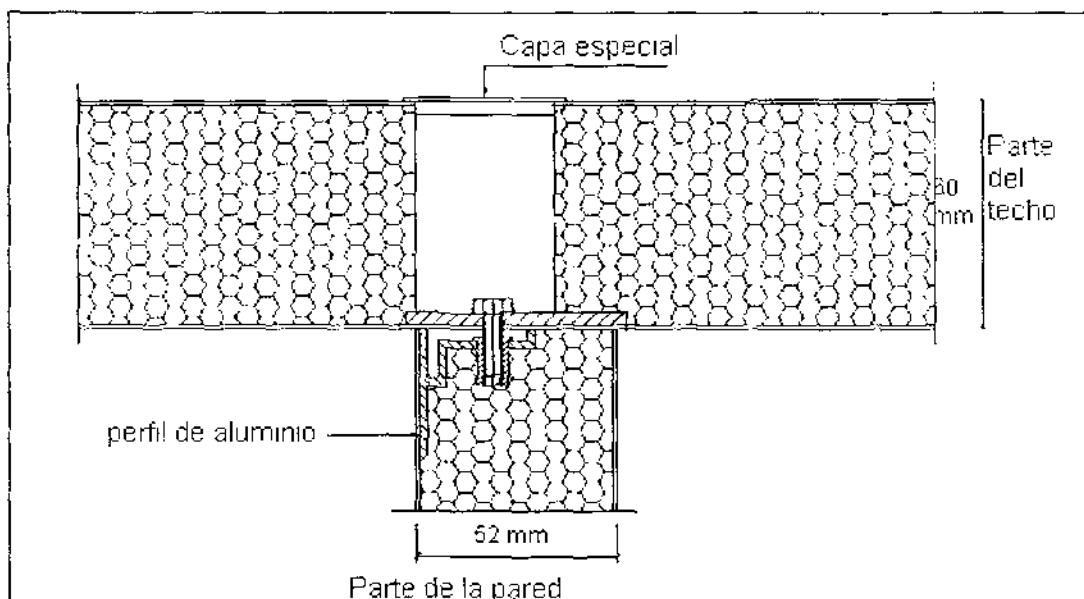


Figura 3.7. Elemento de pared comprimida de alto estándar de calidad. conexión entre el techo y paredes

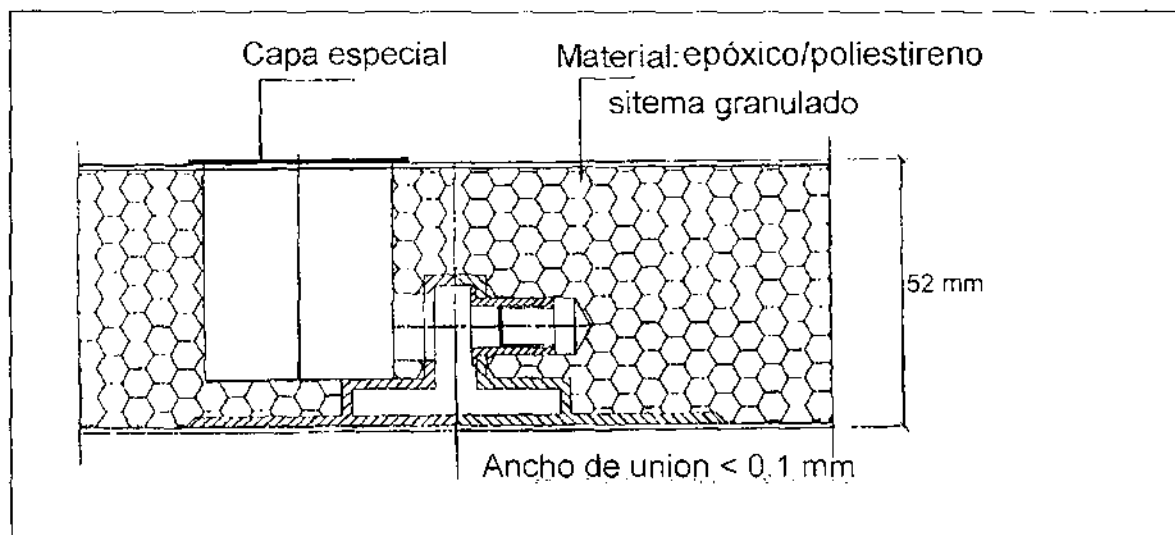


Figura 3.8. Elemento de pared comprimida de alto estándar de calidad: conexión entre elementos de pared.

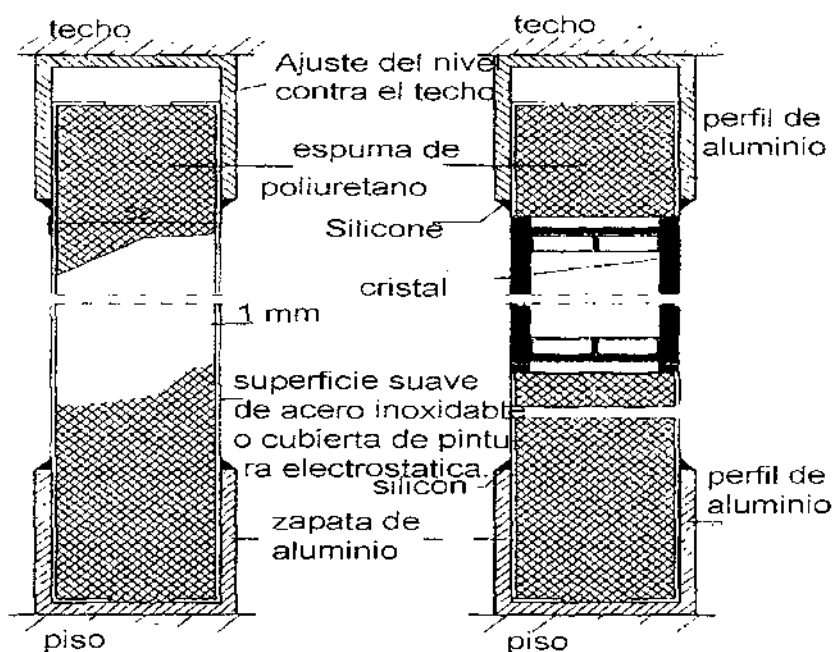


Figura 3.9 Elementos de alto estándar de calidad con conexiones apropiadas para techo y piso (convenientes para producción mojada y limpieza con máquina).

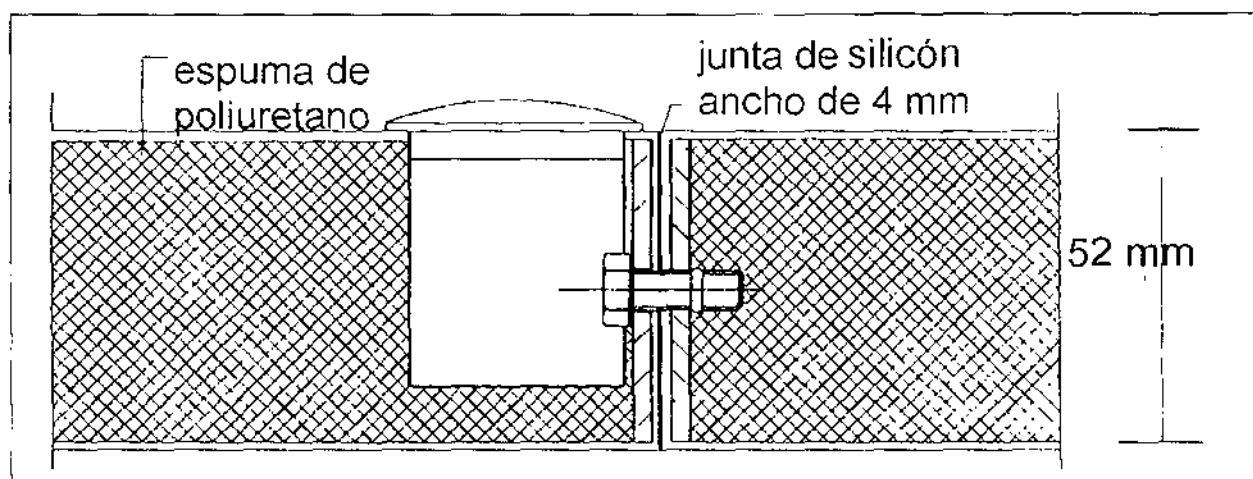


Figura 3.10. Elemento de pared comprimida de alto estándar de calidad (conexión entre elementos de pared).

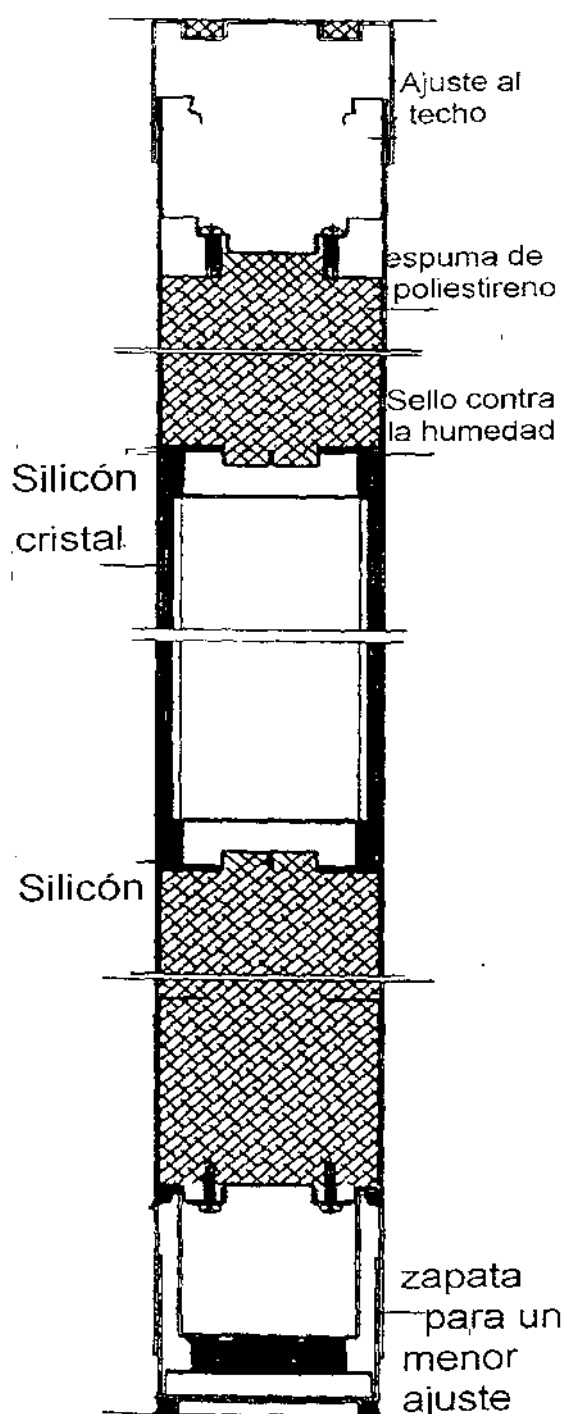


Figura 3.11. Elemento de pared comprimida de alto estándar de calidad, conveniente para ambientes húmedos y limpieza con máquina.

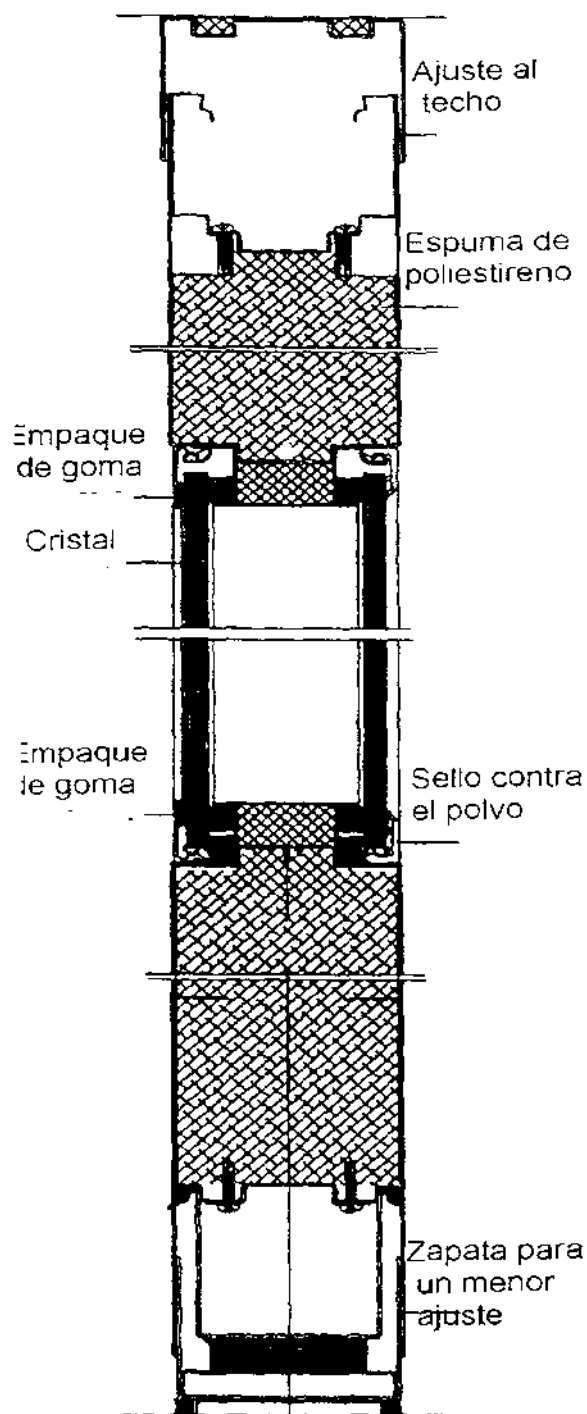


Figura 3.12. Elemento de pared comprimida conveniente para ambientes secos y limpieza con máquina.

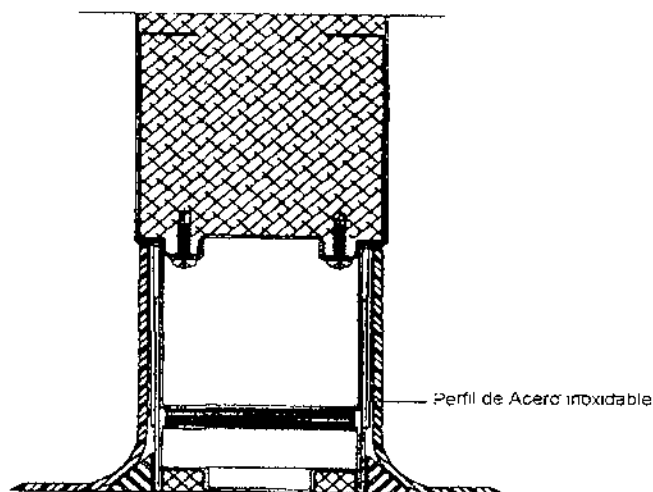


Figura 3.13 Elemento de pared comprimida conveniente para limpieza a mano.

III.4.3 Puertas

Las puertas en los cuartos limpios deben tener tan pocas superficies horizontales como sea posible y la menor cantidad como sea posible de agarraderas y cerraduras. La superficie de entrada debe ser lisa, fácil de limpiar, así como resistente a los agentes de limpieza y desinfectantes.

III.4.4 Techos

La construcción "in situ" de los techos de un cuarto limpio no es inusual. Los techos del cuarto limpio son construidos normalmente usando métodos prefabricados. Para cuartos limpios con estándares de calidad altos y medianos, se tienen dos diferentes sistemas de techado:

1. **Techado con Paneles:** En estos sistemas, una lámina de metal envuelve un centro de un material polimérico. Un ejemplo de este sistema se muestra en la figura 3.14, en la cual se muestra un sistema uniforme comprimido de aluminio, poliestireno y epóxico, con un espesor típico de alrededor de 65 mm y una capacidad de carga de alrededor de $[1500 \text{ N} / \text{m}^2]$. En la figura 3.15 se muestra un dibujo de un elemento de iluminación usado en este tipo de sistema. Estos paneles se interconectan juntos de forma fija sin uniones. Todos los servicios eléctricos pueden ser integrados fácilmente dentro de los elementos comprimidos.

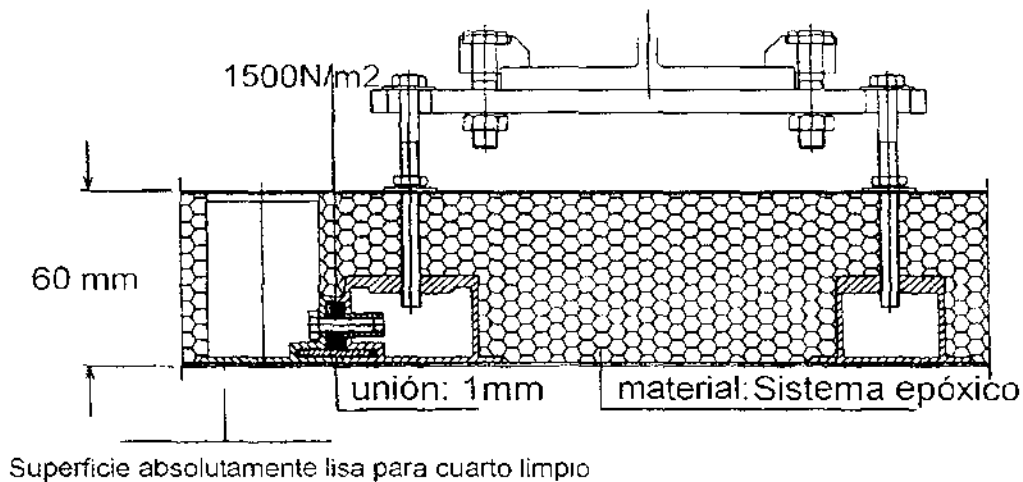


Figura 3 14. Elemento de techo comprimido para clases altas con una suspensión estable para el techo

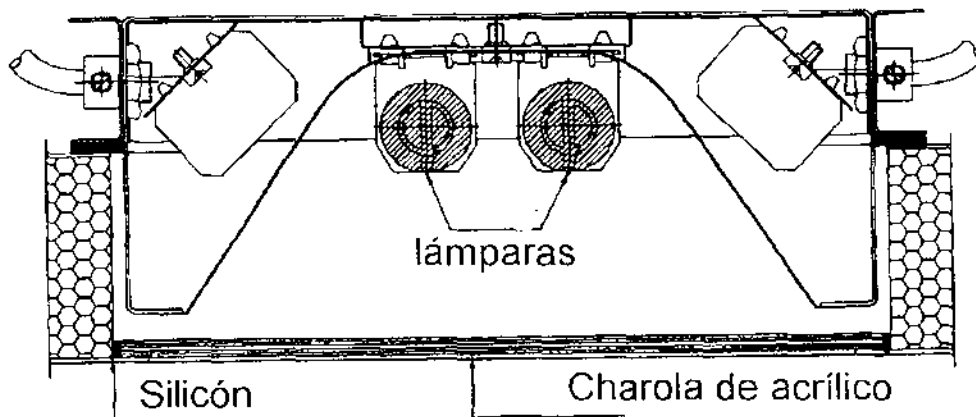


Figura 3.15 Detalle de un elemento de iluminación para clases altas.

2. **Techado enmallado:** Sistemas de techado enmallado consistentes de una estructura de metal ligera con soportes firmes para la instalación de iluminación, paneles vacíos y marcos para filtros así como aberturas para cables, rociadores etc. Los puntos de intersección están sellados para prevenir el paso de aire y partículas y los marcos de los filtros son instalados firmemente con su soporte. Los componentes principales de este sistema se muestran en la figura 3.16.

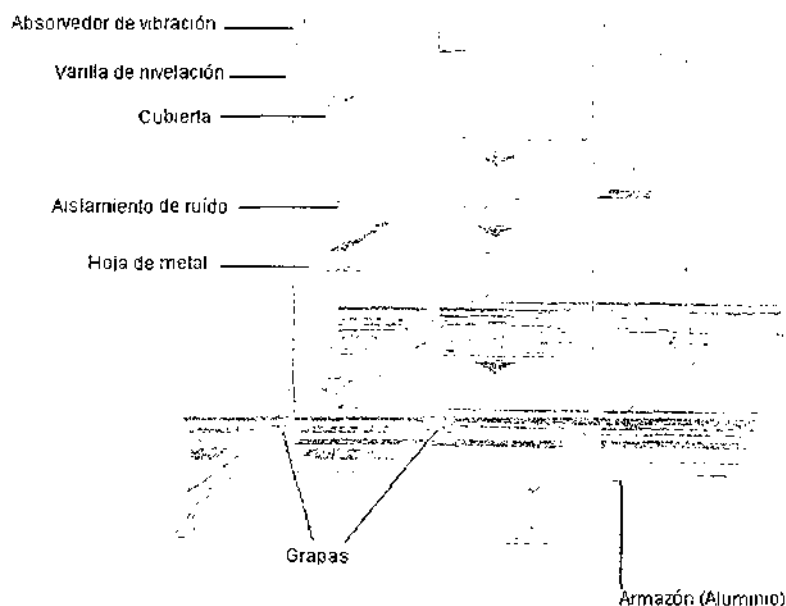


Figura 3.16 Techo enmallado mostrando los elementos de un elemento vacío.

En las figuras 3.17 y 3.18 se muestran dos ejemplos de un sistema de techado enmallado con uniones selladas firmemente.

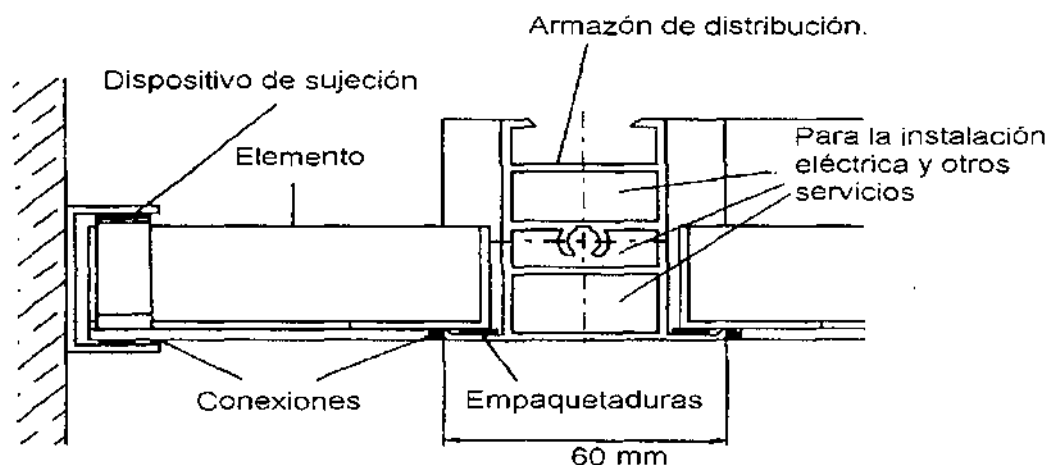


Figura 3.17 Techo enmallado: conexión para la pared y posicionamiento de elementos. * Elemento de carga con una sección conveniente para la instalación firme en uniones de servicios eléctricos y neumáticos. (El elemento puede ser un filtro, vacío, o una lámpara).

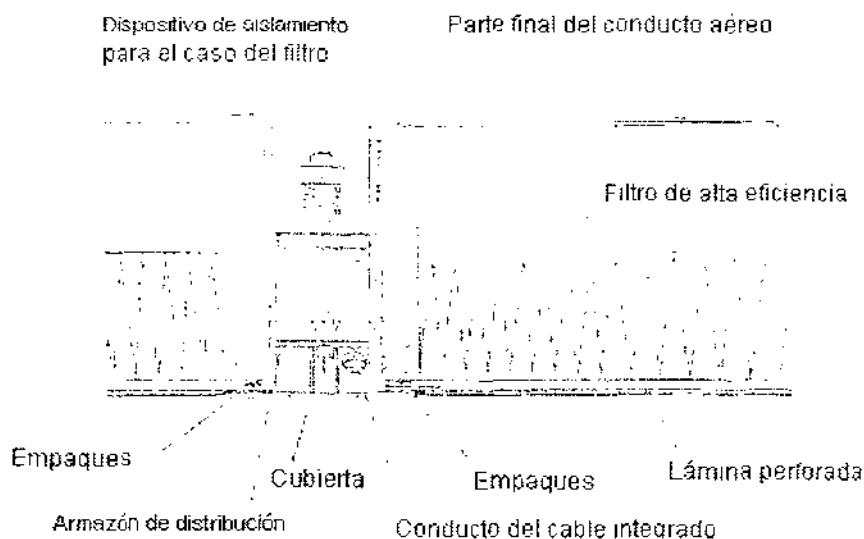


Figura 3.18 Techo enmallado: fijado de filtros HEPA.

Para cuartos limpios de una clase baja, elementos enmallados de techo soportados en una estructura sin dispositivos firmes (en este caso las lámparas están suspendidas o integradas) es suficiente. En algunos casos un sistema de panel suspendido es suficiente. Sin embargo, no existe posibilidad de realizar el mantenimiento y reparación sobre el techo, entonces la producción del cuarto limpio debe parar durante estas actividades.

La tabla 3.6 muestra algunos ejemplos de posibles materiales de construcción que pueden ser utilizados en un cuarto limpio, dependiendo de los requerimientos del cuarto.

Requerimientos altos.

Materiales para superficies de paredes y sistemas de techos

- *Acero inoxidable*: pulido, esmerinado
- *Aluminio*: anodizado ($>20\ \mu\text{m}$ de espesor) o esmaltado
- *Hojas de acero*: esmaltadas o pintadas electroestáticamente
- Paneles de plásticos conductores

Sistema de techos / características de construcción.

- *Estructura metálica ligera*: con fijaciones integradas para las instalaciones de alumbrado y otros, con aperturas para cables, rociadores, etc. hermético en los puntos de intersección
- *Techo de panel en la estructura de soporte*: Hermética, con instalación integrada de iluminación, con capa absorbente de sonido si se requiere.

Cubiertas para piso

- Hojas de plástico no encogibles con uniones soldadas (hot welded)
- Cubiertas cerámicas con uniones de material polimérico
- Cubiertas de resina no encogibles (ejemplo resina epóxica, poliéster o poliuretano), superficie sellada.

Pisos elevados.

- Cubiertas de material plástico no encogibles sobre soportes colocados sobre suelo o concreto sellado.

Requerimientos medios.

Materiales para superficies sistemas de paredes.

