



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN**

**CONTROL DE CONDICIONES DEL AIRE EN ÁREAS LIMPIAS DE  
PROCESO ALIMENTARIAS A BAJAS TEMPERATURAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**VICTOR MIGUEL ALVAREZ HERNÁNDEZ**

**ASESOR:**

**I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**



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.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por hacerme tan afortunado dándome tanto al nacer y a cada momento, por las personas que ha puesto en mi vida y de las que me ha dejado aprender, por los valores que he aprendido basados en la doctrina cristiana y que me impulsan a obrar con dedicación, respeto y amor...por todo.

I.A. Javier Moreno, quien imparte el paquete terminal de Ingeniería de Refrigeración y Congelación y propuso el tema de esta tesis asesorándola en el inicio de su desarrollo y aportando material informativo muy valioso.

A Elisa Hernández Cervera e Hipólito Álvarez Molina, mis padres, por haberme dado una educación honorable con su esfuerzo y ejemplo.

A los que me han enseñado el valor de la familia con su apoyo.

A los verdaderos amigos.

A todas las personas que han influido en forma positiva a mi formación.

A quien me motivó a dar este último paso por mi futuro.

Con especial reconocimiento a Trinidad Cervera, Esperanza Molina, Victoriano Alvarez, Carmen Molino del Viento (WD), Familia Suárez Molina, Daniel, Rosalba, Elba y Avelina M.

Mi aprecio y respeto.

Con tantos ángeles y dichas... ¡cómo no creer en Dios!

## **DEDICATORIA**

A Ma. Berenice, quien merece mi respeto por el buen comportamiento con que se desenvuelve en la vida y la dedicación que pone a sus deberes.

A Rocío de Jesús, esperando que el ejemplo de sus hermanos logre despertar en ella un deseo de superación para su bienestar.

## **PENSAMIENTO**

Que una persona comparta su conocimiento y sea generosa con todos y con la naturaleza la hace digna de un gran respeto.

---

# Índice

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	6
<b>1. PARTICULARIDADES DEL AIRE</b>	<b>7</b>
1.1. Propiedades psicrométricas	7
1.1.1. Temperatura de bulbo seco (Tbs)	7
1.1.2. Temperatura húmeda o de bulbo húmedo (Tbh)	8
1.1.3. Temperatura de rocío o de punto de rocío (Tr)	8
1.1.4. Humedad relativa; porcentaje (Hr)	9
1.1.5. Humedad específica o absoluta (W)	9
1.1.6. Entalpía (H)	10
1.1.7. Volumen específico (ve)	10
1.2. Contaminantes del aire	11
1.3. Control de condiciones del aire	13
1.4. Sistemas de control de condiciones del aire	13
1.5. Procesos en el enfriamiento del aire	13
1.5.1. Enfriamiento sensible	15
1.5.2. Enfriamiento y deshumidificación	17
1.5.3. Mezclado de aire a diferentes condiciones	21
<b>2. SISTEMA DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y CONTROL DE PUNTOS CRÍTICOS (HACCP)</b>	<b>25</b>
2.1. Fundamentos	25
2.2. Principios generales	26
2.3. Necesidades de implementación	28
<b>3. ÁREAS DE PROCESO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA</b>	<b>30</b>
3.1. Carnes	30
3.1.1. Matadero y sala de despiece de carnes	31
3.2. Aves	41
3.3. Productos lácteos	41

---

<b>4. SISTEMAS DE CONTROL DE CONDICIONES DEL AIRE</b>	<b>44</b>
4.1. Clasificación común	45
4.1.1. Sistemas individuales	46
4.1.2. Sistemas espacio-acondicionado	47
4.1.3. Sistemas unidad empacada	47
4.1.4. Sistemas centrales	50
4.2. Cuartos limpios	53
4.2.1. Clasificación	54
4.2.2. Tipos de cuartos limpios	58
4.2.3. Contraste respecto a sistemas convencionales	65
<b>5. DISEÑO DE CUARTOS LIMPIOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS</b>	<b>69</b>
5.1. Factores de diseño	71
5.1.1. Limpieza del aire	72
5.1.2. Distribución de áreas	72
5.1.3. Dirección de flujo de aire	76
5.1.4. Filtración	80
5.1.5. Cantidad de flujo de aire	85
5.1.6. Presurización	87
5.1.7. Sistema para el movimiento del aire	89
5.2. Construcción, servicios y equipamiento	101
<b>Conclusiones</b>	<b>103</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>104</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>105</b>
<b>Anexos</b>	
Anexo A. Cuadro sinóptico de la aplicación matadero con sala de despiece de carnes	
Anexo B. Enfriadores centrífugos	
Anexo C. Condiciones de funcionamiento de AHUs en diferentes áreas de procesado de alimentos	

## Índice de figuras

<i>Figura</i>	<i>Pág.</i>
<b>1. Partículas contaminantes típicas, tamaño y visibilidad.</b>	11
<b>2. Dispersión de partículas en relación al movimiento.</b>	12
<b>3. Proceso de enfriamiento sensible: (1) condición inicial y (2) final.</b>	16
<b>4. Proceso de enfriamiento y deshumidificación.</b>	19
5. Esquema general de un Sistema de Acondicionamiento de Aire.	21
6. Proceso de mezcla de aire a diferentes condiciones.	23
7. Diagrama de bloques matadero con sala de despiece de carnes	33
8. Sistema Individual de Aire Acondicionado.	46
9. Sistema Espacio Acondicionado.	48
10. Sistema Empacado de Acondicionamiento de Aire.	49
11a. Un Sistema de Acondicionamiento de Aire Central: diagrama esquemático.	51
11b. Un Sistema de Acondicionamiento de Aire Central: sistemas de control y aire para un piso típico.	52
12. Cuarto limpio convencional ventilado turbulentamente (no unidireccional).	59
13. Cuarto limpio con ventilación convencional.	60
14. Cuarto limpio flujo unidireccional vertical.	61
15. Cuarto limpio con flujo unidireccional vertical.	63
16. Boceto de dominio computacional de un cuarto limpio piloto a escala	64
17. Cuarto limpio con flujo unidireccional horizontal.	65
18. Distribución de áreas cuarto limpio para procesado de alimentos.	73
19. Cuarto limpio con flujo de aire vertical.	77
20. Cuarto limpio Modular Todo-Acero BioSafe que ilustra la salida del aire por aberturas en la pared.	78
21. Vectores de velocidad bajo una unidad de flujo laminar predichos por un modelo de turbulencia computacional.	79
22. Esquema del acomodo de filtros de baja, media y alta eficiencia.	82
23. Unidades filtro / ventilador.	83
<b>24. Cobertura de techo con filtros en una configuración multizonas por particiones.</b>	84
25. Diagrama esquemático general de un Sistema de Cuarto Limpio.	91
26. Instalación para el manejo de aire tipo azotea (tecnología ACUair-York).	97
27. Modo de operación de limpieza de instalación para el manejo de	

aire tipo azotea (tecnología ACUair-York).	99
28. Modo de operación normal de la instalación para el manejo de aire tipo azotea (tecnología ACUair-York).	100

## RESUMEN

La presente investigación se basa en el estudio del aire como materia prima, con el fin de describir los criterios que se toman en cuenta en el diseño de áreas o cuartos limpios para el procesamiento de alimentos a bajas temperaturas. Partiendo de los requerimientos que a nivel internacional se aplican en el comercio de alimentos para determinados productos, los cuales se refieren a la implantación de sistemas de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos para permitir una alta calidad sanitaria del producto terminado a través del proceso y que implican el llevar a cabo controles específicos que posibiliten la obtención de alimentos inocuos como productos, se hace presente la necesidad de incluir, además de los controles de temperatura y humedad relativa en determinados puntos críticos del proceso, la restricción a determinado tamaño de partículas para crear un nivel de limpieza en el aire. Para lograrlo, se analizan los sistemas de control de condiciones del aire que puedan propiciar dicha inocuidad en los alimentos procesados al cubrir totalmente las necesidades en el aire en áreas donde se localizan ciertos puntos críticos de procesamiento de alimentos a bajas temperaturas, encontrando que una combinación de factores como: filtración, higiene, presurización, condensación y enfriamiento son críticos en el diseño de áreas limpias que permiten la prevención, eliminación y reducción de peligros por medio del aire.

## INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria actualmente existe una tendencia importante a poner mayor atención en la regulación de la seguridad de los productos a través del procesado. La ciencia identifica nuevos patógenos en alimentos, que potencialmente pueden causar serias consecuencias en seguridad alimentaria. La demanda de alimentos seguros crece tanto como cada vez es mayor el nivel de consumidores, éstos tienen una vida más larga y comprenden mejor las relaciones que existen entre dieta y salud; el Centro de Control de Enfermedades de los Estados Unidos estima que cada año ocurren en dicho país 76 millones de casos de enfermedades transmitidas por los alimentos, llegando a ser tan graves que 325 000 de estos ameritan hospitalizaciones e incluso llevan a la muerte en otros 5 000.<sup>(6, 39)</sup> El comercio internacional de productos alimenticios es una gran fuente de suministros para algunas ciudades y, como las barreras de comercio para alimentos son reducidas, se contribuye a la posibilidad de introducir nuevos orígenes de riesgos dentro de los alimentos surtidos. Estos factores convergen creando una demanda en el incremento de la seguridad de los alimentos.<sup>(41)</sup>

Con frecuencia, los mercados regionales fracasan en proveer alimentos seguros, lo cual por lo regular resulta muy costoso y se debe a que, productores y o detallistas no llegan a estar de acuerdo en determinar o certificar la seguridad de los alimentos, originando con esto una amplia disposición de agentes microbiológicos y su potencial para crear riesgos. Sin la habilidad de capturar totalmente retornos

por costos en el control de riesgos del producto, las firmas se niegan a implementar controles con los que se logre la seguridad del producto.<sup>(41)</sup>

Como respuesta, algunos gobiernos están teniendo un nuevo acercamiento para permitir dicha seguridad de los alimentos suministrados: dando órdenes para el uso de sistemas de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos “Hazard Analysis and Critical Control Point” (HACCP) en industrias alimentarias. Debido a la conveniencia que tiene por tratarse de un sistema que se enfoca en el control verificable del proceso. Como muestra de esto la Directiva de la Unión Europea 93/43 en diciembre de 1995 efectuó requerimientos a las compañías de alimentos para implementar HACCP. En los Estados Unidos, el HACCP se requirió a través de regulaciones para alimentos marinos en 1994, para carne y aves en 1996 y propuesta para jugos de fruta fresca en 1998; de la cual, la última regla fue anunciada en enero del 2001 dando un plazo de uno a tres años para su implementación según el tamaño de la empresa;<sup>(10)</sup> además, se prevén regulaciones para otras áreas de la industria de alimentos en el futuro.<sup>(11)</sup> Australia, Nueva Zelanda, y Canadá incluso tienen ordenamientos o programas voluntarios para animar la adopción de HACCP. Con la implementación y uso en las Ciudades más avanzadas, ahora las menos desarrolladas se ven en la necesidad de incrementar prácticamente HACCP para poder competir con productos alimenticios dentro de mercados industrializados. El creciente uso de HACCP como un estándar sanitario en el comercio internacional lleva al Codex Alimentarius a adoptar líneas guía para HACCP en 1993 y a incorporar HACCP dentro de códigos de higiene de alimentos comenzando en 1995.<sup>(41)</sup>

De esta manera, se ha adoptado al HACCP como un estándar regulador del comercio internacional motivado primero para la seguridad de los alimentos, y segundo como un deseo para facilitar el comercio. El proceso para facilitar el comercio requerirá de un mutuo reconocimiento de regulaciones de HACCP a través de las fronteras nacionales. La certificación serie ISO 9 000 para compañías de alimentos está comenzando a adaptarse para certificación de programas privados de HACCP.<sup>(41)</sup>

Nuestro país no se encuentra exento en la necesidad de implementar el sistema HACCP en la industria de alimentos, pues como muestran datos de Estadísticas de Comercio Exterior reportados por Bancomext, en promedio durante la década pasada más del 80% de exportaciones dentro del rubro fueron dirigidas hacia Estados Unidos,<sup>(15)</sup> además de que la política de comercio del país tiende hacia la globalización total, donde para poder hacer relaciones comerciales con países de primer mundo como los ya mencionados es necesario cumplir con sus exigencias internas, hecho que probablemente pronto será manifestado de forma legal, pues en el caso de los Estados Unidos la Administración de Alimentos y Drogas “Food and Drug Administration” (FDA) está considerando desarrollar regulaciones que establezcan HACCP como un estándar para otras áreas de la industria de alimentos, además de las ya señaladas, que incluyan tanto a productos alimenticios producidos por dicha nación como los de importación.<sup>(12)</sup>

En esta forma, el proceso de alimentos exige condiciones ambientales cada vez más rigurosas para preservar los alimentos. Algunos de los problemas vienen de los

nuevos hábitos alimenticios. Los consumidores están demandando productos  *frescos*, con poco contenido de aditivos. De esta manera, los productores se ven forzados a ir hacia procesos más higiénicos. Uno de los problemas más importantes concierne a la contaminación transportada por el aire, en el caso de sistemas de aire acondicionado éstos frecuentemente son contaminados con microbios, los cuales se descargan en el interior con corrientes de aire causando la contaminación del mismo. Para resolver este problema, algunas compañías realizan el proceso de sus productos en *cuartos limpios*, donde las cargas microbiológicas son más bajas que en cuartos ordinarios; debido a que las partículas son controladas por medio de sistemas de distribución de aire en los que se emplean filtros de aire de alta eficiencia combinados con factores como mayores cantidades de cambios de aire por unidad de tiempo. El nivel de limpieza logrado en el aire se identifica con una *clase de limpieza*, la cual se define según el número máximo de partículas permitidas en un cuarto limpio de acuerdo al estándar que lo regula. Habiéndose empleado hasta hace poco estándares regionales alrededor del mundo, el más aceptado internacionalmente, por la facilidad que presenta al utilizarlo debido a la coincidencia que existe entre la cifra que identifica la clase de limpieza y la que indica el número de partículas de 0.5  $\mu\text{m}$  de tamaño permitido por cada pie cúbico, es el “US Federal Standard 209”, elaborado por los Estados Unidos; por ejemplo, la clase de limpieza 10 000 comúnmente utilizada para alimentos se obtiene si hay menos de 10 000 partículas en un pie cúbico de aire, cabe hacer la observación de que la Organización Internacional de Estandarización (ISO) se encuentra elaborando

estándares internacionales para cuartos limpios, los cuales reemplazan a todos los que, como éste, llegaron a ser utilizados en diferentes naciones.<sup>( 18, 23, 32, 44)</sup>

Hoy en día los llamados cuartos limpios comienzan a ser ampliamente utilizados en la industria alimentaria. Las metas principales de su uso conciernen a la prolongación de la vida media de comestibles y de la mejora en la calidad del producto. El principio vital de un cuarto limpio de proceso de alimentos, es el uso de una gran velocidad de ventilación del aire filtrado para llevar a cabo la clase de limpieza requerida en una zona determinada.<sup>(26)</sup>

En este estudio se plantea como objetivo general el describir criterios de diseño y/o selección de sistemas que permitan el control de las condiciones de operación del aire (en principio temperatura y humedad relativa) en áreas dentro de la industria alimentaria que así lo demandan, tomando en cuenta factores que contribuyan con la limpieza, higiene y presurización del cuarto, con el fin de minimizar los riesgos que son significativos durante el proceso de elaboración para la obtención de productos inocuos, permitiendo con esto tener al alcance una herramienta útil en el diseño de áreas o cuartos limpios de proceso alimentarias que trabajan a bajas temperaturas.

## Objetivos

### **Planteamiento del Problema:**

La falta de mayores controles en las condiciones de operación del aire en áreas de proceso alimentarias a bajas temperaturas trae como consecuencia mayor dificultad en la obtención de productos inocuos.

### **Objetivo general:**

Describir criterios de diseño y/o selección de sistemas que permitan el control de las condiciones de operación del aire (temperatura y humedad relativa) en la industria alimentaria que así lo demanda; tomando en cuenta factores que contribuyan con la limpieza, higiene y presurización del cuarto, con el fin de minimizar los riesgos que son significativos durante el proceso de elaboración para la obtención de productos inocuos.

### **Objetivo particular 1:**

Analizar las condiciones de operación del aire (limpieza, temperatura y humedad relativa) empleadas en áreas de proceso alimentarias en las cuales últimamente se están exigiendo mayores controles para obtener productos inocuos (concernientes a corte de carnes, envasado de carnes, lácteos, corte de aves), a través de las características que presentan cada una y el efecto que causan en la calidad final del producto, para determinar que requerimientos son necesarios actualmente al respecto.

### **Objetivo particular 2:**

Describir criterios de diseño para áreas limpias de procesado que comprendan corte de carnes, envasado de carnes, procesado de lácteos, corte de aves, a través de factores que permitan mantener determinados grados de limpieza, temperatura y humedad relativa del aire (según requerimientos de procesos alimentarios),

permitiendo con esto el diseño y o selección y puesta en marcha de sistemas que contribuyan a la obtención de alimentos inocuos.

## 1. PARTICULARIDADES DEL AIRE

### 1.1. Propiedades psicrométricas

La psicrometría estudia la termodinámica del aire húmedo. Es una ciencia que trata principalmente con el aire seco y sus mezclas de vapor de agua. Se puede utilizar como auxiliar en el control de las propiedades térmicas del aire húmedo; involucrando mediciones de calor específico del aire seco y volumen.<sup>(19)</sup>

Según la ley de Gibbs para definir termodinámicamente el estado de la mezcla es necesario conocer el número de variables independientes, el cual es igual a: el número de componentes (en este caso 2: aire seco y vapor de agua) menos el número de fases gaseosas (1), más 2; resultando 3 variables independientes para el aire húmedo que, al conocerse, permiten el empleo de herramientas como las cartas psicrométricas.<sup>(25)</sup>

El entendimiento de los términos que se definen a continuación es imprescindible antes del analizar y hacer uso de la carta psicrométrica.<sup>(19)</sup>

#### 1.1.1. Temperatura de bulbo seco (Tbs)

Es la temperatura del aire, la cual se registra por medio de un termómetro ordinario. El bulbo del termómetro de bulbo seco no ha sido humedecido. El bulbo seco mide el calor sensible.<sup>(19)</sup>

### 1.1.2. Temperatura húmeda o de bulbo húmedo (Tbh)

Es la temperatura medida por un termómetro cuyo bulbo está cubierto por un tela mojada, expuesto a una corriente de aire que se mueve rápidamente (aproximadamente 274 m/min). La temperatura de bulbo húmedo está influida por la humedad. No es una medida directa de la humedad debido a que ésta está influida también por la temperatura de bulbo seco. Puesto que la temperatura de bulbo húmedo es el efecto combinado del contenido de humedad (calor latente) y la temperatura de bulbo seco (calor sensible), el bulbo húmedo mide el calor total.<sup>(19)</sup>

### 1.1.3. Temperatura de rocío o de punto de rocío (Tr)

La temperatura de punto de rocío o punto de rocío es la temperatura por debajo de la cual comienza la condensación de humedad. También es el punto máximo de humedad.<sup>(19)</sup>

La temperatura de punto de rocío del aire es una medida del contenido de humedad o humedad absoluta del aire. Esto se debe a que la cantidad de vapor de agua en el aire es siempre la misma para un punto de rocío dado si se mantiene constante la presión parcial de vapor.<sup>(19, 25)</sup>

#### **1.1.4. Humedad relativa; porcentaje (HR)**

Es la relación entre el vapor de agua real que esta presente en el aire y la mayor cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a la misma temperatura; dicho de otra forma, es la razón entre la presión parcial que ejerce el vapor en el aire y la presión de saturación correspondiente a la temperatura existente. Para una temperatura de bulbo seco dada, una unidad de masa puede contener una cantidad definida y determinada de vapor de agua. Cuando una unidad de masa de aire contiene esa cantidad determinada de vapor de agua, se dice que dicho aire está saturado. En consecuencia ha llegado al punto máximo de humedad relativa.<sup>(19)</sup>

A medida que desciende la temperatura de bulbo seco del aire saturado, su capacidad para contener vapor de agua también se reduce. Por lo tanto, se condensará una cierta cantidad del vapor de agua que esté en el aire. La humedad relativa no puede ser superior al 100%.<sup>(19)</sup>

Al 100% de humedad relativa (punto de saturación), las temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y la de punto de rocío son idénticas.<sup>(19)</sup>

#### **1.1.5. Humedad específica o absoluta (W)**

Es el contenido de humedad en el aire. Es el peso del vapor de agua en unidad de masa por unidad de masa de aire seco.<sup>(19)</sup>

Los términos de humedad absoluta y específica se refieren al peso real, no al porcentaje de vapor de agua contenido en el aire.<sup>(19)</sup>

La humedad específica aumenta al aumentar la temperatura de bulbo seco, si la humedad relativa permanece constante. También aumenta si la temperatura de bulbo húmedo permanece constante y aumenta la humedad relativa.<sup>(19)</sup>

#### **1.1.6. Entalpía (H)**

La entalpía específica de un fluido se puede definir como la cantidad de calor que hay que comunicar a una unidad de masa de dicho fluido para hacerle pasar de unas determinadas condiciones de origen a otras cualesquiera; de esta forma es también el calor total contenido en una unidad de masa de una sustancia, medido a partir de un punto de referencia.<sup>( 19, 25)</sup>

#### **1.1.7. Volumen específico (ve)**

El volumen específico del aire húmedo se define como el volumen ocupado por el aire húmedo por Kg. de aire seco.<sup>(25)</sup>

## 1.2. Contaminantes del aire

Además de contener vapor de agua, en el aire se pueden encontrar olores, humos, anhídrido carbónico producido por la respiración y combustión y polvillo formado por corpúsculos minerales y orgánicos que transportan gran variedad de bacterias y otros microorganismos junto con sus gérmenes; con esto se tiene lo que se llama un aire viciado; que puede eliminarse mediante su renovación y ventilación.<sup>(4)</sup>

El aire de fuera, que normalmente respiran los seres humanos, puede contener alrededor de 166.7 millones de partículas suspendidas por cada metro cúbico; entre las que se encuentran: polvo, smog, y polen. Siendo las más numerosas las que menos tamaño tienen y que son incluso invisibles para el ojo humano bajo condiciones normales de iluminación como se muestra en el espectro visual en la figura 1.<sup>(2)</sup>

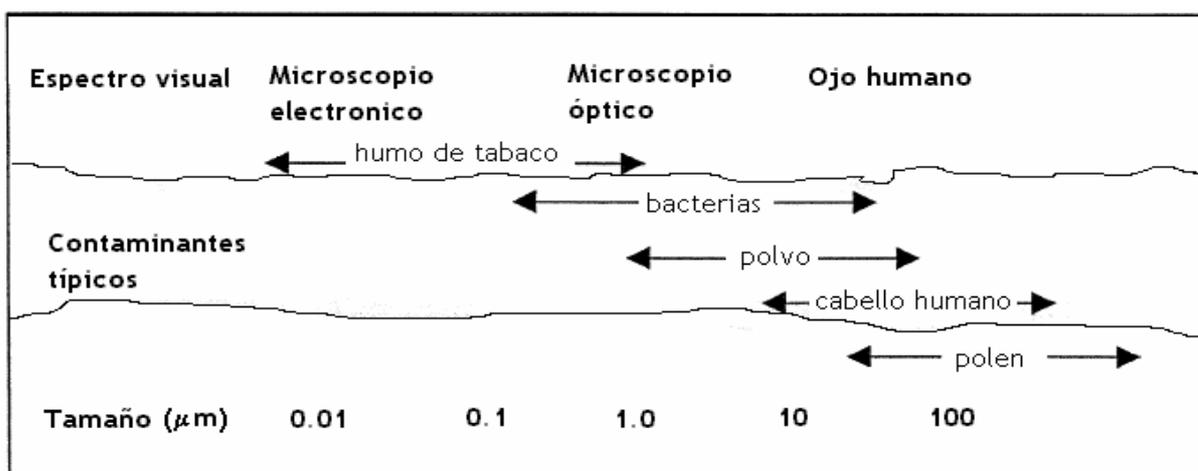


Figura 1. Partículas contaminantes típicas, tamaño y visibilidad.<sup>(2)</sup>

Por el simple hecho de caminar, se considera que el cuerpo humano puede generar de 5 a 10 millones de partículas por cada minuto, provenientes de piel, cabello, suciedad y ropa.<sup>(2)</sup> El personal de trabajo de áreas de procesado puede contribuir a la contaminación de ésta según la actividad que realice, como se muestra en la figura 2 con una persona que genera desde una cantidad de alrededor de 100 000 partículas por minuto al tener la menor cantidad de movimiento, alrededor de 1 000 000 de partículas por minuto cuando se mueve completamente y hasta la cifra ya mencionada cuando camina.<sup>(29)</sup>

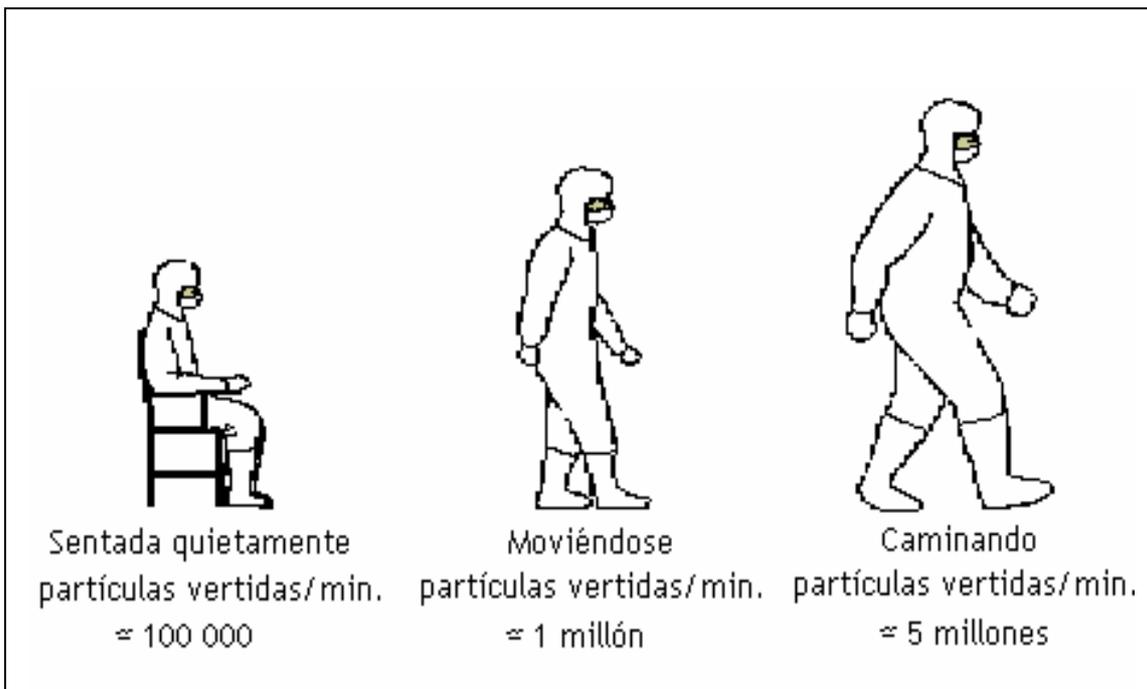


Figura 2. Dispersión de partículas en relación al movimiento.<sup>(29)</sup>

### **1.3. Control de condiciones del aire**

El control de condiciones del aire es un proceso que simultáneamente se encuentra dándole determinadas condiciones al aire de cierto espacio o recinto distribuyéndolo y combinándolo con aire exterior, al mismo tiempo controla y mantiene la temperatura del espacio requerida, humedad, circulación y movimiento del aire, limpieza del mismo, y presurización con límites para el procesamiento de productos. <sup>(8, 25, 45)</sup>

### **1.4. Sistemas de control de condiciones del aire**

En forma general, un sistema de control de condiciones del aire, o de acondicionamiento del aire, consiste en componentes y equipamiento colocados en orden secuencial para refrigerar, humidificar o deshumidificar, limpiar y purificar, transportar el aire exterior acondicionado y recircular el del espacio acondicionado, y controlar y mantener el ambiente creado con un uso óptimo de energía. <sup>(45)</sup>

### **1.5. Procesos en el enfriamiento del aire**

Para determinar las condiciones de la mezcla de aire y vapor de agua y cambios que sufre en su movimiento a través de sistemas de acondicionamiento de aire (lo cual es un requisito necesario para llevar a cabo su control termohigrométrico

en la forma deseada), existen tanto tablas, como diagramas psicrométricos. En la actualidad se han realizado diagramas a diferentes altitudes<sup>(®)</sup>, por lo cual es importante destacar que cuando sea necesario obtener propiedades psicrométricas o cartas para otras presiones, esas pueden derivarse por interpolación, pueden derivarse valores suficientemente exactos por métodos que emplean la ecuación de los gases ideales.<sup>(25, 37)</sup> Las tablas psicrométricas ofrecen una gran precisión, ya que sus valores son de hasta cuatro decimales; sin embargo, en la mayoría de los casos, no se requiere tanta precisión y con el uso de la carta psicrométrica se puede ahorrar mucho tiempo y cálculos; además, la diferencia entre las tablas y la carta es consistente a través de todo el intervalo de temperaturas con las cuales se va a trabajar.<sup>(8)</sup>

En la carta psicrométrica al localizar un punto de estado (hacia el cual convergen las líneas con los correspondientes valores psicrométricos), que en un caso concreto se puede hacer al conocer dos valores cualesquiera de las propiedades psicrométricas del aire, se muestran los valores restantes al seguir cada línea hasta su escala de medición.<sup>(19)</sup>

---

<sup>(®)</sup> Producto de que el Número de Variables Independientes = 3; la carta psicrométrica es un plano, y la tercera variable es la presión.

El uso de la carta no se limita solamente a determinar las propiedades de una muestra de aire, también se pueden calcular las cargas térmicas retiradas de la misma al enfriarla, con o sin humidificación o deshumidificación, cambios en el volumen, mezclas de aire, etc.<sup>(8)</sup>

En el enfriamiento del aire, al igual que en su calentamiento, desde ciertas condiciones hasta las requeridas por determinadas áreas como las de proceso de alimentos, se debe considerar la adición o remoción de dos tipos de calor: sensible y latente.

#### **1.5.1. Enfriamiento sensible**

El término “cambio de calor sensible”, se refiere a un cambio en la cantidad de calor que provocará un cambio en la temperatura del aire involucrando el descenso en la temperatura de bulbo seco, sin un cambio en el calor latente.<sup>(8)</sup>

Así, el contenido de humedad de la mezcla de aire permanece constante en el proceso de enfriamiento sensible.<sup>(19)</sup>

Dicho cambio puede trazarse en la carta psicrométrica paralelo a las líneas constantes de punto de rocío como se muestra en la figura 3. Esto significa que el punto de rocío del aire no cambiará mientras sea solamente calor sensible el que se agrega o se quita. En el proceso de enfriamiento, la superficie exterior

del serpentín de enfriamiento (evaporador), debe estar arriba de la temperatura de punto de rocío del aire, o se condensará la humedad, dando como resultando una transferencia de su calor latente también. Por otra parte, el peso total del aire en unidades de masa permanece constante, pero su volumen sí cambia, puesto que el aire se contrae al ser enfriado aumentando su densidad.

Comparando las propiedades de la condición inicial (1), con las de la condición final (2), aumenta la humedad relativa del aire sin cambiar el contenido de humedad del aire.

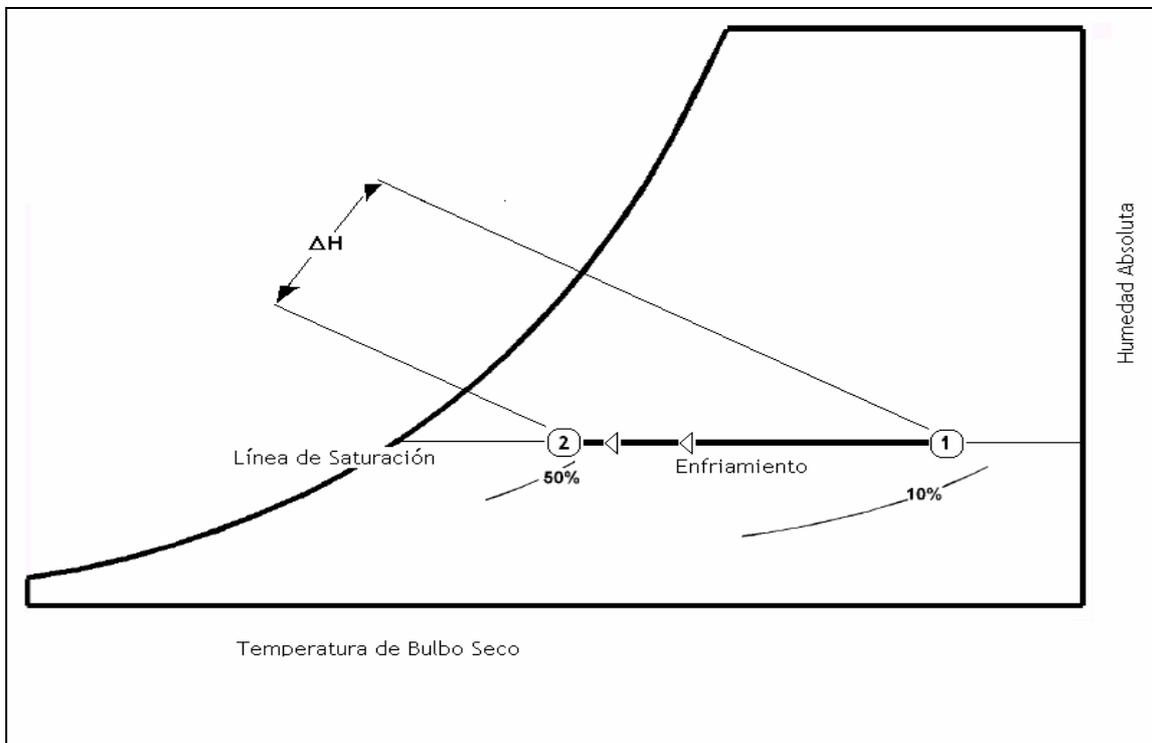


Figura 3. Proceso de enfriamiento sensible: (1)condición inicial y (2)final.<sup>(8)</sup>

Al trazar el cambio de entalpía para este efecto de enfriamiento sensible, se puede observar que en la condición (1), el aire contenía cierta cantidad de energía por unidad de masa, mientras que en la condición (2) contiene una cantidad menor; por lo cual se lleva a cabo un cambio entre estas, que indica la cantidad total de energía que se está retirando por unidad de masa de aire seco durante el proceso. De esta manera, para cada unidad de masa de aire que se enfríe o se requiera enfriar de una condición inicial a otra final, se estará quitando o se deberá quitar la diferencia marcada. Este cambio de calor sensible se muestra en la figura 3 como  $\Delta H$ .

### 1.5.2. Enfriamiento y deshumidificación

El enfriamiento sensible llevado a cabo por medio de sistemas de control de condiciones del aire generalmente va acompañado de deshumidificación, removiéndose calor latente. Cuando solamente se desea deshumidificar individualmente deben utilizarse desecantes químicos.<sup>(8, 35)</sup>

El enfriamiento y deshumidificación del aire es la fase que normalmente requiere del uso de un equipo de refrigeración mecánica. Para poder producir el enfriamiento y la deshumidificación requeridos en un determinado espacio el equipo de refrigeración debe estar funcionando adecuadamente y tener la capacidad correcta para la aplicación.<sup>(8)</sup>

Para conocer la capacidad requerida de un equipo de refrigeración bajo ciertas condiciones de trabajo, lo primero que hay que hacer es determinar las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo del aire que ha de entrar y salir del serpentín del evaporador, trazándolas sobre la carta psicrométrica; como se muestra en la figura 4.

El punto (3) se encuentra extendiendo la línea recta que conecta los puntos (1) y (2), hasta la curva de saturación. Este punto, también llamado el punto de rocío del aparato, es la temperatura promedio del agua que se condensa sobre la superficie del serpentín. Conforme sea la condición se mueve a la izquierda de la carta, removiendo calor del aire, pero también humedad. Enseguida, se encuentra el cambio de calor total en una unidad de masa de aire, resultado de la resta de la entalpía en la condición de salida, de la entalpía en la condición de entrada. El calor total que retira el evaporador de la masa de aire que le pasa a través en determinada cantidad de tiempo, es el producto que resulta de multiplicar el área frontal del serpentín con la velocidad del aire atravesándolo y el cambio de entalpía dividido entre el volumen específico del aire que entra al mismo, lo cual se muestra en la siguiente ecuación:<sup>(8)</sup>

$$Q_t = A \times V \times \Delta H_T \times 60/v \text{ (kcal/h)}$$

Donde:

$Q_t$  = calor total (kcal/h)

$A$  = área frontal del serpentín (m<sup>2</sup>)

$V$  = velocidad del aire entrando al serpentín (m/h)

$\Delta H_T$  = cambio de entalpía, de la carta sicrométrica (kcal/kg)

$v$  = volumen específico del aire entrando al serpentín (m<sup>3</sup>/kg)

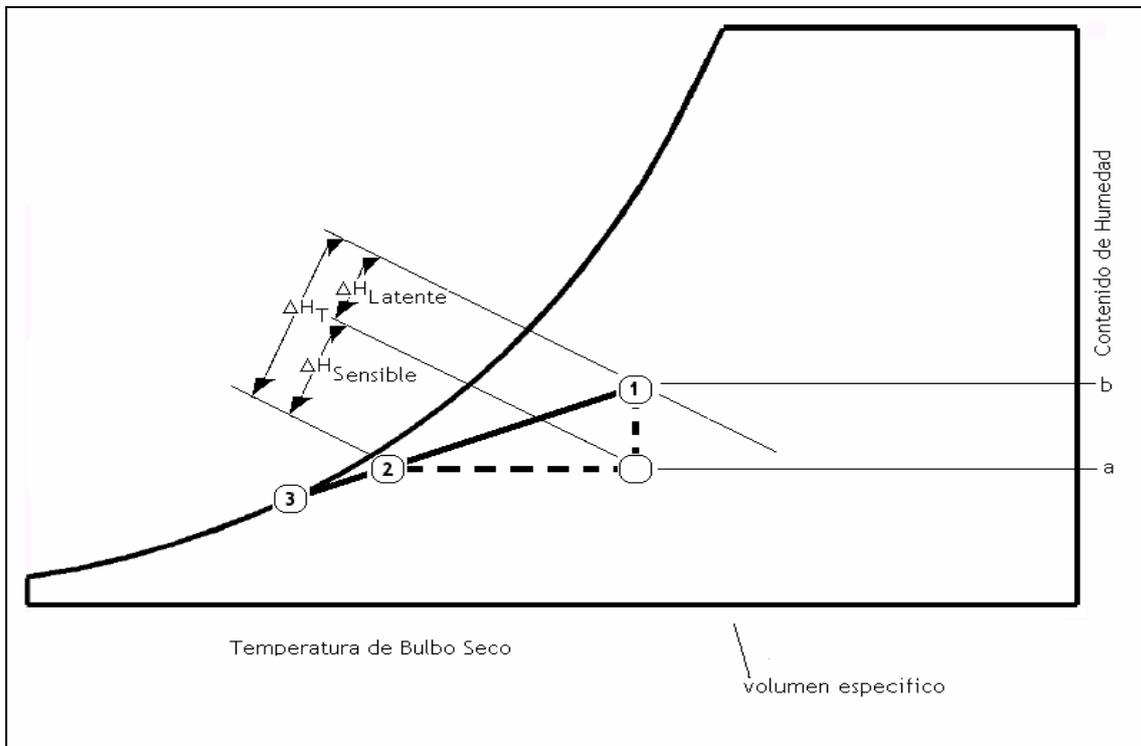


Figura 4. Proceso de enfriamiento y deshumidificación: (1)condiciones de entrada, (2)condiciones de salida y (3)temperatura aproximada real del serpentín.<sup>(8)</sup>

En un proceso de enfriamiento y deshumidificación, el uso de la carta psicrométrica permite conocer valores como el del cambio de entalpía en la condensación y el calor removido.<sup>(19)</sup>

### (a) Cambios de calor latente y sensible

Algunas veces es deseable calcular los cambios de calor latente y de calor sensible. En la figura 4 se puede observar que al trazar sobre la carta psicrométrica un cambio de calor sensible, el resultado es una línea horizontal, y el cambio de solamente calor latente, es una línea vertical. Al trazar una línea vertical paralela a las líneas de  $T_{bs}$  de (1), y una línea horizontal paralela a las líneas de punto de rocío de (2), las tres líneas formarán un triángulo rectángulo. Las longitudes de las líneas vertical y horizontal, representan los dos componentes del calor total: calor latente y calor sensible. Si ahora se sigue una línea paralela a las líneas constantes de  $T_{bh}$ , partiendo de la intersección de las líneas vertical y horizontal, hasta la escala de entalpía, se puede observar que el calor total se divide en dos componentes. El componente más bajo en la escala es el cambio de calor sensible y la parte alta es el cambio de calor latente. Entonces, el cambio de calor sensible se obtiene al restar el contenido de calor en (2), del valor que marca dicha línea sobre la escala. Y el cambio de calor latente se encuentra restando éste último valor del que se marca sobre la escala debido a (1).

### (b) Remoción de humedad

Para determinar la cantidad de agua removida del aire, se debe calcular el peso total del aire circulado; esto es posible teniendo en cuenta el área de la cara del evaporador por la que atraviesa el aire, la velocidad de éste, y su relación con el volumen específico (en función de las condiciones del aire en el punto donde se

mide la velocidad); en la carta sicrométrica: se trazan las líneas constantes de punto de rocío para las condiciones inicial y final (b y a), hacia la derecha en la escala de humedad específica. Y se determina el cambio de humedad específica (b - a). Multiplicando este valor por el peso total de aire circulado por hora, se conoce la cantidad de humedad removida en unidades de masa por hora.

### 1.5.3. Mezclado de aire a diferentes condiciones

Para evitar que se vicie el aire interior, se requiere que cierta cantidad del mismo sea reemplazado. Puesto que el hacer un cambio en un 100% del aire interior por exterior no es práctico desde el punto de vista de costo operacional, se debe mezclar aire exterior con un porcentaje de aire de retorno previo a su enfriamiento,<sup>(8)</sup> la figura 5 presenta un esquema general de un sistema de acondicionamiento de aire en el que se muestra como se lleva a cabo dicha mezcla de aire.

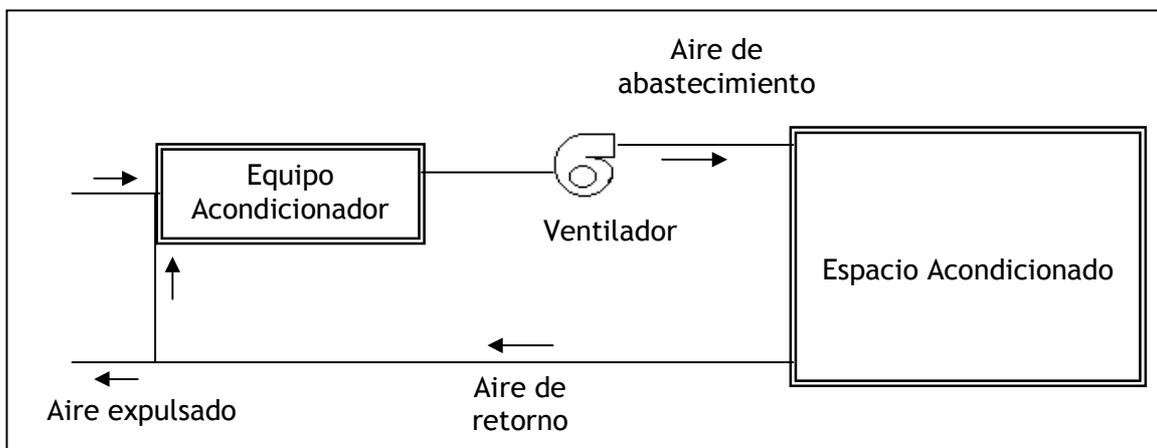


Figura 5. Esquema general de un Sistema de Acondicionamiento de Aire.

En un proceso de control de condiciones del aire se requiere que éste llegue a las ya establecidas según las necesidades del espacio en el que se encontrará; para conocer la cantidad de aire de retorno que se debe recircular y la cantidad de aire exterior que se debe mezclar con el aire recirculado se puede hacer uso de la carta sicrométrica.

Ejemplificando: en un cuarto se quiere llegar a unas condiciones de  $11^{\circ}\text{C}$  de Tbs y 90% de humedad relativa; se cuenta con un ventilador que posee una capacidad de  $60\text{ m}^3/\text{min}$ . El aire de retorno sale del cuarto con una Tbs de  $27^{\circ}\text{C}$  y una Tbh de  $18^{\circ}\text{C}$ . Las condiciones de diseño de verano del aire exterior son de  $34^{\circ}\text{C}$  de Tbs y  $24^{\circ}\text{C}$  de Tbh. Para obtener las condiciones deseadas en el cuarto la mezcla de aire debe llegar al equipo con una Tbs de  $29^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$  de Tbh. Con la finalidad de conocer la cantidad de aire de retorno que se debe recircular y la cantidad de aire exterior que se debe mezclar con el aire recirculado: primeramente se trazan en la carta sicrométrica los puntos correspondientes a las cuatro condiciones del aire. Al unir estos puntos, como se muestra en la figura 6, las líneas resultantes representan el proceso del aire a través del sistema. El aire exterior (1) se mezcla con el aire que retorna del cuarto (2) y entran luego al equipo acondicionador (3). La mezcla de aire fluye a través del equipo, con lo que disminuye su contenido de humedad y su temperatura (línea 3-4). Cuando sale del equipo (4), el aire queda a las condiciones requeridas para entrar al cuarto. Dentro del cuarto el aire aumenta su contenido de

humedad y su temperatura (línea 4-2), y sale del cuarto nuevamente a las condiciones del punto (2). Se inicia otro proceso repitiéndose el ciclo. El punto (4) no llega a la temperatura de saturación, por lo que el enfriamiento es solamente sensible.<sup>(8)</sup>

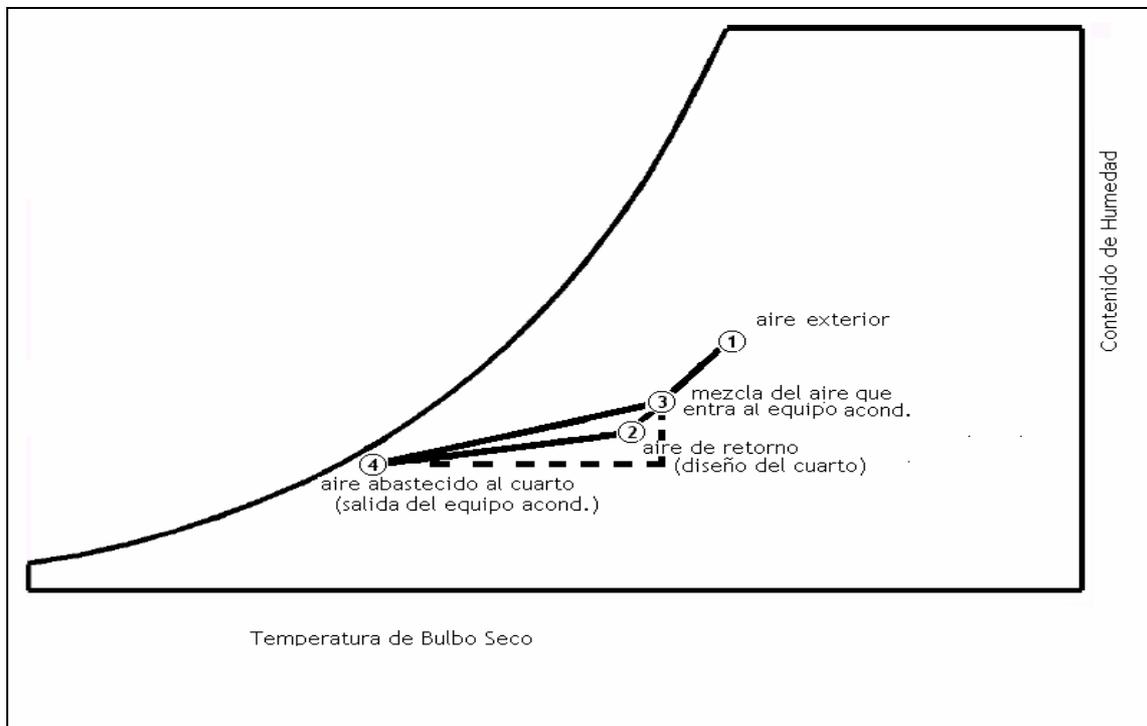


Figura 6. Proceso de mezcla de aire a diferentes condiciones: (1)aire exterior, (2)aire que retorna del cuarto, (3)mezcla de aire exterior y de retorno que entra al equipo acondicionador, (4)aire que entra al cuarto.<sup>(8)</sup>

La cantidad de aire de retorno que se debe recircular se calcula de la siguiente manera: la distancia entre las condiciones de aire exterior y las condiciones de aire de retorno (línea 2-1) corresponde también a la diferencia de Tbs; por lo que, si la mezcla debe entrar al aparato con una Tbs de 29 °C, el porcentaje de aire de retorno en esta mezcla es:  $(29-27) \div (34-27) = 0.2857$  o sea, 28.57% de volumen total. Si el ventilador tiene capacidad para manejar 60 m<sup>3</sup>/min, entonces las cantidades de aire que se deben mezclar son:<sup>(8)</sup>

$$\text{Aire de retorno} = 60 \text{ m}^3/\text{min} \times 0.2857 = 17.14 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Aire exterior} = 60 \text{ m}^3/\text{min} \times (1-0.2857) = \underline{42.86 \text{ m}^3/\text{min}}$$

$$60.00 \text{ m}^3/\text{min}$$

## **2. SISTEMA DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y CONTROL DE PUNTOS CRÍTICOS (HACCP)**

### **2.1. Fundamentos**

El HACCP es un método científico para abordar el control y disminuir los riesgos en los productos alimenticios, que se basa en unos principios bien definidos a nivel internacional y que permite a las empresas tener un control más detallado y sistemático de sus diferentes etapas y procesos de producción, logrando un mejor aprovechamiento de sus recursos, siempre limitados y dar una respuesta más rápida y eficaz ante posibles eventualidades. Es también un sistema vivo que permite hacer frente a los nuevos riesgos derivados de la aparición de patógenos emergentes y toxiinfecciones alimentarias derivadas de los cambios en los hábitos y formas de consumo. Esto significa que los peligros de seguridad de alimentos de origen biológicos, físicos o químicos potenciales, ya sea que ocurran de manera natural en los alimentos, sean aportados por el medio ambiente o generados por una desviación del proceso de producción, se evitan, eliminan o reducen para elaborar productos seguros.<sup>(21, 43)</sup>

## 2.2. Principios generales

Estos principios, en el orden secuencial que se presenta a continuación, deben usarse para elaborar un plan HACCP para cada producto procesado por un establecimiento. Un solo plan HACCP puede también abarcar diversos productos dentro de una sola categoría de procesamiento.<sup>(43)</sup>

Antes que nada, es necesario formar un equipo HACCP. En éste se incluye a la gerencia, personal involucrado en la elaboración de los productos y, si son parte del personal de trabajo, al grupo de control de calidad. Con la existencia de diversos productos, se elabora un sistema de prioridades para determinar qué productos representan más riesgos de seguridad alimenticia. Estos riesgos pueden ser productos que contienen un pH o actividad de agua que permitirá a los microorganismos patógenos crecer, o productos que a menudo se relacionan con intoxicación por alimentos. Una vez que se identifica un producto, se establecen sus características de acuerdo con un listado de su formulación: las técnicas de procesamiento, si el producto se comercializa refrigerado, congelado o estable para anaquel; y el uso que se le dará. Se elabora un diagrama que describa el proceso de elaboración; y a partir de ese se continúa con la siguiente secuencia:<sup>(21, 24)</sup>

1. Detectar cualquier peligro biológico, físico y químico que deba evitarse, eliminarse o reducirse a niveles aceptables.
2. Detectar los puntos críticos de control en la etapa o etapas en que el control sea esencial para evitar o eliminar un peligro o reducirlo a niveles aceptables.
3. Establecer límites críticos en los puntos críticos de control que diferencien la aceptabilidad de la inaceptabilidad para la prevención, eliminación o reducción de los peligros detectados.
4. Establecer y aplicar procedimientos de seguimiento efectivos en puntos críticos de control.
5. Establecer medidas correctivas cuando el seguimiento indique que un punto crítico no está controlado.

6. Establecer procedimientos para comprobar si las medidas contempladas en los puntos 1 a 5 son eficaces; los procedimientos de comprobación se llevarán a cabo regularmente.

7. Establecer documentos y registros en función de la naturaleza y el tamaño de la empresa para demostrar la aplicación efectiva de las medidas contempladas en los puntos 1 a 6 y facilitar los controles oficiales.

### 2.3. Necesidades de implementación

Las zonas urbanas de todo el mundo se están extendiendo y consolidando cada vez más y al hacerse más severas las normas de salud e higiene, las autoridades nacionales y locales están sometidas a una mayor presión para sustituir instalaciones obsoletas, fragmentadas o insuficientemente utilizadas.<sup>(14)</sup> Debido a esto, es necesario que la industria alimentaria nacional actúe renovándose y llevando a cabo las acciones necesarias que le permitan ponerse al día en lo que respecta a la obtención de productos inocuos que no atentan contra la salud del consumidor, y puedan ser comercializados competitivamente en este aspecto tanto en el país como en el mercado internacional, sobre todo a los Estados

Unidos, que es el país al que se le destina el mayor porcentaje de las exportaciones dentro del rubro, y el cual desde octubre del año 2001 se encuentra en el trabajo de desarrollar regulaciones que establezcan el sistema HACCP como el estándar de seguridad para las diversas áreas de la industria de alimentos, incluyendo tanto a productos elaborados dentro de ese país como los que le son importados.<sup>(11)</sup> La implementación de sistemas HACCP permite acceder a tal fin, sólo es necesario ponerlo en marcha y llevar a cabo los requerimientos que esto implique; como se verá, en el desarrollo del presente trabajo, la utilización del HACCP en procesos alimentarios hace necesaria la utilización de la tecnología en sistemas que permitan un mayor control, en este caso específico de las condiciones del aire, para con esto hacer posible el objetivo deseado de obtener productos concebidos como inocuos; los cuales son resultado de implementar sistemas HACCP. Cabe hacer la observación de que “además de establecer un programa HACCP para lograr la seguridad del producto, es esencial que se sigan buenas prácticas de fabricación en una planta”<sup>(43)</sup> y que, al momento, es en carnes, aves y lácteos en donde se requiere poner mayor atención, pues son las áreas de proceso de alimentos en que está puesta la mira enfática en cuestión de seguridad alimentaria a nivel internacional.

### 3. ÁREAS DE PROCESO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

A continuación se mencionan las áreas de procesado de alimentos que recientemente han requerido de una aplicación de acondicionamiento del aire con controles especiales, producto del auge que ha cobrado el tener que producir alimentos inocuos. Se toma como base el área de carnes, de la cual existe la información bibliográfica precisa y suficiente para presentarla a manera de ejemplo práctico, mostrando la forma en que se hace patente, por medio de la aplicación de un sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos, la necesidad de incluir controles de condiciones del aire más estrictos. Con esto se intenta dar a conocer una especie del modelo a seguir en aquellas áreas de proceso alimentario, que de antemano, ya requieren de un control de temperatura y humedad relativa por las características del alimento que se somete a procesamiento y en las cuales ahora se demandan mayores controles.

#### 3.1. Carnes

El área de carnes es una en la que se ha exigido a la industria alimentaria llegar a tener controles por medio de la implementación de sistemas HACCP.

La transformación de una o varias clases de ganado en carne para el consumo humano se lleva a cabo en mataderos. Las operaciones que le continúan consisten

en dividir los cortes primarios de la carne en pedazos más pequeños y en la separación y el tratamiento de diversos subproductos.<sup>(14)</sup>

Se pueden encontrar en la carne agentes contaminantes debido a una contaminación secundaria a partir de los seres humanos o del medio ambiente; por lo que resulta esencial establecer un sistema de higiene de la carne a lo largo de todas las etapas de producción. Ese sistema debe comenzar donde tiene su origen el ganado y proseguir a través de la elaboración hasta el consumidor.<sup>(14)</sup>

Parte esencial de este sistema de higiene consiste en establecer un estricto control de las condiciones ambientales en todas las etapas del tratamiento. Este control, debido a la susceptibilidad de la carne a la contaminación microbiológica, debe intensificarse en atmósferas cálidas y húmedas o contaminadas y abarcar la temperatura y la humedad.<sup>(14)</sup>

### **3.1.1. Matadero y sala de despiece de carnes**

#### **✓ Diagrama de proceso**

Destacando brevemente las operaciones que se realizan en los mataderos: previamente a la entrada en los locales de sacrificio, las reses porcinas deben someterse a un proceso de duchado. Todas las reses de abasto deben someterse, previo a su sacrificio, a un proceso de insensibilización o aturdimiento por medios mecánicos (pistola o arma con proyectil fijo), choque eléctrico o anestesia por gas.