- *Hojas de acero*: pintadas electroestáticamente.
- *Hojas de acero galvanizadas*: esmaltadas o pintadas electroestáticamente
- Paneles de plásticos
- Paredes con recubrimiento polimérico

Sistema de techos / características de construcción.

- Estructura metálica con fijaciones integradas para las instalaciones de alumbrado y otros, con aperturas para cables, rociadores, etc. Filtros insertados desde abajo

Cubiertas para piso.

- Placas de plástico con uniones soldadas o placas de loza elásticas, pegadas al sustrato
- Loza de concreto con recubrimiento polimérico sellado y pulido

Pisos elevados.

- Igual que para requerimientos altos

Requerimientos bajos.

Materiales para superficies sistemas de paredes

- Hojas de yeso recubierto

Pisos.

- Placas de plástico con uniones soldadas sobre losa
- Loza de concreto con recubrimiento polimérico

Tabla 3.6 Ejemplos de componentes de construcción posibles para cuartos limpios

En la tabla 3.7 (ver diagrama 3.5) se dan los valores de niveles de iluminación para las diferentes áreas del área de envasado (área limpia). Los valores se refieren al promedio interior de iluminación a un plano horizontal de trabajo situado a 75 cm. por encima del nivel del suelo.

No. de área (Diag. 3.5)	Nombre del área	Luxes requeridos (E)
1	Recepción	300
2	Estandarización	300
14	Laboratorio	1000
15	Oficina	300
3	Evaporación	300
4	Pulverización	300
5	Envasado	1000
6	Etiquetado y empacado	500
7	Vestidor	200
8	Esclusa de personal	200
11	Almacén de materiales	200
12	Pasillo de supervisión	200
16	Zona de descarga	200
13	Oficinas	500
17	Almacén general	200
9	Airlock	200
10	Esclusa de materiales	200

Tabla 3.7 Niveles de iluminación propuestos para las diferentes áreas de la planta.

Fuentes de luz

Existen tres tipos de fuentes de luz de uso general:

- Incandescentes
- De mercurio
- Fluorescentes

Todas ellas se utilizan ampliamente para el alumbrado industrial y cada una de ellas tienen sus características particulares con sus ventajas y desventajas. Las más convenientes para nuestra aplicación son lámparas fluorescentes debido a su baja emisión de calor y alta relación de luminosidad.

La primera finalidad de una fuente de luz consiste en producirla y la eficacia con que una lámpara realiza este cometido, se expresa en lúmenes emitidos por vatios consumidos, relación llamada eficacia luminosa.

Método de cálculo de los lúmenes

Este método se utiliza únicamente para el cálculo de alumbrado en interiores. Esta basado en la definición de lux, siendo éste, igual a un lumen por metro cuadrado. Con la información del fabricante sobre la emisión luminosa inicial de cada lámpara, la cantidad instalada y el área de la zona considerada en m², puede obtenerse el número de lúmenes por metro cuadrado o luxes con la ecuación (3.1).

$$E = \frac{\Phi_e}{S} \text{ [Luxes]} \dots\dots\dots (3.1)$$

De donde: E = Luxes.
 Φ_e = Lúmenes emitidos.
 S = Área [m²]

El resultado de la ecuación 3.1 difiere de los luxes medidos, debido a que algunos lúmenes son absorbidos por la misma luminaria o por la influencia de otros factores, tales como la suciedad de la luminaria y la disminución gradual de la emisión de luz de las lámparas, entre otras.

El método de lúmenes se divide en cinco puntos fundamentales:

- Determinación del nivel de iluminación requerido.
- Determinación del coeficiente de utilización (CU).
- Determinación del factor de pérdidas totales (FPT).
- Cálculo del número de luminarias.

- Determinación del acomodo de las luminarias.

Distribución de lámparas y nivel de iluminación.

Para la determinación del nivel de iluminación de la sala de envasado de leche en polvo requerido se utilizó el informe # 29 de la International Comisión on illumination (Comisión internacional de iluminación) constituida por los comités nacionales de iluminación de treinta países (Manual de Alumbrado de Phillips, 1983).

Estas recomendaciones representan valores mínimos en el lugar mismo de la tarea visual de acuerdo con la práctica actual, en el anexo del capítulo 3 se muestra la tabla.

Debido a que las luminarias se encuentran dentro de un cuarto limpio el cual es regido por las normas Federal Standard 209E y NOM-059-SSA1-1993, las cuales limitan la ubicación y forma de las lámparas de acuerdo al número y localización de los filtros absolutos dentro del cuarto limpio. Se eligieron lámparas fluorescentes de 75 watts las cuales serán montadas entre la separación de cada filtro respetando los requerimientos mínimos de lúmenes por metro cuadrado.

La propuesta (figura 3 19), permite una limpieza fácil de las luminarias dentro de la sala de envasado así como la reducción del tiempo de reparación de las mismas, dado que todos los controles y dispositivos de los que consta una lámpara fluorescente estarán fuera de la sala de envasado de leche en polvo.

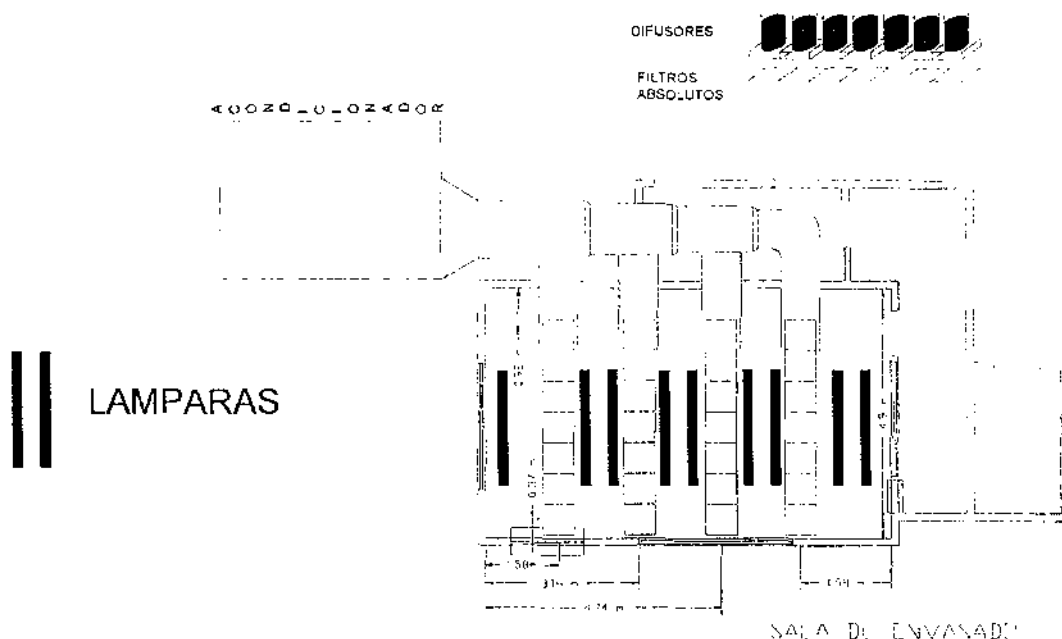


Figura 3.19 Distribución de lámparas dentro de sala de envasado.

III.5.3 Energía eléctrica.

El cálculo de energía eléctrica debe tener la capacidad adecuada para hacer frente a los requerimientos de operación, evitando sobrecarga en las líneas. Deberá permitir conectar a tierra los diferentes equipos que operan en el cuarto limpio y que así lo requieran. Debe cumplir con lo indicado en el punto III.5.1

III.5.4 Filtración de aire en un cuarto limpio

El sistema de filtración de aire permite controlar la contaminación microbiológica mediante dos procedimientos básicos simultáneos: uno, la introducción de aire por medio de filtros absolutos, ya que estos retienen partículas desde $0.3 \text{ [}\mu\text{m]}$ en adelante y su diseño interno obliga a las partículas a detenerse en el medio filtrante, el segundo es introducir una masa de aire ultra filtrado en un ambiente confinado a velocidades muy bajas, con lo cual el aire avanza en una sola dirección, tomando la forma de los objetos que encuentra a su paso por el área evitando la contaminación exterior y aquella que podría provenir de los objetos de la zona de trabajo. En la tabla 3.8 se encuentran los estándares ambientales básicos de filtración en cuartos limpios.

Grado	Descripción del sistema	Eficiencia del filtro final	Velocidad mínima de cambios de aire	Máximo número de partículas por m ³ menores a 0.5 micras	Número máximo de organismos Viables por m ³	Partículas mayores a 5 micras
1 A	Estación de trabajo de flujo de aire unidireccional vertical	99.997 %	0.3 m/seg	3,000	1	0
1 A	Estación de trabajo de flujo de aire unidireccional horizontal	99.997 %	0.45 m/seg.	3,000	1	0
1 B	Sala limpia convencional	99.995 %	20 cambios	3,000	5	0
2	Sala limpia convencional	99.95 %	20 cambios	300,000	100	2,000
3	Sala limpia convencional	95 %	20 cambios	3,500,000	500	20,000

Tabla 3.8 Estandares ambientales básicos.

A continuación se da la propuesta de los materiales de construcción del cuarto limpio de la sala de envasado.

ELEMENTOS DEL CUARTO LIMPIO	MATERIALES QUE LOS COMPONEN
PAREDES	Tabique rojo de 150mm, aplanado con mortero de 12.7 mm de espesor por el lado exterior, con acabado tipo esponja y pintura color claro y del lado interior con mortero de 12.7 mm con acabado pulido y pintura epóxica color claro mate de 1.5 mm de espesor (Construcción "in situ").
TECHO	Concreto colado de 150 mm y aplanado de mortero de 12.7mm de espesor, pulido por el lado interior y cubierto con pintura Epóxica. Así como aplanado con mortero de 12.7 mm por el lado exterior acabado esponja (Construcción "in situ").
PLAFON	El plafón será formado por el banco de filtros HEPA que irán soportados del techo. (Techado enmallado)
PISO	Concreto monolítico de 120 mm y pintura epóxica
VENTANAS	Marco de aluminio y cristal transparente de 6 mm.
PUERTAS	Construidas a base de panel aislante de poliuretano de 38 mm de espesor y cubiertas de lamina de acero al carbón, calibre 26 y pintura color claro mate epóxica, con marco de aluminio.

CAPITULO IV SELECCIÓN DEL FILTRO HEPA Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD Y GASTO DE AIRE A TRAVÉS DEL FILTRO.

IV.1. INTRODUCCIÓN.

IV.2. TIPOS DE FILTROS.

IV.3. DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIONES Y APLICACIONES DE LOS FILTROS HEPA.

IV.4. SELECCIÓN DEL FILTRO Y BALANCE DEL AIRE EN EL CUARTO LIMPIO.

IV.4.1. Tipos de intercambio de aire.

IV.4.2. Gasto de aire en el cuarto limpio.

IV.4.2.1. Calculo de aire suministrado.

IV.4.2.2. Calculo del numero de filtros y velocidades a la salida de los filtros.

IV.4.2.2.a. Características de los difusores para filtros Hepa.

IV.4.2.3. Ubicación de los filtros en el cuarto limpio.

CAPÍTULO IV SELECCIÓN DEL FILTRO HEPA Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD Y GASTO DE AIRE A TRAVÉS DEL FILTRO.

IV.1. INTRODUCCIÓN.

El polvo atmosférico es una mezcla compleja de humos, partículas granulares secas y fibras naturales y sintéticas. Una muestra de polvo atmosférico generalmente contiene hollín, humo, arcilla y materia descompuesta animal y vegetal, materiales orgánicos en forma de hilos, fibras de plantas y fragmentos metálicos, también puede contener organismos vivos, como; esporas, bacterias y polen de las plantas, los cuales pueden causar contaminación en un cuarto limpio. De este modo la muestra contendrá materiales comunes a la localidad junto con otros componentes originados a distancia, pero que fueron transportados por corriente de aire. Luego entonces, estos componentes y sus concentraciones cambian con la geografía de la localidad (urbana o rural), estación del año, clima, dirección y fuerza del aire y proximidad de fuentes de polvo.

Diferentes campos de aplicación requieren diferentes grados de efectividad en la limpieza del aire. En ventilación industrial, remover solo las partículas largas de polvo desde la unidad manejadora de aire es suficiente para la clase de aire que se requiere. Otras aplicaciones requieren que el aire sea cuidadosamente filtrado desde que se toma del ambiente. En la industria alimenticia, se requiere un filtro de aceite antes de que el aire sea tomado por la manejadora, para eliminar grandes cantidades de polvo, hojas, plumas, etc. Posteriormente, el aire pasa por el filtro de la manejadora del aire, después pasa por un filtro de carbón activado que elimina todo el aceite que pudo haber ganado el aire en el filtro de aceite, más adelante el aire pasa por el filtro a la inyección de la manejadora, que retiene impurezas mayores a 10 [μm].

El aire prefiltrado se somete a una filtración a través de filtros cuya calidad sea capaz de proporcionar ambientes con la clase correspondiente a cada zona. Así, para las clases 100 a 10,000 será necesaria la filtración a través de filtros capaces de retener al 99.997% de partículas de 0.3 [μm], de preferencia deben estar instalados en los difusores que

alimentan las diferentes áreas. Para satisfacer los otros requerimientos del Cuarto Limpio, el sistema de aire podrá contar con equipo para calentar, enfriar, humidificar o desecar el aire según las necesidades del proceso y/o confort del personal.

En las áreas críticas del Cuarto Limpio es necesario el empleo de flujo laminar y filtración de aire a través de filtros HEPA (del inglés "High Efficiency Particulate Air"), siglas que se emplean para designar los llamados filtros absolutos para filtración de aire cuya eficiencia de retención comprende el 99.997 % del partículas iguales o mayores a $0.3\ [\mu\text{m}]$.

El sistema de alimentación de aire deberá tener la capacidad de generar en cada zona una sobrepresión de aire respecto al de la zona adyacente inmediata, tomando siempre como núcleo central el Cuarto Limpio correspondiendo a la zona de envasado.

A principios de la década de los 80's el aire fue filtrado con filtros de alta eficiencia de partículas (HEPA), los cuales eran los filtros de aire más eficientes disponibles. Hoy en día muchas empresas requieren de niveles de limpieza más altos, para lo cual se han desarrollado filtros más eficientes llamados ULPA (Ultra Low Penetration of Air).

En Cuartos Limpios, los filtros de alta eficiencia son usados para: remover pequeñas partículas y direccionar el aire. La concentración de partículas en el aire y la formación de zonas turbulentas de rutas en las cuales las partículas pueden acumularse y migrar a través del Cuarto Limpio dependen de la distribución y espacio de los filtros de alta eficiencia, así como de la velocidad del aire a la salida de los filtros.

Generalmente es aceptado que para Cuartos Limpios clase 1,000 y mayores, los filtros HEPA son suficientes junto con técnicas de ventilación tradicional, como el uso de unidades de filtro terminal o filtros instalados en el ducto de inyección de aire. Para clase 100 los filtros HEPA pueden cubrir completamente el techo, inyectando flujo unidireccional, no unidireccional o mixto hacia el Cuarto Limpio.

Para clase 10 o menor, se recomienda el uso de filtros ULPA.

IV.2. TIPOS DE FILTROS.

Filtros permanentes o desechables.

Los filtros de aire se pueden diseñar para que se desechen cuando se llenen de polvo o para limpiarse y volverse a usar. Los tipos permanentes tienen medios metálicos que resisten lavados repetidos pero su costo es más elevado que los del tipo desechable.

Filtro de impacto viscoso: Tienen un medio de fibras gruesas recubiertas con un medio adhesivo viscoso como se muestra en la figura 4.1, se usan en general fibras de vidrio y pantallas metálicas. Las velocidades del aire van de 300 (ft/min) a 600 (ft/min).

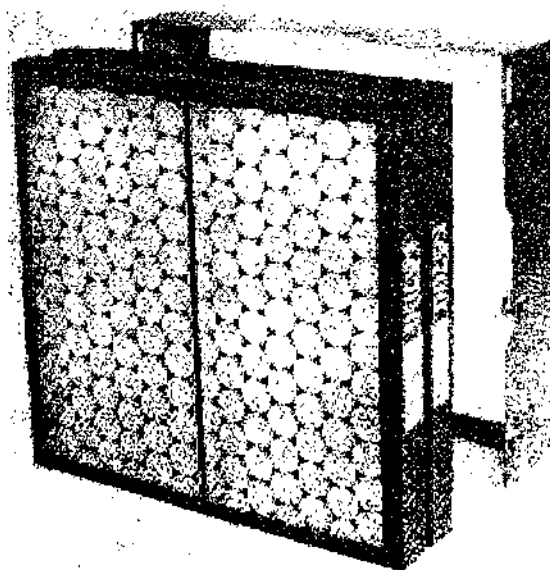


Figura 4.1 Filtro desechable tipo impacto viscoso.

La caída de presión cuando están limpios es de aproximadamente 0.1 [in de CA], se debe remplazar el filtro cuando la resistencia alcance 0.5 [in de CA]. Este tipo de filtro elimina satisfactoriamente las partículas mayores de polvo pero no las pequeñas. Su costo es económico.

Filtro de aire tipo seco: Usa colchonetas de fibra sin recubrir como se muestra en la figura 4.2. Los materiales que más se utilizan son fibras de vidrio y papel. Los medios pueden

fabricarse con fibras gruesas distribuidas toscamente o fibras finas empacadas densamente. Variando la densidad, los filtros de aire tipo seco pueden ser eficientes sólo para partículas grandes como los del tipo de impacto viscoso o también con eficiencia media o alta para eliminar partículas muy pequeñas.

El filtro HEPA (figura 4.2) es un filtro tipo seco de muy alta eficiencia, para eliminar partículas extremadamente pequeñas. Por ejemplo, es el único tipo de filtro que elimina eficazmente virus tan pequeños como de 0.05 micras. Las velocidades superficiales de aire a través de estos filtros son muy bajas (50 ft / min) y la resistencia aumenta hasta 2.0 [in de CA] antes del servicio. Son bastante costosos.

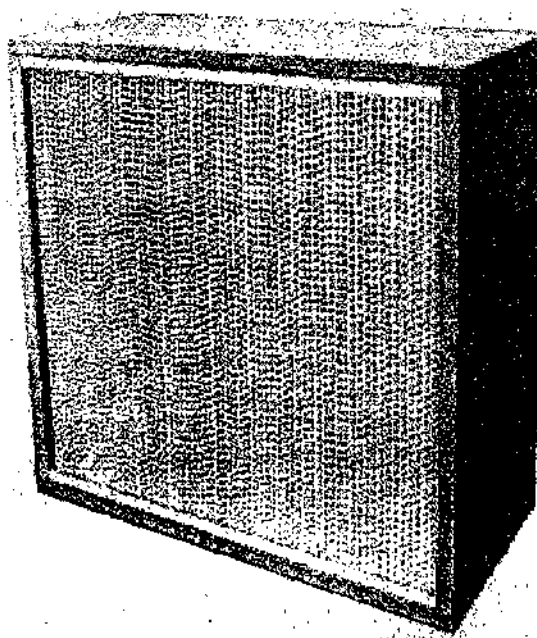


Figura 4.2 Filtro seco de alta eficiencia (HEPA).

Se pueden disponer los medios de los filtros en forma de colchonetas de fibras orientadas al azar, pantallas o bandas sinuosas corrugadas.

Filtros estacionarios o renovables.

Los filtros estacionarios de aire se fabrican en forma de tableros rectangulares que se colocan o apilan a lo largo según el tamaño necesario. Los tableros se quitan y se

reemplazan o se limpian cuando están sucios. Los filtros renovables de aire consisten de un rollo montado en un carrete que se mueve a través de la corriente de aire (figura 4.3). El medio se enrolla en un carrete de recepción impulsado por un motor. Con frecuencia se controla el movimiento del medio mediante un interruptor de presión que siente la caída de presión a través del medio. Cuando la resistencia aumenta a un valor predeterminado debido a la acumulación de polvo, el motor mueve la cortina, dejando al descubierto el medio que está limpio. Los filtros renovables de aire son mucho más costosos que los de tipo estacionario, pero los costos de mantenimiento son mucho menores. Tanto materiales fibrosos como pantallas metálicas se usan como medios.

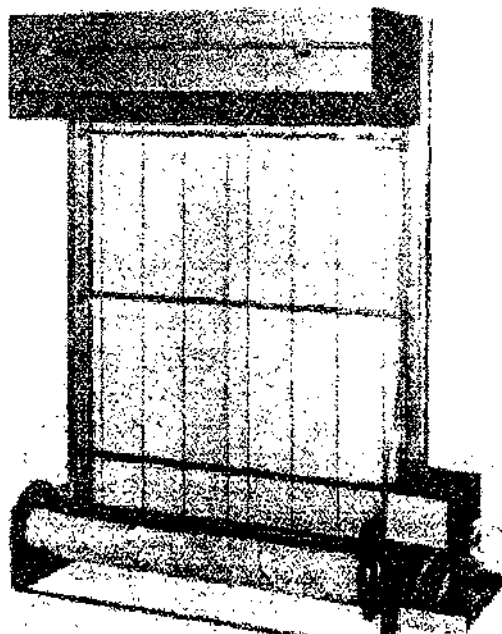


Figura 4.3 Filtro renovable automático.

Limpiadores electrónicos de aire.

En este tipo no hay material fibroso que atrape al polvo, mediante una malla electrizada a alto voltaje se comunica una carga a las partículas de polvo y una carga opuesta a una serie de placas paralelas, cuando la corriente de aire cargado de polvo pasa entre las placas, las partículas de polvo son atraídas hacia ellas. Estas placas pueden estar cubiertas con un material viscoso para detener el polvo, después de un determinado tiempo, se debe quitar el limpiador para limpiar las placas y eliminar el polvo. Los limpiadores electrónicos de

aire son costosos pero muy eficientes para eliminar partículas tanto grandes como pequeñas; en la figura 4.4 se puede apreciar un limpiador electrónico de aire.

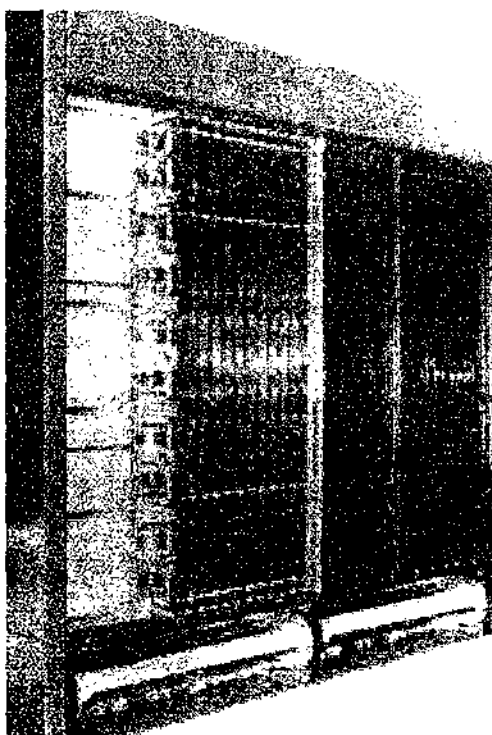


Figura 4.4 Limpiador electrónico de aire.

IV.3 DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIONES Y APLICACIONES DE LOS FILTROS HEPA

Los filtros de alta eficiencia son contruidos generalmente de dos formas, con muchos pliegos y pocos pliegos. Ambas formas son usadas para asegurar que la mayor superficie de área del papel del filtro es ensamblada de forma compacta y segura dentro de un marco, de manera que no existan fugas de aire infiltrado a través de este.

En un filtro de muchos pliegos, los rollos de papel del filtro son doblados adelante y atrás, lado por lado, en ambas longitudes. Para permitir que aire pase a través del papel y darle la resistencia al filtro, una lámina ondulada forrada de aluminio es generalmente usada como separador. Este paquete de medio filtrante y separadores es entonces ensamblado y

pegado dentro de un marco, el cual puede ser de plástico, madera o metal. Una sección de esta construcción tradicional se muestra en la figura 4.5. La construcción de muchos pliegos es la más usada para filtros en sistemas de ventilación convencional donde la velocidad de aplicación es generalmente 250 - 500 ft/min (1.25 - 2.5 m/s).

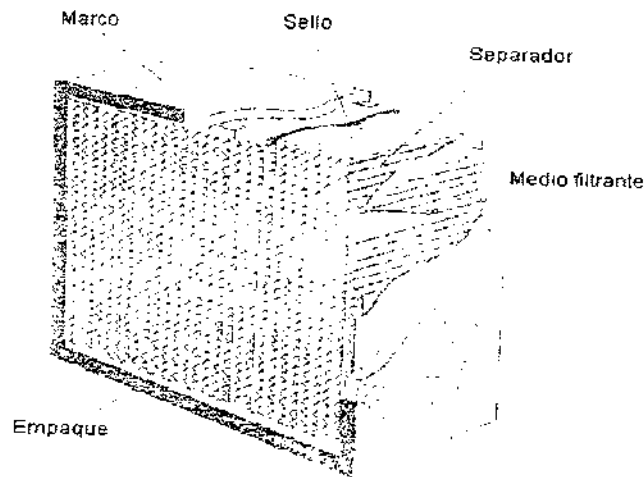


Figura 4.5 Filtro de alta eficiencia de muchos pliegos con separadores.

Un método alternativo de hacer un filtro de muchos pliegos es ondular el medio del filtro durante su proceso de producción y doblarlo directamente dentro de un paquete plegado, de forma que la estructura ondulada soporte los pliegos. Este tipo de construcción se ilustra en la figura 4.6.

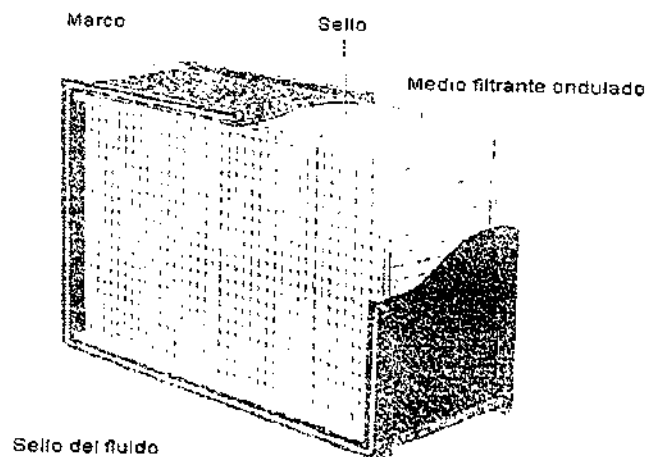


Figura 4.6 Filtro de alta eficiencia de muchos pliegos sin separadores

Recientemente, los filtros de alta eficiencia están disponibles en forma de mini-pliegos, separadores de aluminio no son usados en este método de construcción, pero el papel del medio es doblado sobre cintas ó fibras pegadas en el medio y ensamblados en un marco. Este método de ensamble permite seis u ocho pliegos por pulgada (2.5 cm) comparado con aproximadamente dos ó tres pliegos por pulgada, encontrados en los filtros de muchos pliegos. El filtro de mini-pliegos contiene mucho más medio por la misma área, de este modo, estos filtros pueden ser más compactos. Los filtros en forma de mini-pliegos es el tipo más ampliamente usado para cuartos limpios con flujo unidireccional porque el medio amplio produce una caída de presión similar a la de un filtro de muchos-pliegos para velocidades comunes de flujo unidireccional de 70 - 100 ft/min (0.35 - 0.5 m/s). Estos filtros se muestran en las figuras 4.7 y 4.8.