Tras el aturdimiento se somete al animal a una sangría que debe ser completa. Posteriormente se desuellan las reses excepto las de ganado porcino que se escaldan para despojarlas de sus cerdas y se chamuscan para finalmente cepillarlas. A continuación se procede a la evisceración. También se cortan las extremidades, cabezas, etc., con lo que se forma la canal. Finalmente y, antes de la inspección *post mortem*, se lavan y se dejan escurrir. Todas las operaciones de transporte de canales se hacen por vía aérea. Por otro lado existen salas de despiece de carnes, que son los establecimientos industriales mayoristas dedicados al despiece, deshuesado, troceado, fileteado, picado, envasado y etiquetado de canales y carnes de una o varias especies animales de abasto con destino al consumo directo o a la industria de transformación.<sup>(1)</sup>

Un diagrama de bloques con la inclusión de la sala de despiece en el matadero se muestra en la figura 7. Abarca desde el sometimiento de ciertos animales de abasto hasta su conversión en carne; y la inclusión de la sala de despiece corresponde a las etapas posteriores al almacenamiento (punto 15), el proceso se desvía para que las canales obtenidas hasta dicho punto ya sea que se expendan como tal (punto 19) o se obtengan productos propios de una sala de despiece de carnes (16 al 19). A través todo el diagrama se señalan los Puntos Críticos de Control (PCCs) para cada etapa, siendo la mayoría parcialmente eficaces (PCC2) y sólo en el enfriamiento (punto 14) totalmente eficaz (PCC1); 6 son considerados con riesgos de contaminación importante (en los puntos 2, 6, 10, 11, 16 y 17 que corresponden a

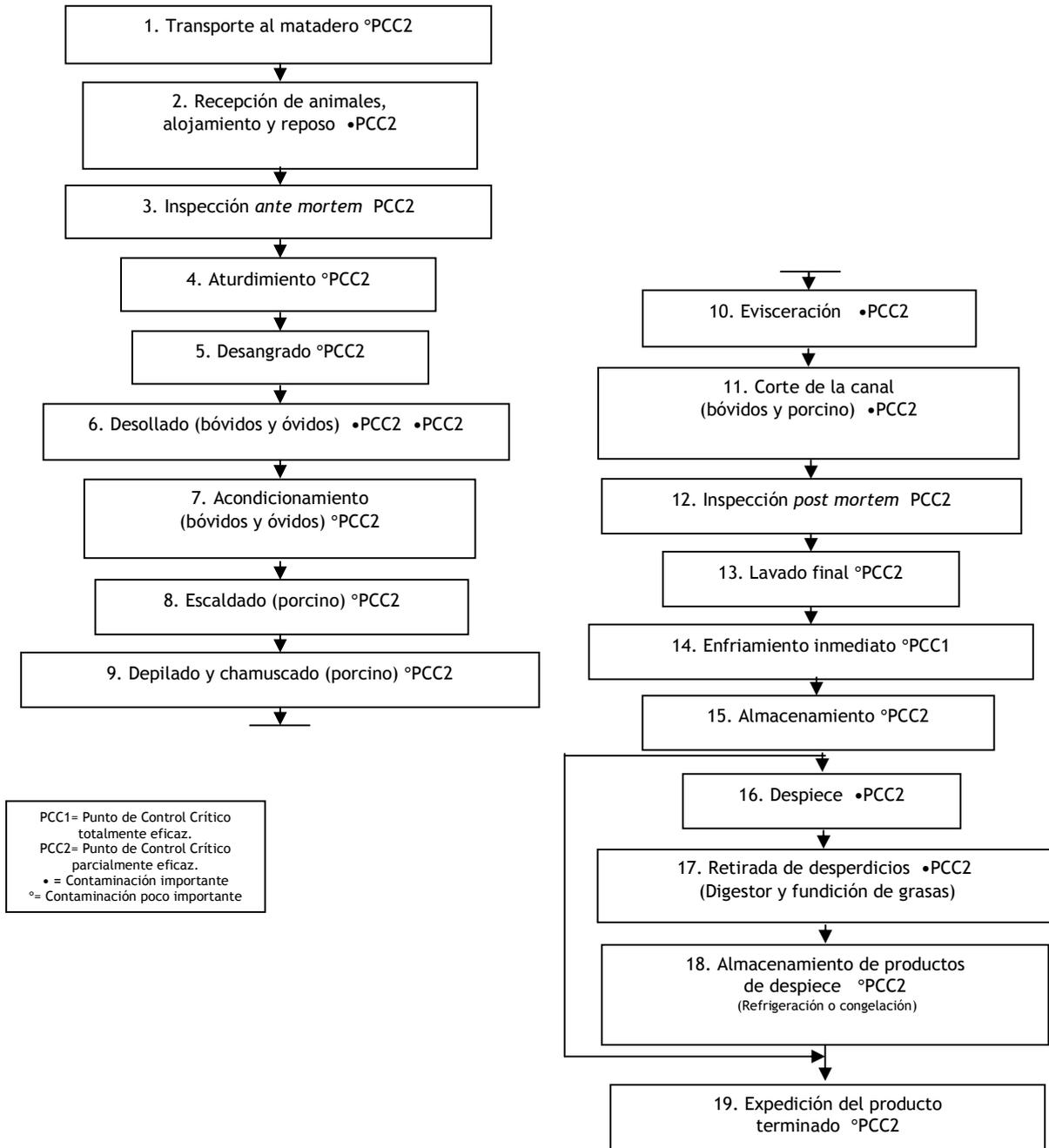


Figura 7. Diagrama de bloques matadero con sala de despice de carnes

Fuente: Adaptado de Pardo.<sup>(24)</sup>

recepción, desollado, evisceración, corte, despiece y retirada de desperdicios respectivamente).

Siguiendo los principios del HACCP, un cuadro sinóptico de la aplicación que muestra lo pertinente para este diagrama de proceso en cada paso, se muestra en el cuadro número 1.

✓ Sinóptico de la aplicación

En el cuadro número 1 se presentan los riesgos, medidas preventivas, PCCs, límites críticos, vigilancia, medidas correctivas y registros para las fases marcadas como 2, 6, 10, 11, 16 y 17 del diagrama planteado en la figura 7<sup>(®)</sup>; se destacan éstos por que son en los que existe un riesgo de contaminación importante, por lo cual es en donde se debe de poner mayor atención con la finalidad de llevar a cabo las medidas necesarias que permitan obtener un alimento inocuo. Primero se presenta el cuadro sinóptico de estos puntos como se desarrolla en la bibliografía, y enseguida otro (cuadro 2) en el que se incluyen el control de condiciones del aire a manera de mostrar los beneficios que esto trae consigo.

---

<sup>(®)</sup> El cuadro sinóptico completo de la aplicación se presenta como el Anexo A al final de este trabajo.

El cuadro 1 permite apreciar que las fases rescatadas del proceso planteado en el diagrama de bloques de la figura 7, a pesar de presentar un riesgo importante de contaminación, son PCCs parcialmente eficaces (PCCs 2), con lo cual aunque se disminuyen, se continúan teniendo probabilidades importantes de riesgo en los productos. Se describen brevemente: la recepción de animales, el desollado, la evisceración y el corte de la canal, que corresponden al diagrama de matadero como tal, y además el despiece y la retirada de desperdicios que son propios de la sala de despiece. Como ya se mencionó, siendo éstos los Puntos Críticos con Contaminación importante, es en donde se requiere poner mayor atención contemplando medidas que la prevengan, en el caso de la recepción de animales se plantean como medidas preventivas llevar a cabo aquellas relacionadas con la integridad de los mismos, que aunque lo que logran es un PCCs 2, de cierta manera se refuerza con la inspección *ante mortem* para no permitir que se incorpore al proceso un animal que trae consigo más riesgos; en el desollado, la parte externa del animal es una fuente importante de microorganismos, que pueden contaminar la superficie de la canal al entrar en contacto con ella de forma directa o indirecta, para este caso las medidas preventivas consisten en poner atención en las prácticas de manipulación para que se lleven a cabo de la manera lo más higiénicamente posible o hacer uso de la aplicación de tecnología (desollado vertical y por tracción mecánica); este punto además es respaldado en el caso de los bóvidos por la etapa posterior de acondicionamiento, en donde se incluyen el prelavado y lavado bactericida; en la evisceración, las medidas preventivas dependen de la formación de los operarios

Cuadro 1. Sinóptico: fases matadero-sala de despiece de carnes con riesgo de contaminación importante.

Fase	Riesgos	Medidas preventivas	Pcc	Límite crítico	Vigilancia	Medidas correctivas	Registros
2. Recepción de animales, alojamiento y reposo *PCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Lesiones.</li> <li>⊗ Ensuciamiento de la piel.</li> <li>⊗ Infecciones cruzadas.</li> <li>⊗ Aparición de enfermedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ No asustar a los animales.</li> <li>⊗ Conducción cuidadosa a los establos.</li> <li>⊗ Mantener limpios los establos.</li> <li>⊗ Retirada de los animales sospechosos.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Rechazar animales sucios.</li> <li>⊗ Dejar reposar animales fatigados.</li> <li>⊗ Correcta ejecución de operaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Condición y estado sanitario de los animales.</li> <li>⊗ Condiciones de alojamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Apercibir al suministrador.</li> <li>⊗ Corrección de métodos empleados y tiempos de reposo.</li> <li>⊗ Revisar condiciones de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Documentación de recepción.</li> <li>⊗ Control de origen de los animales.</li> <li>⊗ Medidas correctivas.</li> </ul>
6. Desollado (bóvidos y ovidos) *PCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Contaminación microbiológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Realizar buenas prácticas de manipulación.</li> <li>⊗ Aplicación de tecnología.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Retirada rápida de piel y cueros.</li> <li>⊗ Ausencia de pelos, lana, suciedad.</li> <li>⊗ Correcto funcionamiento de equipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Inspección visual.</li> <li>⊗ Correcta ejecución del programa de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Formar a los operarios.</li> <li>⊗ Revisar pautas de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Muestreo realizado.</li> <li>⊗ Medidas correctoras.</li> </ul>
10. Escaldado	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Contaminación de la canal.</li> <li>⊗ Ensuciamiento de la canal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Buenas prácticas higiénicas.</li> <li>⊗ Formación específica del operario.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Cadencia de malarza suficiente.</li> <li>⊗ Condiciones higiénicas satisfactoria</li> <li>⊗ Temperatura del agua de 80-84 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Control de las operaciones y de las condiciones de limpieza y desinfección.</li> <li>⊗ Temperatura del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Corrección de la cadencia de malarza.</li> <li>⊗ Revisión de las pautas de higiene.</li> <li>⊗ Formación continuada de operarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Medidas correctivas.</li> <li>⊗ Incidencias.</li> <li>⊗ Cursos de formación.</li> <li>⊗ Temperatura del agua.</li> </ul>
11. Corte de la canal (bóvidos y porcinos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Contaminación de la canal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Buenas prácticas higiénicas.</li> <li>⊗ Eliminación de desperdicios.</li> <li>⊗ Limpieza de útiles y superficies.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Condiciones higiénicas satisfactoria</li> <li>⊗ B.P.M.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Aplicación del programa de limpieza y desinfección.</li> <li>⊗ Temperatura del local.</li> <li>⊗ Inspecciones visuales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Corregir condiciones de trabajo.</li> <li>⊗ Corregir programa de limpieza y desinfección.</li> <li>⊗ Puesta a punto de útiles y equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Temperatura del local.</li> <li>⊗ Medidas correctivas.</li> </ul>
16. Despiece	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Contaminación microbiológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Prácticas higiénicas de manipulación.</li> <li>⊗ Limpieza y desinfección de útiles y superficies.</li> <li>⊗ Temperatura adecuada durante las operaciones.</li> <li>⊗ Control del tiempo de operaciones.</li> <li>⊗ Eliminación de desperdicios.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ B.P.M.</li> <li>⊗ Condiciones higiénicas satisfactoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Inspección visual periódica.</li> <li>⊗ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección.</li> <li>⊗ Vigilar temperatura del local.</li> <li>⊗ Correcta eliminación de desperdicios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Corregir condiciones de trabajo.</li> <li>⊗ Corregir programa de limpieza y desinfección.</li> <li>⊗ Puesta a punto de útiles y equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Medidas correctivas.</li> <li>⊗ Registro de temperatura del local de despiece</li> </ul>
17. Retirada de desperdicios a digestor y fundición grasas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Contaminación microbiológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Limpieza y desinfección de recipientes de transporte de desperdicios y grasas.</li> <li>⊗ Retirada inmediata de los recipientes según llenado.</li> <li>⊗ Almacenamiento a bajas temperaturas (0-3 °C).</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ B.P.M.</li> <li>⊗ Condiciones higiénicas satisfactoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Inspección visual periódica.</li> <li>⊗ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Corregir programa de limpieza y desinfección.</li> <li>⊗ Cambiar de empresa responsable de la entrada de desperdicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Medidas correctivas.</li> <li>⊗ Controles a la empresa contratada.</li> </ul>

y la forma en que lleven a cabo su trabajo. El corte de la canal es un punto de gran atención que hay que destacar, pues en ésta etapa las canales se cortan con una sierra mecánica para favorecer su manejo; en porcino, en ocasiones se realiza de forma manual, lo que puede provocar contaminación de la canal a través del operario y de la propia herramienta de corte; como medidas preventivas es propuesto realizar buenas prácticas higiénicas durante la manipulación de las canales, sin embargo, el hecho de utilizar sierras mecánicas genera cierta cantidad de carga térmica dentro del local en que se realice la tarea, con lo que se puede pensar que en caso de contaminación, el riesgo es mayor debido a que las condiciones se hacen más propicias para la reproducción de microorganismos, por esto el PCCs es 2; aún así, como en el caso de desollado, este punto se encuentra respaldado por la inspección *post mortem*, un lavado final y enfriamiento inmediato. En el caso de la sala de despiece, el despiece como tal y la retirada de desperdicios son los puntos críticos con contaminación importante; en la retirada de desperdicios generados se debe tener bastante cuidado, pues son una fuente importante de contaminación e implican riesgo de contaminación microbiana o el incremento de la que pueda existir, por lo que es necesario tratarlos diariamente, limpiando y desinfectando los recipientes utilizados en el transporte. La fase de despiece por sí misma es también un punto de gran atención que hay que destacar ya que es muy peligrosa desde el punto de vista higiénico-sanitario por suponer una propagación de suciedad al resto de las instalaciones y, que al implicar manipulación directa de

la carne, tiene un mayor riesgo de contaminación; aquí también la temperatura de la sala de despiece es importante, puesto que se está manipulando al alimento por periodos de tiempo que en caso de contaminación, a temperaturas apropiadas para el desarrollo de microorganismos, agudiza el riesgo en el alimento mucho más que en el caso del corte de la canal en el matadero, pues después de esta fase el alimento va directo a almacén y venta para el consumo, sin algún otro tratamiento que respalde esta posible contaminación; éste también es un PCCs 2.

#### ✓Condiciones de aire requeridas

Como se ha visto, dentro de los PCCs con contaminación microbiológica importante en el proceso planteado, hay dos que resaltan por que la temperatura puede influir considerablemente, y además son las etapas en las que la materia ha recorrido casi el total del proceso y se encuentra a casi solo un paso para poder ser ofrecida como producto de consumo, por lo que las pérdidas en estos puntos son mayores. Por lo cual, el centrarse en éstas dos fases de proceso pensando en un mayor control con medidas preventivas es conveniente, sobre todo en el caso del despiece, pues no le continúa alguna otra etapa que pueda reforzar la eliminación de una posible contaminación ocurrida ahí al alimento.

Teniendo en cuenta todo esto, la inclusión de medidas preventivas aunadas a las señaladas en contra de la contaminación microbiológica, que permitan que esos PCCs parcialmente eficaces tiendan a ser totalmente eficaces, tal y como se

muestra en el cuadro 2 se percibe como necesaria. El poner atención en medios indirectos de contaminación, como es el caso que se da en el contacto de la superficie de la carne con el aire cobra entonces importancia. Hay que tener en cuenta que, el valor de contaminación obtenido del aire de una fábrica se considera como un fiel reflejo de la contaminación del conjunto de la misma, y esto es uno de los criterios con que se valora una fábrica de alimentos para clasificarla en determinado grado.<sup>(1, 3)</sup>

La necesidad de un control microbiológico en todas las fases del proceso de transformación se hace indispensable;<sup>(1)</sup> y las fases marcadas como 11 y 16 cobran mayor importancia cuando se tiene en cuenta los recursos de que se dispone para tratar de obtener un alimento inocuo (que por lo general son escasos), hay que reiterar que son los últimos PCCs con una posible contaminación importante según como se vaya a comercializar la carne, ya sea como canal o después de un proceso más al pasar por la sala de despiece. Con esto se hace relevante el tener que concentrar los recursos de la planta en las medidas preventivas para estas dos fases, contemplando un control microbiológico del aire, su temperatura y humedad relativa; con lo cual, el siguiente consumidor obtendrá a su llegada un producto con un menor número de microorganismos como consecuencia de haber estado en contacto con el aire, utensilios y manos del operador durante todo su proceso anterior.<sup>(1)</sup>

Cuadro 2. Control de condiciones del aire en fases matadero-sala de despiece de carnes con riesgo de contaminación importante.

Fase	Riesgos	Medidas preventivas	pcc	Límite crítico	Vigilancia	Medidas correctivas	Registros
11. Corte de la canal (bóvidos y porcinos)	☉ Contaminación de la canal.	☉ Buenas prácticas higiénicas. ☉ Eliminación de desperdicios. ☉ Limpieza de útiles y superficies. ☉ Limpieza del aire. <sup>(1)</sup>	1	☉ Condiciones higiénicas satisfactorias. ☉ Temperatura del local inferior a 10 °C. <sup>(27)</sup> ☉ 100 a 200 bacterias por m <sup>3</sup> , con menos de 10 gérmenes potencialmente patógenos. <sup>(1)</sup> ☉ B.P.M.	☉ Aplicación del programa de limpieza y desinfección. ☉ Temperatura del local. ☉ Inspecciones visuales. ☉ Determinación rutinaria de contaminación del aire en el área. <sup>(1)</sup>	☉ Corregir condiciones de trabajo. ☉ Corregir programa de limpieza y desinfección. ☉ Puesta a punto de útiles y equipos.	☉ Recuentos en placas (contaminación del aire) a tiempos determinados. <sup>(1)</sup> ☉ Temperatura del local. ☉ Medidas correctivas.
16. Despiece	☉ Contaminación microbiológica.	☉ Prácticas higiénicas de manipulación. ☉ Limpieza y desinfección de útiles y superficies. ☉ Temperatura del medio adecuada durante las operaciones. ☉ Limpieza del aire. <sup>(1)</sup> ☉ Control del tiempo de operaciones. ☉ Eliminación de desperdicios.	1	☉ B.P.M. ☉ Condiciones higiénicas satisfactorias. ☉ 100 a 200 bacterias por m <sup>3</sup> , con menos de 10 gérmenes potencialmente patógenos. <sup>(1)</sup> ☉ Temperatura < 10 °C en el local de despiece. <sup>(27)</sup>	☉ Inspección visual periódica. ☉ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección. ☉ Vigilar temperatura del local. ☉ Determinación rutinaria de contaminación del aire en el área. <sup>(1)</sup> ☉ Correcta eliminación de desperdicios.	☉ Corregir condiciones de trabajo. ☉ Corregir programa de limpieza y desinfección. ☉ Puesta a punto de útiles y equipos.	☉ Recuentos en placas (contaminación del aire) a tiempos determinados. <sup>(1)</sup> ☉ Medidas correctivas. ☉ Registro de temperatura del local de despiece.

El hecho de llevar a cabo este tipo de medidas preventivas en áreas de procesado de alimentos las convertiría en lo que podríamos llamar *áreas limpias de proceso de alimentos*, que en este caso trabajan a *bajas temperaturas*.

### **3.2. Aves**

En cuanto a las aves, existe la sala de despiece de aves, similar a la anterior donde se obtienen carnes rojas; en la de aves, una vez sacrificadas son conducidas mediante traspaleta manual a la sala de despiece, que dispone de mesa de despiece con los utensilios necesarios para tal fin, más línea de envasado. El despiece básicamente contempla el faenado de pollo limpio a fin de extraer productos finales. Se elaboran diversos productos como canales, medallones, nugget, pollo limpio, albóndigas, croquetas, pechugas y productos navideños entre otros.<sup>(1)</sup>

### **3.3. Productos lácteos**

Una leche de buena calidad, segura para consumo humano, es el resultado de reconocidas prácticas sanitarias observadas a lo largo de todas las etapas del proceso, desde la extracción de la leche hasta su envasado; el número de bacterias presentes en el producto final refleja las condiciones sanitarias bajo las

cuales la leche ha sido procesada y permite determinar el periodo de preservación de ésta o de sus derivados.<sup>(9)</sup>

Teniendo en cuenta su carácter perecedero, la leche requiere de alguna forma de procesamiento para prolongar su periodo de conservación haciéndola más estable. Es importante mencionar que después de Canadá y Nueva Zelanda México ha llegado a ocupar el tercer lugar en importaciones de productos lácteos en Estados Unidos; esos tres, son países en los que las industrias lecheras tienen una buena reputación por su calidad y seguridad, encontrándose entre las más competitivas del mundo. Para nuestro país el conservarse en estos primeros lugares requiere tener un plan de HACCP para exportar, como lo hacen otras naciones;<sup>(16)</sup> sobretodo cuando actualmente los organismos encargados de la seguridad en alimentos en Estados Unidos se encuentran desarrollando pruebas de implementación de HACCP con industrias voluntarias de ésta área dentro de su territorio nacional en los procesos referentes a leche fluida y productos de leche condensada y en polvo.<sup>(42)</sup> Esto es indicio de que posiblemente en tiempo cercano sea ya un requerimiento obligatorio. Por lo cual, la atención se dirige también hacia la necesidad de tomar en cuenta las fuentes consideradas como contaminantes del producto a través del proceso, teniendo muy en cuenta al aire como factor acarreador de ciertos contaminantes y la necesidad del control de su temperatura y humedad relativa; como ejemplo, en el caso particular de la leche en polvo el control de condiciones del aire en el área de proceso, destacando la

humedad relativa, es muy importante ya que así lo demandan sus características higroscópicas. Aunque todo el proceso se lleva a cabo dentro del secador, el momento que requiere de un mayor cuidado es a la salida de la leche en polvo de éste hacia el envase.

## 4. SISTEMAS DE CONTROL DE CONDICIONES DEL AIRE

Los sistemas de control de condiciones del aire pueden ser identificados comúnmente a través de ciertas características físicas y de operación que poseen, por las cuales son clasificados y agrupados dentro del concepto de Sistemas de Aire Acondicionado, pero además pueden encontrarse formando parte de otro concepto, en el cual, más que por características físicas y de operación del sistema, la clasificación se basa principalmente en características relacionadas con la calidad de limpieza que se puede obtener en el aire tratado termohigrométricamente.

En el cuadro 3 se muestran los conceptos dentro de los que se pueden encontrar los sistemas de acondicionamiento del aire, los cuales son parte esencial en el mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas en áreas de proceso a bajas temperaturas.

Cuadro 3. Conceptos que involucran directamente sistemas de control de condiciones del aire.

Concepto	Basado en	Tipos existentes
<b>Clasificación común (Sistemas de Aire Acondicionado)</b>	Tamaño, construcción y características de operación.	Sistemas Individuales. Sistemas Espacio-Acondicionado. Sistemas Unidad Empacada. Sistemas Centrales.
<b>Cuartos limpios</b>	Grado de limpieza del aire.	Con ventilación convencional. Con flujo de aire unidireccional.

En el presente trabajo se ha convenido llamar *clasificación común* a aquella encontrada comúnmente dentro del ámbito de la ingeniería de refrigeración y acondicionamiento de aire para los sistemas de control de condiciones del aire, y como *cuartos limpios*, a la que utiliza de esos sistemas para realizar también controles del aire, pero apegada a un concepto que lleva como principio la limpieza lograda en el aire de determinada área tratada, por lo que la clasificación que se hace va referida a ésta última acción.

A continuación se desarrollan dichos conceptos a manera de obtener una visión más amplia de lo que es cada uno.

#### 4.1. Clasificación común

Los tipos de sistemas de control de condiciones del aire encontrados como comunes hacen referencia a aquellos mejor conocidos simplemente como *sistemas de aire acondicionado*, con éste último término generalmente se entiende que se está hablando de un sistema dedicado exclusivamente al confort humano, y aunque en sus inicios esa fue la idea principal, hoy en día el concepto ha evolucionado hasta abarcar procesos industriales en los que se hace necesaria la existencia de un control de condiciones del aire como lo es en la industria alimentaria.<sup>(8, 25)</sup> Así, en construcciones hechas para manufactura, los sistemas de aire acondicionado se proporcionan teniendo en cuenta que en esas áreas se

lleva a cabo procesamiento de productos, y se les llama *sistemas de aire acondicionado para procesamiento*.<sup>(45)</sup>

Esta clasificación se basa en el tamaño, construcción y características con que operan como se muestra a continuación.<sup>(45)</sup>

#### 4.1.1. Sistemas Individuales

También conocido como de Cuarto Individual, es un sistema que normalmente emplea ya sea un acondicionador de aire de cuarto individual, un contenedor-propio y empacado (instalado en una ventana o a través de una pared), o unidades separadas (dentro y fuera) para servir a un cuarto individual, como se muestra en la figura 8. Al decir “Contenedor-propio y empacado” se hace referencia al ensamblado de fábrica en un paquete y listo para usarse.

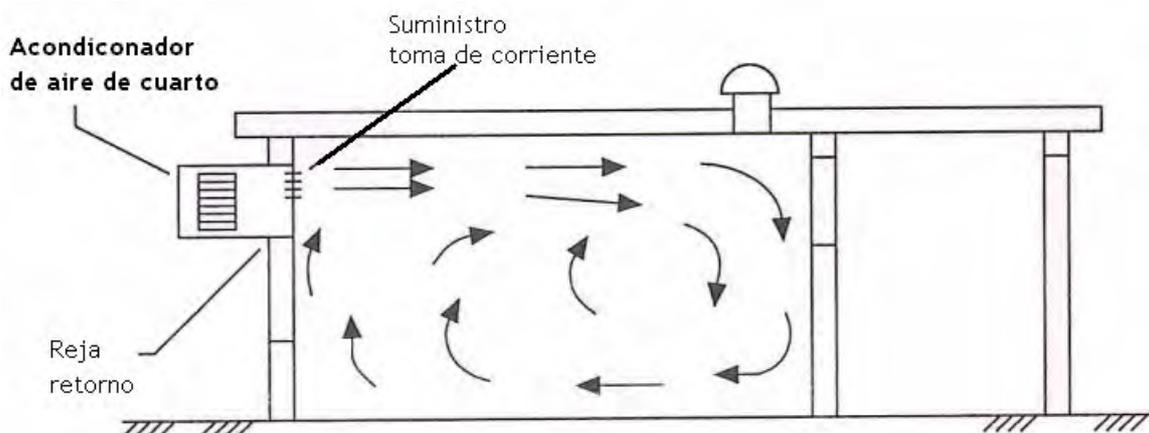


Figura 8. Sistema Individual de Aire Acondicionado.<sup>(45)</sup>

#### 4.1.2. Sistemas Espacio-Acondicionado

Este tipo de sistemas tiene su acondicionador de aire -enfriamiento, calentamiento y filtración- hecho predominantemente dentro o encima del espacio acondicionado, como se muestra en la figura 9. El aire exterior se suministra a través de una unidad de manejo de aire, que es un sistema de ventilación separado y que se encuentra por fuera de dicho espacio, también conocido como “*Air Handling Unit*” (AHU). Las diferentes literales y números enmarcados, como los del panel DDC hacen referencia a partes de los sistemas de control.<sup>(45)</sup>

#### 4.1.3. Sistemas Unidad Empacada

Estos sistemas son instalados ya sea con un contenedor propio individual, una unidad empacada ensamblada de fábrica “*factory assembled packaged unit*” (PU) o dos unidades divididas: una manejadora de aire dentro del cuarto, normalmente con ductos de trabajo, y una unidad de condensado fuera del cuarto con compresor(es) de refrigeración y condensador, como se muestra en la figura 10: (a) unidad empacada, (b) sistema en dos partes y (c) otra representación del mismo. En un sistema empacado, el aire se enfría principalmente por expansión directa de refrigerante en evaporador (Dx ).<sup>(45)</sup>