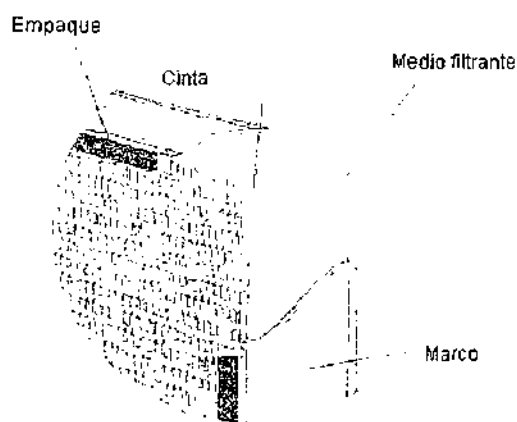


Figura 4.7 Sección de un filtro de mini-pliegos con separadores

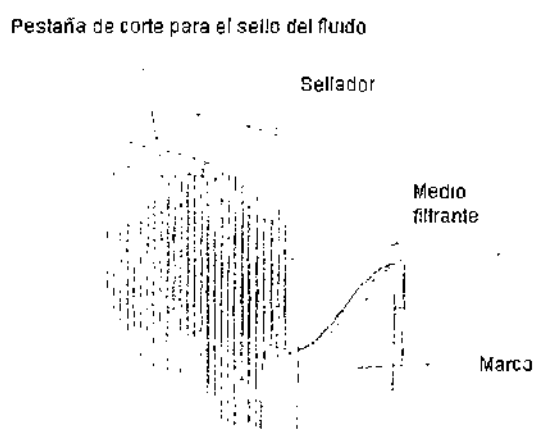


Figura 4.8 Sección de un filtro de mini-pliegos sin separadores.

FILTROS HEPA.

Un filtro HEPA, es definido por su eficiencia en la remoción de partículas y su caída de presión a un determinado flujo de aire.

El tamaño tradicional de un filtro HEPA del tipo de muchos-pliegos es 2 ft X 2 ft X 1 ft (0.6 m X 0.6 m X 0.3 m), el cual tiene un gasto de 1000 ft³/min (0.47 m³/s), a una presión máxima de 1 in. CA (250 Pa) y tienen entre 170 ft² (15.9 m²) y 275 ft² (25.5 m²) de medio filtrante. Dividiendo el flujo de aire por el área del medio, se tiene una velocidad del aire entre 3.6

ft/min (1.8 cm/s) y 5.9 ft/min (3.0 cm/s). Esta velocidad es muy importante porque determina la eficiencia de remoción del medio del filtro y si la velocidad del aire se incrementa o disminuye la eficiencia cambia. Es posible, al incrementar el medio filtrante en un filtro, no sólo disminuir la caída de presión a través de éste sino también incrementar su eficiencia.

Aplicaciones de los filtros HEPA.

Algunas de las principales aplicaciones para este tipo de filtros son entre otras:

- Áreas de microbiología
- Áreas estériles de laboratorios
- Quirófanos, cirugía mayor y cirugía menor
- Salas de expulsión
- Salas de terapia
- Salas de recuperación
- Energía nuclear
- Industria electrónica
- **Industria alimentaria**
- Industria farmacéutica

FILTROS ULPA.

La categoría de filtros ULPA fue creada para definir filtros que tienen eficiencias más grandes que los filtros estándar HEPA. Un filtro ULPA tendrá una eficiencia mayor del 99.999 % contra partículas de 0.1 - 0.2 μm . Estos filtros funcionan de la misma forma que los filtros HEPA, la diferencia esta en el medio filtrante usado, tiene una proporción mayor de fibras pequeñas y la caída de presión es un poco mayor. Para un filtro con la misma cantidad de medio, un filtro ULPA tendrá una resistencia mayor que el filtro HEPA. Debido a la mayor eficiencia de eliminación de partículas pequeñas, los métodos usados para probar los filtros HEPA no son aplicables a los filtros ULPA, para estos, se emplean otros mecanismos que usan contadores ópticos láser de partículas.

IV.4 SELECCIÓN DEL FILTRO Y BALANCE DE AIRE EN EL CUARTO LIMPIO.

Los filtros que se seleccionaron para ser usados en el área de envasado de leche en polvo fueron los filtros absolutos HEPA.

IV.4.1 Tipos de intercambio de aire.

El intercambio de aire dentro de un cuarto limpio afecta directamente la energía, la calidad del aire y el confort térmico. Existen tres diferentes formas de intercambiar el aire:

1. Ventilación forzada.
2. Ventilación natural.
3. Infiltración.

El porcentaje de intercambio de aire en un cuarto limpio, generalmente incluye las tres formas anteriores, las cuales, deben ser consideradas aún cuando solo una domine.

El porcentaje de intercambio de aire asociado con un sistema de ventilación forzada, depende del porcentaje de flujo de aire a través de los ventiladores del sistema, la resistencia al flujo de aire asociado con el sistema de distribución de aire, la resistencia al flujo de aire entre las zonas del cuarto y el aire en su interior. Si alguno de estos factores no se toma en cuenta para el diseño o no fue calculado correctamente, el porcentaje de intercambio de aire puede ser muy diferente del valor de diseño.

“La ventilación forzada” proporciona la posibilidad de controlar el porcentaje de intercambio de aire y distribución del mismo dentro de un cuarto limpio a través de un diseño, instalación, operación y mantenimiento apropiados en el sistema de ventilación. Un sistema ideal de ventilación forzada tiene un porcentaje suficiente de ventilación para controlar niveles de contaminación de interiores y al mismo tiempo, evita la sobre ventilación y la multa de energía correspondiente. Adicionalmente mantiene buen confort térmico.

“La ventilación natural” a través de aberturas intencionales, es causada por presiones debidas al viento y diferencias de temperaturas interiores y exteriores. El flujo de aire a

través de puertas y ventanas abiertas y otras aberturas de diseño pueden ser usadas para proveer de ventilación adecuada para diluir contaminantes y controlar la temperatura. Aberturas no intencionadas en la estructura del cuarto y la asociada infiltración, pueden interferir con la deseada ventilación natural y los patrones de distribución de aire.

“La infiltración” es el flujo de aire sin control a través de aberturas no intencionadas, manejado por el viento, diferencia de temperatura y diferencia de presiones. La infiltración es menos confiable para proveer una adecuada ventilación y distribución, porque esto depende de las condiciones del clima y la localización de las aberturas no intencionadas

En la sala de envasado no se permite la infiltración de aire de otras áreas.

Es muy importante destacar que un cuarto limpio, depende principalmente del número de partículas que en él existen. Un cuarto limpio no depende del buen control de temperatura y humedad, depende del número de partículas que se encuentren en él. Por esto, los sistemas de filtración y ventilación son muy importantes.

Para garantizar el número de partículas en el cuarto limpio, son necesarios los filtros absolutos HEPA que se han seleccionado. Pero también es necesario eliminar la infiltración con ayuda de la ventilación forzada. La cual debe garantizar una presión positiva en el cuarto limpio.

Para conocer el número de partículas en el cuarto, se realizan una serie de mediciones en diferentes puntos del cuarto. La mayor medición no debe rebasar el número permitido de partículas de acuerdo a la clase requerida.

IV.4.2 Gasto de aire en el cuarto limpio.

En este punto se muestra la forma de calcular el gasto de aire necesario para brindar una ventilación adecuada para mantener una presión positiva dentro del cuarto limpio, para lo cual, se definen los siguientes términos.

Aire suministrado o de suministro (A_s)

El aire suministrado o de suministro es aquel aire que ya ha sido tratado por la unidad manejadora de aire (UMA) y que pasará a través del filtro terminal para poder considerarse aire acondicionado, dando la calidad de aire requerido en una sala, en base al filtro terminal que este instalado (nivel de filtración ver tabla 3.1).

Aire de retorno (A_R)

Es aquel aire que ha sido extraído del cuarto limpio pero que se integra a la línea de aire exterior (aire atmosférico), para que una mezcla de ambos aires nuevamente vuelvan a entrar a la unidad manejadora de aire (UMA) para su tratamiento y posterior aplicación.

Aire de sobre presión (A_{p+})

El aire de sobre presión se clasifica en dos tipos de aire tomando como referencia la sala en cuestión. Si la presión del aire en ésta es mayor que la existente en el cuarto adyacente, entonces se le llama aire de presión positiva (A_{p+}), en caso contrario, que la presión del aire sea menor a la existente en el cuarto adyacente, se llama aire de presión negativa (A_{p-}).

Aire de extracción (A_{ex})

Es el aire que se extrae del cuarto limpio para posteriormente pasarlo por un filtro y un ventilador y expulsarlo a la atmósfera.

Cambios por hora

Es el cambio del volumen de aire físico que dispone un cuarto limpio durante una hora, siendo la resultante de dividir los volúmenes de aire suministrado (A_s) entre el volumen de la sala.

IV.4.2.1. Cálculo de aire suministrado.

Para el cálculo del aire suministrado en el cuarto limpio, se utiliza la ecuación 4.1:

$$C / \text{hr.} = \frac{A_s}{V_{(\text{SALA})}} \quad \dots\dots\dots 4.1$$

Donde:

$C / \text{hr} =$ Cambios de aire por hora.

$A_s =$ Aire suministrado [m^3/hr]

$V_{(\text{SALA})} =$ Volumen del cuarto limpio. [m^3]

De la tabla 3.1 (del capítulo 3), se tiene que el volumen de la sala de envasado es de :

$$V_{(\text{SALA})} = 116.13 (\text{m}^3) = 4,101.09 \text{ ft}^3$$

Para lograr que el cuarto limpio sea clase 100 y con base en la tabla 4.1, se aprecia que son necesarios de 240 a 480 cambios de aire por hora.

CLASE	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD	CAMBIOS DE AIRE POR
Normas: ISO (Fed. Estándar 209E)		M/s.	HORA
ISO 8 (100 000)	N / M	0.0051 - 0.041	5 -48
ISO 7 (10 000)	N / M	0.051—0.076	60—90
ISO 6 (1 000)	N / M	0.127—0.203	150—240
ISO 5 (100)	U / N / M	0.203 - 0.410	240—480
ISO 4 (10)	U	0.254 - 0.460	300—540
ISO 3 (1)	U	0.305 - 0.460	360—540
MENOR A ISO 3 (1)	U	0.305 - 0.508	360—600

U = flujo unidireccional.

N = flujo No Unidireccional.

M = flujo mixto.

Tabla 4.1 Velocidad de aire para cuartos limpios ("Cleanroom design" W.Whyte.)

Para la propuesta en estudio y de acuerdo a la tabla 4.1, se determinó un valor de **240** cambios de aire por hora.

Despejando A_s de la ecuación 4.1 y sustituyendo valores se tiene:

$$A_s = V_{(SALA)} \times C / hr \dots \dots \dots 4.1'$$

$$A_s = (116.13) \times (240)$$

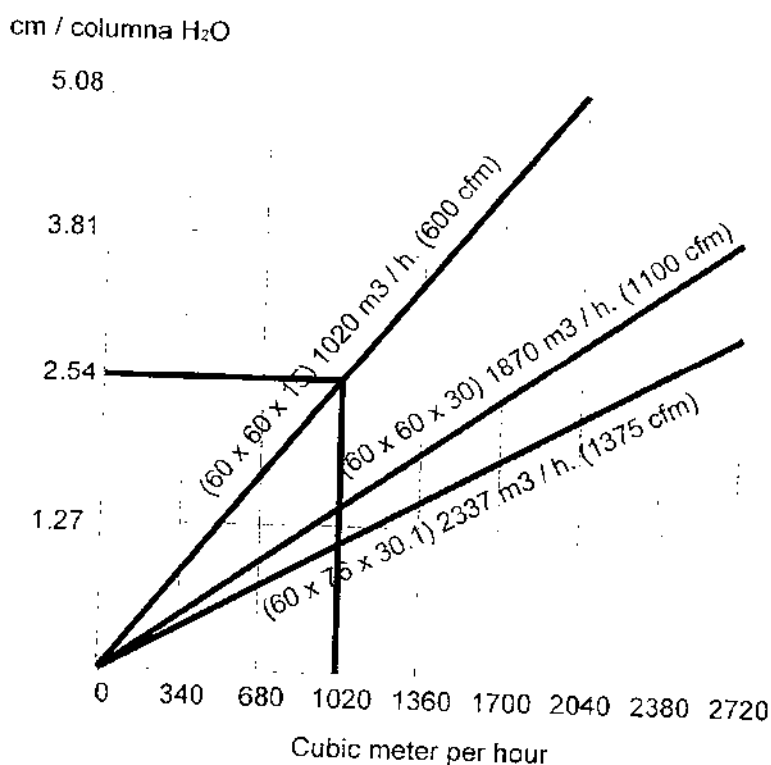
Por lo tanto el aire suministrado al área de envasado es de:

$$A_s = 27,871.2 [m^3/hr.] = 16402.2 \text{ ft}^3/\text{min}$$

IV.4.2.2. Cálculo del número de filtros y velocidades a la salida de los filtros.

Es importante saber que para un cuarto limpio clase 100, todo el techo puede estar cubierto de filtros HEPA. Pero no sólo es suficiente llenar el techo de filtros y cambiar el aire 240 veces en una hora para garantizar que el cuarto limpio sea clase 100, es muy importante también la velocidad a la salida de los filtros, para garantizar que cualquier zona en el cuarto limpio tendrá menos de 100 partículas y que no habrá remolinos que estanquen el aire y disminuyan la clase del cuarto.

Los filtros HEPA tienen diferentes capacidades de operación y diferentes caídas de presión. Es usual utilizar filtros con una caída de presión de 1 in CA, la gráfica 4.1 muestra las capacidades de operación de los filtros, contra la caída de presión.



Gráfica 4.1 Capacidad de operación del filtro

Para el cálculo del número de filtros en el cuarto limpio, se consideraron filtros con una caída de presión de 1 in CA; éstos tienen diferentes dimensiones, en la tabla 4.2, se muestran los diferentes modelos, capacidades de operación, dimensiones y velocidades de flujo de algunos filtros HEPA.

MODELO	CAP. DE OPERACIÓN		DIMENSIONES EN PULGADAS Y CENTIMETROS			VELOCIDAD DE FLUJO	
	M ³ /HR	P.C.M.	A	B	C	M/min	P X.min
*4	1020	600	24	24	5 7/8	45.72	150
			60.96	60.96	14.92		
*5	1870	1100	24	24	11 1/2	83.82	275
			60.96	60.96	29.21		
*6	2337	1375	24	30	11 1/2	83.82	275
			60.96	76.2	29.21		

Donde:

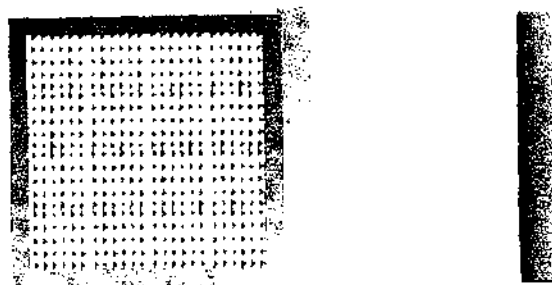


Tabla 4.2 Dimensiones y capacidades de los filtros HEPA

Con los modelos mostrados en la tabla 4.2, se calcula la velocidad a la salida de cada uno de los filtros, escogiendo aquel filtro que se ajuste a las necesidades de la tabla 4.1, para garantizar la clase del cuarto.

Conociendo la capacidad de operación del filtro (600 ft³/min) con una caída de presión igual a 1 in CA; se puede obtener:

- El número de filtros para el Aire suministrado, calculado anteriormente es igual a 16, 402.2 ft³/min.
- La velocidad en la cara de cada uno de los filtros.

Conociendo el número de filtros y el aire suministrado (AS), se puede obtener la velocidad a la salida de cada filtro. Utilizando la ecuación 4.2 relaciona el gasto con el área y velocidad:

$$V = Q_F / A_F \dots\dots\dots 4.2$$

Donde:

V = Velocidad en la cara del filtro.[m/min o ft/min]

Q_F = Gasto del filtro [m^3/hr]

A_F = Área del filtro [m^2]

El gasto del filtro y el área para cada modelo se puede obtener y calcular, respectivamente de la tabla 4.2. Los resultados de velocidad a la salida de cada modelo de filtro, se muestran en la tabla 4.3.

El número de filtros está determinado por la capacidad de operación de cada uno; el único requerimiento, es que alcancen a filtrar el volumen de aire suministrado para alcanzar los cambios de aire por hora indicados en la tabla 4.1.

Tipo de Filtro	Capacidad de Operación (ft^3/min)	Área del filtro (ft^2)	Gasto del Filtro (ft^3/min)	Velocidad de salida en la cara del filtro (ft/s)	# de filtros
4	600	4	585.79	2.44	28
5	1100	4	585.79	2.44	28
6	1375	6.66	1366.85	3.42	12

Tabla 4.3 Cálculo del número de filtros y velocidad a la salida.

Nota: Entre el modelo 4 y 5 existe una gran diferencia en el ventilador de inyección, la cual esta dada por la capacidad de operación de los filtros.

De la tabla 4.1 se observa que la velocidad que se maneja dentro del cuarto para conseguir el nivel de limpieza clase 100, es de 0.203 – 0.410 m/s (0.66 – 1.35 ft/s), por lo tanto, con el suministro de aire de 16402.2 ft^3/min y un área de 416.67 ft^2 , se tiene una velocidad media en el cuarto limpio de 0.6560 ft/s que entra dentro del rango de velocidades recomendadas

IV.4.2.2.a. Características de los difusores para filtros HEPA.

Un difusor es un dispositivo de suministro de aire que crea una buena distribución en el espacio acondicionado, los difusores para filtros HEPA están diseñados para una fácil instalación y óptimo funcionamiento donde se requieren condiciones ambientales Clase 100, Clase 10 y Clase 1.

- Por sus características constructivas, ahorran espacio conforme a la necesidades de la arquitectura.
- Sus materiales no tiene problema de deterioro.
- El sello tipo GEL, evita fugas, proporcionando un perfecto sellado perimetral, entre el filtro terminal y el difusor (opcionalmente se ofrece otro tipo de sello) Uno de los defectos de fabricación más comunes en los difusores encontrados en el mercado es el uso indiscriminado de silicones para sellar las posibles fugas que tengan las uniones de la diferentes piezas que componen la unidades, lo cual ocasiona un problema potencial a futuro ya que estos selladores se deterioran con el tiempo y permiten fugas de aire. Los difusores, limitan el uso de estos selladores ya que su construcción está formada por elementos del tipo monolítico.
- Los difusores para filtros terminales, tiene la característica de facilitar el cambio de filtros sin tener que remover el difusor en su totalidad como sucede cuando se usan filtros integrados al difusor.
- Se puede realizar el balanceo con la rejilla de protección puesta, característica que permite un balanceo en condiciones de operación.

En la figura 4.9 se muestran ejemplos de difusores para filtros teminales HEPA

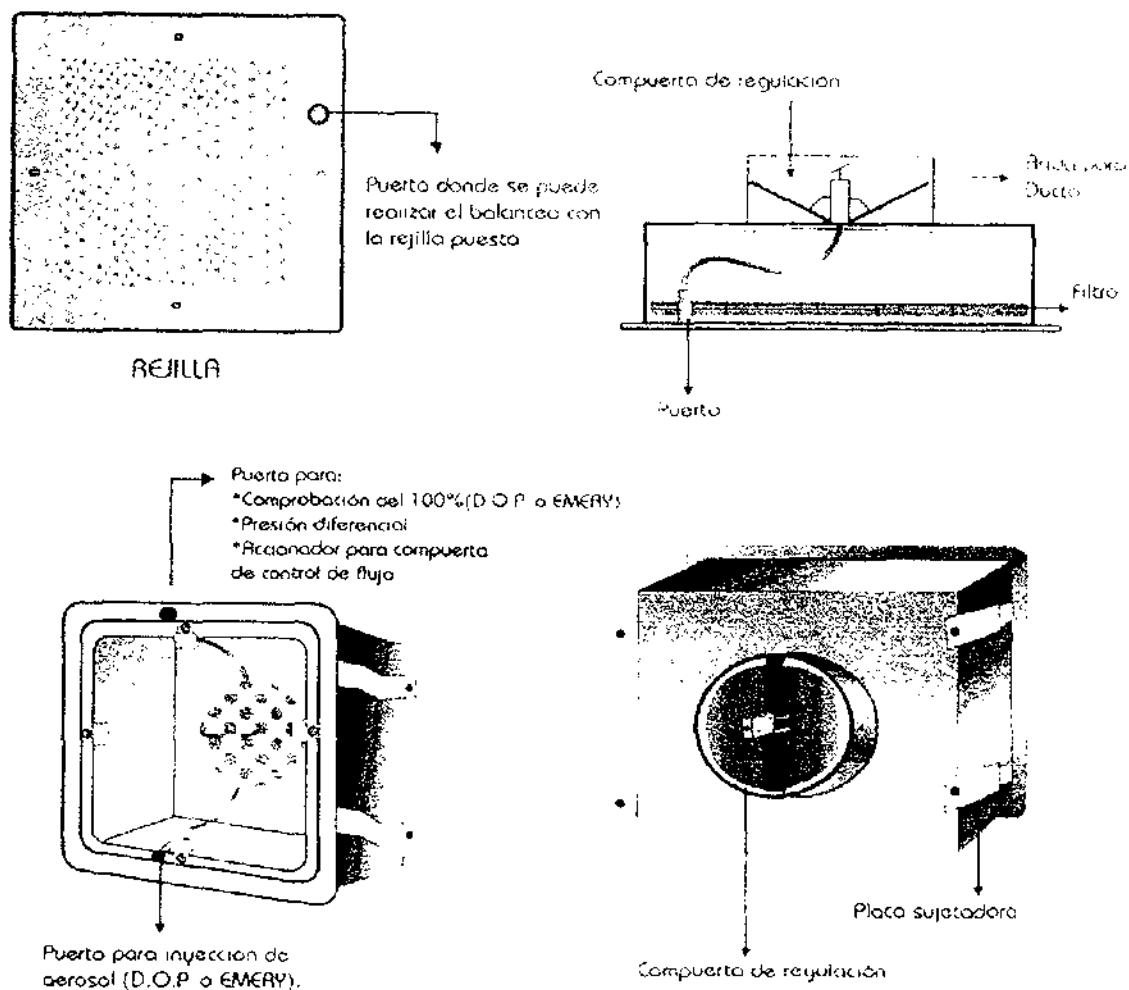


Figura 4.9 Difusores para filtros terminales HEPA.

IV.4.2.3. Ubicación de los filtros en el cuarto limpio.

Del cálculo de número de filtros (tabla 4.3) se puede observar que son necesarios 28 filtros para filtrar todo el aire de suministro (16,402.2 ft³/min). La distribución de estos se puede observar en la figura 4.10.



Fig. 4.10 Ubicación de filtros absolutos en la sala de envasado de leche en polvo

CAPITULO V. ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE DE LA SALA DE ENVASADO.

V.1 INTRODUCCIÓN.

V.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.

V.3 CARGA DE ENFRIAMIENTO.

V.4 MEMORIA DE CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO EN LA SALA DE ENVASADO.

V.4.1 GANANCIA DE CALOR TOTAL EN LA SALA DE ENVASADO.

V.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

CAPITULO V. ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE DE LA SALA DE ENVASADO.

V.1 INTRODUCCIÓN.

Para la mayoría de las personas, el acondicionamiento del aire simplemente significa "enfriamiento del aire". Para un cuarto limpio, ésta definición no es suficientemente útil ni exacta. En su lugar, se entiende como Acondicionamiento del Aire, al proceso mediante el cual, al controlar; temperatura, humedad, presión, limpieza y movimiento, se obtiene un aire que cumple con los parámetros definidos por las Normas tanto Nacionales como Internacionales para garantizar la calidad del producto y proporcionar confort al personal.

Existen determinados tipos de equipos y sistemas que permiten el Acondicionamiento del aire para diversas aplicaciones de tipo comercial, doméstica e industrial. Para fines de éste trabajo, se hace mención a un Sistema de Aire Acondicionado con Manejadora de Aire por ser el equipo más adecuado para el tratamiento del aire con las características necesarias para la sala de envasado.

En la primera parte de éste capítulo, se muestra una descripción de las características necesarias que el Sistema de aire acondicionado debe cumplir así como una explicación de los componentes que intervienen en el sistema; para posteriormente, efectuar los cálculos que indiquen las toneladas de refrigeración necesarias para abatir la ganancia de calor total en la sala de envasado. La ganancia de calor total, es la suma de la ganancia de calor sensible más la ganancia de calor latente en la sala de envasado de leche en polvo.

Variables del sistema de aire acondicionado para la sala de envasado de leche en polvo:

1. Temperatura: la temperatura del aire se controla simplemente enfriándolo o calentándolo. "Enfriamiento" significa técnicamente eliminación de calor, en contraste con el calentamiento (generalmente denominado " Calefacción") es la adición de calor.

2. Humedad: la humedad, es el contenido de vapor de agua en el aire, se controla agregando o eliminando vapor de agua al aire (humidificación o deshumidificación).

3. Limpieza: La limpieza o calidad del aire se controla mediante filtración siendo éste el proceso mediante el cual, se eliminan las partículas contaminantes por medio de filtros.

4. Movimiento: el movimiento del aire se refiere a su velocidad y a los lugares hacia donde se distribuye. Esto se controla a través de un sistema de distribución de aire constituido por la ductería y difusores.

5. Presión: La sala de envasado se mantiene presurizada para impedir la infiltración de aire de las áreas anexas a la misma.