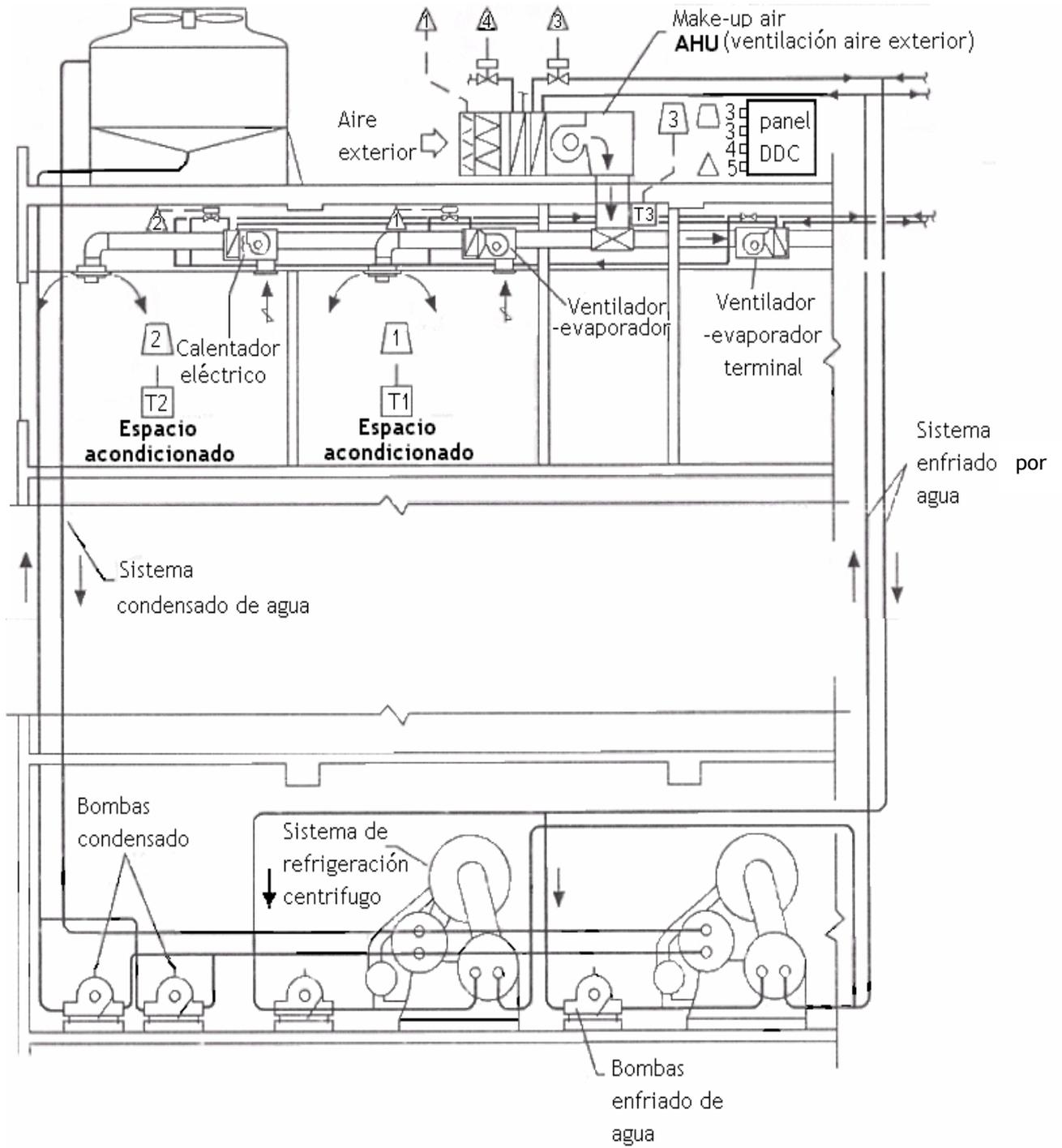


Figura 9. Sistema Espacio Acondicionado. <sup>(45)</sup>

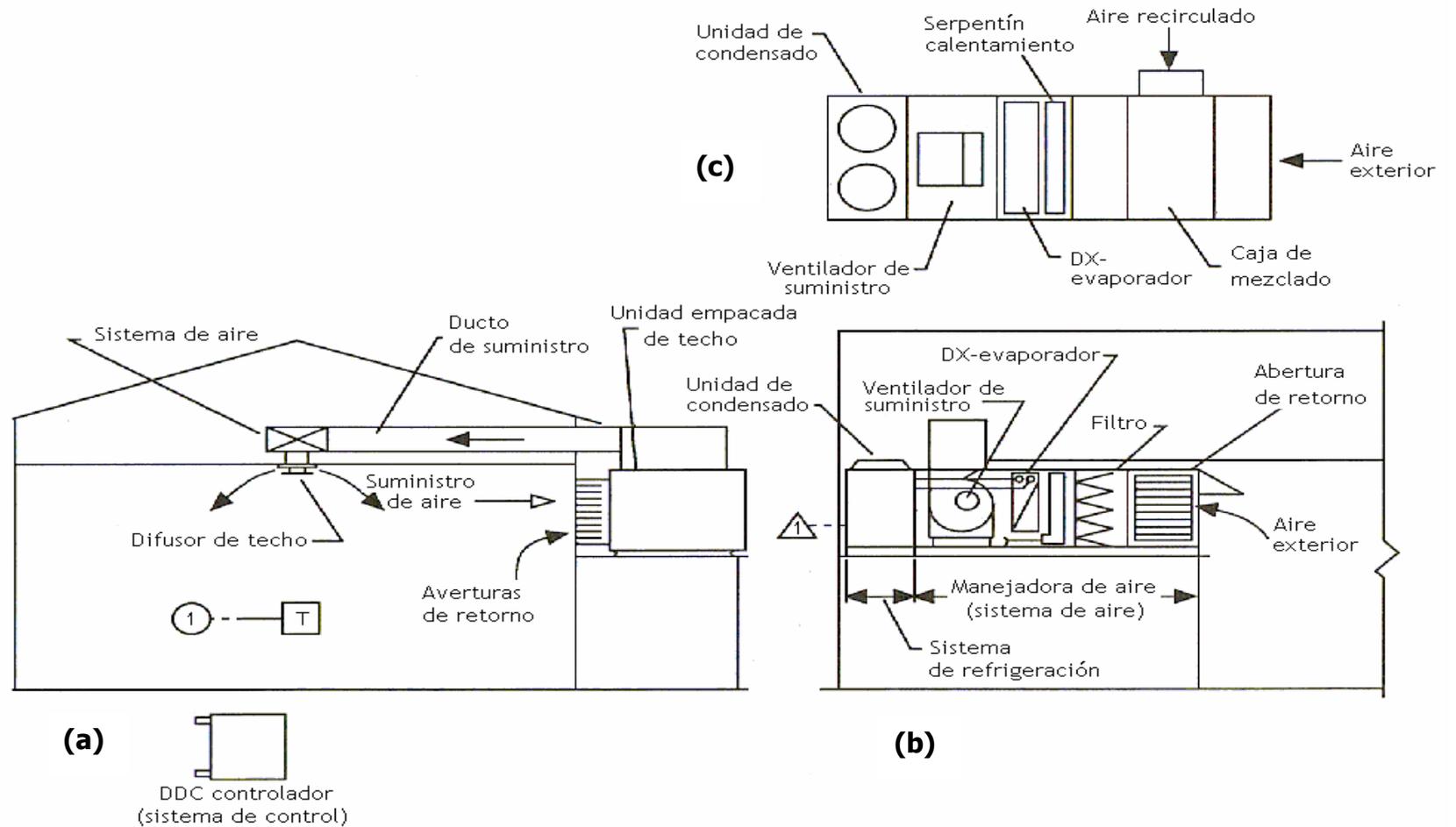


Figura 10. Sistema Empacado de Acondicionamiento de Aire: (a) unidad empacada y (b) sistema en dos partes y (c) otra representación del mismo.<sup>(45)</sup>

#### 4.1.4. Sistemas Centrales

Un sistema central utiliza agua enfriada procedente de una planta central para poder enfriar el aire que pasa por el evaporador en una unidad de manejo de aire AHU como se muestra en la figura 11. Para el transporte de energía, la capacidad de calor del agua es alrededor de 3 400 veces mayor que la del aire. Estos sistemas se ensamblan e instalan en el sitio.<sup>(45)</sup>

Los sistemas empacados comprenden solamente: sistema de aire, refrigeración (y calentamiento en su caso), y sistemas de control. Los sistemas centrales y los de espacio acondicionado consisten de:<sup>(45)</sup>

- (a) Sistemas de aire. Un sistema de aire es la parte correspondiente al manejo del aire de un sistema de acondicionamiento de aire.
- (b) Sistemas de agua. Estos incluyen un enfriador de agua (y calentador en su caso), y un sistema de condensado de agua. El sistema de agua consiste de bombas, tubería de trabajo, y accesorios.
- (c) Sistema de refrigeración de planta central<sup>\*(Ⓢ)</sup>. El sistema de refrigeración en la planta central de un sistema central se encuentra usualmente en la forma de un enfriador empacado con una unidad de condensado que se encuentra por fuera del espacio acondicionado

---

<sup>\*(Ⓢ)</sup> En el Anexo B se presenta el Sistema de Refrigeración para el Sistema de Acondicionamiento de aire Central.

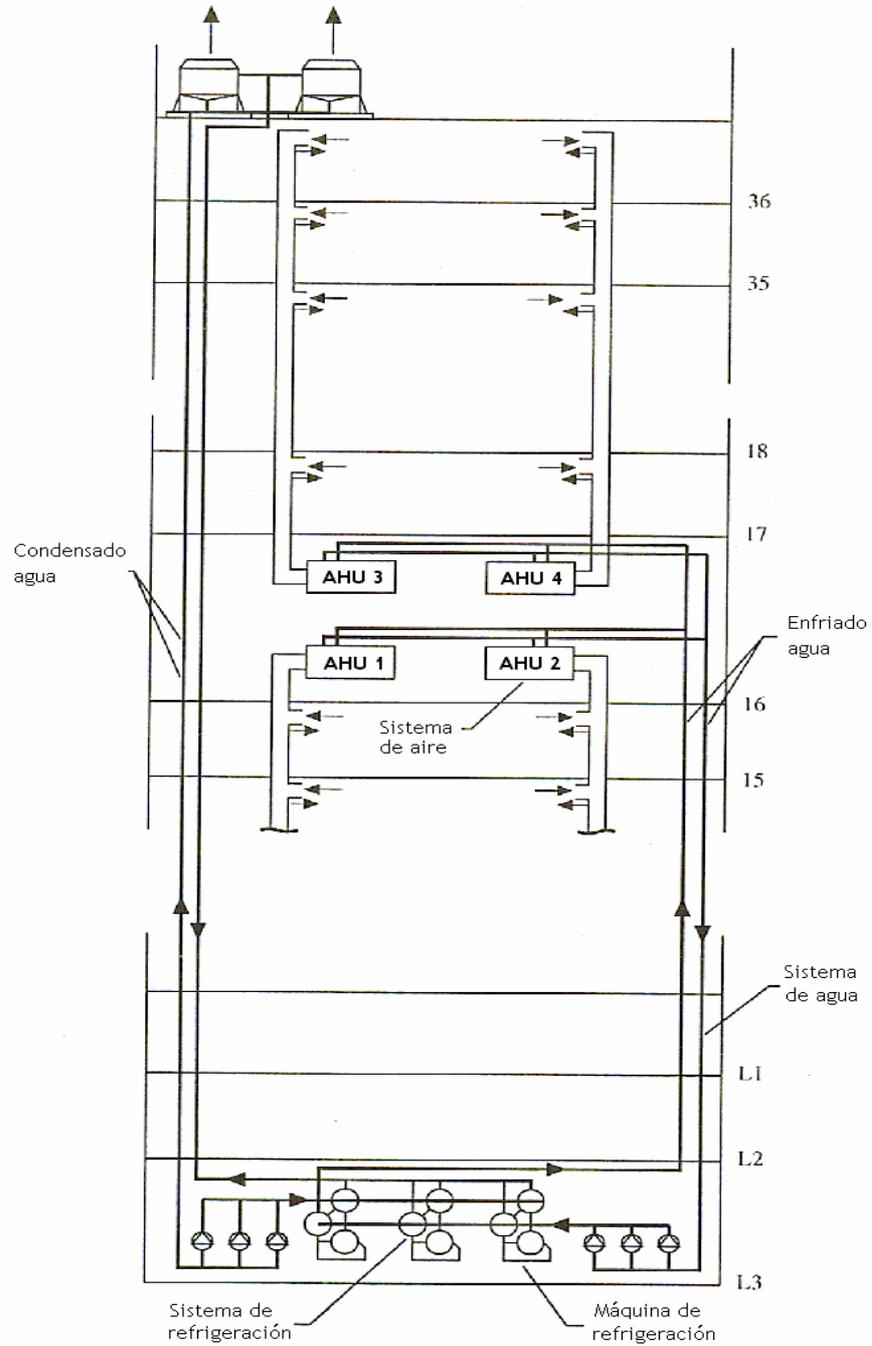


Figura 11a. Un Sistema de Acondicionamiento de Aire Central: diagrama esquemático. <sup>(45)</sup>



Esta parte es también llamada la parte de refrigeración de un sistema central.

- (d) Sistemas de control. Los sistemas de control usualmente consisten de sensores, controladores digitales directos (DDC) basados en un microprocesador, un dispositivo de control, elementos de control, computadora personal, y una red de comunicación.

#### 4.2. Cuartos limpios

El concepto de cuarto limpio se presenta como lo más moderno en lo que al control de condiciones del aire respecta. Aunque los orígenes del diseño de cuartos limpios datan de hace décadas, teniendo su nacimiento en la necesidad del control de infecciones en hospitales, hoy en día dicho concepto se está desarrollado en un gran número de industrias procesadoras de productos que requieren de un control de contaminación en su ambiente (requerimiento de la sociedad moderna), lo cual es pertinente al área de procesamiento de alimentos.<sup>(46)</sup>

El Estándar Federal 209 E define a un cuarto limpio como: “un cuarto en el cual la concentración de partículas que se encuentran en el aire es controlada y contiene una o más zonas limpias”.<sup>(28, 46)</sup>

De acuerdo a la Organización Internacional de Estándares, en el ISO 14644-1 se define como: “un cuarto en el cual la concentración de partículas que se encuentran en el aire es controlada y se construye y usa de manera que minimiza la introducción, generación y retención de partículas dentro del cuarto y además se controlan otros parámetros relevantes como la temperatura, humedad, y presión”.<sup>(28)</sup>

#### 4.2.1. Clasificación

Los cuartos limpios se clasifican de acuerdo a la limpieza de su aire. El método más fácilmente entendido y más ampliamente utilizado es el sugerido en versiones del Estándar Federal 209 A al 209 D (el cambio en las literales hace referencia a las revisiones que ha tenido a través del tiempo), perteneciente a los Estados Unidos; el cuadro 4 da una muestra de éste tipo de clasificación, en donde la cantidad de partículas mayores o iguales a  $0.5\mu\text{m}$  permitidas por pie cuadrado es igual al número de clasificación que se le da, de ahí la sencillez que presenta para su uso y el motivo para haber llegado a ser tan recurrido en gran parte del mundo donde se utiliza este tipo de instalaciones.<sup>(28)</sup>

En la última edición del Estándar Federal 209 (Estándar Federal 209 E) la concentración de partículas que se encuentran en el aire dentro del cuarto fue incluso dada en unidades métricas. Esta nomenclatura nunca llegó a ser establecida y se utilizó de forma ocasional en algunos artículos publicados.<sup>(30)</sup>

Cuadro 4. Clasificación de cuartos limpios Estándar Federal 209 D simplificada.<sup>(28)</sup>

Clasificación Estándar Federal 209	1	10	100	1 000	10 000	100 000
Número de partículas mayores o iguales a 0.5 $\mu\text{m}/\text{ft}^3$	1	10	100	1 000	10 000	100 000

Hasta hace una década, la estandarización y guías de trabajo en tecnología de cuartos limpios era manejada casi exclusivamente por organizaciones nacionales. Esto llevó a tener como resultado un total de más de 350 estándares nacionales y pautas, siendo un problema para las empresas que sirven al mercado mundial dedicadas a la producción de diseños, al igual que para los diseñadores y constructores de áreas limpias.<sup>(33)</sup> Por acuerdo de la Unión Europea con la Organización Internacional para la Estandarización y después de una propuesta hecha por los Estados Unidos para llevar a un nivel verdaderamente internacional los esfuerzo de estandarización que estaba realizando el Comité Técnico Europeo CEN/243 por la concordancia entre estándares a un nivel internacional, en 1993 se crea el Comité Técnico Internacional ISO/TC 209 y se comienza a trabajar en un Estándar Internacional de cuartos limpios; el cual ahora se encuentra reemplazando a todos los anteriormente utilizados.<sup>(31, 33)</sup>

Los estándares ISO que se han publicado, o están siendo escritos son: el 14644, que bajo el título general de “Cuartos limpios y Ambientes Controlados Asociados” en su primera parte ya publicada (14644-1) da la clasificación de limpieza del aire y el 14698 bajo el título general “Cuartos limpios y Ambientes

Controlados Asociados-Control de Biocontaminación”, del cual las partes que lo componen aún se encuentran en revisión.<sup>(30, 33)</sup>

Cuadro 5. Clases indicadoras de límites de partículas de aire para cuartos limpios y zonas limpias seleccionadas a través del ISO 14644-1.<sup>(30)</sup>

Número de Clasificación ISO	Límites de concentración máximos (partículas/m <sup>3</sup> de aire) para partículas de tamaño considerado mayor o igual que las mostradas abajo					
	≥ 0.1µm	≥ 0.2µm	≥ 0.3µm	≥ 0.5µm	≥ 1µm	≥ 5.0µm
ISO Clase 1	10	2				
ISO Clase 2	100	24	10	4		
ISO Clase 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Clase 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Clase 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Clase 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Clase 7				352 000	83 200	2 930
ISO Clase 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Clase 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Así, el Estándar Federal 209 E es retirado oficialmente por el Servicio General de Administración del Gobierno de los Estados Unidos el 29 de noviembre del 2001,<sup>(33)</sup> quedando vigente el nuevo estándar ISO 14644-1 que se muestra en el cuadro 5;<sup>(28)</sup> sin embargo, cabe destacar que aún el EF 209 se mantiene en uso y se prevé que continuará así por varios años.<sup>(30)</sup>

Existen puntos de coincidencia con las clases del Estándar Federal 209: si la concentración de partículas/m<sup>3</sup> en el estándar ISO se divide entre 35.2 el

contenido se transforma en partículas/ft<sup>3</sup>. La clasificación equivalente al Estándar Federal 209 se obtiene entonces en el tamaño de partícula de 0.5µm. Una comparación es dada en el cuadro 6.<sup>(30)</sup>

Cuadro 6. Comparación entre clases equivalentes seleccionadas del EF 209 y el ISO 16466-1.<sup>(30)</sup>

Clases ISO 14644-1	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8
Clases EF 209	Clase 1	Clase 10	Clase 100	Clase 1 000	Clase 10 000	Clase 100 000

Debido a que la concentración de partículas del aire de determinado espacio depende de las partículas generadas por actividades realizadas en el cuarto; la clasificación del cuarto puede llevarse a cabo en esos estados de ocupación. Los estados de ocupación definidos en ISO 14644-1 son:<sup>(30)</sup>

- (a) Como construcción: la condición donde la instalación está completa con todos los servicios conectados y funcionando, pero sin equipo de producción, materiales o personal presente.
- (b) En descanso: en condición donde la instalación está completa con equipo instalado y operando en la manera

acordada entre el cliente y el proveedor, pero sin personal presente.

- (c) Operacional: es en condiciones con la instalación funcionando en la forma especificada, con el número especificado de personal presente y trabajando de manera adecuada.

#### 4.2.2. Tipos de cuartos limpios

Básicamente existen dos tipos de cuartos limpios de acuerdo al método de ventilación empleado:

- (a) Cuartos limpios con ventilación convencional

Estos cuartos limpios son incluso conocidos como ventilados turbulentamente o de flujo no unidireccional. Como se muestra en la figura 12 el aire se suministra al espacio a través de difusores o filtros en el techo.<sup>(28)</sup>

Un cuarto limpio difiere de un cuarto ventilado ordinario en varios aspectos como son: los tipos de filtros de aire utilizados, la cantidad de aire suministrado, entre otros, de los cuales se revisará en el apartado 4.2.3.<sup>(28, 46)</sup>

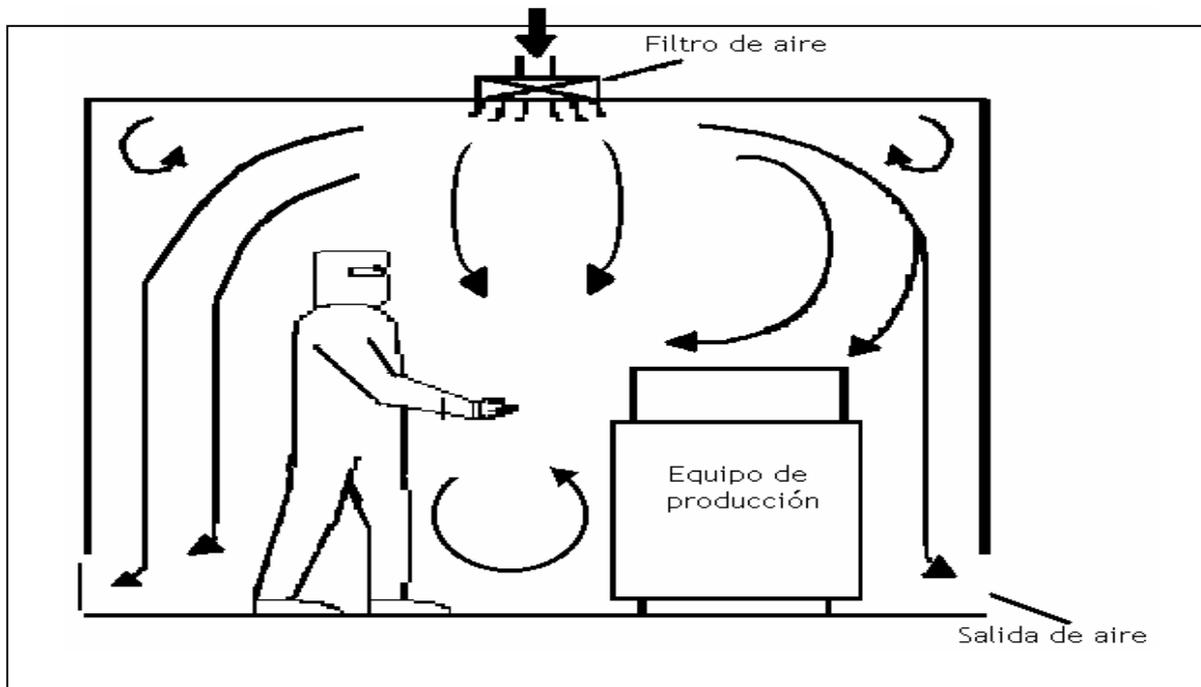


Figura 12. Cuarto limpio convencional ventilado turbulentamente (no unidireccional).<sup>(28)</sup>

El método general de ventilación usado en este tipo de cuarto limpio se puede asemejar al que se encuentra en oficinas y tiendas, entre otros, en el cual, el aire es suministrado por una planta acondicionadora de aire a través de difusores en el techo tal como se muestra en la figura 13.

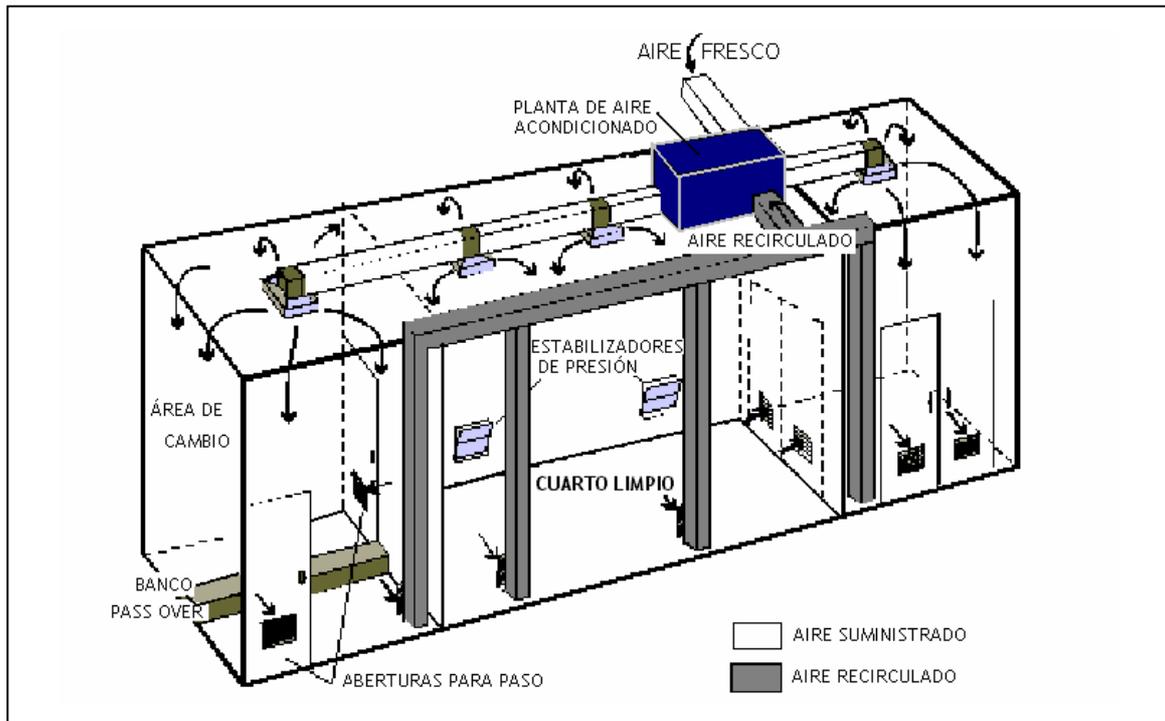


Figura 13. Cuarto limpio con ventilación convencional. <sup>(28)</sup>

(b) Cuartos limpios con flujo de aire unidireccional

Este es utilizado cuando se requiere tener bajas concentraciones de partículas o bacterias en el aire. Anteriormente se le conocía como *de flujo laminar*, ambos nombres describen el tipo de flujo de aire; la figura 14 ilustra como en éste tipo de área limpia el aire es suministrado por un banco de filtros de aire de alta eficiencia y pasa a través del espacio en forma unidireccional.<sup>(28)</sup> El flujo generalmente puede encontrarse en forma horizontal o vertical con una velocidad uniforme entre 0.3 y 0.45 m/s y a lo largo de todo el espacio de aire.<sup>(28)</sup>

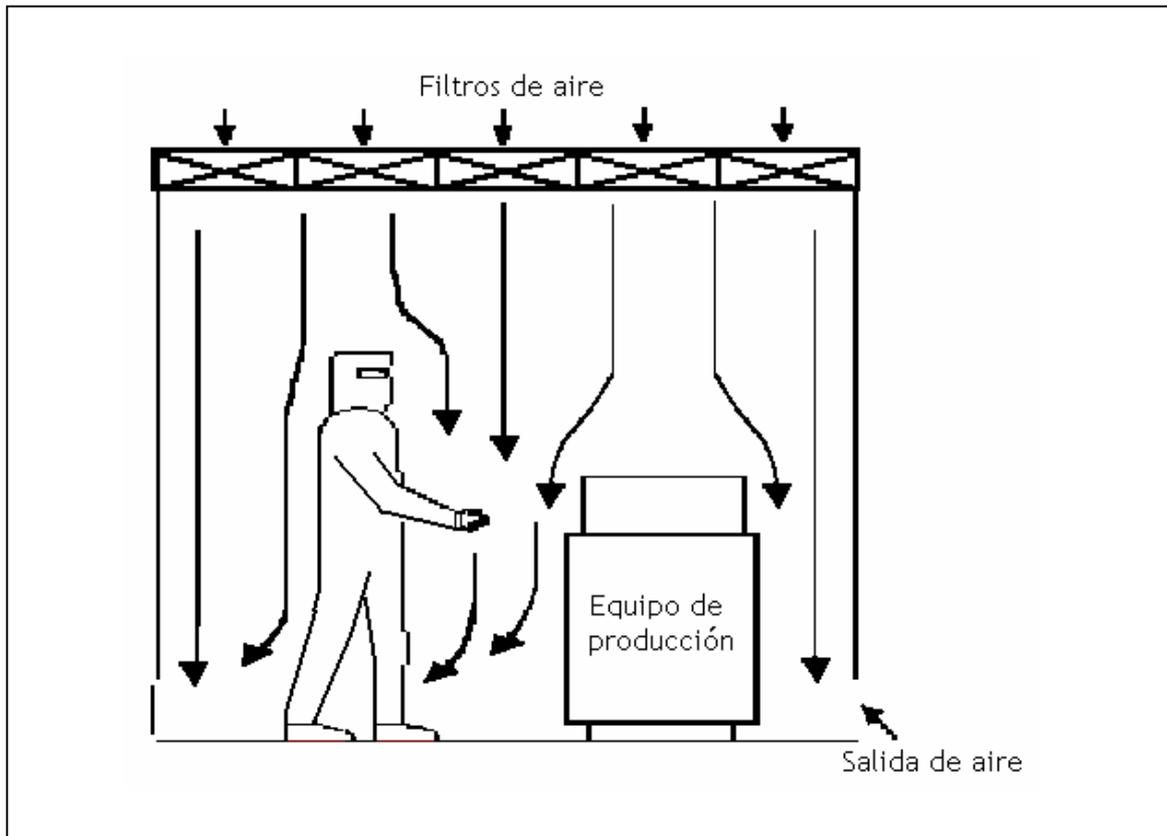


Figura 14. Cuarto limpio flujo unidireccional vertical.<sup>(28)</sup>

La velocidad de aire sugerida es suficiente para remover partículas relativamente grandes antes de que se fijen sobre las superficies y permite que el flujo unidireccional del aire se reestablezca cuando se torna turbulento y forma vórtices debido a obstrucciones que se encuentra a su paso. Los contaminantes generados dentro del cuarto pueden ser removidos inmediatamente a través de este flujo de aire, considerando que el sistema cuenta con mezclado y dilución para remover la contaminación.<sup>(28)</sup>

Se ha encontrado que la limpieza de un cuarto unidireccional es directamente proporcional a la velocidad de aire. <sup>(28)</sup> Los cambios de aire por unidad de tiempo se relacionan con el volumen del cuarto, el cual generalmente no tiene efecto en el papel que juega el sistema. <sup>(28)</sup>

Los cuartos con flujo unidireccional son de dos tipos en general: <sup>(28)</sup>

(i) Con flujo vertical

El flujo de aire va del techo hacia el piso y, como se muestra en la figura 15, el aire es suministrado a través de un banco completo de filtros de alta eficiencia por la parte superior con un flujo vertical que atraviesa el cuarto hasta salir por medio de rejillas en el piso. El aire descargado se recircula, se mezcla con algo de aire fresco, y se suministra de nuevo al interior del cuarto por medio de los filtros colocados en el techo. Este flujo de aire tiene la ventaja de que las partículas generadas en el cuarto llegan rápido al suelo y salen del mismo.