Como se puede observar, es muy importante el control de las variables anteriores. Para ello es necesario aplicar los conceptos estudiados en las áreas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC) (Heating, Ventilation, And Air Conditioning). Además de aplicar los diferentes parámetros sugeridos por las Organizaciones Profesionales y/o Normas existentes en el diseño de ésta sala de envasado.

V.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.

Las características principales del aire acondicionado para la sala de envasado designada como cuarto limpio clase 100 se muestran en la tabla 5.1.

	RANGO	TIPO
NIVEL DE FILTRACIÓN	99.997%	CLASE 100
TEMPERATURA	$20 \pm 2^\circ \text{C}$	
HUMEDAD RELATIVA	$35 \pm 5\%$	
PRESION DIFERENCIAL	2.5 mm CA.	PRESION POSITIVA
MÓVIMIENTO DE AIRE	240-480 CAPH	UNIDIRECCIONAL/MIXTO

Tabla 5.1 Valores característicos de la Sala de Envasado

En la tabla 5.2, se muestran las velocidades de aire recomendadas por la Federal Estándar 209E, Militar Estándar, ISO, SSA, para cuartos limpios con diferentes cambios de aire por hora. Que para nuestro caso es clase 100.

CLASE	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD m/s.	CAMBIOS DE AIRE POR HORA [CAPI]
ISO 8 (100 000)	N / M	0.0051 - 0.041	5—48
ISO 7 (10 000)	N / M	0.051—0.076	60—90
ISO 6 (1 000)	N / M	0.127—0.203	150—240
ISO 5 (100)	U / N / M	0.203 - 0.410	240—480
ISO 4 (10)	U	0.254 - 0.460	300—540
ISO 3 (1)	U	0.305 - 0.460	360—540
MENOR A ISO 3 (1)	U	0.305 - 0.508	360—600

U = flujo unidireccional. N = flujo No Unidireccional. M = flujo mixto.

Tabla 5.2 Velocidad del Aire para Cuartos Limpios.

En la figura 5.1 se presenta la Unidad Manejadora de Aire (UMA) con Unidad de Recirculación de Aire (URA) y sus componentes.

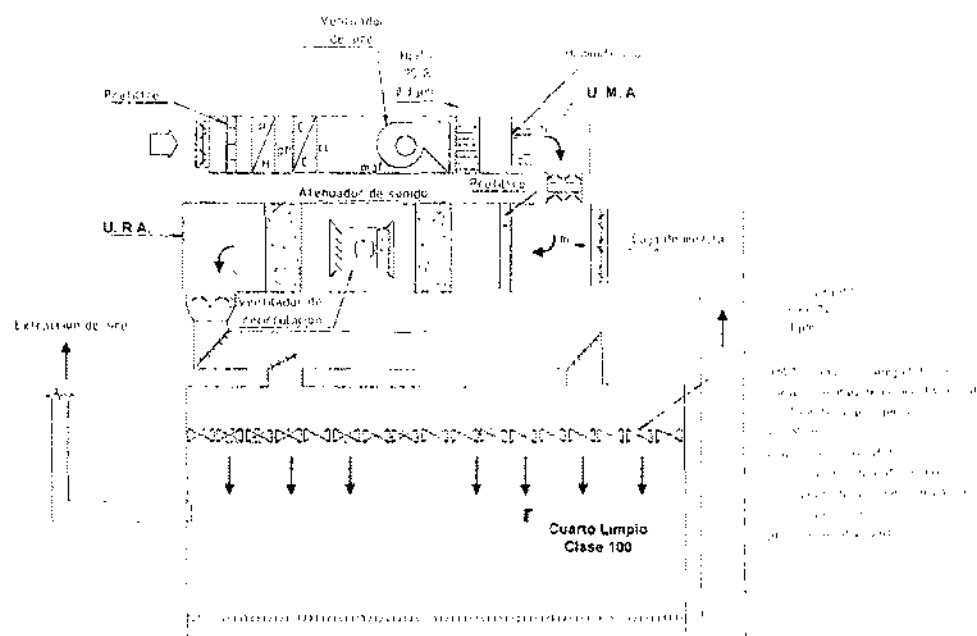


Fig. 5.1 Componentes del sistema de aire acondicionado para la sala de envasado.

A continuación se hace una descripción de los componentes del sistema de aire acondicionado mostrado en la figura 5.1.

1. Unidad de Recirculación de Aire (U R A)

La función de esta unidad, es enfriar el aire de recirculación de la sala de envasado. Al hacer esto se logra un ahorro de energía, ya que el aire de retorno a sido acondicionado con anterioridad y permite ser enfriado con mayor rapidez y economía.

La unidad de recirculación de aire (URA) está integrada por los siguientes componentes:

- Una caja de mezcla para mezclar el aire de recirculación con el aire de renovación.
- Un prefiltro con una eficiencia del 30% para la retención de partículas.
- Un serpentín de agua helada para recirculación de aire
- Dos compuertas de aire: Una para el de recirculación y otra para el aire de renovación
- Dos atenuadores de ruido: Uno localizado antes de la entrada del ventilador y el otro a la salida.

2. Unidad Manejadora de Aire (U M A)

La función de la UMA es suministrar aire del exterior al cuarto limpio para presurizar el área crítica, controlando la humedad relativa del cuarto limpio por enfriamiento y deshumidificación ó calefacción y humidificación del aire de renovación.

La unidad manejadora de aire está constituida por los siguientes componentes:

- Una compuerta para aire exterior.
- Un prefiltro para polvos con una eficiencia del 30%.
- Un serpentín de precalentamiento.
- Un serpentín de agua helada para enfriamiento.
- Un ventilador centrífugo para el aire de renovación.
- Un juego de filtros Hepa con una eficiencia DOP del 99.997 %.
- Un humidificador.
- Una compuerta de apertura y cierre de aire de renovación.

Requerimientos mínimos para la instalación del aire acondicionado con manejadora de aire para la sala de envasado de leche en polvo.

Los requerimientos mostrados en la tabla 5.3 tienen como finalidad, servir de guía para facilitar el diseño del sistema de aire acondicionado para la sala de envasado de leche en polvo.

Para el desarrollo conceptual del proyecto	
1 Planta central de refrigeración *Dar preferencia a los enfriadores de aire enfriados por aire *Direccional solo la evaporación solo en casos especiales donde el sistema de control está fuertemente enfriado(de otro modo hay riesgo de congelamiento del serpentín de enfriamiento)	5 Toma de aire externo *al menos 3m arriba del nivel del suelo o techo
2 Calentador de aire calentado por agua *preferido porque es mas facil de controlar, apropiados para recuperacion de calor *calentamiento por vapor solo si la presión del control es aceptable	6 Presurización del cuarto +P (10 - 30 Pa) para cuartos limpios -P (aprox. 10 Pa) para cuartos que presenten riesgo de contaminación
3 Ventanas fuertemente cerradas y con seguro en cuarto con aire acondicionado	7 Instalaciones higiénicamente compatibles con *filtros de aire (material, monitoreo y mantenimiento (cambiar filtros del lado sucio) - sifón de enfriamiento de aire (descarga abierta, no conectar directamente al desagüe)
4 Pasillos para personal y transporte de material *instalar cuando sea necesario	
Para unidades manejadoras de aire y sus componentes	
1 Construcción *de acuerdo con la configuración mostrada en la figura 5.1	5 Toma de aire externo *al menos 3m arriba del nivel del suelo o techo
2 Pre-filtrado *mantener suciedad fuera de los componentes de la unidad manejadora de aire *filtros grado EU3/FFU4 *asegurar que no haya fugas	6 Humidificador de aire (vapor) *solo si es necesario el control de humedad *no usar lavadoras de aire
3 Filtro fino *entrega aire de una calidad normalmente adecuada para higiene de alimentos *instalado como debajo del ventilador *filtros grado EU7/EU9 *asegurar que no haya fugas	7 Enfriador de aire (vel. Máx. al frente de 2.5 m/s) *con separador de agua charola de condensado y sifón *no usar enfriadores de aire después de la etapa final de filtrado (filtro fino o filtro HEPA) *sin puentes fríos
4 Material de filtros *que no sean de lana de fibra de vidrio *hidrofóbicos *solamente el pre-filtro se puede limpiar y re-usar	8 Valvula reguladora de tiro de aire *automatica cuando sea necesaria *ajuste cerrado
5 Indicador de diferencial de presiones *requiendo en cada filtro de aire para indicar la operación adecuada o necesidad de	9 Diseño y ejecución en línea con requerimientos de limpieza y desinfección *acceso *resistente a la corrosión *drenado y secado
Para ductos de aire	
1 Material del ducto *iso *resistente a la corrosión *de fácil limpieza *desinfectable	7 Valvulas reguladoras de aire *automaticas tipo de ajuste cerrado (aire externo) *se requiere especial atención en caso de operación parabola de mas de un cuarto (zonas multiples)
2 Sin Áreas "muertas" *evitar acumulación de polvo *minimizar discontinuidades internas o hendiduras	8 Salidas de aire (proveer registros de aire) *faciles de desmantelar para su limpieza y desinfección
3 Escotillas para inspección y limpieza *accesibles *proveer en numero suficiente	9 Aire de desalojo *a ser canalizados arriba del nivel del techo *que no se mezclen con aire fresco
4 Toma de aire externo equipada con pre-calentador de aire para proteger al filtro de aire contra nieve y lluvia	10 Considerar para la distribución de aire *tubos espirales (fácil limpieza externa) *ductos textiles (lavables)
5 Ruta del ducto *tan corta como sea posible *siempre que sea posible, fuera del cuarto o ser tratado	11 Ductos de retorno de aire *instalar los filtros apropiados para cuartos afectados por polvo (leche en polvo, cafe)
6 Sellado de ductos *de acuerdo a los estándares *evitar fugas, filtraciones no controladas.	12 Evitar condensación (interna y externa) *aislamiento efectivo e higiénico *evitar puentes fríos o soportes
Para Lay Out y Edificios	
1 Localización de componentes AHT (unidades, ductos) fuera del area de producción *separar el cuarto AHT o instalación en techo	5 Toma de aire externo *al menos 3m arriba del nivel del suelo o techo
2 Superficies circundantes del cuarto sellado *paredes, ventanas y puertas	6 Humidificador de aire (vapor) *solo si es necesario el control de humedad *no usar lavadoras de aire
3 Fuentes de contaminación internas (polvo, vapor) *agruparlas selladas o aisladas por separado	7 Enfriador de aire (vel. Máx. al frente de 2.5 m/s) *con separador de agua charola de condensado y sifón *no usar enfriadores de aire después de la etapa final de filtrado (filtro fino o filtro HEPA) *sin puentes fríos
4 Cuartos con altos requerimientos de higiene	8 Valvula reguladora de tiro de aire *automatica cuando sea necesaria *ajuste cerrado
Para operación (monitoreo, mantenimiento, reparación limpieza y desinfección)	
1 Monitoreo e inspección regular de los parámetros técnicos de operación *manual (listas de chequeo, record de pruebas) *registro automatico solamente cuando se justifique (para instalaciones complejas o administración de energía)	9 Aire de desalojo *a ser canalizados arriba del nivel del techo *que no se mezclen con aire fresco
2 Inspección higiénica documentada de acuerdo con regulaciones, incluyendo *fugas en filtros de aire *limpieza de los intercambiadores de calor *silones (correctos)	10 Considerar para la distribución de aire *tubos espirales (fácil limpieza externa) *ductos textiles (lavables)
3 La limpieza interna es obligada *antes de arranques o en horas *tiempos de inactividad *de acuerdo a resultados de inspección	11 Ductos de retorno de aire *instalar los filtros apropiados para cuartos afectados por polvo (leche en polvo, cafe)
4 Operación continua del ventilador de suministro de aire para mantener +P *si es necesario disponibilidad media sin enfriamiento para ahorrar energía *proveer conexión a plania de energía de emergencia *apagar el ventilador de aire de desalojo si el suministro falta (contaminación cruzada)	12 Evitar condensación (interna y externa) *aislamiento efectivo e higiénico *evitar puentes fríos o soportes
5 Minimizar emisiones e intrusiones debido a operaciones críticas como *cambio de filtros *mantenimiento y reparaciones, limpieza *vibraciones de la maquinaria *movimientos del personal	13 Instrucciones de operación *deben de estar en línea con requerimientos de higiene alimenticios *deben incluir procedimientos de limpieza y desinfección

V.3 CARGA DE ENFRIAMIENTO.

El interior de cualquier construcción, gana calor debido a varias fuentes. Si la temperatura y la humedad en el interior, se deben mantener a un nivel confortable, se debe extraer calor para compensar las ganancias mencionadas. A la cantidad neta de calor que se retira se le llama **carga de enfriamiento**. El cálculo de esta carga, es la base para seleccionar el equipo de enfriamiento adecuado, así como la tubería, ductos y para analizar el uso y conservación de la energía.

Un sistema de aire acondicionado debe cumplir con factores que afectan las condiciones en verano e invierno. En general son de carácter opuesto. En invierno debemos añadir calor y humidificar, en verano queremos retirar el calor y deshumidificar. El sistema de aire acondicionado debe ser capaz de abatir la ganancia de calor total (ganancia de calor sensible más ganancia de calor latente), generada en el área de envasado.

Los factores de ganancia de calor sensible se derivan de:

- La transmisión de calor a través de paredes, pisos, techos, puertas, ventanas, etc.
- El calor producido (o perdido) al introducir aire exterior para ventilación.
- El calor producido por la gente (ocupantes).
- El calor solar (radiación, no aplica al área de envasado ya que ninguna de sus paredes tiene contacto directo con el exterior).
- El calor de luces, aparatos, equipos, motores, etc.

Los factores de ganancia de calor latente se derivan de:

- La humedad cedida por las personas.
- La humedad introducida con el aire del exterior para ventilación.

En la figura 5.2 se muestra el diagrama de flujo para calcular la carga de enfriamiento.

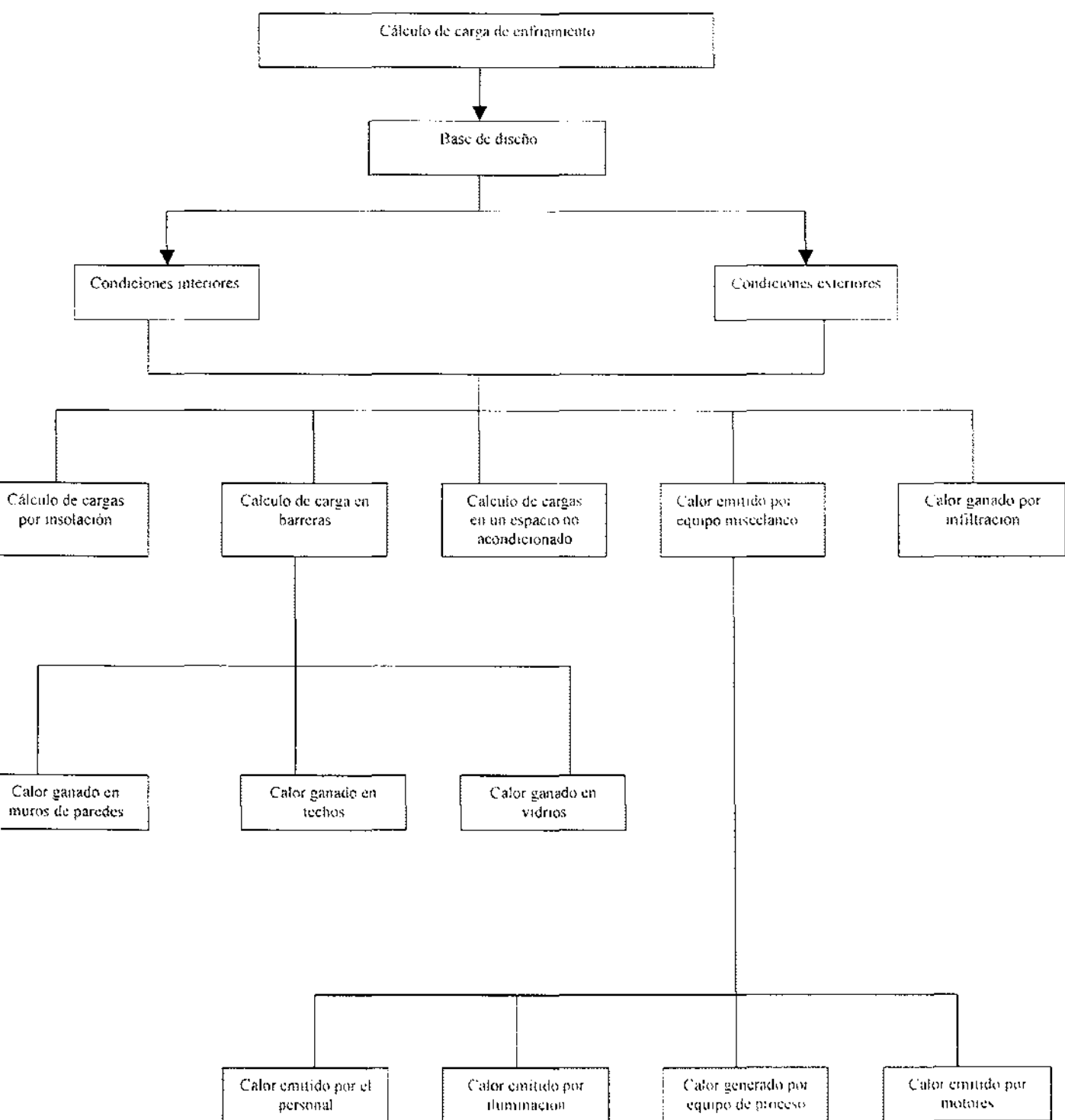


Figura 5.2 Diagrama de flujo para el Cálculo de Carga de enfriamiento

V.4 MEMORIA DE CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO EN LA SALA DE ENVASADO.

El objetivo del cálculo, es conocer la ganancia de calor total que debe abatir el sistema de aire acondicionado, para mantener las condiciones de temperatura y humedad requeridas en la sala de envasado de leche en polvo, apropiadas para evitar deterioro en la calidad del producto, así como, proporcionar confort al personal que labora en dicha sala.

El cálculo de la carga de enfriamiento consiste en el estudio de la **Ganancia de calor total en la sala de envasado.**

V.4.1 Ganancia de calor total en la sala de envasado.

Para efectuar el cálculo de ganancia de calor total en la sala de envasado, se toman en cuenta las siguientes características:

- 1) Condiciones internas y externas de la sala de envasado
- 2) Datos constructivos de la sala de envasado
- 3) Ubicación de la sala de envasado
- 4) Ganancia de calor debida a la transmisión a través de barreras.
- 5) Ganancia de calor debida a cargas internas: alumbrado, personal, producto y equipo.
- 6) Ganancia de calor debida al aire exterior.

1) Condiciones internas y externas de la sala de envasado

De la tabla 5.1 "Valores característicos de la sala de envasado" se tomaron los siguientes parámetros.

Condiciones internas de la sala de envasado de leche en polvo.		
	RANGO	TIPO
NIVEL DE FILTRACIÓN	99 997%	CLASE 100
TEMPERATURA	20 ± 2° C	
HUMEDAD RELATIVA	35 ± 5%	
PRESION DIFERENCIAL	2.5 mm CA.	PRESION POSITIVA
MOVIMIENTO DE AIRE	240-480 CAPH	UNIDIRECCIONAL/MIXTO

La tabla 5.4 muestra las condiciones externas de la sala de envasado de leche en polvo.

Condiciones externas de la sala de Envasado ¹		
Lugar	México D.F.	
Latitud	19° 25' N	
Longitud	99° 10' W	
Altura sobre el nivel de mar	2240 m	
Presión barométrica	585 mm Hg	
	Verano	Invierno
Temperatura de bulbo seco	31° C	0° C
Temperatura de bulbo húmedo	17° C	
% de humedad relativa	23 %	
Humedad específica	66.18 g/lb de aire seco	

Tabla 5.4 Condiciones externas de la sala de envasado

¹ Valores tomados de las tablas del AMERIC. Anexo 5 b

2) Datos constructivos de la sala de envasado

Dimensiones:

Largo	7.90 m. Equivalente a 25.9186 ft
Ancho	4.90 m. Equivalente a 16.0759 ft
Altura	3.0 m. Equivalente a 9.8424 ft

Área de la sala de envasado de leche en polvo :

$$A = 38.71 \text{ m}^2 \text{ equivalentes a } 416.66 \text{ ft}^2$$

Materiales

ELEMENTOS DEL CUARTO LIMPIO	MATERIALES QUE LOS COMPONEN
PAREDES	Tabique rojo de 150mm, aplanado con mortero de 12.7 mm de espesor por el lado exterior, con acabado tipo esponja y pintura color claro y del lado interior con mortero de 12 7 mm con acabado pulido y pintura epóxica color claro mate de 1.5 mm de espesor (Construcción "in situ")
TECHO	Concreto colado de 150 mm y aplanado de mortero de 12.7mm de espesor, pulido por el lado interior y cubierto con pintura, Epóxica. Así como aplanado con mortero de 12 7 mm por el lado exterior acabado esponja (Construcción "in situ").
PLAFON	El plafón será formado por el banco de filtros HEPA que irán soportados del techo (Techado enmallado)
PISO	Concreto monolítico de 120 mm y pintura epóxica.
VENTANAS	Marco de aluminio y cristal transparente de 6 mm.
PUERTAS	Construidas a base de panel aislante de poliuretano de 38 mm de espesor y cubiertas de lamina de acero al carbón, calibre 26 y pintura color claro mate epóxica, con marco de aluminio.

Tabla 5.5 Materiales de los elementos del cuarto limpio y tipos de acabados

3) Ubicación de la sala de envasado.

Como se observa en el plano. 3.1 (ver capítulo 3) la sala de envasado se encuentra en el interior de la planta, por lo cual esta protegida de las inclemencias del clima exterior, evitando una posible contaminación y las ganancias de calor debidas al efecto solar.

4) Ganancia de calor debida a la transmisión a través de barreras.

Esta ganancia, se debe a la transmisión de calor a través de muros, puertas, techos, pisos, la cual es ocasionada por la diferencia de temperatura que existe entre los dos lados de la barrera. Esta transmisión se calcula con la ecuación 5.1.

$$q = U A dT \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

Donde:

q = Ganancia de calor [W]

U = Coeficiente de transferencia de calor total [W/m² C]

A = Area [m²]

dT = Diferencia de temperaturas entre la pared lado exterior con el interior [°C]

Después de realizar los cálculos del coeficiente de transferencia de calor total (U) de la sala de envasado utilizando la ecuación 5.2 y considerando los materiales, espesores y conductividad de cada material constructivo del área, en la tabla 5.6 se presentan los resultados obtenidos.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_0} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n}} \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

Donde,

k = conductividad térmica del material de la barrera. (Anexo 5.a)

h1 = coeficiente de película interior para aire "quieto".

h0 = coeficiente de película exterior para aire en movimiento 24 km/h

x = espesor del material que constituye la barrera

COEFICIENTES TOTALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR		
UBICACIÓN	AREA (m ²)	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA U (W/m ² C)
Pared lado norte		
Mampostería	9.70	2.77
Ventana	5.00	6.95
Pared lado sur		
Mampostería	7.72	2.77
Ventana	5.00	6.95
Puerta	1.98	0.61
Pared lado oriente		
Mampostería	23.70	2.77
Pared lado poniente		
Mampostería	17.70	2.77
Ventana	6.00	6.95
Piso		
mortero monolítico	38.71	0.00
Techo		
loza de concreto	38.71	1.1982

Tabla 5.6 Coeficientes de transferencia de calor de los elementos del cuarto limpio

En la tabla 5.7 se presenta el diferencial de temperaturas entre la sala de envasado de leche en polvo y los cuartos que la rodean (dT):

Ubicación	Área Colindante	Temp. Exterior °C	Temp. Interior °C	dT °C
PARED LADO NORTE	Pulverización	45	20	25
PARED LADO SUR:	Airlock	26	20	6
PARED LADO ORIENTE	Vestidor	26	20	6
ALMACEN		30	20	10
PARED LADO PONIENTE	Etiquetado y empaque	28	20	8
TECHO	Loza de concreto de 150 mm	28	20	8

Tabla 5.7 Diferencial de temperaturas de áreas colindantes

Utilizando los valores de las tablas 5.6 y 5.7 en la ecuación 5.1, se obtiene la tabla 5.8 que resume la ganancia de calor a través de barreras en la sala de envasado, considerando únicamente las características constructivas de la misma, así como la temperatura de los cuartos colindantes:

Ubicación	Área (m ²)	U	DT (°C)	q (W)
PARED LADO NORTE				
Mampostería	9.70	2.770	25	671.70
Ventana	5.0	6.950	25	868.75
PARED LADO SUR				
Mampostería	7.72	2.770	6	128.30
Ventana	5.0	6.950	6	208.50
Puerta	1.98	0.616	6	7.32
PARED LADO ORIENTE				
Mampostería	12.0	2.770	6	199.44
Mampostería	12.0	2.770	10	332.40
PARED LADO PONIENTE				
Mampostería	17.7	2.770	8	392.23
Ventana	6.0	6.950	8	333.60
PISO	40	0.000	0	0.00
TECHO				
Loza de concreto.	40	1.199	6	287.76
				3430 W

Tabla 5.8 Resumen de ganancia de calor debido a la transmisión a través de barreras en la sala de envasado

5) Ganancia de calor debido a cargas internas.

5.1) Alumbrado:

La tabla 5.9 muestra los valores y características del alumbrado de la sala de envasado de leche en polvo

a)	Tipo de alumbrado:	Fluorescente
b)	Cantidad de lámparas:	9 x 75 W
c)	Horario de operación:	24 Horas/día

Tabla 5.9 Valores y características del alumbrado

La ecuación 5.3 permite conocer la ganancia de calor sensible debido al alumbrado en la sala de envasado.

$$q = (W) (Ful) (Fsa^1) \dots \dots \dots (5.3)$$

Donde:

q = Ganancia de calor [W].

W = Carga total de iluminación instalada [W].

Ful = Factor de utilización. (1.0 para indicar una utilización al 100%)

Fsa = Factor especial de tolerancia de luminaria (1.25 para lámparas fluorescentes).

Al sustituir los valores de la tabla 5.9 en la ecuación 5.3, se obtiene la ganancia de calor sensible debida al alumbrado en la sala de envasado.

$$q = (9) \times (75 \text{ W}) \times (1) \times (1.25) = \mathbf{843.75 \text{ [W]}}$$

5.2) Personal:

La tabla 5.10 muestra la cantidad de personas que trabajan en el cuarto limpio, su actividad, horario y la carga de calor sensible y latente por persona adulta con actividad moderada.

¹ Ronald H. Howell, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning. Pag. 7 16

		Carga sensible ²	Carga latente ²
No. de personas	4 operarios		
Actividad:	Moderada	80 W	140 W
Horario de trabajo:	24 horas al día		

Tabla 5.10 Valores de carga sensible y carga latente para el personal que opera en la sala de envasado

Multiplicando los valores de carga sensible y carga latente mostrados en la tabla 5.10 por el número de operarios, se obtiene la ganancia de calor latente y sensible debida al personal en la sala de envasado.

Carga sensible: $4 \times 80 \text{ W} = 320.00 \text{ W}$.

Carga latente: $4 \times 140 \text{ W} = 560.00 \text{ W}$.

5.3) Producto:

La tabla 5.11 muestra la cantidad de producto que pasa por la sala de envasado, así como su temperatura a la entrada y salida.

Producto	Leche en polvo.
Flujo	0.625 kg/s
Temperatura de entrada (T_1)	43° C
Temperatura de salida (T_2)	42 °C
Porcentaje de humedad de entrada y salida	3% (entrada) 3% (salida)

Tabla 5 11. Datos técnicos del producto

Con ayuda de la ecuación 5.4 se obtiene el calor sensible disipado por el paso del producto en la sala de envasado

$$q = m c_p (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (5.4)$$

² Ronald H. Howell, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning Pag. 7.79 (Tabla 7-14 SI)

Donde:

q = Calor removido [KJ]

m = Flujo del producto [kg/s]

cp = Calor específico del producto [KJ/(kg.°K)] (1.506 KJ/kg °K, valor proporcionado por un fabricante de leche)

T_1 = Temperatura inicial del producto [°C]

T_2 = Temperatura final del producto [°C]

Sustituyendo los valores de la tabla 5.11 en la ecuación 5.4 se obtiene el calor sensible disipado por el producto en la sala de envasado.

$$q = 0.625 \text{ kg/s} \times 1.506 \text{ kJ/(kg.K)} \times (43-42) ^\circ\text{C} = 0.94125 \text{ [kW]}$$

$$q = 941.25 \text{ [W]}$$

5.4) Equipo misceláneo:

Los valores de la tabla 5.12, muestran la ganancia de calor sensible debido al equipo que se encuentra en la sala de envasado.

Carga disipada por el equipo ³	H.P.	Carga (W)
Transportador de envases vacíos	$\frac{3}{4}$	330.79
Envasadora de leche en polvo	5	864.56
Transportador de envases llenos	$1\frac{1}{2}$	1,084.47
Maquina selladora de envases	3	1,084.47
Transportadora de tapas de envases	$\frac{1}{2}$	1,245.68
Transportador a gasificación	$1\frac{1}{2}$	1,084.47
		5,694.44 W
Horario de funcionamiento:	24 horas/día	

Tabla 5.12 Ganancia de calor sensible debido al equipo en la sala de envasado.

³ Hernández, E. Fundamentos de aire acondicionado, tabla IX-8.

6) Ganancia de calor debido al aire exterior.

El aire exterior, esta formado por el aire para ventilación y el aire de presurización.

El aire necesario para ventilación, se calculó con la ecuación 5.5

$$(\text{No. personas}) \times (\text{Aire VPP}^4) = (\text{Aire PV}) \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

Donde:

Aire VPP = Aire de ventilación por persona. [ft³/min]

Aire PV = Aire para ventilación. [ft³/min]

El valor recomendado de ventilación por persona⁴ para el cuarto limpio, es de 25 ft³/min.

Sustituyendo este valor en la ecuación 5.5 se tiene, el volumen de aire necesario para ventilar el cuarto de acuerdo al número de personas:

$$(4 \text{ personas}) \times (25 \text{ ft}^3/\text{min}) = 100 \text{ ft}^3/\text{min}$$

El aire necesario para la presurización de la sala de envasado se calculó con la ecuación 5.6⁵

$$Q = 4005 * 0.60 * A * \sqrt{SP} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación (5.6)}$$

Donde:

Q: Flujo de aire requerido para mantener una presión positiva en un cuarto con una abertura cuadrada en la pared (ft³/min)

4005: Coeficiente de cálculo (adimensional)

0.60: Coeficiente de aire entrante en una abertura cuadrada (adimensional)

A: Área de la abertura (ft²)

√SP: Presión diferencial estática entre las áreas internas-externas (in C.A.)

⁴ Henández, E. Fundamentos de aire acondicionado, tabla VII-3, "Ventilación recomendada para diferentes lugares".

⁵ Munters Cargocaire, The Dehumidification Handbook, Second Edition, Chapter Five, pag. 5-18.

Para la sala de envasado, el valor de presión diferencial se tomó de la tabla 3.1 y es igual a:

$$SP = 2.5 \text{ mm C.A.} = 0.094 \text{ in C.A.}$$

La sala de envasado cuenta con dos transportadores de dimensiones de hueco = 2.69 ft^2 cada uno. Con un área total = $2.69 * 2.69 = 5.38 \text{ ft}^2$

El área está cubierta por cortinas plásticas y un transportador que la atraviesa

Por lo tanto:

$$A = 2.69 \text{ ft}^2$$

Sustituyendo el valor de presión diferencial y el área en la ecuación 5.6 se obtiene el aire exterior necesario para presurizar la sala de envasado:

$$Q = (4005) * (0.60) * (2.69) * (\sqrt{0.094}) = 2,027.69 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Al sumar el aire necesario para ventilar y presurizar la sala de envasado, se obtiene volumen de aire exterior, como lo indica la ecuación 5.7.

$$\text{Aire exterior} = \text{Aire de ventilación} + \text{Aire de presurización} \dots\dots\dots (5.7)$$

Sustituyendo los resultados de las ecuaciones 5.5 y 5.6 en la ecuación 5.7 se obtiene el aire exterior, necesario para ventilar y presurizar la sala de envasado.

$$\text{Aire exterior} = 100 + 2027.69 = 2127.7 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Ganancia de calor, debida al aire exterior.

La ecuación 5.8 se utilizó para calcular la ganancia de calor sensible en la sala de envasado debido al aire exterior.

$$OA_{SH} = (1.09) * (\text{Aire exterior}) * (TAE - TC) \dots\dots\dots (5.8)$$

Donde:

TAE: Temperatura de aire exterior. [°F]

TC: Temperatura del cuarto.[°F]

OA_{SH}: Carga sensible del aire exterior [BTU/h]

Aire exterior [ft³/min]

Sustituyendo valores de las condiciones interiores y exteriores, (tablas 5.1 y 5.4 respectivamente) y de la ecuación 5.7 en la ecuación 5.8 se obtiene la ganancia de calor sensible en la sala de envasado, debida al aire exterior.

$$OA_{SH} = (1.09) \times (2127.7) \times (87.8 - 68)$$

$$OA_{SH} = 45,920.02 \text{ BTU/h}$$

La ecuación 5.9 se utilizó para calcular la ganancia de calor latente de la sala de envasado debido al aire exterior

$$OA_{LH} = (0.68) \times (\text{Aire exterior}) \times (\text{HeA}_{\text{ext}} - \text{HeA}_{\text{int}}) \dots\dots\dots \text{Ecuación (5.9)}$$

Donde:

HeA_{ext}: Entalpia del aire exterior [granos/lb].

HeA_{int}: Entalpia del aire interior [granos/lb].

OA_{LH}: Carga latente del aire exterior. [BTU/h]

Aire exterior: [ft³/min]

Con la ayuda de una carta psicométrica se obtienen los valores para las humedades específicas de las condiciones internas y externas del aire de la sala de envasado, en donde se obtiene como resultado que HeA_{ext}= 66.18 granos/libra y HeA_{int}= 50.10 granos/libra.

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.9 se obtiene la ganancia de calor latente debida al aire exterior en la sala de envasado.

$$OA_{IH} = (0.68) \times (2127.7) \times (66.18 - 50 - 10)$$

$$OA_{LH} = 23265.12 \text{ BTU/h}$$

Resumen de ganancias de calor en la sala de envasado.

La tabla 5.13, resume las ganancias de calor en la sala de envasado.

	Ganancia de calor sensible [BTU/h]	Ganancia de calor latente [BTU/h]
Ganancia de calor debido a la transmisión a través de barreras.	11, 703.65	0
Ganancia de calor debido al alumbrado	2, 878.99	0
Ganancia de calor debido al personal	1, 091.89	1, 910.80
Ganancia de calor debido al producto	3, 211.68	0
Ganancia de calor debida al equipo	19, 430.24	0
Ganancia de calor debida al aire exterior	45, 920.02	23, 265.12
Totales	84, 236.47	25, 175.92

Tabla 5.13. Resumen de ganancias de calor en la sala de envasado.

La ecuación 5.10 se utilizó para obtener la ganancia de calor total de la sala de envasado.

$$\text{Ganancia de CT} = \text{Ganancia CST} + \text{Ganancia CLT} \dots\dots\dots (5.10)$$

Donde:

Ganancia de CT: Ganancia de calor total de la sala de envasado [BTU/h]

Ganancia CST: Ganancia de calor sensible total en la sala de envasado [BTU/h]

Ganancia CLT: Ganancia de calor latente total en la sala de envasado [BTU/h]

Sustituyendo los valores de la tabla 5.13 en la ecuación 5.10, se obtiene:

$$\text{Ganancia de calor total} = 109,412.39 \text{ [BTU/h]}$$

Debido a que una tonelada de refrigeración es igual a 12,000 BTU/h, entonces se requieren de 9.12 Toneladas de refrigeración para abatir la carga de calor total en la sala de envasado.

V.5 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

La figura 5.3 muestra una unidad manejadora de aire (UMA) con las condiciones internas y externas para la sala de envasado.

Esta propuesta de manejadora de aire se utilizó para desarrollar el sistema de control que se explica en el capítulo 6.

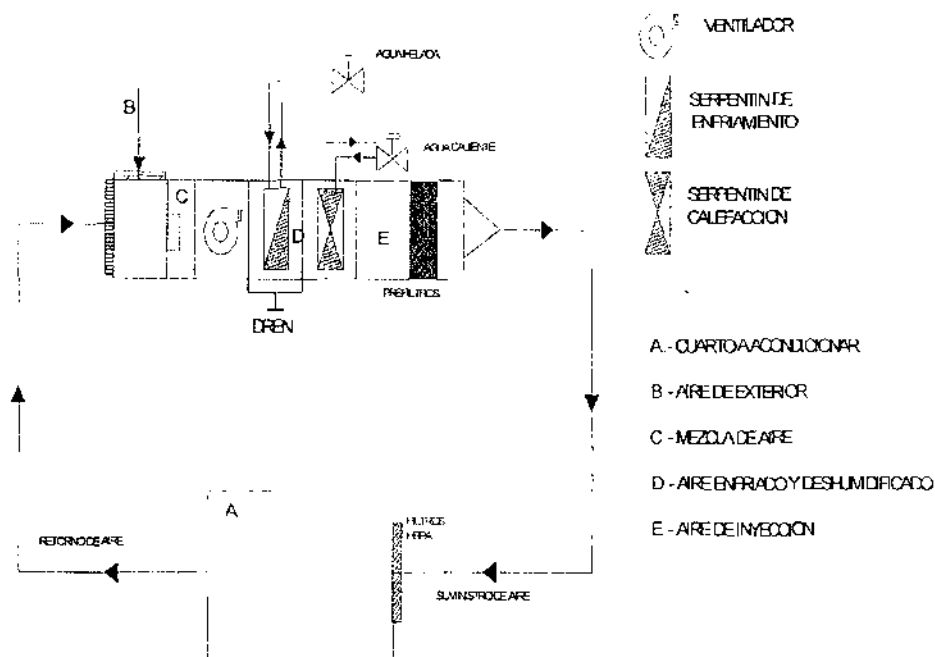


Figura 5.3 Funcionamiento de la unidad manejadora de aire para el cuarto limpio.

Los resultados de los cálculos realizados en este capítulo, sirven para seleccionar una unidad manejadora de aire adecuada para la sala de envasado. En este trabajo no se muestra un modelo específico, ya que no es necesario anexar un catálogo que muestre las especificaciones de un equipo. Lo valioso aquí es que el diseñador sepa cuáles son los parámetros que le pide el fabricante, para seleccionar una UMA. Estos parámetros son:

- Volumen de aire a manejar por el equipo.
- Toneladas de refrigeración (Carga total por abatir)

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior y en este, sirven para conocer el volumen de aire ($16402.2 \text{ ft}^3/\text{min}$) y las toneladas de refrigeración (10 TR), necesarios para cambiar el aire 240 veces por hora y para abatir la ganancia de calor total respectivamente. Estos parámetros son los mínimos necesarios para seleccionar un equipo con cualquier fabricante.

Capítulo VI. Automatización y operación del cuarto limpio.

VI.1 Controles automáticos.

VI.2 Tipos de acciones de control.

VI.3 Sensores.

VI.4 Controlador.

VI.5 Control digital directo (DDC).

VI.6 Propuesta de control para el cuarto limpio.

VI.7 Requisitos para operación en el cuarto limpio.

VI.7.1 Personal.

VI.7.2 Flujo de personal.

VI.7.3 Flujo de materiales.

VI.7.4 Uso de sanitizantes.

VI.7.5 Evaluación rutinaria en el cuarto limpio.

VI.7.6 Limpieza in situ del equipo para envasado de leche en polvo.

Capítulo VI. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CUARTO LIMPIO

VI.1 CONTROLES AUTOMÁTICOS

La función que cumplen los controles automáticos en la propuesta de diseño del cuarto limpio, es mantener las condiciones de diseño como: temperatura, humedad, capacidad de calefacción y enfriamiento del sistema de acondicionamiento de aire. Los controles deben regular las variables mencionadas debido a los cambios en la temperatura exterior, a radiación solar, el número de ocupantes y las luces que se encienden o se apagan.

Una de las consideraciones más importantes en la planificación y funcionamiento de un sistema de control, se basa en su capacidad para reducir al mínimo el uso de energía. Por ejemplo, los controles pueden cambiar en forma automática la cantidad de aire exterior que entra a la construcción, de modo que se obtenga enfriamiento sin costo.

Además, los controles reducen la intervención humana necesaria para el funcionamiento y servicio del sistema, y con ello se reducen los costos correspondientes y las posibilidades de errores, manteniendo el funcionamiento del equipo a niveles seguros para así evitar daños a las instalaciones o a las personas. En general actúan como dispositivos limitantes, para restringir los valores de las variables.

Todo sistema de control tiene los siguientes elementos:

1. Una variable controlada, es una condición que hay que controlar (temperatura, humedad, presión)
2. Un controlador, es un dispositivo que percibe la señal de un cambio en la variable controlada y transmite una acción a un dispositivo controlado que corrige la condición que cambió. Nótese que un controlador tiene dos funciones: percibir una señal y transmitir una acción basada en la señal.
3. Una fuente de energía, con esta se obtiene la energía para transmitir la acción desde el controlador hasta el dispositivo controlado.

4. Un dispositivo controlado, es un dispositivo que al recibir la acción del controlador, regula el flujo variable. Como ejemplos de dispositivos controlados se tienen: válvulas, compuertas, etc.
5. Un agente de control, es el medio que regula el dispositivo controlado. Como ejemplo se tiene: al agua que pasa por una válvula, el aire a través de una compuerta, o la corriente eléctrica a través de un motor.
6. Una planta de proceso. La regulación del agente de control varía con la capacidad u operación del equipo llamado planta de proceso. Como ejemplos se tiene: al serpentín de enfriamiento o de calefacción, al quemador de aceite, al ventilador, a la bomba, al compresor y al ducto. El cambio de funcionamiento de la planta de proceso modifica la condición de la variable controlada, completando así la acción deseada.

En la figura 6.1 se muestra la secuencia de acciones, mediante un diagrama funcional de bloques de control.

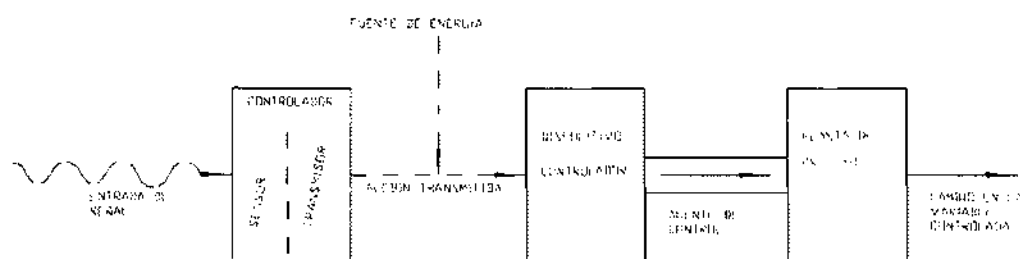


Figura 6.1 Diagrama funcional de bloques para un sistema de control de lazo abierto.

VI. 2 TIPOS DE ACCIONES DE CONTROL.

Hay diversos tipos de acciones que puede impartir el controlador al dispositivo controlado y se clasifican como sigue:

Acción de dos posiciones. Se le llama también comúnmente “encendido y apagado”. Por ejemplo, si el dispositivo controlado es un motor, puede arrancar o detenerse mediante el controlador de dos posiciones. Una válvula de control que sólo se mueva para tener una posición completamente abierta o completamente cerrada es otro ejemplo de acción de dos posiciones.

Para entender la propuesta de control del cuarto limpio, es necesario definir los siguientes dos términos que se refieren a la acción de dos posiciones:

1. **Banda muerta:** Un rango de la variable controlada, en el cual no se toma acción correctiva por el sistema y no se usa energía.
2. **Histéresis:** El rango en que va a permanecer encendido el dispositivo, después de que la variable controlada ha alcanzado el punto de ajuste. (Inercia)

Diferencial, es la acción de control de dos posiciones. Se refiere al rango de valores de la variable controlada dentro del cual se verifica la acción.

El diferencial del controlador, es el rango que se ajusta en el dispositivo de control para los valores de la variable a los que se transmite la acción al dispositivo controlado. Por ejemplo, si un termostato se ajusta para pasar de una posición de 70°F a 72°F, se dice que tiene un diferencial de 2°F.

El diferencial de operación, es el rango que toma realmente el valor de la variable controlada. Este diferencial con frecuencia será mayor que el ajuste del diferencial del controlador, porque siempre hay un retraso en la respuesta del dispositivo controlado y el medio. Por ejemplo, cuando un termostato hace que cierre una válvula de agua caliente, el equipo de calefacción sigue calentando el recinto durante un corto tiempo, debido al agua caliente que todavía queda en la unidad. Si se ajusta el diferencial del controlador en un rango muy bajo, el equipo de calefacción o enfriamiento encenderá y

apagará en forma demasiado rápida y entrará en un estado llamado cíclico o de búsqueda.

Control programado de dos posiciones. Si el diferencial de operación es demasiado grande, puede originar condiciones incómodas. Esto se puede reducir, anticipando una respuesta al controlador. Por ejemplo, el termostato puede tener un pequeño calentador. Tan pronto como la señal pide calefacción, el pequeño calentador entra en acción y calienta al termostato más rápido que el aire del recinto. Como resultado de ello el termostato alcanza su ajuste algo más rápidamente de lo que lo haría si no tuviera el calentador, y apaga con rapidez el dispositivo controlado, reduciendo así el sobrecalentamiento. El efecto es que se ha reducido el diferencial de operación.

Acción flotante, en esta acción el dispositivo controlado se sigue manejando mediante un controlador de dos posiciones. El dispositivo controlado se fabrica de tal modo que se mueve en forma gradual entre la posición completamente abierta y completamente cerrada. La señal de la fuente de energía mueve a la parte que trabaja del dispositivo controlado en una dirección. Hay una zona neutral, a la que también se le llama zona muerta, en la cual no se transmite señal, lo que deja al dispositivo controlado "flotando" en una posición intermedia hasta que se recibe una nueva señal.

Acción proporcional en este tipo de acción, la intensidad de la señal que sale del controlador varía en proporción a la cantidad de cambio en la variable controlada. A su vez, el dispositivo controlado se mueve en forma proporcional a la intensidad de la señal, tomando una posición intermedia fija en un punto relacionado al cambio de la variable. Este tipo de acción puede dar una respuesta mucho más fina a los cambios de carga que los tipos de dos posiciones que se describieron antes, debido a que la respuesta es proporcional a las necesidades y no es una respuesta de todo o nada. Se necesita de controladores y dispositivos de control tipo proporcional. Por ejemplo, una válvula de agua caliente con modulación, abrirá o cerrará parcialmente hasta llegar a una posición correspondiente a la intensidad de una señal que pide aumento o disminución de la calefacción.

Hay algunos términos importantes que se emplean en los controles proporcionales y que se necesitan definir:

“Punto de ajuste”, es el valor deseado de la variable controlada, al que se ajusta el controlador.

“Punto de control”, es el valor real de la variable controlada que mantiene el controlador en determinado momento.

“Desviación”, es la diferencia entre el punto de ajuste y el punto de control, también se llama corrimiento.

“Rango de regulación”, es la cantidad de cambio en la variable controlada que se necesita para mover al dispositivo controlado de un límite extremo de su viaje a otro (completamente abierto o completamente cerrado). El término banda proporcional de un controlador también es su rango de regulación.

En la figura 6.2 se indican gráficamente las relaciones entre los términos anteriores.

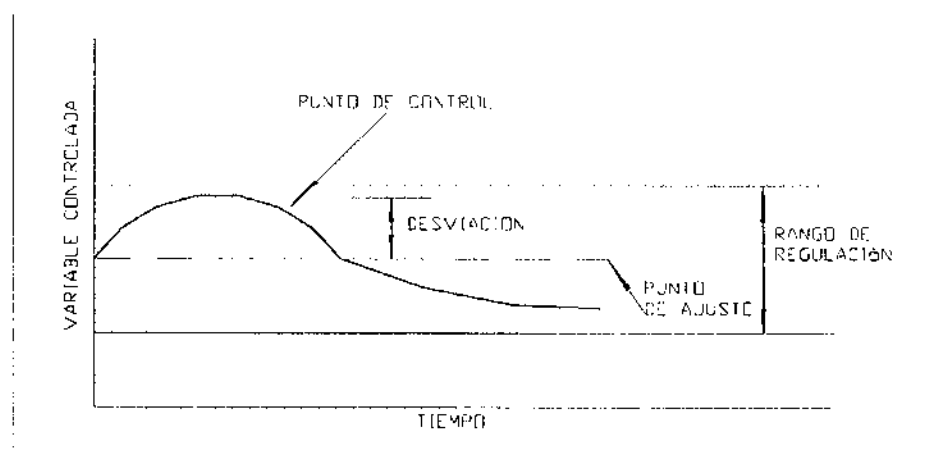


Figura 6.2 Acción de control proporcional.

Sensibilidad

La sensibilidad de un control es la relación entre los cambios de valores de la energía de control y la variable controlada. Por ejemplo, un controlador neumático podría tener una sensibilidad de 1 psi por °F. Esto significa que un cambio de 1°F en la variable controlada hará cambiar la presión de suministro que se transmite al dispositivo controlado en 1 [psi]. En la mayor parte de los controladores se puede ajustar la sensibilidad en el campo para dar un mejor control. Hablando en general, la sensibilidad

se debe ajustar para que sea la máxima posible sin provocar seguimientos: cambios grandes y continuos en la variable controlada.

Acción proporcional más reajuste

Este tipo de control combina a la acción proporcional con una de reajuste. Cuando se tiene una desviación, el punto de control varía automáticamente moviéndose hacia el punto de ajuste. Esto es, se reduce la cantidad de desviación. El reajuste se logra empleando la acción de punto flotante con la acción proporcional. Con el control proporcional más reajuste se logran los cambios adecuados de la acción de control proporcional a los cambios de carga sin la desventaja de una desviación grande. La figura 6.3 muestra cómo se comporta la variable controlada con el control proporcional más reajuste; compárese la figura 6.2.

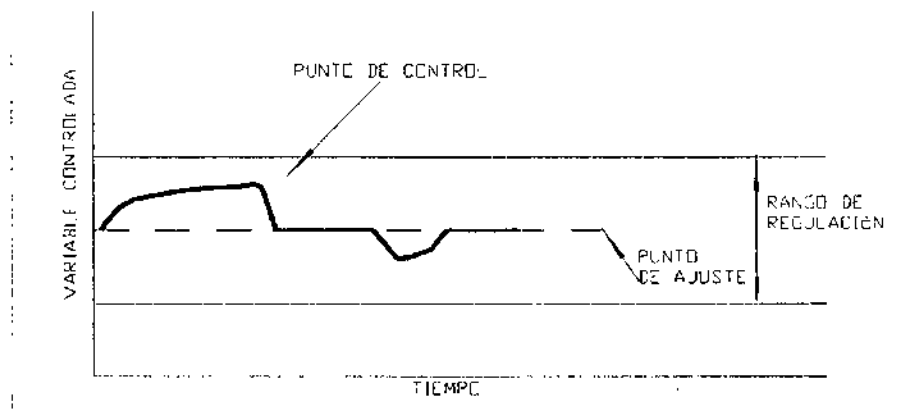


Figura 6.3 Acción de control proporcional más reajuste.

A la acción proporcional más reajuste también se le llama acción proporcional-integral (PI).

Estabilidad y búsqueda

Según las descripciones anteriores, parecería que la acción proporcional más reajuste es siempre la más deseable. Esto no es así, en primer lugar, el tipo adecuado de acción de control depende del trabajo por efectuar. Por ejemplo, para poner en marcha o detener un equipo, la única acción adecuada es la de dos posiciones.

Una característica importante de un sistema de control es su capacidad de mantener la variable de control en un valor razonablemente uniforme. A esto se le llama estabilidad. Bajo ciertas condiciones, el reajuste puede ocasionar inestabilidades, como se explica a continuación:

La velocidad de respuesta de un dispositivo con reajuste en general no es muy rápida, debido a su propia construcción. Considérese lo que sucede cuando la variable controlada cambia rápidamente, debido quizás a cambios repentinos y frecuentes de carga (por ejemplo, el continuo abrir y cerrar de puertas cuando un termostato está en el recinto). El controlador pedirá rápidamente acción de control. Desafortunadamente, si se usa acción proporcional más reajuste, puede no ser capaz de responder con suficiente rapidez. El valor de la variable controlada oscilará ampliamente y el sistema de control se hace inestable. A estas oscilaciones amplias y rápidas se les llama búsqueda. La acción proporcional con reajuste no es adecuada para los sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire en los cuales la variable controlada cambia con rapidez.