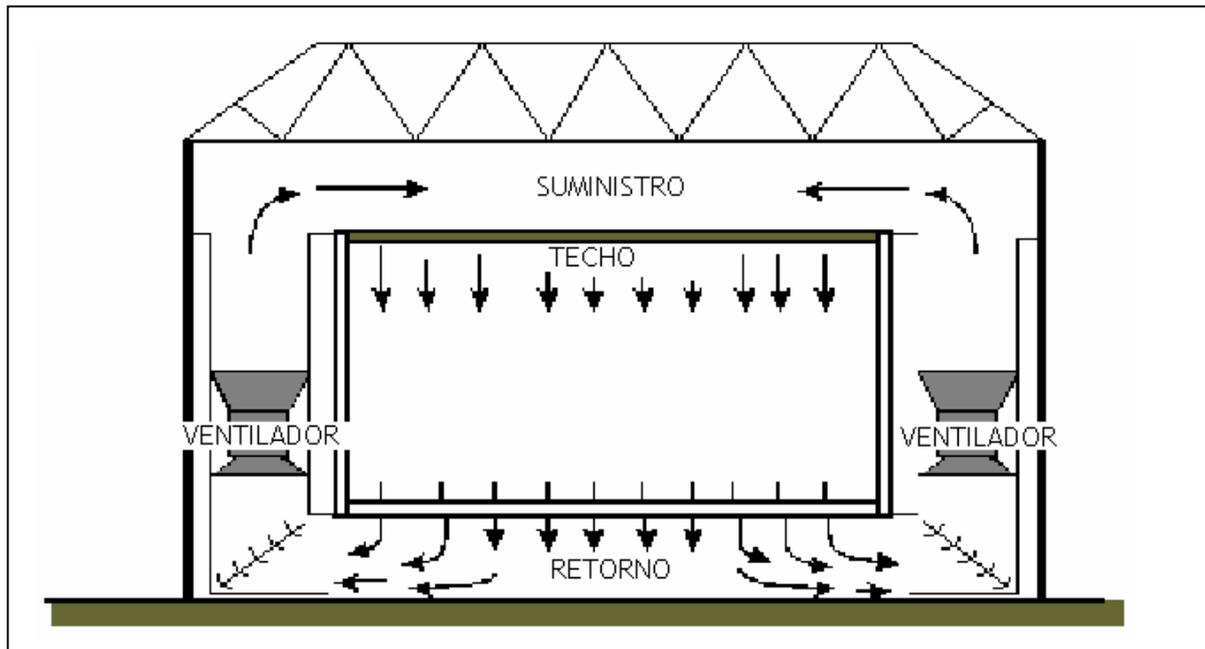


Figura 15. Cuarto limpio con flujo unidireccional vertical.<sup>(28)</sup>

Es común llegar a encontrar cuartos en los cuales el aire retorna por medio de rejillas colocadas alrededor del piso; si el área de éste no es demasiado grande, las rejillas o aberturas pueden situarse de forma alternativa en el nivel más bajo de las paredes como se muestra en la figura 16; la cual es un boceto de dominio computacional hecho de un cuarto limpio piloto a escala instalado en una escuela en Francia, diseñado para trabajar en la clase ISO 7, con dos zonas de flujo laminar con limpieza ISO clase 5 y en el cual el aire filtrado se introduce al área de trabajo a través de 9 difusores ( $d_1, d_2, \dots, d_9$ ) en el techo y se evacúa mediante 4 ventanillas de extracción ( $e_1, \dots, e_4$ ) cercanas al piso.<sup>(26)</sup>

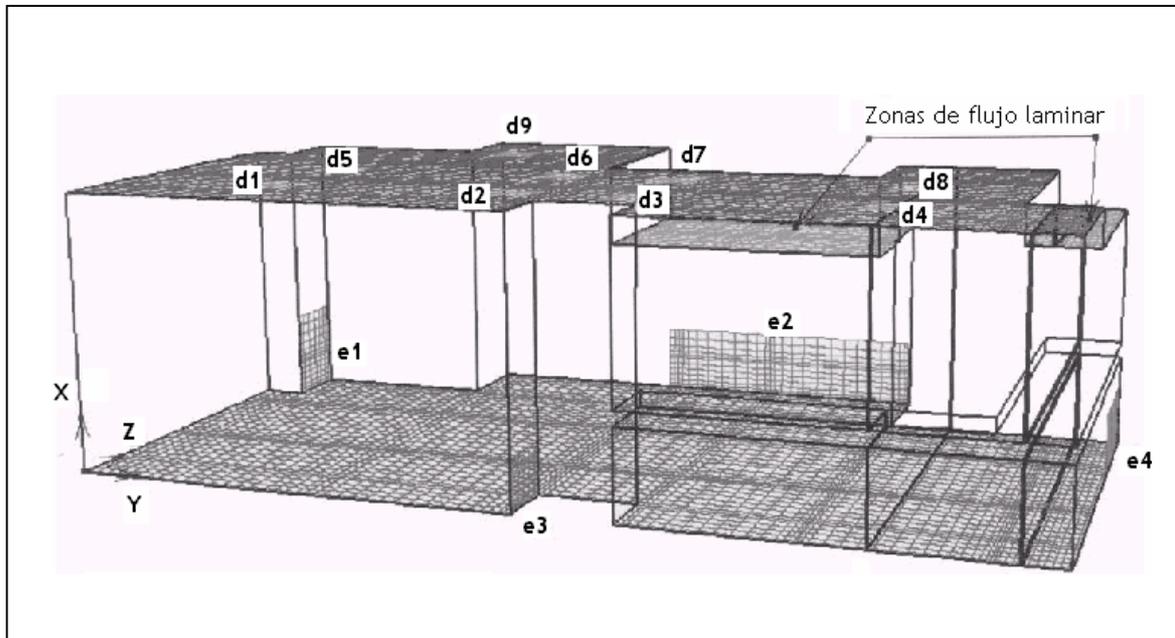


Figura 16. Boceto de dominio computacional de un cuarto limpio piloto a escala d: difusores, e: ventanillas de extracción.<sup>(26)</sup>

(ii) Con flujo horizontal

El flujo de aire en este sistema es de pared a pared, como se muestra en la figura 17, en forma horizontal a través del cuarto, entrando por una pared que es un banco completo de filtros de alta eficiencia, saliendo por la que esta enfrente y está formada por medio de rejjas; el inconveniente de este sistema es que la contaminación generada en el interior caerá al piso pudiendo contaminar los trabajos de proceso. Una de sus aplicaciones se encuentra en la medicina para el tratamiento de pacientes susceptibles a infecciones microbianas.

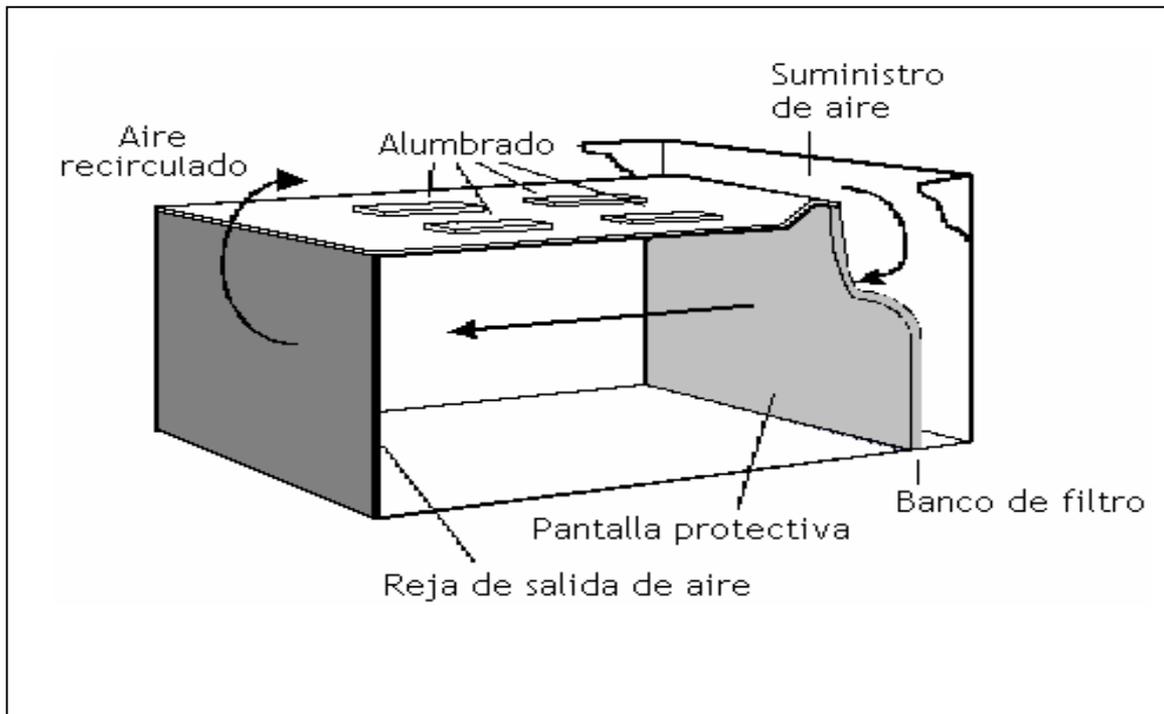


Figura 17. Cuarto limpio con flujo unidireccional horizontal.<sup>(28)</sup>

#### 4.2.3. Contraste respecto a sistemas convencionales

Como se comentó en el apartado 4.2.2. inciso (a), los cuartos limpios difieren de un cuarto ventilado ordinario en varios aspectos, comenzando con que no son para el acondicionamiento exclusivo del aire;<sup>(13)</sup> además, que no deben ser confundidos con campanas de laboratorio, gabinetes biológicos, o cajas para guantes. El objetivo de un cuarto limpio es el proteger un producto que esta siendo manufacturado y, aparte del hecho de la protección del trabajador, los

estándares formulados para la pureza del aire en cuartos limpios son más severos que aquellos referidos a la salud y seguridad de los trabajadores.<sup>(20)</sup>

A continuación se describen aspectos de contraste relevantes.

(a) Aire suministrado en mayor cantidad

El aire adicional suministrado permite la dilución de concentración de contaminantes dentro de un cuarto hasta niveles aceptables. A una oficina con aire acondicionado, se le suministrará suficiente aire para lograr condiciones de confort, hecho que incluso llega a disminuir los riesgos de cáncer por exposición a compuestos volátiles orgánicos en los trabajadores, en relación al mismo tipo de lugares pero que no cuentan con algún sistema de aire acondicionado;<sup>(17)</sup> el suministro puede encontrarse en una región de 2 a 10 cambios de aire por hora. Un cuarto limpio ventilado convencionalmente típico tendrá probablemente entre 20 y 60 cambios por hora.<sup>(46)</sup>

Los volúmenes de aire suministrados a un cuarto de flujo unidireccional son mayores que los proporcionados a un cuarto ventilado convencional (10 - 100); aunque por esto, tienen el inconveniente de ser más caros en capital y costos de operación.<sup>(28)</sup>

(b) Filtros de alta eficiencia

Un cuarto limpio usa filtros más eficientes que los usados en oficinas y lugares que utilizan sistemas de acondicionamiento del aire comunes. Los filtros utilizados en cuartos limpios podrían ser normalmente mayores a 99.97% de eficiencia en la remoción de partículas  $>0.5\mu\text{m}$  del aire suministrado al cuarto. Esos filtros se conocen como de Alta Eficiencia en remoción de Partículas del Aire “*High Efficiency Particle Air*” (HEPA); y existen otros que provocan cantidades Ultra Bajas de Partículas en Aire “*Ultra Low Particle Air*” (ULPA) y tienen una mayor eficiencia, aunque su uso está dirigido principalmente a áreas de fabricación de componentes microelectrónicos.<sup>(28)</sup>

(c) Filtros de aire terminales

Los filtros de alta eficiencia usados en cuartos limpios son instalados en el punto de descarga de aire al interior del cuarto. Mientras que en sistemas de aire acondicionado usados en oficinas, etc., los filtros se localizan directamente después de la planta de ventilación, con la consiguiente posibilidad de introducir partículas en el aire suministrado por los ductos, y provenientes incluso de las superficies de los mismos en el paso hacia dentro del cuarto.<sup>(28)</sup>

(d) Presurización y paso a través de rejas

En cuarto limpios, según el proceso a tratar, existen aquellos que utilizan una presión neutral, positiva o negativa.<sup>(36)</sup> En el caso de alimentos, para asegurar que el aire no pase de áreas sucias adyacentes hacia el interior, el cuarto limpio se presuriza positivamente.<sup>(28)</sup> Para lograr la presión correcta y permitir el movimiento de aire diseñado del lugar más al menos limpio, el paso a través de rejas o apagadores en paredes o puertas normalmente se toma en cuenta.<sup>(46)</sup>

Otro indicador de que un cuarto es un cuarto limpio, es el tipo de acabado de superficies en el cuarto. El cuarto se encuentra construido de materiales que no generan partículas y son fáciles de limpiar;<sup>(46)</sup> entre los que se encuentran disponibles están: los plásticos termo fijados (resinas fenólicas y PVC rígido) y acero (cubierto con 60 $\mu$ m poliéster, 60/120 $\mu$ m PET y 120 $\mu$ m PVC).<sup>(5)</sup>

## 5. DISEÑO DE CUARTOS LIMPIOS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Hoy en día el desarrollo de criterios de diseño de cuartos limpios para la industria alimentaria se hace imperante al momento de llevar a cabo el diseño y construcción de áreas limpias a bajas temperaturas, esto debido a que, además de requerirse un sistema que permita mantener una determinada temperatura del medio a través del aire como medio de enfriamiento, es necesario que se preserve rigurosamente la higiene del mismo. Estas condiciones pueden obtenerse a través del diseño de “cuartos limpios”, ya que, por lo visto anteriormente, dicho concepto es una buena opción para reunir esas condiciones del medio cubriendo las necesidades de ciertas áreas de procesado de alimentos que lo requieren en éste momento y de otras que se encontrarán en la misma situación en un futuro, encontrándose como lo más aproximado y novedoso en cuanto a ingeniería de control de contaminación se refiere.

Los pasos básicos en el desarrollo y uso de un proyecto de aire acondicionado son el diseño, instalación, comisión, operación, y mantenimiento. Hay dos tipos de proyectos de aire acondicionado, llamados *diseño-licitación* y *diseño-construcción*. El primero separa las responsabilidades del diseño (consulta ingenieril) e instalaciones (contratistas). En un proyecto diseño-construcción, el diseño lo realiza el contratista de las instalaciones. Estos últimos son tipos de

proyectos usualmente pequeños o que tienen tiempo insuficiente como para seguir los procedimientos normales de un diseño-licitación.<sup>(45)</sup>

Dentro del procedimiento normal en un proyecto de construcción en un diseño-licitación se encuentran:<sup>(45)</sup>

1. Iniciación de un proyecto a través de sí mismo o por medio de un desarrollador.
2. Organización de un equipo de diseño.
3. Determinar los criterios de diseño y parámetros ambientales del espacio interior.
4. Cálculo de cargas térmicas para llevar a cabo el enfriamiento.
5. Selección de sistemas, subsistemas, y sus componentes.
6. Preparación de planos esquemáticos; tamaños de tuberías y ductos.
7. Preparación de documentos de contrato: esquemas y especificaciones.
8. Ofertas competitivas por varios contratistas; evaluación de ofertas; negociación y modificaciones.
9. Anuncio del contrato ganador.
10. Monitoreo, supervisión, e inspección de instalaciones; revisando esquemas.
11. Supervisión de comisiones.

12. Modificación de esquemas a la condición de construido; preparación de la operación y mantenimiento manual.
13. Manejo de las propiedades de dirección para la operación.

Como se puede observar en la lista anterior el conocer los criterios de diseño de sistemas de control de condiciones del aire es un paso esencial para poder desarrollar un proyecto de construcción, ya que a través de ellos se toman en cuenta todos los requerimientos particulares del(as) área(s) en cuestión a cubrir, en este caso las de proceso de alimentos.

### 5.1. Factores de diseño

Los factores que influyen en el diseño de cuartos limpios para zonas de procesos de alimentos se encuentran frecuentemente en conflicto al momento de evaluar cuales deben ser tomados en cuenta por su importancia, por lo que las instalaciones resultantes son un compromiso entre requerimientos, costo, necesidades percibidas, conveniencia y fondo disponible; llegando a verse como un esfuerzo para completar todas las necesidades del proceso requeridas a través de una instalación.<sup>(5, 46)</sup>

Las características que se mencionan a continuación pueden ser consideradas como requerimientos en el diseño de un cuarto limpio destinado a procesos de alimentos como los ya mencionados a lo largo de este trabajo.

### 5.1.1. Limpieza del aire

Los diseños comerciales marcan lo siguiente referente a procesos alimentarios: <sup>22)</sup>

- (a) Preparación de alimentos / cuarto de procesado - Cuarto limpio ISO Clase 7 a 8.
- (b) Cuarto de bajo tratamiento para materias primas (previo a entrada a proceso) - Clase 300 000 (de acuerdo al EF 209).
- (c) Cuarto de empaque - ISO Clase 6 a 7.
- (d) Áreas adyacentes al cuarto limpio - Seguir estándar de aire acondicionado.

### 5.1.2. Distribución de áreas

En la figura 18 se muestra un plano con el diseño general de un cuarto limpio para áreas de proceso alimentarias, el cual normalmente se encontrará integrado por varias zonas con distintas clases de limpieza separadas entre sí por medio de paredes.

El trayecto que tienen que recorrer los ingredientes y la materia prima para que se lleve a cabo el proceso de elaboración y se obtenga un producto inocuo a la salida comienza en el área para entrada de los materiales, los cuales

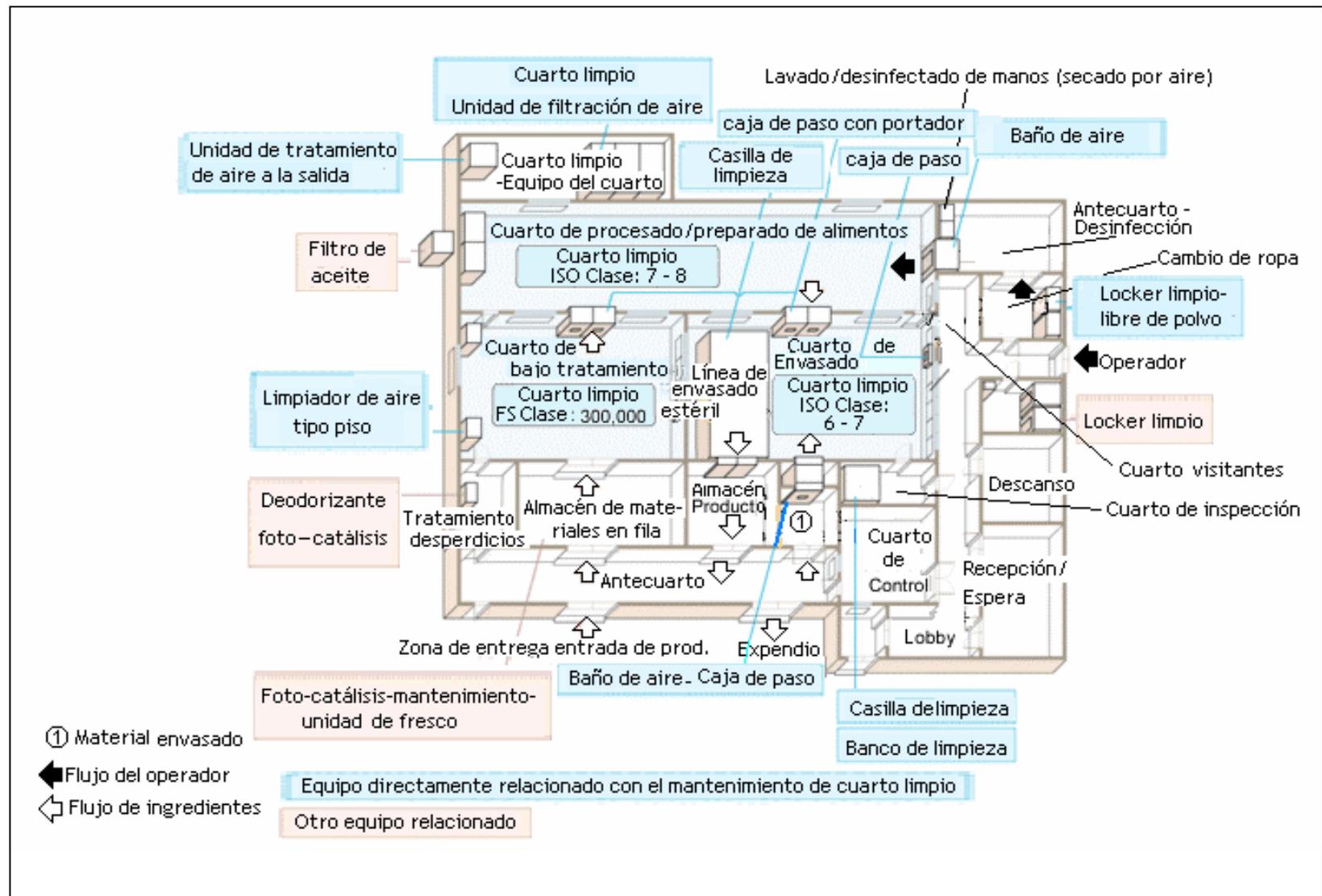


Figura 18. Distribución de áreas cuarto limpio para procesamiento de alimentos.<sup>(22)</sup>

posteriormente pasan por un almacén que se encuentra adjunto, en donde se retendrán momentáneamente. Enseguida se encuentra un cuarto (área sombreada) llamado de bajo tratamiento, en éste ya se tiene un control más estricto sobre el aire, manteniendo una clase limpia de acuerdo al anterior Estándar Federal de 300 000. Con ésta clase de limpieza se respalda el área de proceso. Dicha área se encuentra enseguida y mantiene una limpieza ISO clase 7 a 8 (EF clase 10 000 a 100 000), que de acuerdo a artículos científicos y tecnológicos que tratan con cuartos limpios para áreas de proceso de alimentos, es la clase de limpieza utilizada comúnmente. Enseguida, los materiales ya procesados pasan a través de una línea de envasado estéril que se encuentra dentro de un cuarto de envasado, en el cual se mantiene una clase limpia ISO de 6 a 7 (EF clase 1 000 a 10 000) y tiene aunada un área de la que recibe el material de envasado. De esta manera el producto llega a un almacén para posteriormente ser expendido o llevado a su siguiente destino.

Dentro del plano se muestran algunas áreas reservadas para el control que deben tener los operarios en su ingreso al área de proceso: las flechas oscuras marcan su paso, comenzando a través de un espacio designado para el cambio del tipo de ropa que se utilice según lo marquen las condiciones y tipo de proceso. La ropa se guarda en armarios con características especiales que permiten ausencia de polvo. Después, se encuentra un ante cuarto para una desinfección y lavado de

manos. Cortinas de aire colocadas en el paso hacia el área de proceso, permiten un mayor resguardo de las condiciones sanitarias y térmicas de esta zona.

Como puede observarse, las zonas sombreadas de azul son en las que se presenta el concepto de cuarto limpio. Con éstas se permite que, conforme avance el producto, el aire con el que entra en contacto se vayan depurando en cuestión de higiene, con lo que hace más factible la obtención de un producto con la calidad deseada.

Es importante mencionar que la distribución de zonas que se presenta es una distribución general para los procesos alimentarios. Es posible hacer cambios de ajuste conforme lo plantee el proceso en cuestión y los medios y recursos disponibles. Así por ejemplo, para un área de despiece como la del caso tratado anteriormente (apartado 3.1.1.), se contemplaría un cuarto limpio ISO clase 7 - 8; con un área de bajo tratamiento clase EF 300 000 que es el paso entre ésta y la fase anterior, la cual es un almacenamiento. En cuanto a la línea de envasado estéril, ésta podría suprimirse ya que esta fase no se contempla en el proceso, pues el envasado se hace por lo regular dentro de la misma zona de despiece. Por otro lado, es necesario ser conscientes de que la clase de limpieza lograda esta en relación con los costos que se generan para alcanzarla, aunque éste tipo de decisiones pertenecen al cliente que pagará por la realización del proyecto. De ésta manera, según los requerimientos del proceso,

necesidades y recursos es como se pueden acoplar las zonas con diversas clases de limpieza.

En el mismo caso de la sala de despiece, hechos como el haber mantenido por un tiempo considerable bajos niveles en el análisis y conteo de bacterias en la superficies de las canales después de que salen del previo almacenamiento, podrían dar argumentos para prescindir del cuarto de bajo tratamiento, aunque hay que tener siempre en cuenta que lo ideal es el paso por ésta zona para que se consiga una depuración en la superficie del producto y no se le deje todo el trabajo al área de proceso; además de que son áreas adyacentes.<sup>(1)</sup>

Áreas como las de descanso, recepción y espera son complementarias y no están directamente involucradas con el proceso.

### 5.1.3. Dirección de flujo de aire

Según la clase de limpieza deseada se sugiere el tipo de flujo: para un máximo control de la limpieza del producto el flujo de aire debería ser en caída vertical como lo muestra la figura 19 y mantenerse una clase de limpieza adecuada en el toque del flujo sobre el producto.<sup>(46)</sup>

Para asegurar este tipo de flujo de aire se requiere de un piso levantado y perforado en forma de rejillas o con compuertas que permitan la salida regulada del aire que circula por el cuarto. Una estructura de doble pared puede permitir que el aire circule a través de ella, incrementando de esta manera la filtración y eficiencia del acondicionamiento del aire (figura 19 a).<sup>(36, 46)</sup>

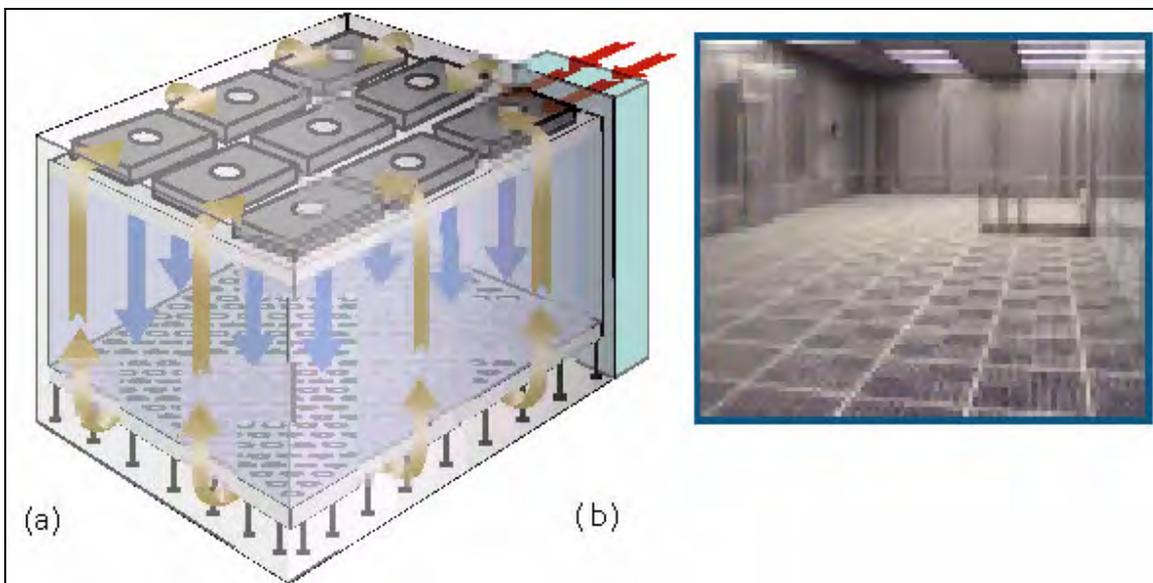


Figura 19. Cuarto limpio con flujo de aire vertical: (a)Vista esquema y (b)Vista real interior.<sup>(36)</sup>

Una alternativa de solución aceptable para el diseño de flujo de aire para las clases de cuartos limpios 1 000 - 10 000, y que se adecua a las áreas de proceso para alimentos, es el que permite en la ventilación el retorno del aire por aberturas en las paredes cercanas al nivel de piso como se muestra en la figura 20; además de que, de acuerdo a un estudio recientemente publicado referente a los costos para la

operación de cuartos limpios, este diseño implica que esos sean menores respecto a los que realizan con los de piso alzado.<sup>(21b, 46)</sup>

No obstante las ventajas de este tipo de cuartos, es necesario siempre poner atención en el diseño, ya que las distancias de separación entre la pared y la unidad de flujo de aire laminar que suministra el aire limpio, asociado con la ausencia de ventanas de extracción localizadas directamente en el banco o mesa de trabajo, llega a provocar vórtices en esa área por el flujo de aire que baja hacia el banco de trabajo y se desvía. Los modelos computacionales de cuartos limpios de flujo vertical permiten visualizar y predecir este tipo de situaciones. Un ejemplo se presenta en la figura 21, donde se observa que la eficiencia de la zona laminar se encuentra estrechamente relacionada con la localización de los productos y las máquinas en esta zona.<sup>(26)</sup>

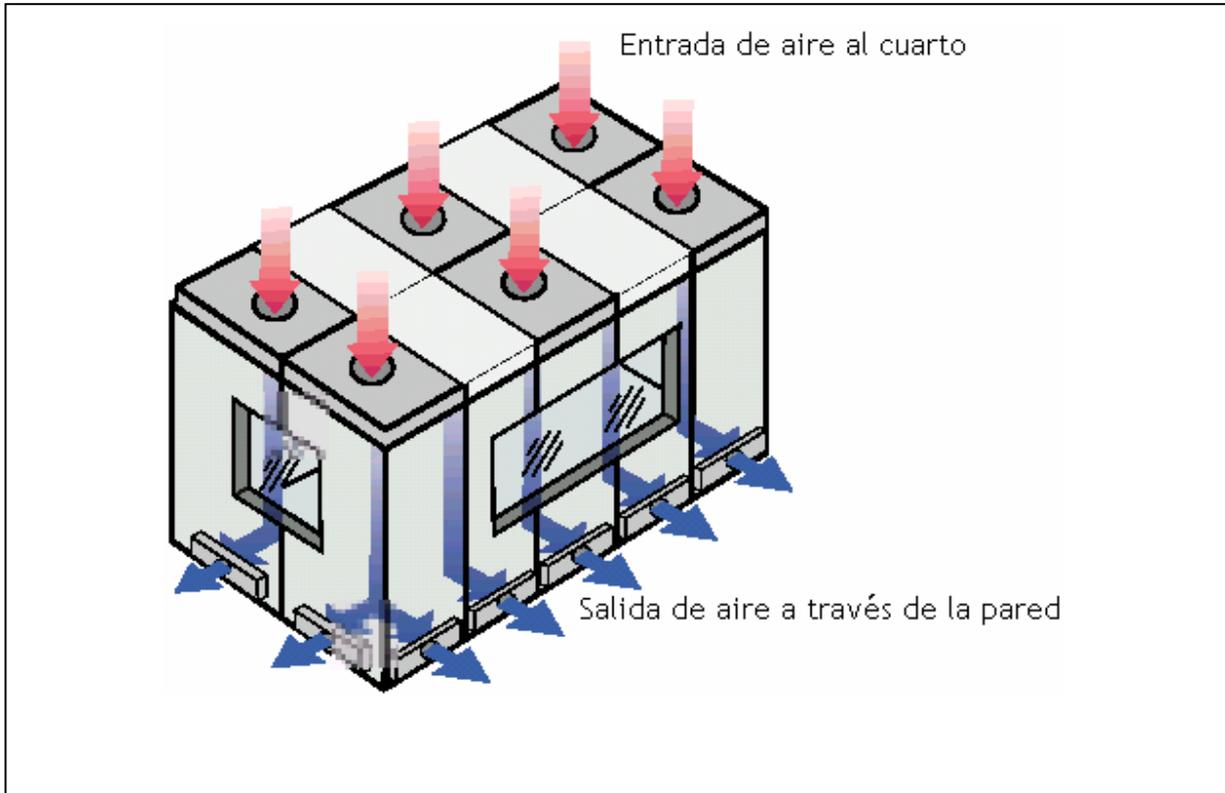


Figura 20. Cuarto limpio Modular Todo-Acero BioSafe que ilustra la salida del aire por aberturas en la pared.<sup>(36)</sup>