Un ejemplo de aplicación correcta de acción proporcional más reajuste es el controlador de temperatura de agua helada en una gran enfriadora. Es deseable el control estrecho de la temperatura de agua helada, o sea, con desviación pequeña, porque con ello se tiene un buen control de la temperatura y humedad en el recinto. Sin embargo, la carga de acondicionamiento de aire en general cambia lentamente en una construcción grande. Además, una gran masa de agua helada reduce también la velocidad de cambio de la temperatura del agua. Por lo tanto, se puede usar la acción proporcional más reajuste sin causar inestabilidad.

VI.3 SENSORES.

Un elemento de sensado provee al controlador información concerniente a condiciones de cambio. Los sensores analógicos son usados para monitorear continuamente condiciones de cambio como temperatura ó presión. El sensor analógico provee al controlador una señal de variación de 0 a 10 V. Un sensor digital (dos posiciones) es usado si las condiciones representan un estado fijo como una bomba que esta encendida o apagada. El sensor digital provee al controlador una señal discreta como contactos abiertos o cerrados.

Algunos sensores electrónicos usan un atributo inherente de su material (por ejemplo, resistencia de un cable) para proveer una señal y puede ser conectada directamente al controlador electrónico. Otros sensores requieren conversión de la señal del sensor a un tipo o nivel que puede ser usado por el controlador electrónico. Por ejemplo, un sensor que detecta presión requiere un transductor o transmisor para convertir la señal de presión a un voltaje o señal de corriente usada por el controlador electrónico.

Sensores de temperatura.

Para control electrónico, los sensores de temperatura se clasifican como sigue:

- Dispositivos de resistencia temperatura (RTDs) cambian su resistencia al variar la temperatura. RTDs tienen un coeficiente positivo de temperatura (la resistencia se incrementa con la temperatura).
- Los termistores son sensores de estado sólido de resistencia-temperatura, con un coeficiente negativo de temperatura.
- Termocoples generan directamente un voltaje como una función de la temperatura.

Sensores de humedad relativa.

Varios métodos de sensado son usados para determinar el porcentaje de humedad relativa, incluyendo la medición de cambios de resistencia, capacitancia, impedancia y frecuencia.

Sensor de resistencia de humedad relativa.

Un viejo método que usa resistencia para determinar humedad relativa, depende de una capa de una sal higroscópica, como cloruro de litio o polvo de carbón, depositado entre dos electrodos, como se muestra en la figura 6.4. Ambos materiales absorben y liberan humedad como una función de la humedad relativa, causando un cambio en la resistencia del sensor. Un controlador electrónico conectado a este sensor detecta el cambio de resistencia, el cual se puede usar para proveer control de la humedad relativa.

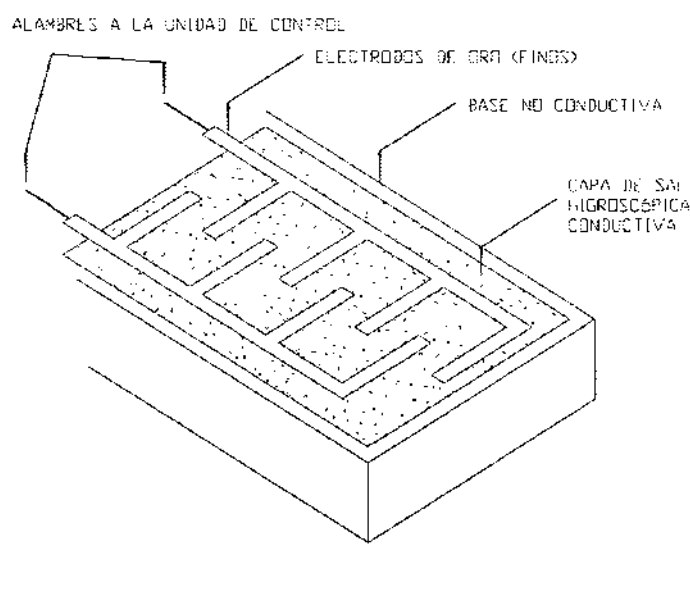


Figura 6.4 Sensor de humedad relativa del tipo resistivo.

Sensor de humedad relativa del tipo capacitivo.

Un método que usa cambios en capacitancia para determinar humedad relativa mide la capacitancia entre dos platos conductivos separados por una mezcla de material sensible como un polímero plástico, figura 6.5.

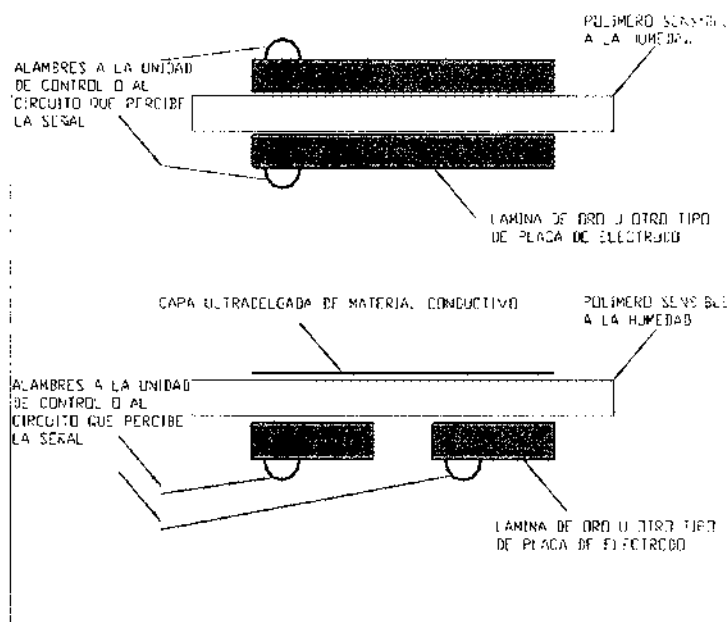


Figura 6.5 Sensor de humedad relativa del tipo capacitivo.

Como el material absorbe agua, la capacitancia entre los platos disminuye y el cambio puede ser detectado por un circuito electrónico.

Sensor de humedad relativa de impedancia.

Un sensor de humedad relativa que genera cambios en ambas resistencia y capacitancia para medir el nivel de mezcla es construido por una placa de aluminio anodizado y una capa delgada de oro o aluminio (Fig. 6.6). El aluminio anodizado tiene una capa de oxido poroso en su superficie. La mezcla puede penetrar a través de la capa de oro y rellenar sus poros causando cambios en ambas, resistencia y capacitancia, las cuales pueden ser medidas por un circuito electrónico.

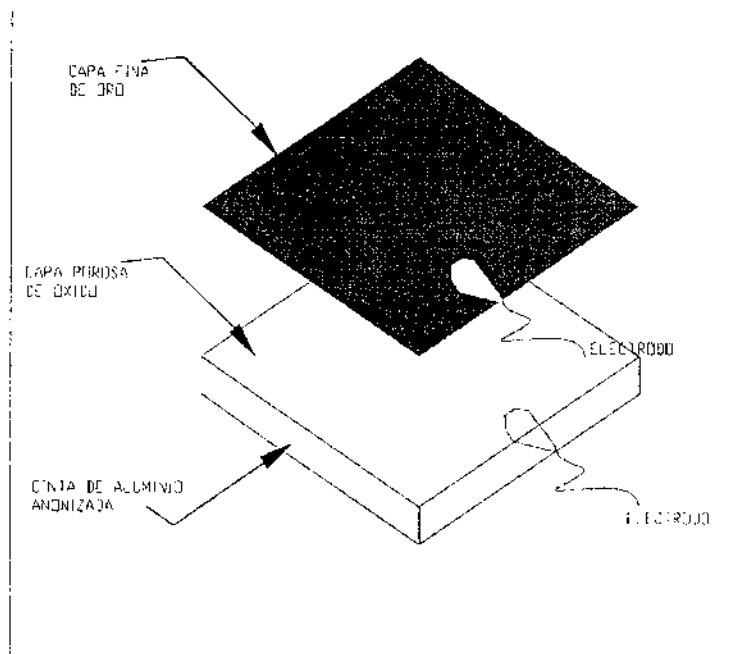


Figura 6.6 Sensor de humedad relativa del tipo de impedancia.

Sensor de humedad relativa de cristal de cuarzo.

Los sensores que usan cambios en frecuencia para medir humedad relativa pueden usar un cristal de cuarzo cubierto con un material higroscópico como un polímero plástico, figura 6.7. Cuando el cristal de cuarzo es energizado por un circuito oscilante, este genera una frecuencia constante. Como el polímero absorbe la mezcla y cambia la masa del cristal de cuarzo, la frecuencia de oscilación varía y puede ser medida por un circuito electrónico.

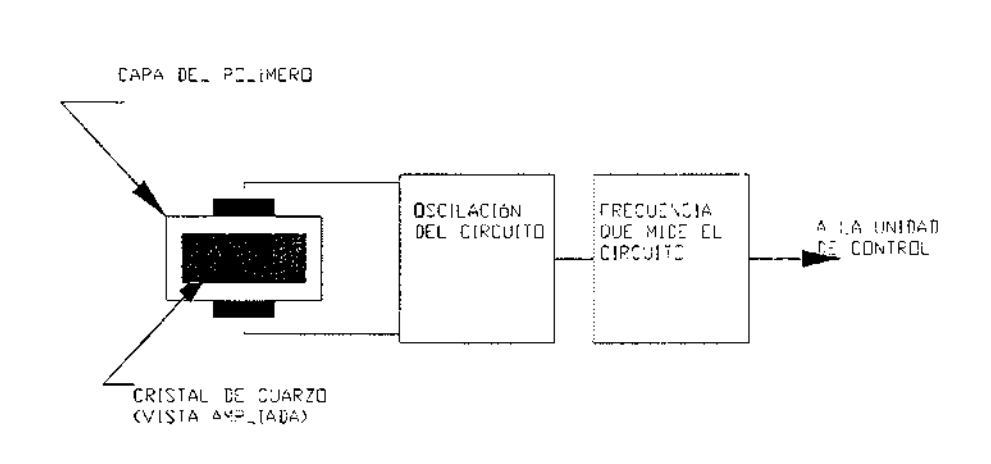


Figura 6.7 Sensor de humedad relativa de cristal de cuarzo.

Sensores de presión.

Un método que mide presión por detectar cambios en la resistencia usa un pequeño y flexible diafragma y un montaje de calibrador a tensión. El montaje del calibrador incluye un cable muy fino (serpentin) o una película delgada metálica depositada en una base no conductiva. El montaje del calibrador es estirado o comprimido como el diafragma se flexiona con las variaciones de presión. El alargamiento o compresión del calibrador, mostrado por la línea punteada de la figura 6.8, cambia la longitud de este fino cable ó de la delgada película de metal, lo cual cambia la resistencia total. La resistencia puede ser detectada y amplificada. Estos cambios en resistencia son pequeños Es por eso, que un amplificador viene incluido en el montaje del sensor para amplificar la señal de manera que el nivel mandado hacia el controlador es menos susceptible a la interferencia del ruido externo.

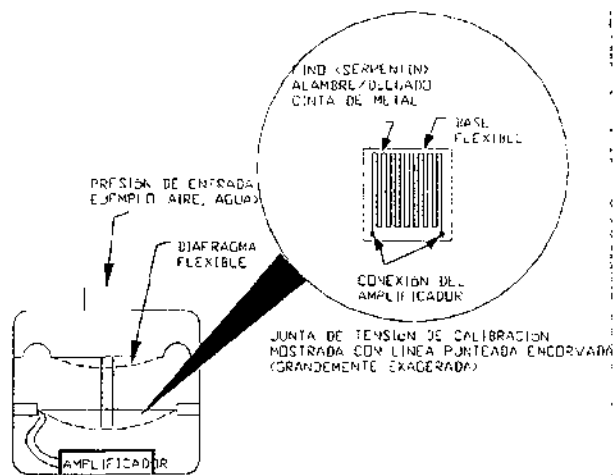


Figura 6.8 Sensor de presión del tipo resistivo.

Sensor de presión diferencial.

Una variación de los sensores de presión es el que mide presión diferencial usando dos cámaras de presión, como se muestra en la figura 6.9. La fuerza de cada cámara actúa en una dirección opuesta con respecto al calibrador. Este tipo de sensor puede medir pequeños cambios de presión diferencial aún con alta presión estática.

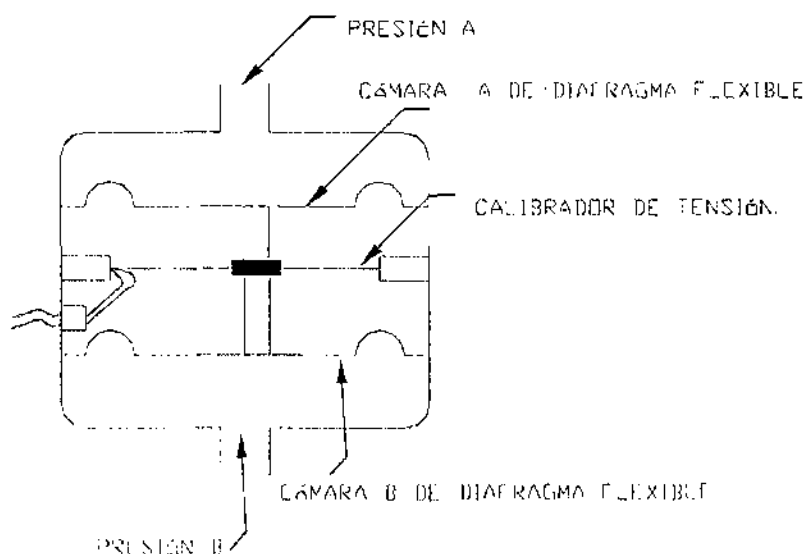


Figura 6.9 Sensor de presión diferencial.

VI.4 CONTROLADOR.

El controlador electrónico recibe una señal del sensor, la amplifica y / o acondiciona, la compara con el punto de ajuste y entrega una corrección si es necesario. La señal de salida típicamente posiciona un actuador. Los circuitos del controlador electrónico permiten una amplia variedad de funciones de control y secuencias desde las más simples hasta múltiples circuitos con entradas con muchas salidas secuenciadas. Los circuitos del controlador usan componentes de estado sólido como transistores, diodos y circuitos integrados e incluyen una fuente de poder y todos los ajustes requeridos para un control adecuado.

VI.5 CONTROL DIGITAL DIRECTO.

Como se ha visto, la disposición convencional de un control es un controlador que percibe una señal y manda una acción directamente a un dispositivo controlado. El empleo de computadoras digitales en los sistemas de control para acondicionamiento de aire ha cambiado esta secuencia. Al esquema en el cual se usan computadoras se le llama control digital directo (DDC, Direct Digital Control).

En el DDC, no se usan los controladores convencionales. Un sensor transmite la señal detectada, por ejemplo, temperatura, a la computadora.

En general, la señal del sensor se acondiciona mediante dispositivos intermedios para que la pueda entender la computadora. A continuación la computadora manda una señal para hacer trabajar al dispositivo controlado, por ejemplo, una válvula, según lo necesite. Esta señal también está acondicionada, en general, para que sea adecuada para el dispositivo controlado. Esta secuencia es compleja, pero con ella se logran algunas ventajas importantes:

Los cambios del control por ejemplo los puntos de ajuste, se pueden hacer en un punto central, la computadora, en lugar de tener que hacerlos en cada controlador. Con ello se tienen condiciones mejoradas y menor trabajo de operación y mantenimiento.

Las estrategias de conservación de energía se manejan con facilidad en el programa por computadora, en lugar de confiar en muchos equipos y sus conexiones, que pueden salirse de calibración o descomponerse.

VI.6 PROPUESTA DE CONTROL PARA EL CUARTO LIMPIO (SALA DE ENVASADO).

La manejadora propuesta en el capítulo V, es la que cubre los requerimientos de temperatura, presión y humedad del cuarto limpio; es necesario automatizarla para optimizar su funcionamiento disminuyendo la energía consumida por enfriar y deshumidificar el aire del cuarto, ya que la energía consumida por m^2 para un sistema de aire acondicionado para cuartos limpios de clase 1 hasta clase 100 es de 5 a 10 veces mayor que un sistema de aire acondicionado para un edificio comercial¹. En la figura 6.10 (automatización de la UMA para el área de envasado), se pueden ver los

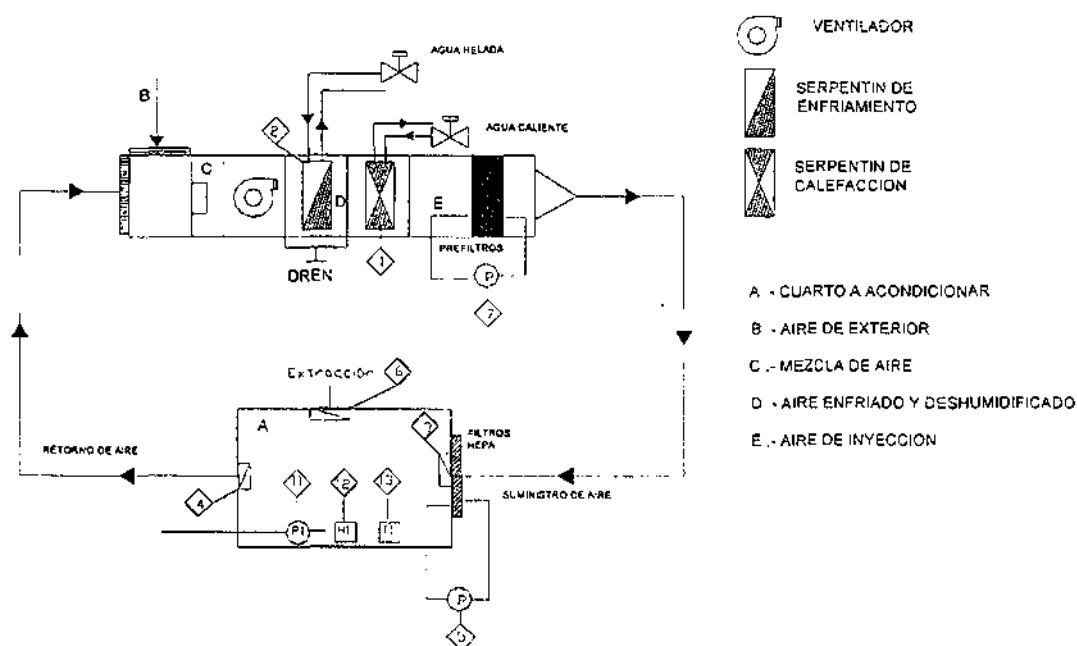


Figura 6.10 Automatización de la UMA para el área de envasado

¹ Handbook of air conditioning and refrigeration, Wang. Página 30.13.

elementos a monitorear (filtros, temperatura, presión y humedad de la sala de envasado) y controlar (compuestas de extracción y de retorno) en la manejadora de aire y en el cuarto limpio:

Para bajar la temperatura del cuarto limpio, se hace pasar a través del serpentín evaporador (2) de la manejadora de aire, agua enfriada por un chiller. Para aumentar la temperatura, la manejadora utiliza un serpentín (1) por el que pasa agua que ha sido calentada por un "Boiler". Para deshumidificar el aire, se abre el actuador de agua fría, con la intención de enfriar el evaporador de la UMA y que al pasar el aire deje el agua que contiene sobre la superficie fría del evaporador (por alcanzar la temperatura de rocío). Al mismo tiempo el actuador del serpentín de agua caliente abre para aumentar la temperatura del aire deshumidificado a 20°C que requiere el cuarto limpio.

Como se puede observar en la figura 6.10, las tres variables principales a controlar en el cuarto limpio son: presión (P1), humedad (H1), y temperatura (T1).

Control de presión.

En la figura 6.10 se puede observar un transductor de presión diferencial P1 (11) en el cuarto limpio. Este mide la diferencia de presión entre el cuarto limpio y sus alrededores, traduciendo el valor de presión en una señal de 2 a 10 VDC, para que lo pueda leer el controlador. Dependiendo de la señal que proporcione el transductor de presión, el controlador abre o cierra proporcionalmente las compuertas de la inyección (3) y del retorno (4). El valor de la presión diferencial en el cuarto limpio, debe mantenerse en (+) 2.5" C.A. (valor requerido según la tabla 3.1) Si este valor disminuye 0.5" C.A. con respecto al punto de ajuste (2.5" C.A.), el actuador de la inyección abre proporcionalmente (control PI) a la caída de presión. Al mismo tiempo el actuador del aire de retorno cierra proporcionalmente al valor de caída de presión.

Empleando términos de control, el párrafo anterior se resume a:

El control de la presión tiene un punto de ajuste de 2.5" C.A. con una banda proporcional de 1.0 "C.A.

La presión puede disminuir al abrir la puerta del cuarto limpio, En el cuarto limpio se instaló una alarma audiovisual que se activa cuando la puerta ha sido abierta por más de 30 segundos, debido a que puede bajar la presión y contaminarse el área.

La presión puede disminuir también cuando los filtros HEPA estén muy sucios; el sensor de presión diferencial instalado en cada cara de los filtros HEPA (5), supervisa la caída de presión. Y si la caída de presión se acerca a 1 in C.A. entonces la compuerta de extracción (6), cierra proporcionalmente a la caída de presión, para ayudar a que la presión en el cuarto se mantenga y los filtros HEPA funcionen un poco más sin ser cambiados. Un cambio de filtros HEPA en el área representa parar la producción, además del gasto de cambiar todos los filtros en el cuarto limpio.

# de área	Nombre de área	Vol.	Nivel de Filtración	Temp. Interior	Humedad Relativa	Nivel de Presurización	Clase de Área	Cambios de Aire por Hora
		(m ³)	% de DOP	°C	%	mm. C.A.		
1	Recepción	183.4	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	5 – 48
2	Estandarización	234.6	99.95	18-20	45	(+) 1.0	10,000	60 – 90
3	Evaporización	259.4	99.95	18-20	35	(+) 1.2	10,000	60 – 90
4	Pulverización	194.5	99.95	40 +/- 5	35	(+) 1.2	10,000	60 – 90
5	Envasado	116.13	99.997	20 +/- 2	35 +/- 5	(+) 2.54	100	240 – 480
6	Etiquetado y empaque	209.9	99.95	26 +/- 2	35	(+) 1.5	10,000	60 – 90
7	Vestidor	29.2	99.997	22 +/- 4	40	(+) 1.5	100	240 – 480
8	Esclusa personal	45.0	99.997	18-20	40	(+) 1.0	100	240 – 480
9	Air lock	41.9	99.997	26 +/- 4	40	(+) 2.0	100	240 – 480
10	Esclusa materiales	19.4	99.95	18-20	40	(+) 1.5	100	240 – 480
11	Almacén de materiales	105.8	99.95	18-20	45	(+) 1.2	10,000	NA
12	Pasillo supervisión	152.64	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	NA
13	Oficina	240.4	95	18-20	45	(+) 1.2	100,000	NA
14	Laboratorio	15.8	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	NA
15	Oficina	18.8	95	18-20	45	(+) 1.2	100,000	NA
16	Almacén general	833.1	NA	30	Ambiente	NA	NA	NA
17	Baños	31.0	NA	Ambiente	Ambiente	NA	NA	NA
18	Pasillo carga		NA	Ambiente	Ambiente	NA	NA	NA

Tabla 3.1 Condiciones internas de las áreas del proceso de fabricación y envasado de leche en polvo.

Control de humedad.

La segunda variable en importancia para el cuarto limpio es la humedad. Existen sensores de humedad relativa para pared y para ducto; en este caso se utilizan sensores de humedad de pared, porque la humedad que interesa es la del cuarto en donde se está envasando polvo (leche en polvo) y la ganancia de humedad perjudica la calidad del producto; por lo tanto se propone instalar un sensor de humedad en cada

pared del cuarto para obtener un promedio de humedad preciso que active el ciclo de deshumidificación. En la figura 6.10 se representan los sensores con el número 12.

El ciclo de deshumidificación, abre totalmente la válvula de agua helada (2) y mantiene la válvula de agua caliente (1) abierta proporcionalmente al cambio de temperatura.

La válvula de agua helada se abre totalmente para bajar la temperatura de la superficie del serpentín de enfriamiento, para que cuando pase el aire lo enfríe hasta la temperatura de rocío y de esta forma el agua que contiene quede sobre la superficie del serpentín. Con esto se ha logrado deshumidificar el aire pero también ha disminuido su temperatura, por lo que es necesario abrir la válvula de agua caliente para que aumente la temperatura del aire y mantenga la temperatura deseada en el cuarto.

Este ciclo de deshumidificación entra cuando la humedad alcanza 40% (HR) y se apaga cuando la humedad en el cuarto iguale al punto de ajuste (35% HR). Por el contrario, si la humedad baja a 30% (HR), el controlador enciende el humidificador y este se mantiene encendido hasta que la humedad alcanza al punto de ajuste.

Si se emplean términos de control el párrafo anterior se resume a: El control de humedad tiene un punto de ajuste de 35 % HR con una banda muerta de 10% HR y una histéresis de 0%HR. (Para el control encendido-apagado)

Control de temperatura.

Debido a que el cuarto limpio tiene una superficie muy grande (38.71 m^2) y su temperatura puede variar de un extremo a otro, se colocaron dos sensores de temperatura, uno en cada extremo del cuarto y alejados de los difusores de aire. En la figura 6.10 se representan con el número (13). La temperatura promedio brindada por los sensores sirve para controlar la apertura de los actuadores de agua caliente y agua fría en la manejadora de aire, y mantener una temperatura a la inyección de la UMA adecuada para que el cuarto logre una temperatura promedio de 20°C , que es la temperatura requerida según la tabla 3.1

Si la temperatura del cuarto limpio baja más de 2°C, con respecto al punto de ajuste (20°C), el actuador de la válvula de agua caliente abre proporcionalmente (control PI) al cambio de temperatura y el actuador de la válvula de agua fría cierra completamente. Si la temperatura del cuarto limpio ya subió 2.0°C, es decir igualó el punto de ajuste, los dos actuadores se mantienen cerrados.

Sucede lo contrario si la temperatura del cuarto limpio sube más de 2°C, con respecto al punto de ajuste, el actuador de la válvula de agua caliente cierra y el de la válvula de agua fría abre proporcionalmente al cambio de temperatura. Los dos actuadores: válvula de agua caliente y agua fría se mantienen cerrados, cuando la temperatura ha igualado el punto de ajuste.

Si se emplean nuevamente términos de control, los dos párrafos anteriores se resumen a: El control de la temperatura tiene un punto de ajuste de 20°C con una banda proporcional de 4°C.

Supervisión de filtros.

En la Unidad Manejadora de Aire existe un paquete de filtros con diferentes capacidades: 30%, 45% y 80% de eficiencia, los cuales están supervisados por un sensor de presión diferencial (7) que indica la caída de presión en un rango de 0 a 1" C.A; así que el usuario puede supervisar el valor de la caída de presión y anticipar un cambio de filtros, para que no alcance un valor alto que perjudique el consumo de energía del ventilador de la UMA.

VI.7. REQUISITOS PARA OPERACIÓN EN EL CUARTO LIMPIO

VI.7.1. PERSONAL.

Uniformes.

El personal deberá utilizar uniformes esterilizados consistentes en overol completo ajustado hasta los tobillos y las muñecas y cerrado al frente con una cremallera o dispositivo similar, pero no botones. Se usará también una escafandra o capucha que

cubra toda la cabeza y cuya parte inferior penetrará debajo del overol, así como cubrecalzado que se ajustará adecuadamente a la altura del tobillo, por encima del pantalón.

Son variados los materiales que pueden utilizarse para confeccionar los uniformes, pero siempre se preferirán aquellos que liberen pocas partículas como son las telas de fibras sintéticas y algunas combinaciones de éstas con algodón. Adicionalmente, el personal utilizará guantes de cirujano y cubre-bocas desechables estériles. Cuando el proceso así lo amerite, empleará un visor de seguridad.

El uniforme deberá ser esterilizado antes de ser usado por el personal y deberá ser repuesto por otro sin utilizar y estéril si el personal abandona temporalmente el Cuarto y regresa de nuevo al mismo.

Deberá existir un manual con la rutina para vestir el uniforme del Cuarto Limpio.

Se utilizará un cubículo anexo al Cuarto Limpio que sirva como vestidor para el cambio del uniforme normal de trabajo por el uniforme del Cuarto Limpio.

Esta operación deberá realizarse teniendo extremo cuidado de no contaminar el uniforme estéril. Previo a esta operación, el personal deberá haber eliminado cualquier cosmético facial así como el esmalte de uñas, de la misma manera se retirarán todas las alhajas. El personal deberá usar las uñas recortadas a fin de no perforar los guantes y seguir el procedimiento quirúrgico de lavado de manos y antebrazos antes de proceder a vestir el uniforme del Cuarto Limpio.

VI.7.2. FLUJO DE PERSONAL.

El personal que opera en el Cuarto Limpio se desplazará de la esclusa de personal (Figura 6.11), al vestidor del Cuarto Limpio (2) en donde entrará a través de un paso con doble puerta, procediendo después a colocarse el uniforme conforme a los procedimientos adecuados establecidos antes de entrar al Cuarto Limpio. Con el uniforme colocado, el personal pasará al cuarto limpio (4).

Una vez terminada la labor, regresará al vestidor del Cuarto Limpio, en donde dejará los uniformes, botas, cofias usados en forma tal que se evite la diseminación de contaminantes si se han llenado polvos.

El flujo del personal dentro del Cuarto Limpio (figura 6.11). deberá ser dispuesto en forma tal que se tenga que hacer el mínimo de desplazamientos, evitando el cruce con el flujo de materiales y con el flujo de los demás operarios que trabajan en la zona.



Figura 6.11 Flujo del personal dentro del cuarto limpio.

VI.7.3. FLUJO DE MATERIALES.

Los materiales que ingresan al Cuarto Limpio serán sólo aquellos que sirvan para efectuar el proceso del producto; de esta manera se pueden encontrar distintos tipos de materiales y cada uno de ellos recibirá un tratamiento específico antes de su ingreso al Cuarto Limpio (figura 6.12)



Figura 6.12 Flujo de materiales en el cuarto limpio

Envases Primarios:

El flujo sugerido a seguir con estos materiales es el siguiente: desempaque, lavado y esterilización. En el caso de materiales que así lo requieran, se les dará un tratamiento de despirogenización.

Siendo la esterilización el último paso antes de entrar al Cuarto Limpio, se recomienda que el ingreso de envases primarios esterilizados al Cuarto Limpio sea a través de hornos y/o autoclaves dotados con doble puerta.

Alternativamente, podrán usarse pasos de materiales. En uno y otro caso el material estéril se introducirá en el área en cajas esterilizadas de acero inoxidable o de otro material adecuado.

Los recipientes no se abrirán, sino hasta el momento de uso, dándoles un período máximo de espera de 48 a 72 hrs , transcurrido este periodo, si no han sido abiertos, deberán ser esterilizados nuevamente.

Rutinas similares se seguirán en caso de esterilización de envases o tapas por fumigación.

Es importante hacer notar que **no es permisible** la presencia del contenedores de cartón o materiales similares dentro del Cuarto Limpio debido primordialmente a la gran cantidad de partículas que estos materiales puedan dejar escapar al ambiente aséptico.

Producto Terminado.

La leche en polvo será identificada de inmediato y deberá abandonar el Cuarto Limpio lo más rápidamente posible, a fin de evitar acumulaciones innecesarias de material dentro de las zonas de trabajo.

VI.7.4 USO DE SANITIZANTES.

Para el adecuado funcionamiento operativo del Cuarto Limpio de envasado de producto, e independientemente del mantenimiento, es necesario realizar sanitizaciones periódicas que coadyuven a preservar las condiciones asépticas en las cuales se operan los diversos procesos, de fabricación y envasado de leche en polvo.

Sanitización.

La adecuada sanitización de las áreas debe ser realizada de tal manera que proteja debidamente todas las superficies del Cuarto Limpio, las superficies externas de los equipos y de todo aquel material de trabajo normal que se encuentre dentro del área.

La sanitización va enfocada prioritariamente al ataque de los posibles microorganismos que puedan encontrarse depositados o adheridos a las partes anteriormente enunciadas.

Ciclado de la Sanitización.

La sanitización se realizará utilizando agentes químicos de diverso origen, pero que tengan siempre un poder bactericida demostrado. Dado que muchos microorganismos pueden crear resistencias al ataque de estos agentes químicos, es recomendable el ciclado de los mismos. Este ciclado usará alternadamente los agentes químicos que utilicen radicales químicos distintos para ejercer su acción, ya que esto dificulta la aparición de microorganismos resistentes.

Registro.

Es necesario llevar una bitácora que documente tanto el ciclado de los agentes sanitizantes como la periodicidad con que se realiza este procedimiento. Este registro será útil en la detección de las fuentes de contaminación, así como en la identificación de los microorganismos que se puedan encontrar con mayor frecuencia

Muchos de los agentes sanitizantes comunes se presentan en forma líquida, por lo que se pueden aplicar por vaporización o por frotamiento. Si éste es el caso, se tendrá especial cuidado que las telas con que éstos se apliquen no liberen partículas que puedan contaminar el medio ambiente.

VI.7.5. EVALUACIÓN RUTINARIA EN EL CUARTO LIMPIO.

Todos los cuartos limpios deben de cumplir con los requisitos mínimos de operación marcados por las normas internacionales y nacionales para el uso y operación de un cuarto limpio para producción de leche en polvo.

Para lo cual es necesario garantizar por medio de operaciones rutinarias de evaluación, todos los sistemas y equipos que componen al cuarto limpio.

La evaluación rutinaria de un cuarto limpio estará dada por los resultados que arrojen las siguientes operaciones:

- **Evaluación de Esterilidad y Sanitización.** Esta puede efectuarse de preferencia empleando dos o más de los siguientes métodos:

- a) Exposición periódica de cajas petri conteniendo medios de cultivo específicos para bacterias y hongos.

Esta prueba es muy útil en la interpretación de las pruebas de esterilidad

- b) Muestreo del aire. Mediante equipo mecánico que permita determinar la contaminación en función del volumen de aire muestreado.
- c) Muestreo de paredes, techos y pisos. Mediante hisopos estériles humedecidos que posteriormente se someten a incubación.

- **Conteo de Partículas Presentes en el Área.** Esta se efectúa empleando equipo electrónico capaz de discriminar la contaminación en función del volumen de aire muestreado, y es útil para determinar si se cumplen los requisitos relativos a la clase de aire correspondiente a la zona muestreada.
- **Medición de estancidad de sellos en filtros terminales, filtros de campanas o módulos.** Mediante la utilización de equipo generador de soles de D.O.P. (ver pruebas de sellado en el anexo del capítulo 4) y fotómetros adecuados.
- **Medición de la velocidad de aire.** Utilizando anemómetros para verificar los volúmenes de aire que entran al cuarto y a las velocidades en el equipo de flujo unidireccional.
- **Verificación de las sobrepresiones existentes entre el cuarto y las demás zonas del Bloque.** Mediante el empleo de manómetros de presión diferencial.
- **Verificación de valores porcentuales de humedad relativa.** Empleando higrómetros adecuados.
- **Verificación de Temperatura.**

Estas operaciones de evaluación deberán efectuarse a intervalos que garanticen el correcto funcionamiento de los sistemas del Cuarto Limpio, debiéndose conservar un registro de cada una de ellas.

VI.7.6. LIMPIEZA IN SITU DEL EQUIPO PARA ENVASADO DE LECHE EN POLVO.

Las instalaciones de manipulación y elaboración de leche en polvo requieren una limpieza frecuente. Desmontarlas para ello supone de largos tiempos muertos y mucha mano de obra. El montaje y desmontaje repetido puede ocasionar, además, averías mecánicas y exige mayores gastos de mantenimiento. La limpieza manual de las superficies interiores de los tanques de gran capacidad, es ardua y aún los operarios más concientes y meticulosos pueden dejar pequeñas bolsas de suciedad que conducen a la alteración o deterioro del producto.

Para evitar los inconvenientes inherentes al desmantelamiento, se ha desarrollado la limpieza in situ. Las técnicas de limpieza in situ permiten alcanzar altos estándares higiénicos, equivalentes a los logrados en el desmantelamiento y limpieza manual de las tuberías, permiten controlar mejor el uso de productos químicos peligrosos y un uso más económico de los mismos.

La organización precisa del sistema de limpieza depende de la complejidad de la fábrica. En esencia, lo que se hace es preparar una disolución en un depósito de almacenamiento desde donde se impulsa a través del sistema. En condiciones normales de operación, el depósito y las conducciones a través de las que se impulsan las disoluciones de limpieza deben ser aislados para evitar la fuga de las disoluciones de productos químicos y su contacto con las corrientes del alimento. Esto se consigue incorporando piezas claves removibles que completen una línea de flujo, pero no las dos, o separando ambos sistemas por medio de válvulas de aislamiento separadas por un tubo de drenaje, abierto cuando el sistema de producción está en funcionamiento. Tan pronto como se pueda, al término del funcionamiento del sistema de producción, se aíslan los tanques de almacenamiento de materia prima y producto acabado.

Según el grado de suciedad de las superficies, las disoluciones utilizadas se drenan a los sistemas de drenaje o se recogen en tanques de recuperación para su uso posterior, se han desarrollado así, sistemas de un sólo uso, sistemas de reutilización y sistemas de uso múltiple, estos sistemas se pueden automatizar para alcanzar altos niveles de higiene.

PROPUESTA DE DISEÑO DEL CUARTO LIMPIO.

Producto: Leche en polvo.

Proceso donde aplica el cuarto limpio Envasado y gasificación de leche en polvo.

Características del cuarto: Ver la siguiente tabla.

# de área	Nombre de área	Vol. (m ³)	Nivel de Filtración % de DOP	Temp. Interior °C	Humedad Relativa %	Nivel de Presurización mm. C.A.	Clase de Área	Cambios de Aire por Hora
1	Recepción	183.4	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	5 – 48
2	Estandarización	234.6	99.95	18-20	45	(+) 1.0	10,000	60 – 90
3	Evaporización	259.4	99.95	18-20	35	(+) 1.2	10,000	60 – 90
4	Pulverización	194.5	99.95	40 + / - 5	35	(+) 1.2	10,000	60 – 90
5	Envasado	116.13	99.997	20 + / - 2	35 + / - 5	(+) 2.54	100	240 – 480
6	Etiquetado y empaque	209.9	99.95	26 + / - 2	35	(+) 1.5	10,000	60 – 90
7	Vestidor	29.2	99.997	22 + / - 4	40	(+) 1.5	100	240 – 480
8	Esclusa personal	45.0	99.997	18-20	40	(+) 1.0	100	240 – 480
9	Air lock	41.9	99.997	26 + / - 4	40	(+) 2.0	100	240 – 480
10	Esclusa materiales	19.4	99.95	18-20	40	(+) 1.5	100	240 – 480
11	Almacén de materiales	105.8	99.95	18-20	45	(+) 1.2	10,000	NA
12	Pasillo supervisión	152.64	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	NA
13	Oficina	240.4	95	18-20	45	(+) 1.2	100,000	NA
14	Laboratorio	15.8	95	18-20	45	(+) 1.0	100,000	NA
15	Oficina	18.8	95	18-20	45	(+) 1.2	100,000	NA
16	Almacén general	833.1	NA	30	Ambiente	NA	NA	NA
17	Baños	31.0	NA	Ambiente	Ambiente	NA	NA	NA
18	Pasillo carga		NA	Ambiente	Ambiente	NA	NA	NA

Materiales de construcción del cuarto limpio.

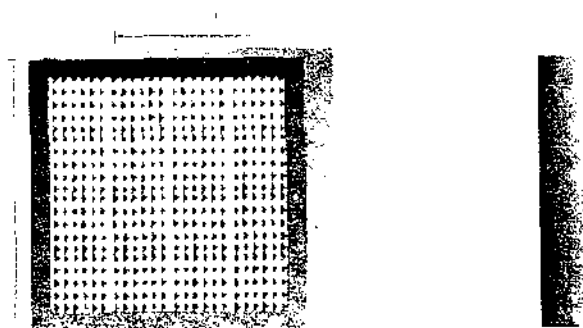
ELEMENTOS DEL CUARTO LIMPIO	MATERIALES QUE LOS COMPONENTEN
PAREDES	Tabique rojo de 150mm, aplanado con mortero de 12.7 mm de espesor por el lado exterior, con acabado tipo esponja y pintura color claro y del lado interior con mortero de 12.7 mm con acabado pulido y pintura epóxica color claro mate de 1.5 mm de espesor (Construcción "in situ").
TECHO	Concreto colado de 150 mm y aplanado de mortero de 12.7mm de espesor, pulido por el lado interior y cubierto con pintura, Epóxica. Así como aplanado con mortero de 12.7 mm por el lado exterior acabado esponja (Construcción "in situ").
PLAFON	El plafón será formado por el banco de filtros HEPA que irán soportados del techo. (Techado enmallado)
PISO	Concreto monolítico de 120 mm y pintura epóxica.
VENTANAS	Marco de aluminio y cristal transparente de 6 mm.
PUERTAS	Construidas a base de panel aislante de poliuretano de 38 mm de espesor y cubiertas de lamina de acero al carbón, calibre 26 y pintura color claro mate epóxica, con marco de aluminio.

Sistema de filtración.

Tipo de filtros HEPA eficiencia 99.997 %

MODELO	CAP. DE OPERACIÓN		DIMENSIONES EN PULGADAS Y CENTIMETROS			VELOCIDAD DE FLUJO	
	M ³ /HR	P.C.M.	A	B	C	M/min	P.X.min
*4	1020	600	24	24	5 7/8	45.72	150
			60.96	60.96	14.92		
*5	1870	1100	24	24	11 1/2	83.82	275
			60.96	60.96	29.21		
*6	2337	1375	24	30	11 1/2	83.82	275
			60.96	76.2	29.21		

Donde:



Volumen de aire a manejar = 16, 402.2 cfm.

Número de filtros:

Tipo de Filtro	Capacidad de Operación (ft ³ /min)	Área del filtro (ft ²)	Gasto del Filtro (ft ³ /min)	Velocidad de salida en la cara del filtro (ft/s)	# de filtros
4	600	4	585.79	2.44	28
5	1100	4	585.79	2.44	28
6	1375	6.66	1366.85	3.42	12

Cambios de aire por hora del cuarto limpio

CLASE Normas ISO (Fed. Estándar 209E)	FLUJO DE AIRE	VELOCIDAD M/s	CAMBIOS DE AIRE POR HORA
ISO 8 (100 000)	N / M	0.0051 - 0.041	5—48
ISO 7 (10 000)	N / M	0.051—0.076	60—90
ISO 6 (1 000)	N / M	0.127—0.203	150—240
ISO 5 (100)	U / N / M	0.203—0.410	240—480
ISO 4 (10)	U	0.254—0.460	300—540
ISO 3 (1)	U	0.305—0.460	360—540
MENOR A ISO 3 (1)	U	0.305—0.508	360—600

U = flujo unidireccional.

N = flujo No Unidireccional.

M = flujo mixto.

Sistema de acondicionamiento de aire:

Condiciones internas de la sala de envasado de leche en polvo.		
	RANGO	TIPO
NIVEL DE FILTRACIÓN	99.997%	CLASE 100
TEMPERATURA	20 ± 2° C	
HUMEDAD RELATIVA	35 ± 5%	
PRESION DIFERENCIAL	2.5 mm CA.	PRESION POSITIVA
MOVIMIENTO DE AIRE	240-480 CAPH	UNIDIRECCIONAL/MIXTO

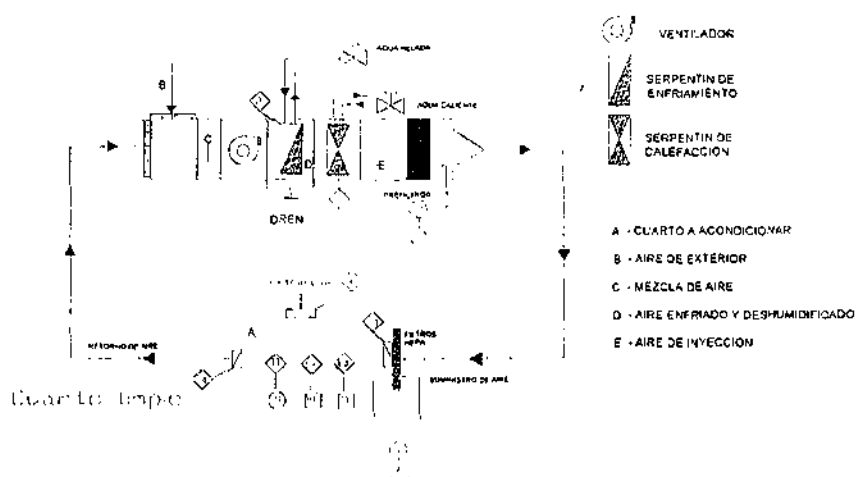
Condiciones externas de la sala de Envasado		
Lugar	México D.F.	
Latitud	19° 25' N	
Longitud	99° 10' W	
Altura sobre el nivel de mar	2240 m	
Presión barométrica	585 mm Hg	
	Verano	Invierno
Temperatura de bulbo seco	31° C	0° C

Temperatura de bulbo húmedo	17° C	
% de humedad relativa	23 %	
Humedad específica	66.18 g/lb de aire seco	

Ganancia de calor de la sala de envasado:

	Ganancia de calor sensible [BTU/h]	Ganancia de calor latente [BTU/h]
Ganancia de calor debido a la transmisión a través de barreras.	11, 703.65	0
Ganancia de calor debido al alumbrado	2, 878.99	0
Ganancia de calor debido al personal	1, 091.89	1, 910.80
Ganancia de calor debido al producto	3, 211.68	0
Ganancia de calor debida al equipo	19, 430.24	0
Ganancia de calor debida al aire exterior	45, 920.02	23, 265.12
Totales	84, 236.47	25, 175.92

Toneladas de refrigeración para abatir la carga de calor total = 9.12 Tr.



Controles y procedimientos: Se describen en el capítulo VI.

AL SEGUIR EL MÉTODO DE DISEÑO PROPUESTO, SE PUEDEN OBTENER LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AMBIENTE Y PARTÍCULAS EN EL CUARTO LIMPIO, INCREMENTANDO LA CALIDAD DEL PRODUCTO CON LO QUE SE ALCANZA EL OBJETIVO FIJADO PARA ESTA TESIS.

EL MÉTODO DE DISEÑO PROPUESTO SE RESUME DEL SIGUIENTE MODO:

1. DEFINIR EL PRODUCTO
2. DEFINIR EL PROCESO O ETAPA DEL PROCESO DONDE APLICA EL CUARTO LIMPIO
3. DEFINIR EL TIPO Y CLASE DE CUARTO REQUERIDO
4. DEFINIR ESPECIFICACIONES DE LAS VARIABLES A CONTROLAR.
 - 4.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (TIPOS Y FORMAS)
 - 4.2. SISTEMA DE FILTRACIÓN
 - 4.2.1. CAMBIOS DE AIRE
 - 4.2.2. VOLUMEN DE AIRE
 - 4.2.3. TIPOS DE FILTROS
 - 4.2.4. VELOCIDADES DE INYECCIÓN Y PRESURIZACION
 - 4.3. SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE
 - 4.3.1. TEMPERATURA
 - 4.3.2. HUMEDAD
5. CONTROLES
6. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

EL MÉTODO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE CUARTOS LIMPIOS, INICIA CON EL ANALISIS DE LAS ETAPAS QUE TIENE EL PRODUCTO POR FABRICAR, LOS REQUERIMIENTOS DEL AMBIENTE, PRODUCCIÓN, PROCESO Y ESPACIO ASÍ COMO LAS NECESIDADES DE DISTRIBUCIÓN. ESTAS CARACTERÍSTICAS DEBEN ANALIZARSE PARA OBTENER UN DISEÑO ADECUADO DEL CUARTO LIMPIO

ADEMÁS, DE LO PROPUESTO EN LOS CAPÍTULOES ANTERIORES EN LO REFERENTE A CUARTOS LIMPIOS Y SUS CARACTERISTICAS, SE CONCLUYE QUE EL TRABAJO DESARROLLADO SE PUEDE APLICAR NO SOLO A SALAS DE ENVASADO DE LECHE EN POLVO COMO FUE EL CASO, SINO QUE CON LOS

PROCEDIMIENTOS EXPUESTOS, LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE AIRE TAMBIEN SON APLICABLES A TODOS LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS QUE NECESITEN AIRE CONTROLADO EN CUANTO A LA CANTIDAD DE PARTICULAS QUE CONTIENE.

EL PROCEDIMIENTO ES APLICABLE A LA CONSTRUCCIÓN DE CUARTOS LIMPIOS DE DIFERENTES CLASES Y ESTOS A SU VEZ SON APLICABLES A TODO TIPO DE INDUSTRIA.

COMO SE MENCIONO EN LOS CAPITULOS 2, 3 Y 4 LA CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE UN CUARTO LIMPIO SE DEFINE POR LA CANTIDAD DE PARTICULAS QUE CONTIENE EL AIRE ASI COMO POR LAS VECES QUE ESTE ES CAMBIADO EN EL CUARTO LIMPIO.

LA IMPORTANCIA QUE TIENE EL VOLUMEN DE AIRE A MANEJAR ES LA DIFERENCIA PRINCIPAL ENTRE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AIRE, MIENTRAS QUE EN UNO LO QUE SE TIENE QUE VENCER ES LA CANTIDAD DE CALOR GANADA, EN EL OTRO LO QUE TIENE QUE VENCER SON LOS POSIBLES CASOS DE CONTAMINACIÓN POR PARTICULAS YA SEA POR GENERACIÓN DE ESTAS DENTRO DEL MISMO CUARTO O POR INGRESO DE PARTICULAS DEL EXTERIOR.

LAS CARACTERÍSTICAS DEL CUARTO LIMPIO MENCIONADAS EN DICHOS CAPITULOS VARIAN DE DIFERENTE MANERA Y ESTAS CARACTERÍSTICAS SON; TEMPERATURA, HUMEDAD, PRESURIZACION Y CONTENIDO DE PARTICULAS EN EL AIRE, SIENDO LA MAS IMPORTANTE DE UN CUARTO LIMPIO LA DEL CONTENIDO DE PARTICULAS EN EL AIRE

DENTRO DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO, SE PROPONE EL PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL VOLUMEN DE AIRE Y LA FORMA DE FILTRARLO PARA SATISFACER LAS CARACTERÍSTICAS QUE LE CONFIEREN AL CUARTO LIMPIO, LOS REQUERIMIENTOS DEL PRODUCTO Y PROCESO PRODUCTIVO.

EN ESTA TESIS UN DISEÑADOR DE CUARTOS LIMPIOS PUEDE ENCONTRAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PAREDES PREFABRICADAS Y ENSAMBLADAS EN SITIO, QUE SON MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN MODERNOS QUE DEBEN EMPEZAR A IMPLEMENTARSE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CUARTOS LIMPIOS DE NUESTRO PAÍS, PRINCIPALMENTE LAS REMODELACIONES, DEBEN DE APROVECHAR EL ENSAMBLE IN SITU PARA DISMINUIR TIEMPOS Y EL POLVO OCASIONADO POR LA CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL QUE PUEDE LLEGAR A CONTAMINAR LAS DIFERENTES ÁREAS DE UNA PLANTA EN PRODUCCIÓN.

1. Hernández, Eduardo, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, México, LIMUSA, 1999, 461 pp.
2. Howell, Ronald H, Sauer, Harry J, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning, Estados Unidos, 1998.
3. Pita, Edward G., Acondicionamiento de aire principios y sistemas, México, CECSA, 1994, 548 pp.
4. The Dehumidification Handbook, Estados Unidos, 1990.
5. Whyte, W, Clean room design, Inglaterra, 1999.
6. De Bengoechea, Rodrigo. Apuntes del curso: "Proyecto en sistema de aire acondicionado"
7. Honeywell, Engineering Manual of Automatic Control for Commercial Buildings, Estados Unidos, 1997
8. Air-Conditioning and Refrigeration Institute, Manual de refrigeración y aire acondicionado, México, Prentice Hall, 1987, Tomo 2.
9. Instituto Politécnico Nacional, Curso de evaluación y validación de sistemas críticos en áreas asépticas, México, Asociación farmacéutica politécnica, 1992.
10. Comisión interinstitucional de prácticas adecuadas de manufactura (CIPAM), Guía de prácticas adecuadas de manufactura para cuartos limpios, 1988-1989
11. Morrow L.C., Enciclopedia de mantenimiento industrial Tomo III.
12. Devechy ingenieros VECO, Catálogo de filtros absolutos
13. Federal Standard Airborne particulate cleanliness classes in cleanrooms and clean zones. 1992.
14. Alfa-Laval AB, Dairy Handbook Dairy and Food Engineering Division.
15. ASHRAE Handbook, HVAC Applications, 1991
16. Westinghouse, Manual del Alumbrado, Ed Dossat, 4ª Ed

Anexo del capítulo 3.