Es importante comentar que, de acuerdo a pautas de Buenas Prácticas de Manufactura de la FDA, las cuales pueden ser seguidas en países como el nuestro que carece de documentos afines, para las clases de limpieza empleadas en alimentos es apropiado el flujo de aire turbulento.<sup>(38)</sup>

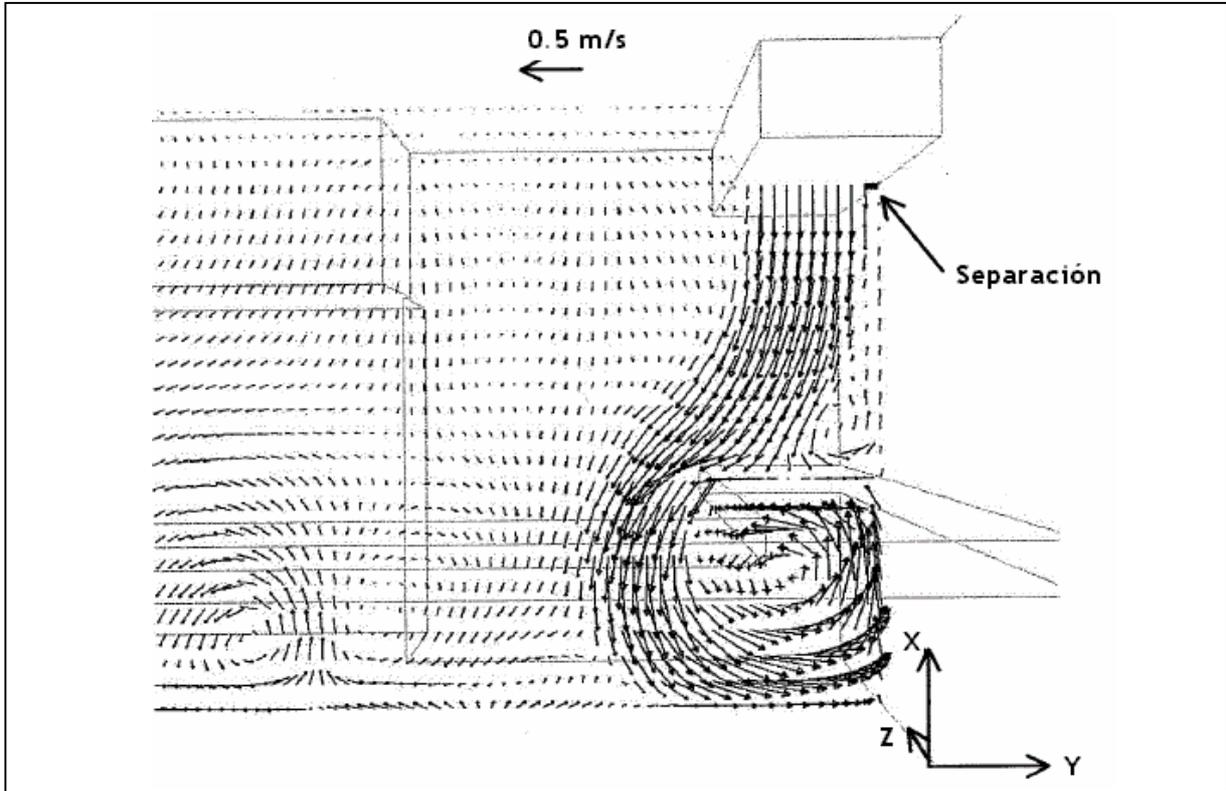


Figura 21. Vectores de velocidad bajo una unidad de flujo laminar predichos por un modelo de turbulencia computacional.<sup>(26)</sup>

#### 5.1.4. Filtración

La filtración del aire comprende la remoción de partículas presentes en el aire acondicionado.<sup>(45)</sup>

Un filtro de aire es un tipo de limpiador del aire que se instala en AHUs, PUs y otros equipos para filtrar el aire acondicionado a través de, ya sea el impacto inercial o intercepción y difusión y tamizado de las finas partículas de polvo en el

medio fibroso. El medio filtrante es el material fabricado que lleva a cabo la filtración del aire.<sup>(45, 46)</sup>

Para los sistemas de aire de plantas de alimentos se encuentran disponibles tres tipos de filtros:<sup>(7, 45, 46)</sup>

(a) Pre-filtros

Estos proporcionan una eficiencia entre 30% y 40% y van dirigidos contra partículas grandes, suciedad, etc. También se pueden encontrar con menor eficiencia. En general se hacen de material de fibra de vidrio e incluso existen los formados utilizando fibras sintéticas y espuma de poliuretano y mallas de alambre corrugado y pantallas de tiras cubiertas con aceite, el cual actúa como adhesivo para reforzar la remoción del polvo. Los de material de fibra de vidrio se desechan cuando se alcanza una presión determinada y el resto de los materiales puede limpiarse y reutilizarse.

(b) Filtros finales de alta eficiencia

Proporcionan eficiencias de 80% a 95%, hechos contra levaduras, moho y bacterias. Se hacen normalmente de fibra de vidrio utilizando fibras de nylon para unirlos.

(c) Filtros finales HEPA

Con eficiencia de 99.97% - 99.99997%, dirigidos a crear ambientes asépticos y estériles. Se elaboran con fibra de vidrio formando diámetros por debajo del micrómetro en forma de esteras de papel plegado.

Es importante mencionar que en la selección de estos aditamentos se recomienda que se utilice el mismo tipo de filtros a través de todo el cuarto limpio y según el caso que se esté tratando es necesario tener en cuenta que la conveniencia que da la eficiencia debe imponerse cuando la diferencia en costos es muy pequeña.<sup>(46)</sup> Con la finalidad de extender el tiempo de vida útil en filtros como los HEPA, éstos deberían estar protegidos por un filtro de media eficiencia e incluso adicionarle uno de menos de 20% de eficiencia acomodados del de menor al de mayor eficiencia en sentido del flujo del aire ya acondicionado como se muestra en la figura 22.<sup>(38, 45)</sup>

Teniendo en cuenta que las empresas no siempre cuentan con los recursos necesarios para obtener lo óptimo en instalaciones, cabe destacar que los filtros HEPA son 5 veces mas caros que los filtros 95% y tienen una vida mas corta; además el consumo de energía es mayor debido a una restricción más alta del flujo de aire. De esta manera es aconsejable, para el área de alimentos, el uso

de filtros 95% acompañados de prefiltros de 30 a 40%, los cuales se adecuan y eliminan principalmente el 100% de levaduras y después los mohos y bacterias.<sup>(7)</sup>

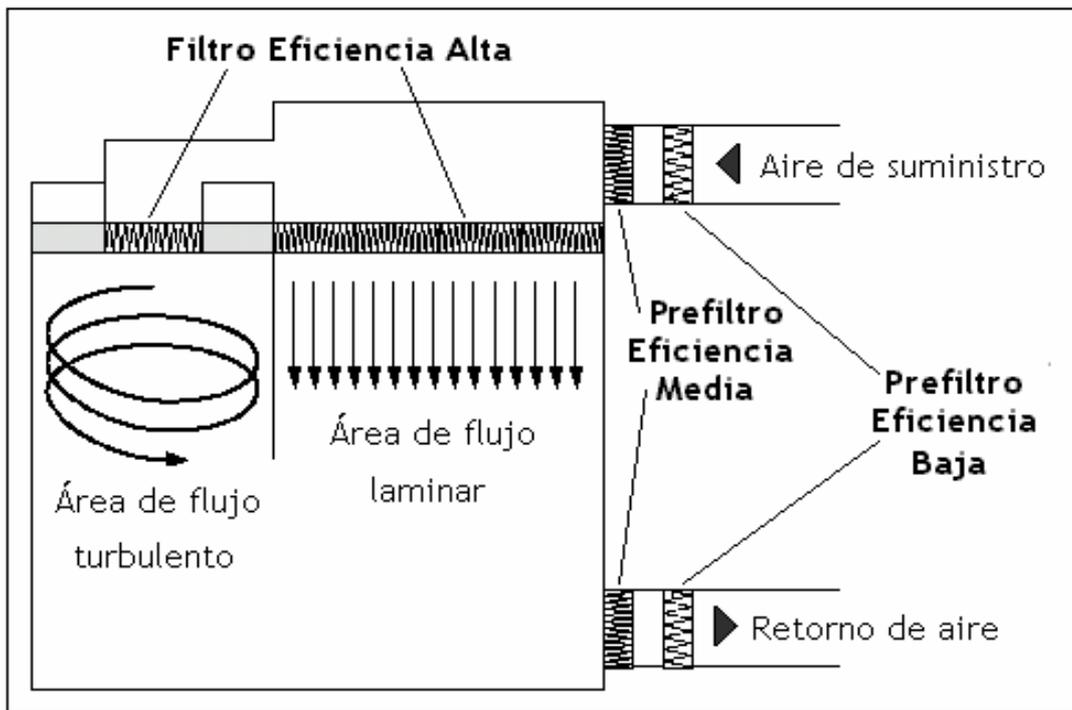


Figura 22. Esquema del acomodo de filtros de baja, media y alta eficiencia.  
Fuente: Adaptado de *The Freudenberg Nonwovens Group*.<sup>(38)</sup>

Los filtros de aire para cuartos limpios con flujo vertical en general, pueden encontrarse en forma de módulos intercambiables de techo, los cuales son unidades que cuentan con el medio filtrante y un ventilador, la figura 23 permite observar una fotografía de dichas unidades ya colocadas.<sup>(36)</sup>



Figura 23. Unidades filtro / ventilador.<sup>(36)</sup>

Al respecto es importante hacer notar que existe una relación entre la cantidad de éstas unidades que cubren el techo y la clase de limpieza buscada en la zona, siendo desde un 100% de cobertura para aplicaciones con clases EF 1 a 10 y disminuyendo sustancialmente para requerimientos de contaminación menos críticos (la figura 24 ilustra un ejemplo de esto a través de un cuarto limpio en el cual se generan distintas zonas de limpieza separadas entre sí por medio de paredes llamadas particiones), para lo cual, se correlaciona la eficiencia de ventilación (habilidad para remover contaminantes y encontrar un estándar de limpieza) con la velocidad del paso de aire filtrado a través del cuarto y el número de cambios de aire completado en un tiempo dado, como se verá más adelante.

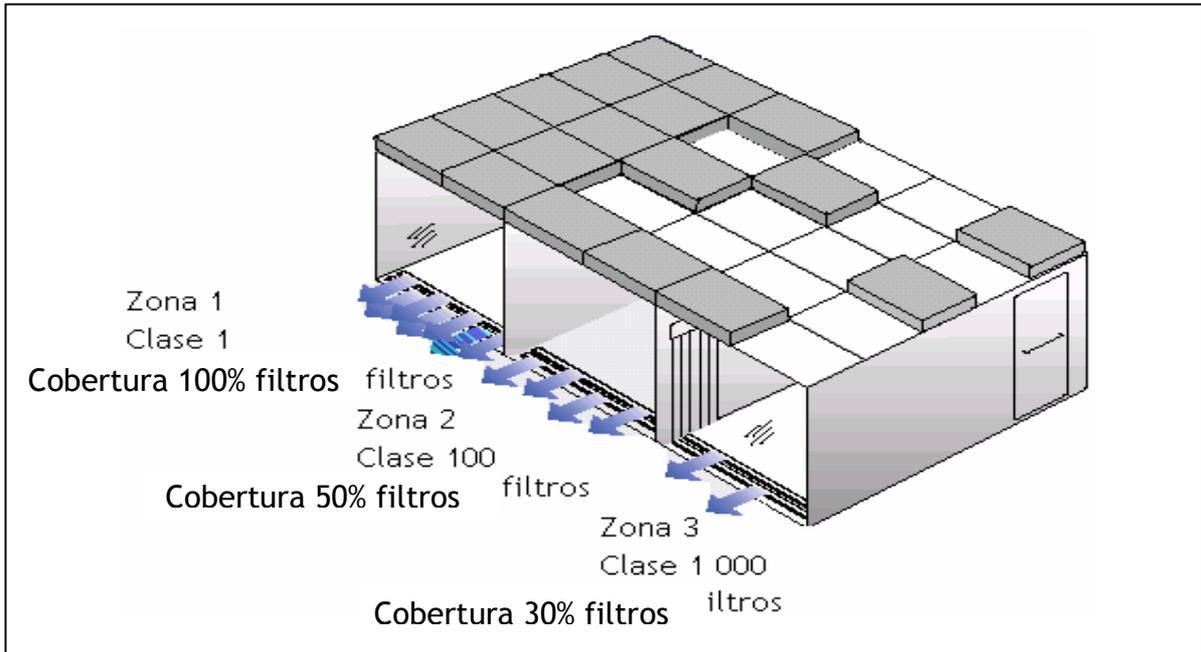


Figura 24. Cobertura de techo con filtros en una configuración multizonas por particiones.<sup>(36)</sup>

En el cuadro 6 se muestra un porcentaje de cobertura de techo con filtros de acuerdo a la clasificación de limpieza deseada presentada en un artículo de investigación científica reciente.<sup>(21b)</sup>

Cuadro 6. Cobertura de techo con filtros según la clasificación de limpieza deseada.<sup>(21b)</sup>

Clasificación (Estándar Federal 209D)	Cobertura del techo con filtros (%)
1	100
10	90
100	70
1000	50
10 000	25
100 000	10

### 5.1.5. Cantidad de flujo de aire

Los cambios de aire por unidad de tiempo y la velocidad media pueden cambiar de acuerdo a la aplicación; cuando se producen altos grados de contaminación en el aire (resultado de algunos trabajadores del área o contaminación del proceso de manufactura) se requieren más cambios del mismo para mantener el estándar de limpieza deseado.<sup>(36)</sup> Hay ocasiones en que la reducción de flujo de aire provoca una disminución significativa baja del nivel de partículas o una reducción en la interferencia de las máquinas para el enfriamiento.<sup>(46)</sup>

El cuadro 7 muestra las velocidades de aire recomendadas para las respectivas zonas limpias dentro de un cuarto limpio.

Decidir sobre la apropiada velocidad y cambios de aire para determinada aplicación generalmente requiere de una evaluación cuidadosa de factores como número de personal, efectividad en el protocolo de vestimenta, frecuencia de acceso, y limpieza del equipo de proceso.<sup>(36)</sup>

El primer control que se lleva a cabo es a través de una prueba de los filtros instalados y ya sea de los paneles puestos en el piso o de las compuertas localizadas en la pared cerca del piso. Después de la instalación y puesta en marcha, el ajuste de filtros y los paneles de reja o compuertas en pared cerca

del piso se realizará hasta obtener el flujo de aire con la dirección y cantidad requeridos.<sup>(46)</sup>

Tabla 7. Velocidades de flujo de aire recomendado en cuartos limpios.<sup>(36)</sup>

Clase ISO 14644-1 (Estándar Federal 209E)	Velocidad de flujo de aire	Cambios de aire por hora
8 (100 000)	0.005 - 0.041 m/sec (1 - 8 ft/min)	5 - 60
7 (10 000)	0.051 - 0.076 m/sec (10 - 15 ft/min)	60 - 150
6 (1 000)	0.127 - 0.203 m/sec (25 - 40 ft/min)	150 - 240
5 (100)	0.203 - 0.406 m/sec (40 - 80 ft/min)	240 - 600
4 (10)	0.254 - 0.457 m/sec (50 - 90 ft/min)	400 - 750
3 (1)	0.305 - 0.457 m/sec (60 - 90 ft/min)	500 - 750

### 5.1.6. Presurización

Debido a que en el interior de los cuartos se llegan a presentar detalles de fábrica como lo son huecos en las juntas, el ingreso de contaminación acarreada por el aire de fuera que se infiltra es un problema frecuente. Dicho problema puede reducirse a través de un buen diseño, manteniendo los huecos en la fabricación en un mínimo y presurizando el cuarto, lo que permite minimizarlo o evitarlo.<sup>(46)</sup>

El ingreso de contaminación puede incluso ocurrir cuando el personal, equipo y materiales se transportan a través de puertas de aire y áreas de cambio mal diseñadas, pudiendo existir contaminación de superficie o de aire.<sup>(46)</sup>

Como los materiales de producto y los componentes de envase pasan a través de diferentes cuartos, se requiere incrementar los estándares de control ambiental en cada uno de ellos, alcanzando el máximo al llegar al envasado y sellado, pues aquí la condición de calidad requerida es la más alta. Estos estándares de control ambiental se llevan a cabo utilizando diferentes proporciones de aire suministrado y el uso de unidades de flujo unidireccional sobre áreas críticas.

Para asegurar que esas diferentes condiciones se cumplan en cada cuarto, se requiere presurizar los cuartos para prevenir un flujo de aire indeseable de áreas de grado de limpieza más bajo con respecto y hacia otras en las que se pretende lograr otro mayor, reduciéndose así la posibilidad de contaminación.<sup>(46)</sup>

Existen dos métodos a través de los cuales un cuarto puede ser presurizado: *soluciones puerta abierta y cerrada*; ésta última puede aplicarse a cuartos limpios. La cantidad de aire suministrada a cada cuarto es la requerida para encontrar estándares de dilución de contaminación o requerimientos de enfriamiento. Las salidas de aire del cuarto se ajustan para proporcionar la presión diferencial correcta, la cual debe encontrarse entre 0.05 y 0.01 pulgadas de agua.<sup>(7, 30, 45)</sup> El aire que sale de los cuartos puede ser ajustado manualmente o automáticamente si se cuenta con compuertas de éste tipo, las cuales se regulan por la presión del cuarto. La ventaja de esta solución de tipo puerta cerrada es su simplicidad y la probabilidad de que trabajará con pocos problemas.<sup>(46)</sup>

La desventaja de la solución puerta cerrada es que no neutraliza el flujo de aire adverso que ocurre cuando la puerta se abre. El flujo de aire ocurre cuando una persona abre y cierra una puerta, al abrirla existe un movimiento de aire entre las áreas separadas por la puerta causando una turbulencia de aire en el tiro de el aire de los difusores que lo suministran. Éste se incrementa por la diferencia de temperatura entre las dos áreas. Por ejemplo, una puerta doble permitirá un intercambio de aire de 0.19 m<sup>3</sup>/s en ambas direcciones cuando no hay diferencia de temperatura y de 0.24 m<sup>3</sup>/s cuando la diferencia de temperatura es de 2 °C. Para prevenir esto debe pasar suficiente aire a través del camino de la puerta

abierta en dirección al área menos limpia para prevenir movimientos de aire adversos y una puerta o cortina de aire puede ser una gran ventaja.<sup>(45, 46)</sup>

### 5.1.7. Sistema para el movimiento del aire

El sistema encargado del movimiento del aire a través de un cuarto limpio destinado al proceso de alimentos debe tener ciertas características que le permitan cumplir con los requerimientos deseados en el aire dentro del cuarto, por lo que es necesario contemplar un sistema de recirculación del aire e ingreso de aire fresco.

El sistema de acondicionamiento de aire utilizado para cuartos limpios es una subdivisión de los sistemas centrales llamado *Sistema de Cuarto Limpio Zona-Individual con alimentación de Volumen de aire Constante (VC)*. Éste controla la limpieza del aire, temperatura y humedad relativa y es previsto para las industrias de electrónicos, farmacia y de manufactura, por lo cual va desde las clases de limpieza EF 1 a la 10 000. La figura 24 muestra un diagrama esquemático del sistema.<sup>(45)</sup> En éste caso dos partes del sistema se encargan del movimiento del aire para su ingreso en las condiciones requeridas al interior del cuarto: por una parte se encuentra la una unidad manejadora de aire “*make-up air*” (MAU) que suministra aire acondicionado proveniente del exterior con cualquier clima (siempre dentro de estrechos límites de punto de rocío) a una

unidad de recirculación de aire (URA) que es la otra parte; en la MAU el aire exterior, impulsado por un ventilador que se encuentra dentro de la unidad, pasa a través de un prefiltro que comienza a depurarlo y continúa a través de un evaporador y dispositivo de calentamiento que le van dando ciertas condiciones de temperatura. Posteriormente se encuentra con un filtro HEPA y un humidificador que permiten presente condiciones constantes en su llegada a una caja de mezclado que se encuentra enseguida y puede considerarse parte inicial de la URA, en ésta la mezcla pasa primero por un prefiltro puesto principalmente para la contaminación que aporta el aire de recirculado y después por un evaporador para controlar su temperatura al momento en que pasa a través de los filtros finales ULPA mostrados en la figura como unidades filtros con una cobertura de 100% del techo. Los sistemas de control se colocan en las partes necesarias, por ejemplo antes y después de cada filtro se encuentran sensores que permiten conocer la diferencia de presión y detectar cuando hay que cambiar un filtro por obturación; asimismo se colocan otros que permitan conocer la temperatura y la humedad relativa con la finalidad de efectuar los movimientos necesarios para mantener las condiciones finales del aire constantes dentro del cuarto, en donde la figura ilustra un flujo unidireccional de velocidad constante. Es importante mencionar que la figura muestra un esquema típico general que engloba, como se mencionó, a la industria de electrónicos, de farmacia y de manufactura, por lo cual se hace uso de filtros HEPA y ULPA, lo

que en el caso de manufactura de alimentos no es imprescindible, adecuándose el uso de filtros de menor eficiencia.

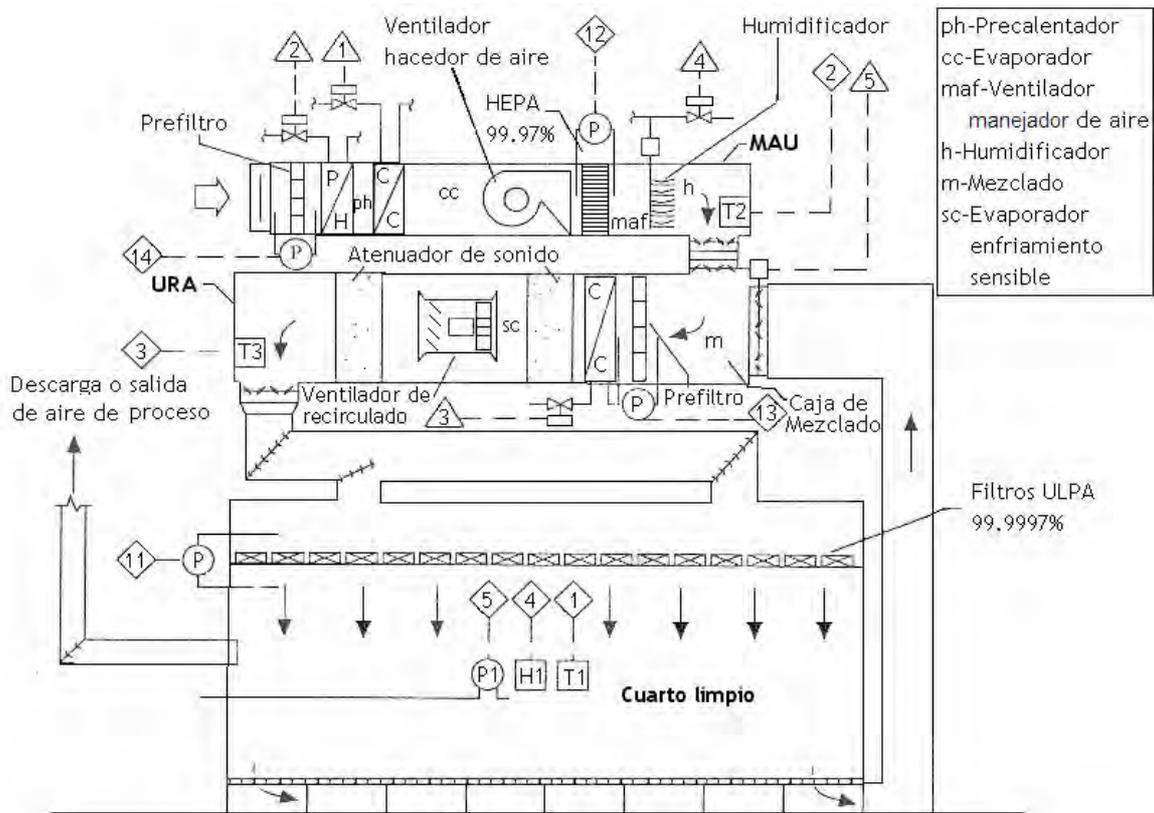


Figura 25. Diagrama esquemático general de un Sistema de Cuarto Limpio.<sup>(45)</sup>

Los incisos a continuación permiten conocer más acerca de las características con las que cumple éste sistema para el movimiento del aire siendo más específicos en cuanto a cuáles son, en que consisten y quiénes las proveen.

(a) Recirculación

Anteriormente los sistemas de recirculación de aire para cuartos limpios se ponían entre muros, requiriéndose una doble pared y separándose del proceso por medio de una de ellas; lo cual puede producir problemas para el proceso en el caso de que existiesen fugas de refrigerante, además de ser una molestia en los tiempos dedicados a la elaboración de productos debido al mantenimiento que se le da al equipo.<sup>(46)</sup>

(b) Ingreso de aire fresco

En cuanto a ingreso de aire fresco para el caso de fabricación de alimentos, se toma directamente del medio exterior y es acondicionado para su uso. El sistema debe tener suficiente capacidad para purificarlo (a través de filtros) y controlar su humedad para proveer las necesidades de calor latente desde su entrada al área de fabricación; con esto poder mantener de alguna manera las paredes y techos libres de humedad condensada (que podría causar problemas provocando el crecimiento de microorganismos). Éste sistema puede controlarse directamente por medios digitales. En cualquier momento, los controles deben determinar la humedad relativa del cuarto debiendo utilizar una microcomputadora para obtener mayor o menor humedad (que se logra generando vapor eléctricamente para aumentarla o secando por absorción para disminuirla) o baja temperatura (refrigerando) para ajustar el total de calor

latente. Para obtener el aire fresco requiere distribuirse por medio de ventiladores de recirculación hacia el cuarto.<sup>(36, 46)</sup>

### (c) Retorno

El sistema de retorno de aire más versátil y fácilmente controlable es el que se realiza a través del piso. Si hay suficiente espacio puede colocarse bajo el piso aterrizado, esto es que las rejas de retorno formen el piso y debajo de éste se encuentre un espacio suficiente para que llegue el aire y se conduzca hacia el espacio destinado para el mezclado con el aire exterior.<sup>(46)</sup> Es necesario recordar que para las clases de limpieza utilizadas en alimentos basta el retorno a través de aberturas en la pared cercanas al piso, guiando el aire por ducto hacia su tratamiento para retorno.

### (d) Sistemas actuales de recirculación de aire

Una unidad de manejo de aire (AHU) trata y condiciona el aire, lo controla hasta un estado requerido y provee la fuerza motriz para transportarlo. Cualquier AHU incluye un ventilador de suministro con su motor, un evaporador, filtros, una caja de mezclado (excepto en el caso de una “makeup AHU”, que no tiene caja de mezclado), compuertas, controles y una cubierta exterior. Un ventilador de retorno, evaporador(es) de calentamiento y humidificadores, éstos últimos son opcionales dependiendo de los requerimientos.<sup>(45)</sup>

Las AHUs se clasifican de acuerdo a su estructura y localización dentro de los siguientes grupos:

(i) Unidades Verticales u Horizontales

Las AHUs horizontales tienen su propio ventilador, evaporadores, y filtros instalados al mismo nivel; y requieren mayor espacio. En las unidades verticales, el ventilador de suministro se instala a un nivel más alto que los evaporadores y filtros. Éstos frecuentemente son más pequeños en comparación con las unidades horizontales.<sup>(45)</sup>

(ii) Unidades de Tiro Inducido o de Tiro Forzado

En una unidad de tiro-inducido el ventilador de suministro se encuentra colocado después de los evaporadores. En una unidad de tiro-forzado, el ventilador de suministro se encuentra localizado antes de los evaporadores; éstos generalmente tienen cubiertas para la parte del evaporador dedicado a enfriar y para la parte del evaporador dedicado a calentar, con compuertas de descarga conectadas a los ductos caliente y frío respectivamente.<sup>(45)</sup>

**(iii) Unidades Hechas en Fábrica y Construidas en Campo**

Las hechas en fábrica están estandarizadas en construcción y diseño, son bajas en costos, de más alta calidad y probadas en la instalación. Las construidas en campo o construidas a la medida son más flexibles en construcción, diseño y dimensiones que las construidas en fábrica de forma estandarizada.<sup>(45, 47)</sup>

**(iv) Unidades MAU y Recirculado**

También llamadas unidades primarias de aire, se usan para acondicionar completamente el aire exterior. No hay caja de mezclado ni retorno de aire. Pueden tomar 100% del aire exterior o mezcla del aire exterior y recirculado.<sup>(45)</sup>

**(v) Unidades Interiores y de Techo o Azotea**

Una AHU de interior generalmente se localiza en un cuarto ventilado, o en el techo y cuelga como una pequeña unidad. Las de azotea, se instalan en la azotea siendo totalmente a prueba del clima. En la figura 25 se muestra un ejemplo de éste tipo de unidades que, por sus características, se destinan al diseño de cuartos limpios para la industria alimentaria, proveyendo los requerimientos para el espacio disponible.<sup>(45)</sup>

- **Diseño de las AHUs tipo azotea.<sup>(7)</sup>**

A continuación se enuncian las características de diseño que poseen las AHUs tipo azotea, las cuales van dirigidas a la obtención de la clase de limpieza buscada en el aire permitiendo conservar a la unidad en las mejores condiciones:

El equipo asociado y la unidad se encuentran fuera del área de proceso. La unidad es de tipo hermética y con paredes dobles de acero inoxidable o aluminio para prevenir por medio del aislamiento el entrar en contacto con corrientes de aire externas.<sup>(47)</sup>

La unidad completa cuenta con bandejas para condensación siendo preferentemente de acero inoxidable.