Niveles de iluminación.

Una iluminación adecuada es muy importante para lograr un ambiente confortable que haga del trabajo una actividad agradable, lo que conlleva una mejor calidad y una productividad alta.

A continuación aparece una lista de niveles de iluminación recomendados para diversas tareas e interiores, publicada en el informe # 29 por la Comisión Internacional de Iluminación. ("International Commission of Illumination")

Los valores de la tabla corresponden a los niveles de iluminación medidos en medio del período transcurrido entre la puesta en servicio de la instalación y el primer mantenimiento. Se refieren al promedio interior considerado globalmente y a un plano horizontal de trabajo situado a 75 centímetros por encima del nivel del suelo. Cuando la zona de trabajo está en diferente posición, el nivel de iluminación recomendado debe considerarse en dicha posición. El valor en cualquier puesto de trabajo y en cualquier momento no debe ser menor de 0.6 veces al recomendado.

Al especificar el nivel de iluminación de cierta área para cierta tarea se deben considerar otros aspectos además del económico, entre otros:

Es conveniente que en proyectos grandes se consulten varias fuentes (Phillips, 1983; Ramírez Vázquez, 1979; Westinghouse, 1985).

	Nivel de iluminación (luxes)
Zonas generales de edificios.	
Zonas de circulación (pasillos)	100
Escaleras fijas y eléctricas	150
Roperos y lavabos	150
Almacenes y archivos	150
Oficinas.	
Oficinas normales, mecanografiado y salas de proceso de datos	500
Oficinas generales extensas	750
Salas de dibujo	750
Salas de conferencias	500

Laboratorios y farmacias:

General	500
Local	750

Plantas de proceso.

Zonas generales del interior de la planta	300
Procesos automatizados	150
Zonas de control y laboratorios	500
Manufacturas farmacéuticas	500
Inspección	750
Comprobación de colores	1000

Industria alimentaria.

Zonas generales de trabajo	300
Procesos automáticos	200
Aderezo manual, inspección	500

Anexo del capítulo 4.

Pruebas de filtros de alta eficiencia.

Los filtros de alta eficiencia son probados para medir su eficiencia contra partículas de prueba. Existen numerosas pruebas usadas para este propósito. La prueba estándar en los Estados Unidos se detalla a continuación:

Estádar de los Estados Unidos 282 (Mil-Std 282)

Esta prueba es usada para medir el funcionamiento de los filtros HEPA y es descrito en la especificación del ejército de los Estados Unidos Mil-Std 282, "DOP Smoke Penetration and Air Resistance of Filters". Esta especificación describe la operación de un instrumento especial conocido como penetrómetro Q-107 el cual es mostrado en la figura A4.1. El penetrómetro mide la penetración de aerosol a través de un filtro y su resistencia inicial al flujo de aire a un determinado flujo.

La prueba empieza con la manufactura de partículas que son cercanamente homogéneas en tamaño (un diámetro aproximado de $0.2\ \mu\text{m}$). Para probar un filtro típico a $1000\ \text{ft}^3/\text{min}$ ($0.47\ \text{m}^3/\text{s}$) en el penetrómetro Q-107, el aire exterior es atraído dentro de un ducto a $1200\ \text{ft}^3/\text{min}$ ($0.57\ \text{m}^3/\text{s}$) y entonces dividido dentro de tres ductos paralelos a $85\ \text{ft}^3/\text{min}$ ($0.04\ \text{m}^3/\text{s}$), $265\ \text{ft}^3/\text{min}$ ($0.125\ \text{m}^3/\text{s}$), y $850\ \text{ft}^3/\text{min}$ ($0.4\ \text{m}^3/\text{s}$). Como se muestra en la figura A4.1, el ducto superior contiene bancos de calentadores y receptores para contener el material líquido para ser convertido en aerosol. En el desarrollo original de este método de prueba, el material del aerosol seleccionado fue dioctylftalato (DOP). Sin embargo, DOP se ha encontrado como sospechoso de ser cancerígeno y, más recientemente, otros materiales como polyalfaolefin (PAO) y dioctylsebacato (DOS) lo han sustituido. Estos materiales no tienen efectos adversos conocidos para la salud y dan escencialmente resultados de prueba idénticos cuando el fotómetro en el instrumento es calibrado con el mismo material. El ducto central contiene un serpentín de enfriamiento y un banco de elementos de calentamiento. El aire que pasa a través del ducto superior es calentado a aproximadamente $365\ ^\circ\text{F}$ ($185\ ^\circ\text{C}$), y entonces pasa a través de un orificio dentro del recipiente que contiene el material líquido para el aerosol. Esto causa que el líquido se evapore y sea empujado hacia el

flujo de la parte superior y central de los ductos donde es enfriado por el aire frío del centro del ducto. El tamaño nominal de partícula 0.3 μm es controlado manteniendo una temperatura de alrededor de 72° F (22° C) y por incrementar o disminuir la temperatura es posible incrementar o decrementar el tamaño de partícula.

El flujo de aire combinado proveniente de los dos ductos superiores es entonces mezclado con los mismos 850 ft^3/min (0.40 m^3/s) provenientes la parte baja del ducto. Una serie de deflectores mezclan el aerosol (humo) dentro de la corriente de aire, de manera que el aerosol sea uniforme, previo a poner a prueba el filtro. Un ajuste similar de deflectores es localizado en el lado de salida del filtro, siendo probado de manera que mezcle completamente la corriente. Una muestra de corriente superior es tomada y cuando la lectura de la concentración de aerosol esta entre 80 mg/m^3 y 100 mg/m^3 , este valor es aceptado como un 100 % de la prueba. Una lectura (concentración en porcentaje) es ahora tomada corriente abajo del filtro (corriente abajo de los deflectores, de manera que ninguna fuga se mezcle dentro de la corriente) y es comparada con el valor de corriente arriba. Esto se lee como un porcentaje de penetración y cuando se resta del 100%, la eficiencia del filtro es obtenida.

Existen otras pruebas para los filtros de alta eficiencia las cuales debe conocer el diseñador, si va a aplicarlas en otros países¹:

Prueba de flama de sodio (Eurovent 4 /4 y British Standard 3928)

Instituto de ciencias del medio ambiente y tecnología (IEST) practica recomendada.
"Probando filtros ULPA"

Estándar Europeo (EN 1822)

¹ Descritas en el libro: "Cleanroom design, Whyte."

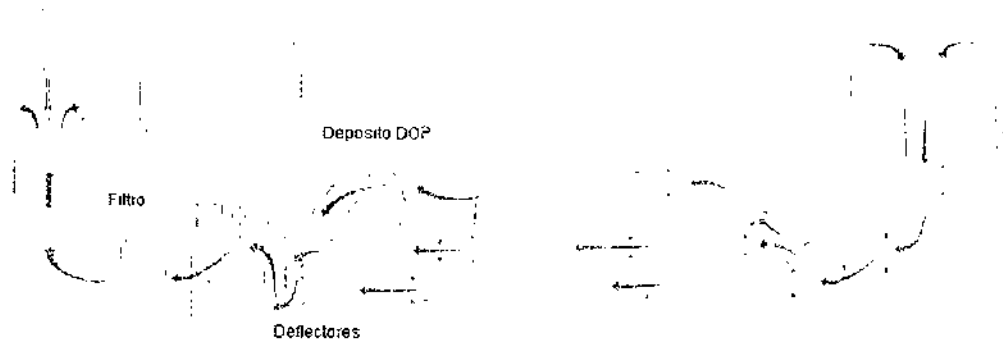


Figura A4.1 Prueba de eficiencia para filtros HEPA.

Hermeticidad de los filtros HEPA.

Gabinetes, sellos para fugas de aire, fluidos de sellado para filtros HEPA.

Gabinetes para filtros de alta eficiencia.

Cuando un filtro de alta eficiencia deja la fabrica donde ha sido manufacturado y probado, este será conveniente para el propósito requerido. Si este ha sido empaçado debidamente y transportado e instalado por personal que está familiarizado con la delicadeza natural del medio filtrante, entonces la integridad del filtro debe mantenerse. Sin embargo, para asegurar que no hay ingreso de aire no filtrado dentro del cuarto limpio, el filtro debe ajustarse dentro de un gabinete bien diseñado. El gabinete debe ser de construcción solida y debe ponerse especial atención en el método del sellado del gabinete. Generalmente, empaques de neopreno se ajustan a los filtros y esto presiona hacia abajo una cara plana del gabinete para prevenir fugas (Figura A4.2). Este método puede ser satisfactorio, pero la distorsión de los filtros o marcos, cuando se proveen o cuando se ajustan, así como empaques defectuosos, pueden causar fugas. Los gabinetes mejor diseñados resuelven estos problemas.

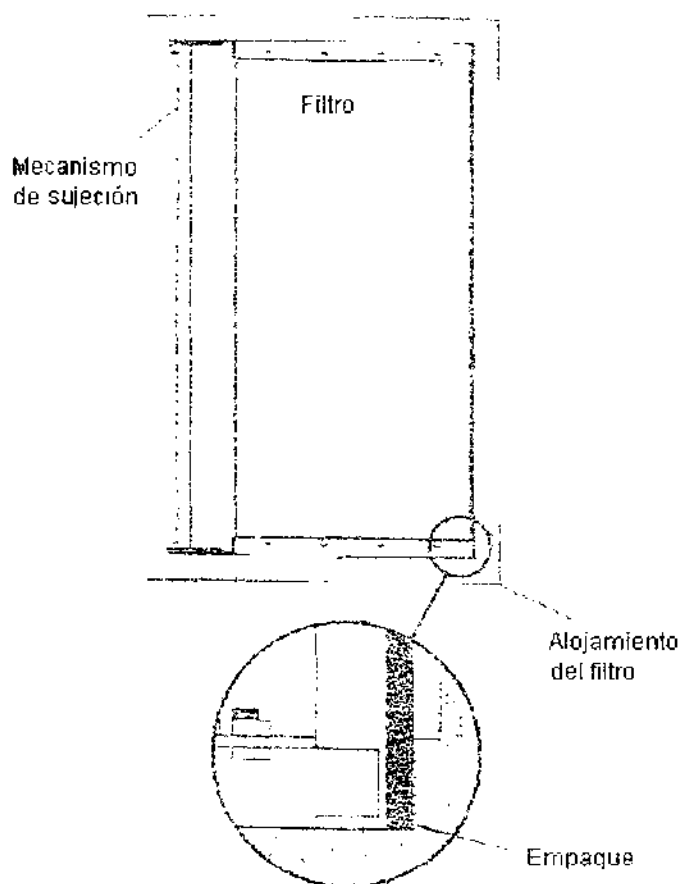


Figura A4.2 Tradicional empaque de neopreno, en un gabinete mostrando el método de sellado en un filtro montado en ducto.

Sello para fugas de aire.

En este método, la base del gabinete del filtro es ajustada con un empaque especial, como se muestra en la figura A4.3. El filtro es entonces ajustado dentro del gabinete y una presión de prueba se aplica. El aire para probar el empaque es bombeado a una presión usual de 2000 Pa. Un incremento máximo de fuga es ajustado y cualquier problema con el empaque del gabinete/filtro puede ser encontrado fácilmente.

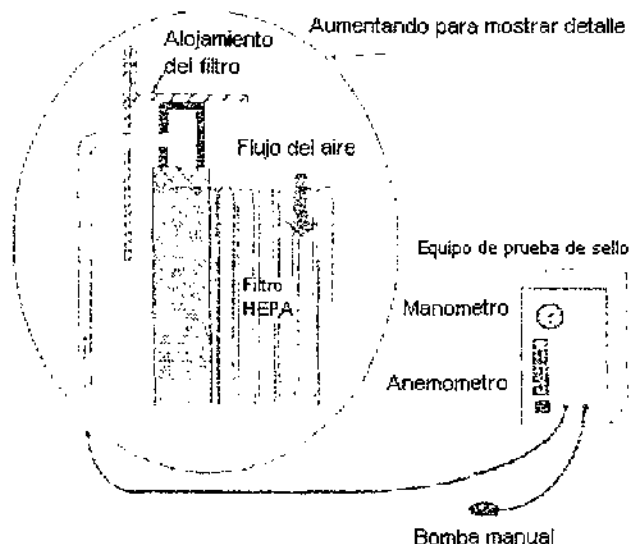


Figura A4.3 Método de prueba de fuga de aire.

Fluido de sellado.

Las figuras A4.4, A4.5 y A4.6 muestran aplicaciones típicas de este método. La figura A4.4 muestra un filtro ajustado con un sello líquido especial, el cual entra en un gabinete que es usado en un sistema convencional de ventilación. Este gabinete se localiza típicamente en el ducto del sistema de inyección. Una pestaña es ajustada hacia el gabinete del filtro, el cual queda dentro del canal de sellado. El líquido fluirá alrededor de la pestaña para dar un sello perfecto, ahora no fluirá fuera del canal. No ocurrirán fugas a través de este filtro hacia el sello del gabinete.

La figura A4.5 muestra un gabinete que es montado en el techo de un sistema convencional de ventilación o en un cuarto limpio de flujo mezclado. El filtro es instalado desde un lado del cuarto y contiene el fluido sellante en un canal alrededor del perímetro del filtro.

La figura A4.6 muestra un techo enmaliado que forma un canal del fluido sellante en el cual son instalados los filtros. El sistema debe ser usado en un cuarto limpio de flujo unidireccional.

El término "líquido sellante" es usado casi universalmente. Sin embargo, este generalmente se refiere a un material conocido como un gel que actualmente es un sólido suave. El material puede ser cualquiera un compuesto de silicón ó uretano que es vaciado dentro del canal del filtro, o marco de montaje ó techo enmallado y que alcanza sus propiedades finales en el lugar. El gel tiene la ventaja de estar disponible para facilitar la remoción y reemplazo del filtro desde el gabinete con cerca del 100% de integridad y una fuerza para sujetarlo muy baja.

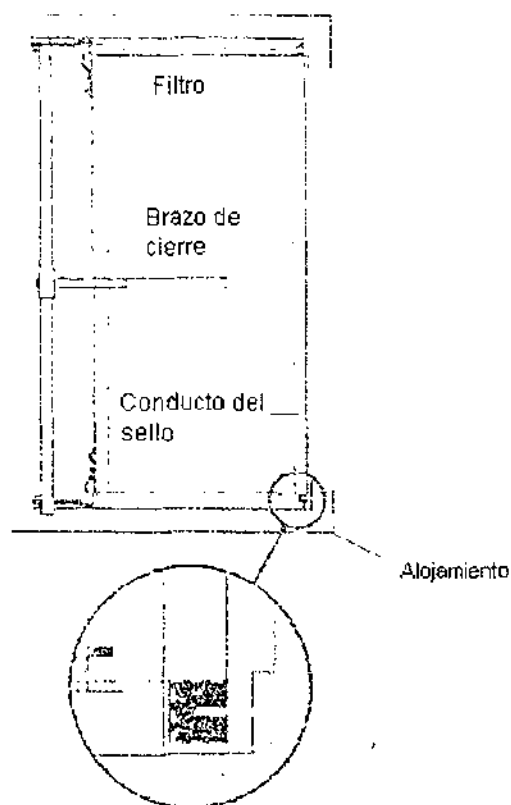


Figura A4.4 Filtro con canal para sello fluido. Gabinete para montaje en ducto usado en un cuarto limpio ventilado convencionalmente.

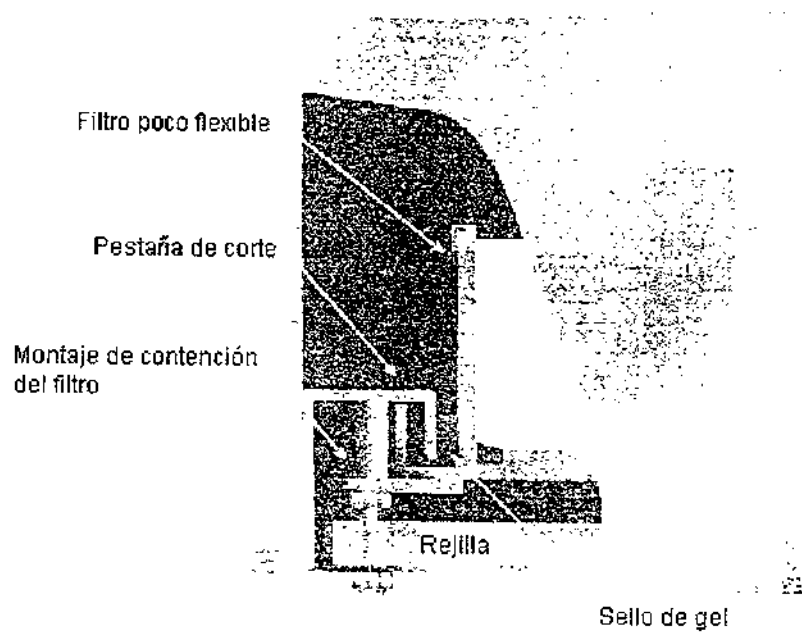


Figura A4.5 Filtro con canal para un sello fluido. Filtro usado en un cuarto limpio ventilado convencionalmente e instalado desde el cuarto.

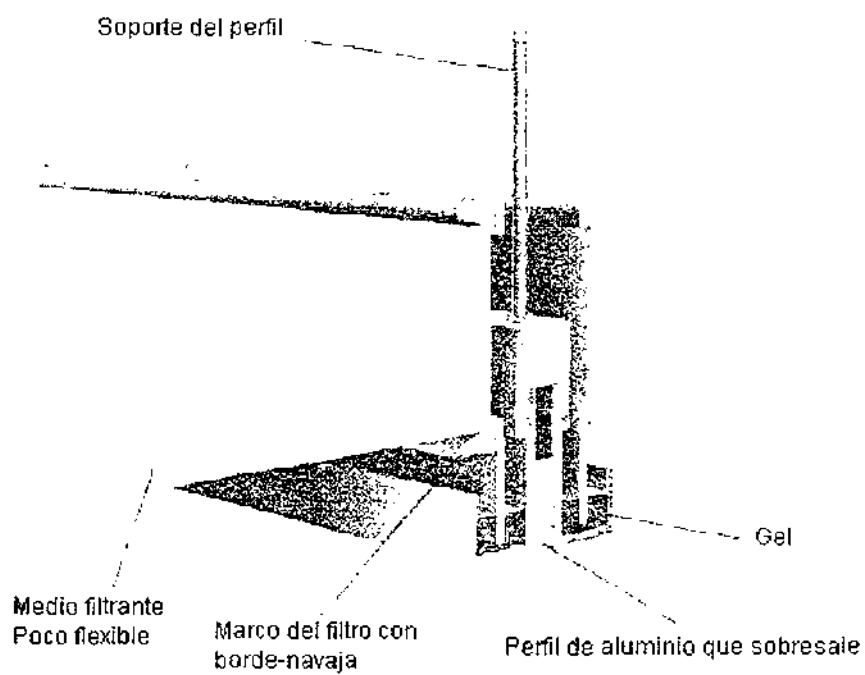


Figura A4.6 Soporte para techo enmallado con canal para un sello fluido. Sistema usado en un cuarto limpio de flujo unidireccional.

Anexo del Capítulo 5.

Anexo 5.a

COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE DIVERSOS MATERIALES

Materiales de construcción	Kg/m³	k
Muro de ladrillo al exterior		0.75
Muro de ladrillo al exterior con recubrimiento impermeable por fuera		0.66
Muro de ladrillo interiores		0.60
Muro de ladrillo comprimido vidriado para acabado aparente, exterior		1.10
Muro de tabique ligero con recubrimiento impermeable por fuera	1,600	0.60
	1,400	0.50
	1,200	0.45
	1,500	0.35
Muro de tabique ligero al exterior	1,600	0.70
Placas de asbesto cemento	1,800	0.50
Siporex al exterior con recubrimiento impermeable por fuera	660	0.18
	510	0.14
	410	0.12
Siporex al interior en espacio seco	660	0.16
	510	0.13
	410	0.11
Concreto armado	2,300	1.50
Concreto pobre al exterior	2,200	1.10
Concreto ligero al interior	1,250	0.60
Muro de tepetate o arenisca calcárea al exterior		0.90
Muro de tepetate o arenisca calcárea al interior		0.80
Muro de adobe al exterior		0.80
Muro de adobes al interior		0.50
Muro de embarro (con paja y carrizo)		0.40
Granito, basalto	2,700	3.00
Piedra de cal, mármol	2,600	2.10
Piedras porosas como arenisca y la caliza blanda o arenosa	2,400	2.00

Rellenos y aislamientos	Kg/m³	k
Tezontle como relleno o terrado seco		0.16
Relleno de tierra, arena o grava expuestos a la lluvia		2.0
Rellenos de terrado, secos, en azoteas		0.50
Arena, seca, limpia	1,700	0.35
Senica de carbón, seco	700	0.20
Siporex despedazado, seco	400	0.13
Escoria, seco	150	0.08
Aserrín relleno suelto, seco	120	0.10
Aserrín relleno empacado, seco	200	0.07
Bolas de plástico celular, empacado, seco	10-20	0.05
Virutas como relleno, seco		0.07
Masa de magnesita, seco	190	0.05
Fibra de vidrio, diámetro de la fibra 6 micras	15-100	0.04
Fibra de vidrio, diámetro de la fibra 20 micras	40-200	0.04
Lana de escoria	35-200	0.04
Lana mineral	35-200	0.04
Plástico celular de poliestireno	15-30	0.035
Cartón ruberoide con brea	1.200	0.20
Cartón ruberoide como aislamiento		0.14
Cartón corrugado, seco, poros horizontales	40	0.04
Piso de corcho comprimido	500	0.07
Placa de corcho expandido, seco	140	0.35
Placa de corcho expandido, seco	210	0.04
Placa de paja comprimido, seco	300	0.08
Celotex	350	0.07
Fibracel, duro, seco	1,000	0.11
Fibracel medio duro, seco	600	0.07
Fibracel, poroso, seco	300	0.045
Poliuretano/espuma	38	0.022
Varios materiales		
Vidrio	2,600	0.70
Madera de encino, seco 90° de la fibra	700	0.14
Madera de pino blanco, seco, 90° de la fibra	500	0.12
Madera de pino blanco, expuesto a la lluvia		0.18
Asfalto para fundir	2,100	0.70
Asfalto bituminoso	1,050	0.15
Linóleo, seco		0.16
Algodón, seco		0.04
Lana pura, seco		0.04
Cascarilla de semilla de algodón, suelta, seca		0.05
Aire	1.2	0.022
Agua	1.00	0.5
Acero y fierro	7,800	45
Cobre	8,900	320

Acabados	Kg/m ³	k
Azulejo y mosaicos		0.90
Aplanado con mortero de cal al exterior		0.75
Aplanado con mortero de cal al interior		0.60
Terrazos y pisos de mortero de cemento		1.50
Yeso		0.138

Anexo 5.b

CAC/CNIC	ESPECIFICACIÓN PARA TEMPERATURAS DE CÁLCULO EN LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DATOS GEOGRÁFICOS MÁS TEMPERATURAS EXTREMAS DE LOS DIFERENTES LUGARES DE LA REPÚBLICA MEXICANA	ESPECIF AA-008-94-000
		FECHA
SIN		DICIEMBRE 94
SIN		FECHA ANTERIOR DE LA ESP 1983

LUGAR DE LA REPÚBLICA	DATOS SITUACIÓN					DATOS DE VERANO			DATOS DE INVIERNO			
	Posición	Geográfica	Altura Sobre	Presión Barométrica		Temp Prom	Temp De Cálculo		Grados-Día	Temp Prom	Temp de	Grados D.ª
	Latitud	Longitud	Nivel del Mar			Ma Ext			Anuales	Min Ext	Cálculo	Anuales
	Norte	Oeste	(m)	mb	mm Hg	(°C)	BS	BH	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)

TO FEDERAL												
xico Chapultepec	19°25'	99°10'	2240	780	585	33.8	31	17	78	-4.8	0	847
xico Tacubaya	19°24'	99°12'	2309	776	582	32.8	30	17		-6.5	-1	860
xico Santa Fe	19°20'	99°14'	2400		575	32.0	330	17	62	-8.0	-2	980
xico Aeropuerto	19°23'	99°11'	2200	766		34.5	31	17	74	-4.0	0	830

NGO												
io	24°01'	104°40'	1898	814	610	35.6	34	17	100	-5.0	0	550
erdo	25°30'	103°32'	1140	869	657	45.0	40	21	1082	-10.0	-5	227
ago Papasquiario	25°02'	105°26'	1740	829	622	42.0	38	21		-14.0	-8	156

AJUATO												
	20°32'	100°49'	1754	828	610	41.5	38	20	657	-4.5	0	136
juato	21°00'	101°15'	2037	801	601	33.8	31	18	49	0.1	5	245
	21°07'	101°41'	1809	822	617	36.5	34	20	192	-2.5	2	176
erra	20°13'	100°53'	1761	827	620	38.0	35	19	337	-2.0	3	40
o	20°40'	101°21'	1724	831	653	38.2	35	19		-1.5	3	

RERO												
co	16°50'	99°53'	3	1013	760	35.8	33	27	2613	15.8	19	
chongo	17°33'	99°30'	1250	878	658	35.2	33	23	434	5.0	9	
	18°33'	99°36'	1755	828	621	36.5	34	20	518	8.0	12	
Zihutanejo	17°58'	101°48'	38	1009	757	44.0	40	27		11.5	14	

GO												
in	20°08'	98°45'	2445	764	563	31.4	29	18		-5.8	-1	1007
ingo	20°05'	98°22'	2181	787	590	34.7	32	19	12	-5.8	-1	849
ca	20°08'	98°45'	2444	764	574	31.5	30	18		-6.0	-1	
lcan	20°29'	99°13'	1745	829	622	41.0	37	19		-9.0	-1	

CO												
ajajara	20°41'	103°20'	1589	844	633	36.0	33	20	204	-3.7	1	164
de Moreno	21°22'	101°56'	1880	816	612	43.2	39	20	574	-3.2	2	162
Vallarta	20°37'	105°15'	2	1013	760	39.0	36	26	2090	11.0	14	
ca	20°34'	104°04'	1235	879	660	39.6	36	24		1.0	5	

CO												
co	19°31'	98°52'	2216	784	588	34.0	32	19	175	-6.0	-1	500
	19°17'	99°39'	2675	743	557	26.8	25	17		-3.0	-2	1570