- **Ventajas.**

El diseño del serpentín permite su limpieza.

Todos los componentes internos son accesibles.

La unidad esta equipada con los filtros adecuados.

Las unidades tienen un sistema de control de saneamiento incorporado.

Flujo de aire adecuado para mantener secas las paredes y techos.

Cuenta con la capacidad para mantener la presión adecuada en el espacio.

El diseño de los ductos es de acuerdo a los estándares.

- Características físicas de AHU tipo azotea.

Como se muestra en la figura 25, el sistema se encuentra formado por: (1) una doble pared de acero, la cual forma el cuerpo de la AHU (2) un soporte de acero que lo sostiene (3) una entrada para el aire fresco (4) caja de suministro de aire al cuarto y (5) caja para retorno del aire del interior del cuarto, (6) un panel de control remoto, (7) un quemador para la fracción de aire que entra del exterior cuando se maneja el sistema en modo de limpieza y (8) una unidad de ventiladores de escape.<sup>(7, 48)</sup>

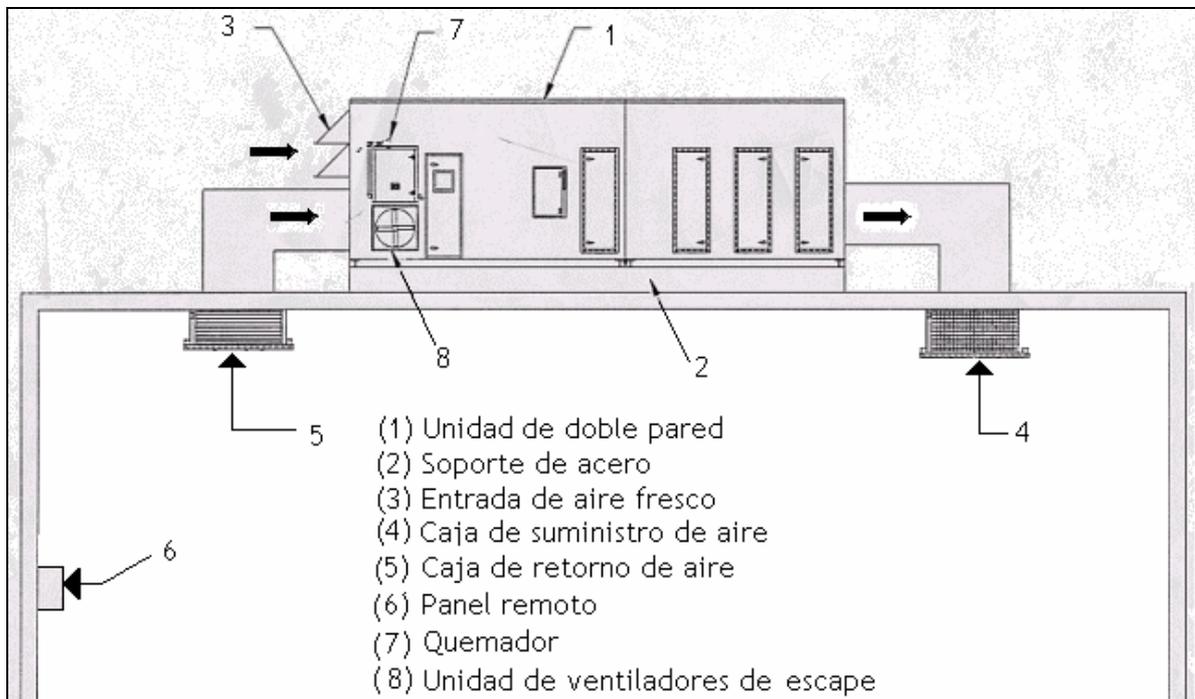


Figura 26. Instalación para el manejo de aire tipo azotea (tecnología ACUair-York).<sup>(7, 48)</sup>

- Operación y función.

Dentro de su modo de operación la AHU tipo azotea debe realizar funciones que ayuden a limpiar el aire, contando con características de diseño como lo es un sistema de control de saneamiento incorporado, mantener un flujo de aire adecuado para permitir que se encuentren secas la paredes y techos y tener la capacidad de mantener la presión adecuada en el espacio, además el diseño de los ductos debe de seguir los estándares establecidos.<sup>(7, 48)</sup>

Los modos de operación con los que cuenta la unidad son:

- Modo de operación limpieza.

En éste se utilizan prefiltros y filtros finales de 30% y 95% de eficiencia respectivamente, disparo de fuego directo para el aire exterior que entra, un ventilador de escape para el aire de la descarga y un ventilador por el que pasa el aire que se suministrará al interior del cuarto tal y como se muestra en la figura 26.<sup>(7, 48)</sup>

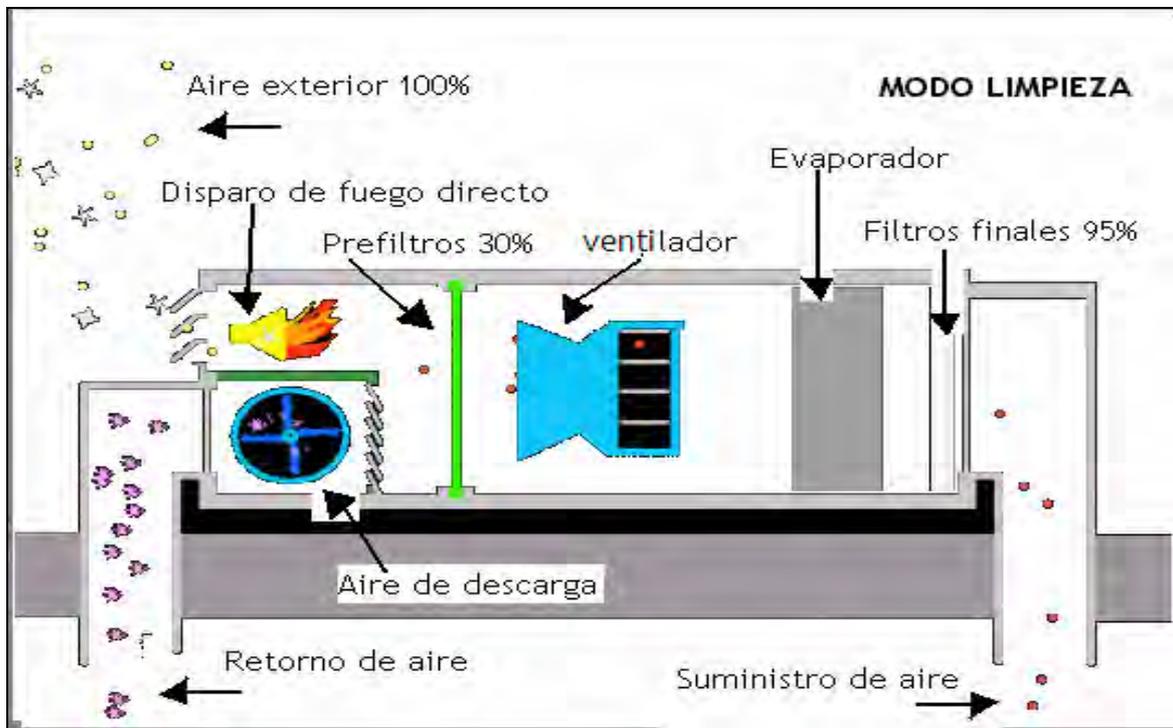


Figura 27. Modo de operación de limpieza de instalación para el manejo de aire tipo azotea (tecnología ACUair-York).<sup>(7, 48)</sup>

- Modo de operación normal.

Se utilizan prefiltros y filtros finales de 30% y 95% de eficiencia respectivamente, un serpentín-evaporador que enfría la mezcla de aire que entrará al cuarto y un ventilador por el que pasa el aire a suministrar al interior del cuarto como se muestra en la figura 27.<sup>(7, 48)</sup>

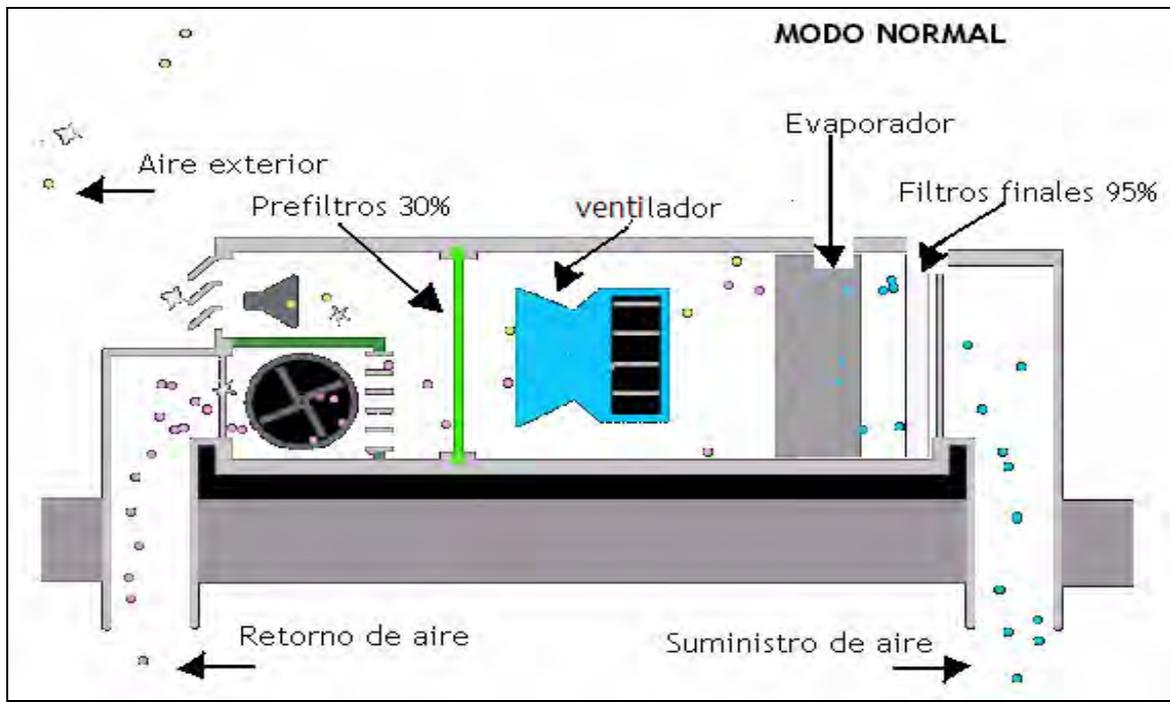


Figura 28. Modo de operación normal de la instalación para el manejo de aire tipo azotea (tecnología ACUair-York).<sup>(7, 48)</sup>

- Ventajas adicionales.

Este tipo de diseño por encontrarse fuera del área de proceso, permite mayor disposición del mismo al momento de darle mantenimiento, sin necesidad de irrumpir e interrumpir en el área de proceso agilizando dicha operación, resulta más fácil la limpieza del equipo y en caso de fugas de refrigerante éstas se producen fuera de la sala.<sup>(7, 48)</sup>

## 5.2. Construcción, servicios y equipamiento

Los cuartos limpios se construyen usando técnicas de construcción tradicional, así mismo existen sistemas prefabricados desarrollados especialmente,<sup>(46)</sup> para este caso de alimentos a éstos corresponden los cuartos llamados bio-limpios.<sup>(22)</sup> Cualquier sistema que se emplee debe cumplir su compromiso como cuarto limpio en la medida adecuada y para su elección y o diseño y construcción se debe priorizar entre aquello que es ideal en todos los aspectos y que sería agradable tener y aquello que se debe tener por el hecho de ser necesario para lograr obtener las condiciones requeridas en el aire tratado por el sistema de acondicionamiento. Es relevante el poner atención en los materiales y acabados, evaluando la resistencia a impactos mecánicos y de sustancias químicas usadas en proceso y sanitización, “todas las superficies internas deben ser lisas y de fácil limpieza, con un mínimo de anaqueles y sin hendeduras inaccesibles o huecos”. Para el diseño son necesarios protocolos para cada proyecto específico, por que cada caso es diferente.<sup>(5)</sup>

El sistema de aire acondicionado, servicios y utilidades y equipo de proceso deben estar integrados dentro de la construcción de fábrica;<sup>(46)</sup> con lo cual la selección de sistemas, subsistemas y sus componentes para cubrir el requerimiento de refrigeración en el espacio disponible y mantener la temperatura adecuada del cuarto se hace presente; así como el tener de

precedente un cálculo de cargas de térmicas que permita conocer la capacidad de los equipos de refrigeración requeridos, tomando lugar éstos como los siguientes pasos en un proyecto de construcción *diseño-licitación*; a los cuales se puede acceder siempre a partir de que se conocen los factores de diseño para, en este caso, la industria de alimentos que trabaja a bajas temperaturas.

## **Conclusiones**

De acuerdo al análisis bibliográfico realizado, se determinó que la implantación de sistemas HACCP en procesos de elaboración de productos en áreas de proceso alimentarias (principalmente en procesado de carnes, aves y lácteos) requiere que exista un control en el grado de limpieza en el aire, adicional a los controles básicos de temperatura y de humedad relativa, para hacer factible la obtención de productos inocuos.

La elección y descripción de factores para el diseño de cuartos limpios orientados al proceso de alimentos, en que se tomaron en cuenta la limpieza del aire, distribución de áreas, dirección de flujo del aire, filtración, cantidad de flujo del aire, presurización, sistemas para el movimiento del aire y generalidades sobre la construcción, servicios y equipamiento, dieron como resultado el planteamiento de criterios de diseño y/o selección de sistemas que permiten un estricto control de las condiciones de operación del aire en áreas utilizadas en la elaboración de alimentos, minimizando los riesgos que son significativos durante el proceso y contribuyendo a la obtención de productos inocuos.

## Recomendaciones

De acuerdo a los criterios de diseño descritos en este trabajo, las condiciones de operación que permiten mantener un área de alimentos bajo el concepto de cuarto limpio son:

1. Limpieza del aire ISO Clase 7 a 8 (o 10 000 a 100 000 según el Estándar Federal 209) (ver apartado 5.1.1.).
2. Una distribución de áreas en que el paso de materiales y personal hacia el área de proceso tenga un incremento gradual en las restricciones de limpieza de aire (ver apartado 5.1.2.).
3. Cobertura del techo en un 10% con filtros (ver apartado 5.1.4.).
4. Empleo en el sistema de movimiento del aire de prefiltros y filtros finales de 30% y 80% a 95% de eficiencia respectivamente (ver apartado 5.1.7.)
5. 5 - 60 cambios de aire por hora, los cuales generalmente se obtienen con una velocidad del aire de 0.005 - 0.041 m/sec (1 - 8 ft/min).<sup>(©)</sup> (ver apartado 5.1.5.).
6. Presurización del cuarto manteniendo un diferencial de presión entre 0.05 y 0.01 pulgadas de agua (ver apartado 5.1.6.).

Sistemas para el movimiento del aire comerciales brindan estas condiciones en el aire y controlan la temperatura y humedad relativa del mismo (ver apartado 5.1.7.).<sup>(©)</sup>

---

<sup>(©)</sup> El número de cambios de aire por hora dependerá del movimiento que exista en el área de proceso, número de personas trabajando y maquinaria.

<sup>(©)</sup> El Anexo C muestra estimaciones que ofrece una marca comercial de equipos de refrigeración para diferentes aplicaciones.

## Referencias Bibliográficas

- (1) Amo Visier A., Industria de la carne (salazones y chacinería), Editorial Aedos, Barcelona, 1994.
- (2) Anghel V. y Chetwynd D., Creating a low-cost, ultra-clean environment, Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, 26 (2002) 122-127.
- (3) AVA, A guide to AVA Food Factory Grading System, Factores revisados en inspecciones de fabricas de alimentos USA, AVA, diciembre 2003, [www.ava.gov.sg/form.others.avaFoodsFacGrade.pdf](http://www.ava.gov.sg/form.others.avaFoodsFacGrade.pdf)
- (3b) Carrier Corporation, Carrier, Centrifugal Chillers (Catalog), Carrier, 29 julio 2004, <http://www.xpedio.carrier.com/idc/groups/public/documents/techlit/19xr-4pd.pdf>
- (4) Carnicer E., Ventilación Industrial, Paraninfo-Thomson Learning, 4ª edición, Madrid España, 2001.
- (5) Conor Murray, Cleanroom Construction - Materials, Protocols and Certification (Memorias de seminario 'Cleanroom Design and Construction'), Scottish Society for Contamination Control, October 2<sup>nd</sup> 2003
- (6) Department of Health and Human Services - Centers for Disease Control and Prevention, Enfermedades transmitidas por alimentos, Enfermedades Transmitidas por Alimentos, Division of Bacterial and Mycotic Diseases, 12 diciembre 2003, [http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/foodborneinfections\\_g\\_sp.htm#8](http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/foodborneinfections_g_sp.htm#8)
- (7) Diego Barrón, ACUair Equipos de Manejo de Aire para Salas de Proceso HACCP (Memorias Conferencia Internacional Aquasur), York Refrigeration Chile S.A., marzo 2002.
- (8) EMERSON Climate Technologies, Capítulo 13 Psicrometría, Cambios en propiedades psicrométricas del aire en su paso por sistemas de acondicionamiento, Valycontrol, 26 julio 2004, <http://www.valycontrol.com.mx/pdf/mtacro13.pdf>
- (9) FAO, Procesamiento de lácteos, seguridad en procesado de lácteos, Intermediante Technology Development Group, 17 Octubre 2003, [http://www.fao.org/inpho/vlibrary/new\\_else/x5692s/x5692s00.htm](http://www.fao.org/inpho/vlibrary/new_else/x5692s/x5692s00.htm)

- (10) FDA, FDA publishes final rule to increase safety of fruit and vegetable juices, HACCP for fruit and vegetables juices, U.S. Department of Health and Human Services. 13 abril 2004, <http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/hhsjuic4.html>
- (11) FDA Backgrounder Current and Useful Information From the Food and Drug Administration, HACCP: A State-of-the-Art Approach to Food Safety, future HACCP regulations exportation-importation in USA, FDA, 13 abril 2004, <http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/bghaccp.html>
- (12) FDA Backgrounder Current and Useful Information from the Food and Drug Administration, HACCP: A State-of-the-Art Approach to Food Safety, Regulation HACCP USA-México, FDA Backgrounder Current and Useful Information from the Food and Drug Administration, 13 abril 2004, <http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/bghaccp.html>
- (13) Frederick J. and Agalloco J., Validation of pharmaceutical processes- sterile products (Chapter 22. Cleaning and Sanitization of Cleanrooms and Materials, by Anne Marie Dixon), 2<sup>nd</sup> edition, Marcel Dekker, New York, USA.
- (14) Frederick Veall, Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, FAO 1993. <http://www.fao.org/DOCREP/004/T0566S/T0566S00.htm#TOC>
- (15) Gerardo Fujii, Apertura Comercial y Empleo Agrícola en México 1993-1998, Momento Económico, (2001) pp. 45-56.
- (16) Gobierno de Colombia, Estudios de mercado Leche de vaca en diferentes presentaciones (Mercado de Estados Unidos), FDA Dairy products, Gobierno de Colombia, 30 diciembre 2003, [www.agrocadenas.gov.co](http://www.agrocadenas.gov.co)
- (17) Guo H., Lee S.C., Chan L.Y., and W Li.M., Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments, Environmental Research 94 (2004) 57 - 66.
- (18) Havet M. y Hennequin F., Experimental characterization of the ambience in a food-processing clean room, Journal of Food Engineering 39 (1999) 329-335.
- (19) Havrella, Fundamentos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, McGraw Hill, México 1988.
- (20) Jennings R. and Cimbala J., Indoor Air Quality Engineering Environmental Health and Control of Indoor Pollutants, Marcel Dekker, New York, USA, 2003.

- (21) Ministerio de Sanidad y Consumo, Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB) y AICE, Guía Práctica de Aplicación del Sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos en Productos Cárnicos, Eurocarne, 2002.
- (21b) Liu Yang and Cheong Eng Gan, Costing small cleanrooms, Building And Environment (accepted 13 September 2005).
- (22) Nippon Muki Co., HACCP-Compatible Equipment and Cleaning Equipment for the Food Processing Industry, Layout Cleanrooms HACCP food processing industry, Nippon Muki Co., 26 julio 2004, [http://www.nipponmuki.co.jp/e/new\\_product/haccp/01.html](http://www.nipponmuki.co.jp/e/new_product/haccp/01.html)
- (23) Nobuo Hamada, Effect of air-conditioner on fungal contamination, Atmospheric Environment 36 (2002)5443 -5448
- (24) Pardo G.J.E., La industria cárnica El sistema de análisis de riesgos y control de puntos críticos, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, España, 1998.
- (25) Pinazo, Manual de climatización tomo 1: transformaciones sicométricas, Universidad Politécnica de Valencia, España 1995.
- (26) Rouaud O., Computation of the air flow in a pilot scale clean room using K -ε turbulence models, International Journal of Refrigeration 25 (2002)351 -361.
- (27) SARH: Norma Oficial Mexicana NOM-008-ZOO-1994; “Especificaciones zoonutritivas para la construcción y equipamiento para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos”; 16 de noviembre de 1994.
- (28) Scottish Society for Contamination Control , An Introduction to the Design of Clean and Containment Areas, Cleanrooms, W. Whyte, 21 marzo 2004, [http://www.s2c2.co.uk/docs/Cleanroom\\_Design\\_Intro.html](http://www.s2c2.co.uk/docs/Cleanroom_Design_Intro.html)
- (29) Scottish Society for Contamination Control, Chapter 16 Cleanroom Disciplines (from the book ‘Cleanroom Technology - Design, Testing and Operation’ published in 2001), cleanrooms contamination, W. Whyte, 21 marzo 2004, <http://www.s2c2.co.uk/docs/Chp16-Disciplines.html>
- (30) Scottish Society for Contamination Control, Classification of Cleanrooms (Nov 2003) (información extraída del libro titulado 'Cleanroom Technology'), Air cleanliness classification, Bill Whyte, 21 marzo 2004, <http://www.s2c2.co.uk/docs/ClassificationOfCleanrooms2003.html>

- (31) Scottish Society for Contamination Control, ISO Standards Update (November 2003), Air cleanliness classification, Scottish Society for Contamination Control, 20 marzo 2004, [http://www.s2c2.co.uk/standards\\_update\\_2003-04.html](http://www.s2c2.co.uk/standards_update_2003-04.html)
- (32) Scottish Society for Contamination Control, ISO Standards Update (November 2003), estándares para cuartos limpios, Bill Whyte, 21 marzo 2004, [http://www.s2c2.co.uk/docs/ClassificationOfCleanrooms\\_2003.html](http://www.s2c2.co.uk/docs/ClassificationOfCleanrooms_2003.html)
- (33) Scottish Society for Contamination Control, The ISO contamination control standards, Air cleanliness classification, Hans H. Schicht, Dr. sc. techn., 21 marzo 2004, <http://www.s2c2.co.uk/docs/ContamCtrlStdsSchicht.HTML>
- (34) Series sobre energía, Manual de radiación solar en Colombia, Cálculo de carga térmica Vol IV Iluminación natural y cargas térmicas, 27 julio 2004, [http://sky.net.co/energia/I\\_Cap4\\_iluminación.PDF](http://sky.net.co/energia/I_Cap4_iluminación.PDF)
- (35) Subramanyam N., Maiya M.P, Srinivasa Murthy S., Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems, Applied Thermal Engineering, 2004.
- (36) Terra Universal.Com Critical Environment Solutions, Catalog Sampler Modular Cleanrooms - Modular Laboratories and Change Room Product Guide (Mini-Catalog Vol. 10, No. 4), Cleanrooms design, Terra Universal, 01 enero 2004, [http://www.terrauniversal.com/pdfs/minicats/mcat\\_v4n6.pdf](http://www.terrauniversal.com/pdfs/minicats/mcat_v4n6.pdf)
- (37) The ASHRAE handbook 1998 CD.
- (38) The Freudenberg Nonwovens Group, The Best Recipe for Germ-Free Air: Viledon Filter Systems for Cleanroom Technology, Air Flow in Clean Rooms, Freudenberg Nonwovens Group, 18 julio 2004, [http://www.actrol.com.au/Actrol\\_WS.nsf/0/6e283\\_2c5b9a06456ca256cfe0021e0c3/\\$FILE/reinr\\_e.pdf](http://www.actrol.com.au/Actrol_WS.nsf/0/6e283_2c5b9a06456ca256cfe0021e0c3/$FILE/reinr_e.pdf)
- (39) Todd E., Microbiological safety standars and public healt goals to reduce foodborne disease, Meat Science 66 (2003)33 -43.
- (40) Universidad de Córdoba, Memoria descriptiva: “Proyecto de Planta de Elaboración de Embutidos y Salazones Cárnicos en el Término Municipal de Villanueva de Córdoba (Córdoba)”, Cálculo de carga térmica sala de despiece, Estudiante Universidad de Córdoba España, 27 diciembre 2003, [www.uco.es](http://www.uco.es)
- (41) Unnevehr L. y Jensen H., The economic implications of using HACCP as a food safety regulatory standard, Food Policy 24 (1999) 625-635.

- (42) U. S. Food and Drug Administration / Center for Food Safety and Applied Nutrition, NCIMS HACCP Proposals, Aplicaciones de HACCP en productos lácteos, Food and Drug Administration, Martes 15 de junio del 2004, <http://vm.cfsan.fda.gov/~comm/daiupd2.html>
- (43) U.S. Meat Export Federation, Panorama general del HACCP, HACCP, U.S. Meat Export Federation, 26 julio 2004, [http://www.uspork.org/IssueReviews/Spanish/HACCP\\_SP.pdf](http://www.uspork.org/IssueReviews/Spanish/HACCP_SP.pdf)
- (44) Venkateswaran K., Hattori N., La Duc M., Kern R., ATPS as a biomarker of viable microorganisms in clean-room facilities, Journal of Microbiological Methods 52 (2003) 367- 377.
- (45) Wang S., Lavan Z. Y Norton P., Air Conditioning and Refrigeration Engineering, CRC Press, USA 2000.
- (46) Whyte W., Cleanroom design, WILEY, Great Britain, 1995.
- (46b) York International, Maxe Centrifugal Liquid Chillers, Centrifugal Chillers, York Operating and Maintenance (catalog Form 160.73-O2 (1202)) , 29 julio 2004, <http://www.york.com/products/esg/ServiceLit/library/default.asp>
- (47) York International Corporation, PACE CAH Custom Air Handling Units, AHU classified in gruops, York International Corporation, 18 julio 2004, <http://www.jbarrow.com/cah.pdf>
- (48) York Refrigeration Group, Process Room Air Handling Units (video VHS), versión 3.0, marzo 1999.

## ANEXO A. CUADRO SINÓPTICO DE LA APLICACIÓN MATADERO CON SALA

Fase	Riesgos	Medidas preventivas	pcc	Limite critico	Vigilancia	Medidas correctivas	Registros
1. Transporte al matadero	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Reducción de defensas fisiológicas.</li> <li>☒ Contaminación superficial.</li> <li>☒ contaminación cruzada.</li> <li>☒ Emigración de microorganismos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Limpieza y desinfección de vehículos.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Los establecidos según normatividad vigente para cargas, espacios mínimos, condiciones ambientales, diseño del vehículo, descarga, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Condiciones de transporte.</li> <li>☒ Identificación de partidas.</li> <li>☒ Control de documentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Asegurar el transporte en vehículos autorizados.</li> <li>☒ Cumplimiento de la normativa vigente.</li> <li>☒ Cambio de empresa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Incidencias.</li> <li>☒ Itinerario.</li> </ul>
2. Recepción de animales, alojamiento y reposo •PCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Lesiones.</li> <li>☒ Ensuciamiento de la piel.</li> <li>☒ Infecciones cruzadas.</li> <li>☒ Aparición de enfermedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ No asustar a los animales.</li> <li>☒ Conducción cuidadosa a los establos.</li> <li>☒ Mantener limpios los establos.</li> <li>☒ Retirada de los animales sospechosos.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Rechazar animales sucios.</li> <li>☒ <b>Dejar reposar animales fatigados.</b></li> <li>☒ Correcta ejecución de operaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Condición y estado sanitario de los animales.</li> <li>☒ Condiciones de alojamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Apercibir al suministrador.</li> <li>☒ Corrección de métodos empleados y tiempos de reposo.</li> <li>☒ Revisar condiciones de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Documentación de recepción.</li> <li>☒ Control de origen de los animales.</li> <li>☒ Medidas correctivas.</li> </ul>
3. Inspección <i>ante mortem</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ No detectar animales enfermos o sospechosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Realizar buenas prácticas de manipulación.</li> <li>☒ Estado higiénico satisfactorio.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Animales sospechosos o enfermos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Se realizará por los veterinarios de los servicios oficiales de salud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Separar a los animales enfermos.</li> <li>☒ Lavado y posterior reposo.</li> <li>☒ Sacrificio de urgencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Medidas correctivas.</li> <li>☒ Reconocimientos clínicos.</li> </ul>
4. Aturdimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Aparición de estrés y lesiones.</li> <li>☒ Insensibilización incompleta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Correcto mantenimiento y empleo de los equipos.</li> <li>☒ Sujeción correcta de los animales.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Buenas prácticas de manipulación (B.P.M.).</li> <li>☒ Funcionamiento correcto de los equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Cumplimiento de normativa.</li> <li>☒ Continuidad obligatoria de las operaciones de aturdimiento y sangrado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Redefinición del plan de limpieza.</li> <li>☒ Mantenimiento de equipos.</li> <li>☒ Formación de los operarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Plan de mantenimiento preventivo.</li> <li>☒ Plan de formación de personal.</li> </ul>
5. Desangrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Contaminación profunda.</li> <li>☒ Sangrado insuficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Utilizar dos cuchillos diferentes.</li> <li>☒ Desinfección de cuchillos.</li> <li>☒ Sangrado en posición vertical.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ B.P.M.</li> <li>☒ Temperatura del agua entre 80-84 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Condiciones de limpieza y desinfección.</li> <li>☒ Correcto faenado.</li> <li>☒ Temperatura del agua de desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Aplicar solución desinfectante.</li> <li>☒ Revisar pautas de limpieza e higiene.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Medidas correctivas.</li> <li>☒ Acciones de formación.</li> <li>☒ Temperatura del agua.</li> </ul>
6. Desollado (bóvidos y óvidos) •PCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Contaminación microbiológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Realizar buenas prácticas de manipulación.</li> <li>☒ Aplicación de tecnología.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Retirada rápida de piel y cueros.</li> <li>☒ Ausencia de pelos, lana, suciedad.</li> <li>☒ Correcto funcionamiento de equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Inspección visual.</li> <li>☒ Correcta ejecución del programa de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Formar a los operarios.</li> <li>☒ Revisar pautas de limpieza y desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Muestreo realizado.</li> <li>☒ Medidas correctoras.</li> </ul>
7. Acondicionamiento (bóvidos y óvidos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Contaminación microbiológica.</li> <li>☒ Humedad excesiva en la superficie de la canal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Buenas prácticas de manipulación e higiene.</li> <li>☒ Cumplir pautas de prelavado.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Condiciones higiénicas satisfactorias.</li> <li>☒ Utilizar solución bactericida en agua a 50 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Control visual de las operaciones.</li> <li>☒ Funcionamiento de los equipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Corrección de las condiciones de trabajo y del programa de limpieza y desinfección.</li> <li>☒ Formar a los operarios.</li> <li>☒ Revisar el plan de mantenimiento preventivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Medidas correctivas.</li> <li>☒ Incidencias.</li> </ul>
8. Escaldado (porcino)	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Contaminación cruzada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Buen lavado previo al escaldado.</li> <li>☒ Renovación del agua.</li> <li>☒ Control exhaustivo de la temperatura.</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Temperatura de agua inferior a 60 °C.</li> <li>☒ Mantener flujo de agua abundante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Temperatura y renovación de agua.</li> <li>☒ Flujo abundante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Revisar equipos y útiles.</li> <li>☒ Revisar temperatura y flujo de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Medidas correctivas</li> </ul>

Fase	Riesgos	Medidas preventivas	pcc	Límite crítico	Vigilancia	Medidas correctivas	Registros
9. Depilado y chamuscado (porcino)	☞ Contaminación microbiológica.	☞ Buenas prácticas higiénicas. ☞ Mantener equipos y utensilios en condiciones ideales de funcionamiento. ☞ Separar los cerdos por sexos y edad.	2	☞ B.P.M. ☞ Condiciones higiénicas satisfactorias. ☞ Tiempo de permanencia de la canal idóneo.	☞ Control visual de las operaciones. ☞ Limpieza de equipos y operarios. ☞ Tiempo de permanencia de la canal.	☞ Formación continuada de operarios. ☞ Revisar pautas de limpieza. ☞ Corrección del tiempo de chamuscado.	☞ Medidas correctivas.
10. Evisceración	☞ Contaminación de la canal. ☞ Ensuciamiento de la canal.	☞ Buenas prácticas higiénicas. ☞ Formación específica del operario.	2	☞ Cadencia de matanza suficiente. ☞ Condiciones higiénicas satisfactorias. ☞ Temperatura del agua de 80-84 °C.	☞ Control de las operaciones y de las condiciones de limpieza y desinfección. ☞ Temperatura del agua.	☞ Corrección de la cadencia de matanza. ☞ Revisión de las pautas de higiene. ☞ Formación continuada de operarios.	☞ Medidas correctivas. ☞ Incidencias. ☞ Cursos de formación. ☞ Temperatura del agua.
11. Corte de la canal (bóvidos y porcinos)	☞ Contaminación de la canal.	☞ Buenas prácticas higiénicas. ☞ Eliminación de desperdicios. ☞ Limpieza de útiles y superficies. ☞ Limpieza del aire <sup>1</sup> .	2	☞ Temperatura del local inferior a 10°C <sup>27</sup> . ☞ Condiciones higiénicas satisfactorias. ☞ 100 a 200 bacterias por m <sup>3</sup> , con menos de 10 gérmenes potencialmente patógenos <sup>1</sup> . ☞ B.P.M.	☞ Determinación rutinaria de contaminación del aire en el área <sup>1</sup> . ☞ Aplicación del programa de limpieza y desinfección. ☞ Temperatura del local. ☞ Inspecciones visuales.	☞ Corregir condiciones de trabajo. ☞ Corregir programa de limpieza y desinfección. ☞ Puesta a punto de útiles y equipos.	☞ Recuentos en placas (contaminación del aire) a tiempos determinados <sup>1</sup> . ☞ Temperatura del local. ☞ Medidas correctivas.
12. Inspección <i>post mortem</i>	☞ Admisión de canales inadecuadas.	☞ Cuantificación de la contaminación superficial. ☞ Utilización correcta de sellos sanitarios. ☞ Identificación de decomisos.	2	****	☞ Inspección visual por parte de los veterinarios.	☞ Rechazar materia prima no apta. ☞ Redefinir operaciones.	☞ Medidas correctivas. ☞ Canales separadas. ☞ Decomisos.
13. Laxado final	☞ Contaminación de canales. ☞ Humedad excesiva de la canal.	☞ Cumplir con las pautas de lavado. ☞ Utilización de agua potable.	2		☞ Control visual de las operaciones. ☞ Correcto funcionamiento de los equipos. ☞ Control diario de cloro y análisis microbiológicos y físico-químicos quincenales.	☞ Revisar pautas de lavado y plan de mantenimiento preventivo de los equipos. ☞ Impartir cursos de formación a los operarios. ☞ Adición de cloro.	☞ Medidas correctivas. ☞ Controles de cloro del agua. ☞ Mantenimiento preventivo de equipos.
14. Enfriamiento inmediato •PCC	☞ Crecimiento microbiano.	☞ Enfriar en el menor tiempo posible. ☞ Mantener flujo de aire adecuado. ☞ Cumplir con el mantenimiento adecuado de los equipos de frío. ☞ Estiba adecuada.	2	☞ Temperatura de la canal <7 °C en dos horas. ☞ Temperatura de los despojos <3 °C en dos horas. ☞ Flujo mínimo de aire de 0.25 m/s. ☞ Humedad relativa inferior al 95%.	☞ Temperatura. ☞ Humedad relativa. ☞ Velocidad del aire.	☞ Corrección de pautas y condiciones de enfriamiento. ☞ Revisión del plan de mantenimiento de los equipos.	☞ Control de parámetros físicos. ☞ Temperatura de las masas musculares. ☞ Mantenimiento preventivo de equipos.

Fase	Riesgos	Medidas preventivas	pcc	Limite crítico	Vigilancia	Medidas correctivas	Registros
15. Almacenamiento	☞ Crecimiento microbiano.	☞ Cumplimiento de las pautas de almacenamiento en refrigeración. ☞ Mantenimiento preventivo de equipos. ☞ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección. ☞ Adecuada disposición de la carne.	1	☞ Temperatura interior de la canal menor de 7 °C. ☞ Humedad inferior al 90%.	☞ Condiciones de almacenamiento en cámara. ☞ Temperatura de las canales. ☞ Programa de limpieza y desinfección.	☞ Rechazo de todo producto no apto. ☞ Revisar pautas de almacenamiento e higiene.	☞ Medidas correctivas. ☞ Temperatura y humedad relativa. ☞ Informes sobre mantenimiento preventivo de equipos.
16. Despice	☞ Contaminación microbiológica.	☞ Prácticas higiénicas de manipulación. ☞ Limpieza y desinfección de útiles y superficies. ☞ Temperatura adecuada durante las operaciones. ☞ Control del tiempo de operaciones. ☞ Eliminación de desperdicios. ☞ Limpieza del aire <sup>1</sup> .	2	☞ B.P.M. ☞ Condiciones higiénicas satisfactorias. ☞ 100 a 200 bacterias por m <sup>3</sup> , con menos de 10 gérmenes potencialmente patógenos <sup>1</sup> . ☞ Temperatura < 10 °C en el local de despice <sup>27</sup> .	☞ Inspección visual periódica. ☞ Determinación rutinaria de contaminación del aire en el área <sup>1</sup> . ☞ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección. ☞ Vigilar temperatura del local. ☞ Correcta eliminación de desperdicios.	☞ Corregir condiciones de trabajo. ☞ Corregir programa de limpieza y desinfección. ☞ Puesta a punto de útiles y equipos.	☞ Recuentos en placas (contaminación del aire) a tiempos determinados <sup>1</sup> . ☞ Medidas correctivas. ☞ Registro de temperatura del local de despice.
17. Retirada de desperdicios a digestor y fundición de grasas.	☞ Contaminación microbiológica.	☞ Limpieza y desinfección de recipientes de transporte de desperdicios y grasas. ☞ Retirada inmediata de los recipientes según llenado. ☞ Almacenamiento a bajas temperaturas (0-3 °C).	2	☞ B.P.M. ☞ Condiciones higiénicas satisfactorias.	☞ Inspección visual periódica. ☞ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección.	☞ Corregir programa de limpieza y desinfección. ☞ Cambiar de empresa responsable de la entrada de desperdicios.	☞ Medidas correctivas. ☞ Controles a la empresa contratada.
18. Almacenamiento de productos de despice (cámara de refrigeración o tunel de congelación).	☞ Alteración de productos. ☞ Aceptar envases y embalajes defectuosos.	☞ Condiciones higiénicas del almacén. ☞ Temperatura adecuada. ☞ Almacenamiento correcto. ☞ Eliminar envases y embalajes no aptos.	2	☞ Temperatura < 7 °C en carne refrigerada. ☞ Temperatura < -12 °C en carne congelada. ☞ Temperatura < 3 °C para despojos. ☞ Condiciones higiénicas y de estiba satisfactorias.	☞ Inspección visual periódica. ☞ Estado de envases y embalajes. ☞ Correcta aplicación del programa de limpieza y desinfección.	☞ Rechazo de producto no apto. ☞ Corregir condiciones de almacenamiento. ☞ Retirar homologación a proveedores de envases y embalajes.	☞ Medidas correctivas. ☞ Registro de temperatura de la cámara.
16. Expedición del producto terminado.	☞ Contaminación microbiológica. ☞ Transporte inadecuado.	☞ Control de temperatura durante el transporte. ☞ Prácticas higiénicas de manipulación. ☞ Condiciones de estiba adecuadas.	2	☞ Incompatibilidad de carga. ☞ Temperatura adecuada durante el transporte. ☞ Higiene y estiba del transporte adecuada.	☞ Correcta aplicación de condiciones de manipulación y estiba. ☞ Aplicación del programa de limpieza y desinfección. ☞ Temperatura durante la expedición.	☞ Corregir condiciones higiénicas y de estiba. ☞ Corregir programa de limpieza y desinfección.	☞ Medidas correctivas. ☞ Temperatura interna de vehículos frigoríficos.

Fuente: adaptado de Pardo <sup>24</sup>

## ANEXO B. ENFRIADORES CENTRÍFUGOS

Un “*chiller*” (enfriador) es una máquina de refrigeración que usa un enfriador líquido como un evaporador para producir agua fría como medio de enfriamiento en un sistema de acondicionamiento de aire central.<sup>(45)</sup> De forma sencilla, el cableado y tubería típica para un enfriador (en este caso el modelo 19XR de la marca Carrier) se muestran en la figura B.1; en la cual se observan las líneas de tubería: la que sale del condensador hacia la torre de enfriamiento, la que regresa de la misma y utiliza una bomba para impulsar el fluido en éste recorrido;

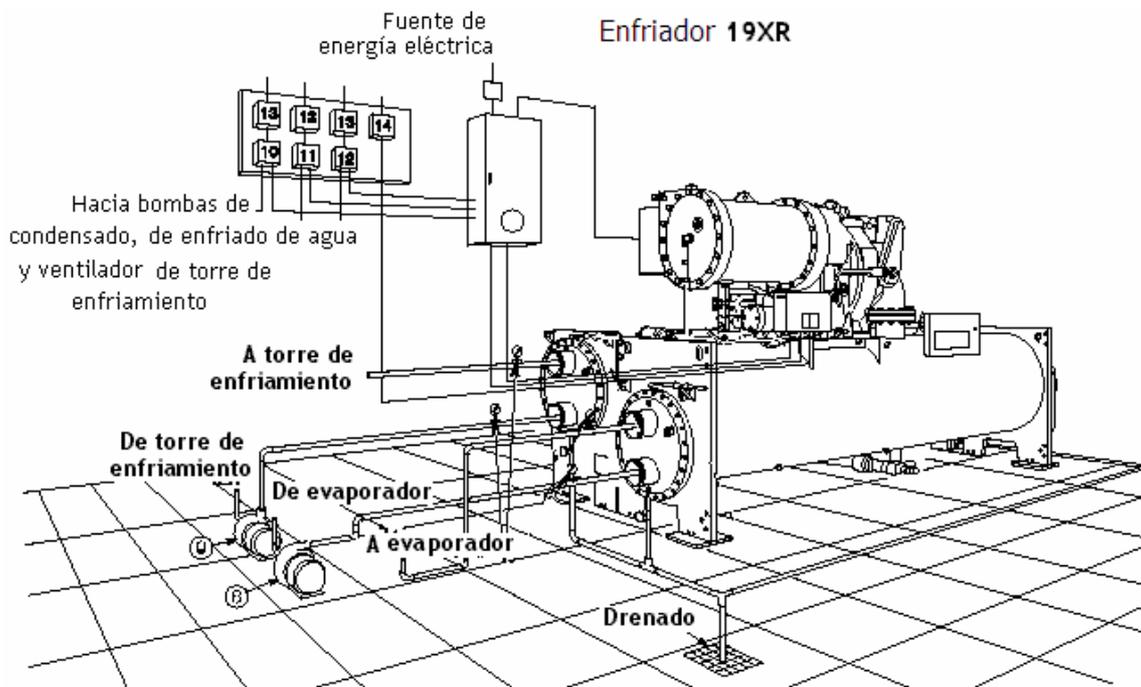


Figura B.1. Líneas de tubería y cableado típicos de un Enfriador Centrífugo.<sup>(3b)</sup>

la que sale del enfriador y va hacia el evaporador en la unidad de manejo de aire, así como la que regresa del mismo encontrándose con una bomba a su paso como en el condensador y la de drenado; también se muestran las líneas de cableado de corriente eléctrica que van hacia cada una de las bombas y al ventilador de la torre de enfriamiento.<sup>(3b, 45)</sup>

## **B.1. Ciclo de refrigeración Enfriador Centrífugo**

Como se aprecia en la figura B.2, el compresor continuamente conduce al refrigerante en forma de vapor proveniente del enfriador en una proporción fijada a través de la abertura de aspas guía. Como la succión del compresor reduce la presión en el enfriador, el refrigerante que ahí se encuentra hierve a temperatura bastante baja (3 a 6 °C). La energía requerida para la ebullición se obtiene del agua que fluye a través de los tubos del enfriador. Con la energía calorífica removida, el agua se enfría en forma suficiente para usarse en un circuito de acondicionamiento de aire.<sup>(3b, 45)</sup>

Después de tomar calor del agua, el vapor de refrigerante se comprime (figura B.3). Esta acción adiciona más energía calorífica y el refrigerante se mantiene

bastante caliente (típicamente de 37 a 40°C) cuando se descarga del compresor al interior del condensador.<sup>(46b)</sup>

El agua relativamente fría que fluye a través de tubos dentro del condensador remueve calor del refrigerante, y el vapor se condensa quedando líquido.<sup>(45, 46b)</sup>

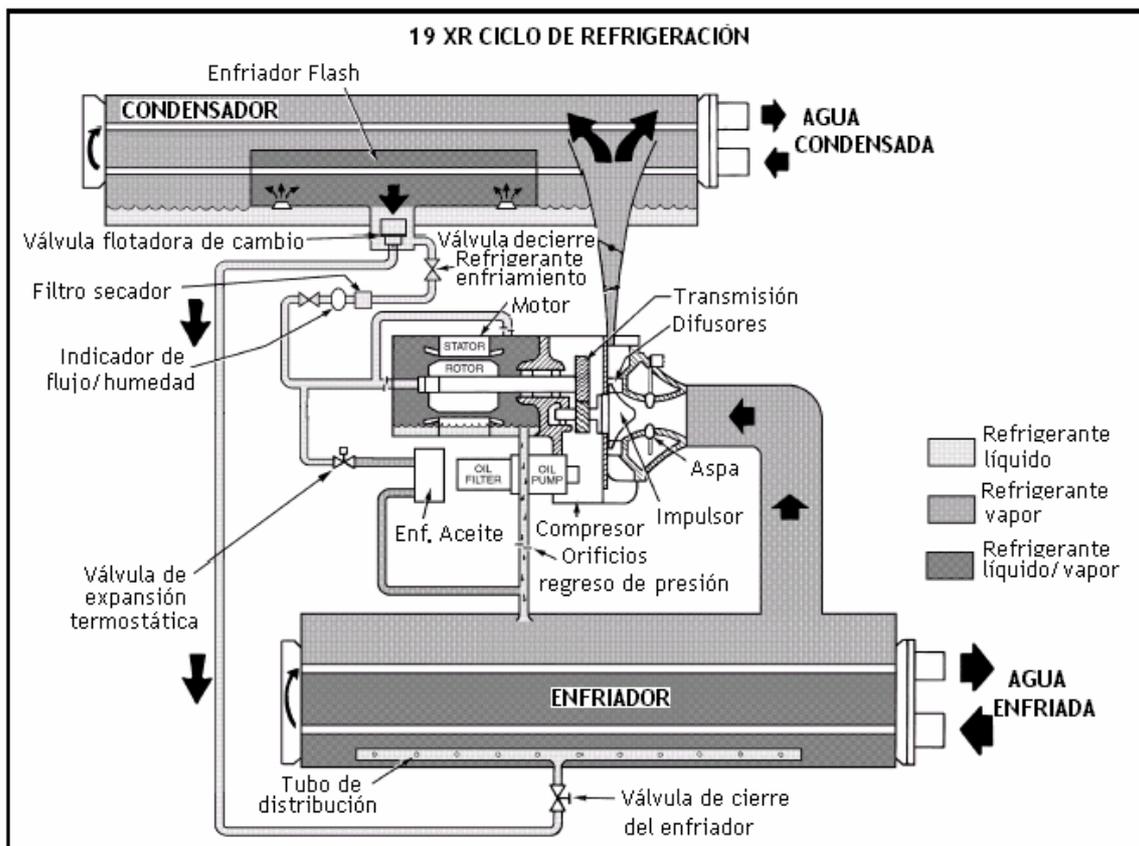


Figura B.2. Ciclo de refrigeración Enfriador Centrífugo 19XR.<sup>(3b)</sup>

El refrigerante líquido pasa a través de orificios dentro del subenfriador flash, como éste se encuentra a baja presión, parte del líquido pasa a vapor de forma muy rápida (flashea) enfriando de ésta manera a la parte líquida que se encuentra en esa parte.<sup>(46b)</sup> El vapor es recondensado sobre los tubos que están

enfriando con agua a través de todo el condensador.<sup>(45, 46b)</sup> El líquido se drena dentro de un cambiador con válvula flotadora entre el enfriador flash y el enfriador. Aquí una válvula flotadora permite que se forme una cantidad de líquido, para que se produzca el efecto deseado en el enfriador flash. Cuando el líquido refrigerante pasa a través de la válvula, algo de éste flashea pasando a vapor en la presión reducida que se encuentra en el enfriador. Con los flasheos se elimina calor del líquido remanente que se encuentra en esa parte. El refrigerante se encuentra entonces a una temperatura y presión a la cual comenzó el ciclo. El refrigerante del condensador también enfría al aceite.<sup>(46b)</sup>

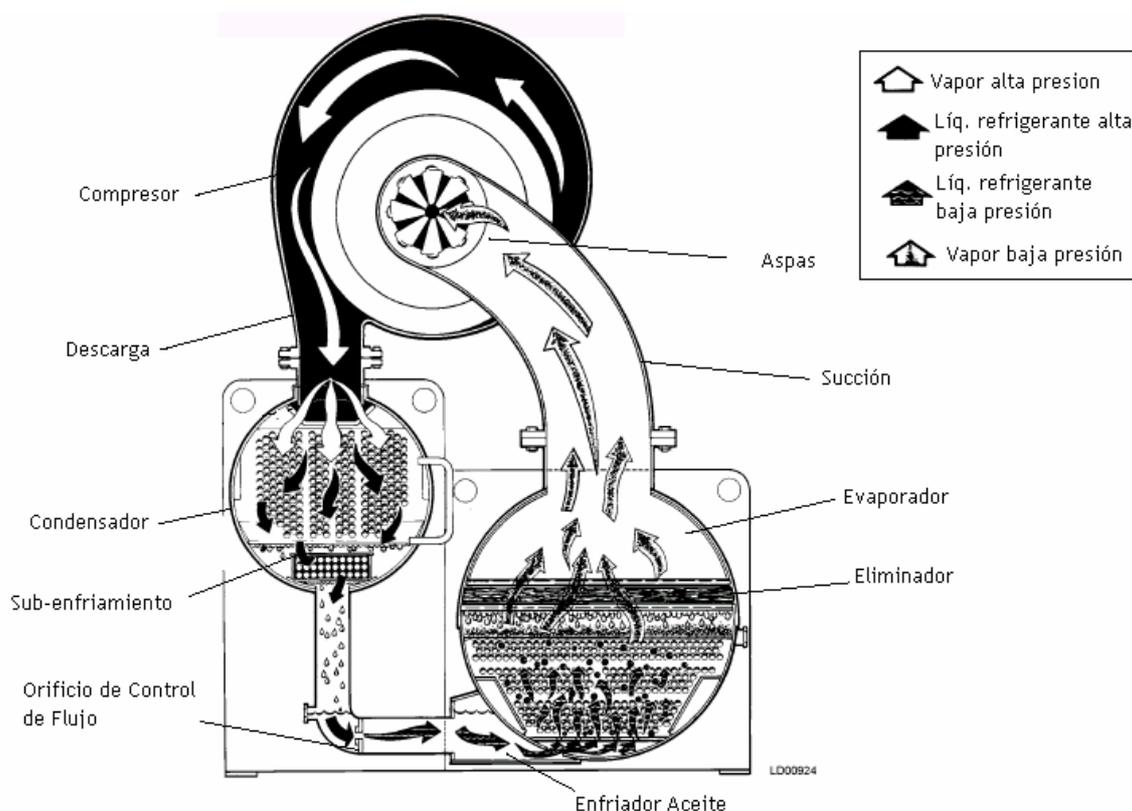


Figura B.3. Flujo de refrigerante a través de Enfriador.<sup>(46b)</sup>

**ANEXO C. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE AHUs EN DIFERENTES ÁREAS DE PROCESADO DE ALIMENTOS**

**CARNE RES / PUERCO**

NOMBRE DEL CUARTO	TEMPERATURA (°F)	CAMBIOS DE AIRE	PIE <sup>2</sup> /TR (A)	ENTRADA DE AIRE EXTERIOR	SALIDA DE AIRE-RECIRCULADO	FILTROS	MODO LIMPIEZA	NOTAS
Matanza	70-80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Evisceración	70-80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Pelado	70-80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Matanza	70-80	20/HR	150	100%	100%	30%	NA	2
Corte	45	20/HR	70-90	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	NA	3
Corte	40	25/HR	75-85	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	3
Corte	35	30/HR	65-75	5%	95%	30% / 95%	SI	3
Picado	40	25/HR	75-85	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	3
Picado	38	30/HR	65-75	5%	95%	30% / 95%	SI	3
Cuarto de Horneado / freído	80-85	30+/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Desangrado	70-80	20/HR	150	100%	95%	30%	NA	2

Notas:

1. Unidades con ventilación de pared sencilla / solo calentamiento.
2. Unidades con pared sencilla del quemador / ventilador al evaporador, doble pared, aislados de la sección del evaporador a la del filtro final.
3. Unidades con doble pared, aislados con ventiladores de salida para limpieza y fuente de calor para limpieza en locales donde el ambiente en invierno es menor a 60° F.

(A) La carga de refrigeración incluye 5%-10% del aire exterior, calor por motores y carga de calor sensible y calor latente del cuarto.

Esta información es provista solo para estimación. Buenas prácticas de ingeniería deben ser seguidas para diseños finales.

Información provista por:



AVES

NOMBRE DEL CUARTO	TEMPERATURA ( °F)	CAMBIOS DE AIRE	PIE <sup>2</sup> /TR (A)	ENTRADA DE AIRE EXTERIOR	SALIDA DE AIRE-RECIRCULADO	FILTROS	MODO LIMPIEZA	NOTAS
Colgado	70-80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Escaldado / desplumado	70-80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Evisceración	70-80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Horneado / freído	80	30/HR	NA	100%	100%	30%	NA	1
Enfriado	45-50	25/HR	80-90	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	2
Troceado	45-50	20/HR	75-85	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	2
Envasado	45-50	20/HR	80-90	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	2
Proceso adicional	45-50	20/HR	75-85	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	2

Notas:

1. Construcción de unidad de pared sencilla.
2. Unidades con doble pared, aislados con ventiladores de salida para limpieza y fuente de calor para limpieza en locales donde el ambiente en invierno es menor a 60°F.

(A) La carga de refrigeración incluye 5%-10% del aire exterior, calor por motores y carga de calor sensible y calor latente del cuarto.

Esta información es provista solo para estimación. Buenas prácticas de ingeniería deben ser seguidas para diseños finales.

Información provista por:



## LÁCTEOS

NOMBRE DEL CUARTO	TEMPERATURA (°F)	CAMBIOS DE AIRE	PIE <sup>2</sup> /TR (A)	ENTRADA DE AIRE EXTERIOR	SALIDA DE AIRE-RECIRCULADO	FILTROS	MODO LIMPIEZA	NOTAS
Llenado de leche	50-70	15-30/HR	85-125	10%-15%	90%	30% / 95%	SI	1
Proceso de queso	70-80	15-20/HR	90-125	10%-15%	90%	30% / 95%	SI	2
Rebanado de queso	50-70	15-30/HR	85-125	10%-15%	90%	30% / 95% HEPA	SI	3
Cuartos de cultivo (Starter Rooms)	65-75	20-25/HR	125	100%	90%	30% / HEPA	NO	4
Desarrollo de cultivo (Culture Cooking)	80	25/HR	100	5%-10%	90%-95%	30% / 95%	SI	5
Envasado	70-80	15-20/HR	90-125	10%-15%	90%	30% / 95%	SI	6
Moldeo	70	20/HR	80-90	5%	Ninguno	30% / 95%	NO	7

**Notas:**

1. Unidades con doble pared. Se lleva a cabo control de humedad para cuartos con bajo punto de rocío para minimizar la humedad en el recipiente de llenado. Con ventiladores de salida en la unidad o remotos.
2. Unidades con doble pared. Se lleva a cabo control de humedad para cuartos con bajo punto de rocío para minimizar crecimiento de moho en el cuarto. Con ventiladores de salida en la unidad o remotos.
3. Unidades con doble pared. Frecuentemente se usan filtros HEPA debido al gran incremento de área superficial del queso.
4. Unidades con doble pared, línea de acero inoxidable debido al uso de cloro. Nunca se recircula aire del cuarto.
5. Unidades con doble pared y líneas de acero inoxidable debido a las cargas usadas de alta humedad y cloro. La temperatura del cuarto y carga están diseñadas para periodos en que no se cocina (non-cooking periods).
6. Unidades con doble pared.
7. Unidades con doble pared. Se lleva a cabo control de humedad para prevenir humedad en los moldes.

(A) La carga de refrigeración incluye 5%-10% del aire exterior, calor por motores y carga de calor sensible y calor latente del cuarto.

Esta información es provista solo para estimación. Buenas prácticas de ingeniería deben ser seguidas para diseños finales.

Información provista por:



**OTROS**

NOMBRE DEL CUARTO	TEMPERATURA (°F)	CAMBIOS DE AIRE	PIE <sup>2</sup> /TR (A)	ENTRADA DE AIRE EXTERIOR	SALIDA DE AIRE-RECIRCULADO	FILTROS	MODO LIMPIEZA	NOTAS
Amasado / cuarto de mezclas	70-75	15-20/HR	100-125	10%-15%	90%	40% / 95%	NO	1
Carnes Finas	35-45	25-30/HR	75-185	5%	95%	30% / 95% HEPA	SI	2
Caja de enfriadores CO <sub>2</sub>	28-35	5-15/HR	85-125	100%	100%	30% / 95%	NO	3
Clase 100 000	65-70	20-30	200	10%	0%	30% / 95% HEPA	NO	4

Notas:

1. Unidades con doble pared. Uso de prefiltros con gran capacidad de retención de polvo por harina en el flujo de aire. El modo limpieza es seco e infrecuente.
2. Unidades con doble pared y ventiladores de salida de aire integrados.
3. Unidad con energía de recuperación. El aire de salida pasa a través de una rueda dentada, recuperando de 70% a 80% del total de la energía de enfriamiento. Unidad diseñada para descargar a temperatura del cuarto.
4. Para proceso de manufactura limpio. Unidad con doble pared.

(A) La carga de refrigeración incluye 5%-10% del aire exterior, calor por motores y carga de calor sensible y calor latente del cuarto.

Esta información es provista solo para estimación. Buenas prácticas de ingeniería deben ser seguidas para diseños finales.

Información provista por:

