



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS (HUMIFRESH), EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELÓN CANTALOUPE

Manuel Enrique Morales Ramírez

Asesorado por los ingenieros: Mario Alfredo Gutiérrez Quintana y Luís Alfredo Asturias Zúñiga

Guatemala, noviembre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS
(HUMIFRESH), EN PLANTAS DE MELÓN CANTALOUPE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

MANUEL ENRIQUE MORALES RAMÍREZ

ASESORADO POR LOS INGENIEROS: MARIO ALFREDO GUTIERREZ
QUINTANA Y LUIS ALFREDO ASTURIAS ZÚÑIGA.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Francisco Javier González López |
| EXAMINADOR | Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez |
| EXAMINADOR | Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS (HUMIFRESH), EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELÓN CANTALOUPE,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica – Eléctrica, el 11 de Agosto de 2003.



Manuel Enrique Morales Ramírez

Guatemala, 6 de Agosto de 2007.

Ingeniero:
Francisco Javier González López.
Coordinador Área de Electrotécnia.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Guatemala, Ciudad.

Ingeniero González:

Por medio de la presente le comunico que, habiendo examinado, estudiado y discutido en varias reuniones consecutivas, el trabajo de tesis titulado "INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS (HUMIFRESH) EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELON CANTALOUPE", que previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico-Electricista ha desarrollado el alumno MANUEL ENRIQUE MORALES RAMÍREZ con número de carné 91-12328, encontrando satisfactorios los planteamientos y el desarrollo del mismo, luego de efectuadas las enmiendas que consideré necesarias me permito emitir el Dictamen Favorable Aprobando el trabajo de graduación.

Por lo tanto, el autor de este trabajo de graduación y yo como su asesor nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,



Ing. Mario Alfredo Gutiérrez Q.
ASESOR

Guatemala, 6 de Agosto de 2007.

Ingeniero:
Francisco Javier González López.
Coordinador Área de Electrotécnica.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Guatemala, Ciudad.

Ingeniero González:

El motivo de la presente es para informarle que he asesorado el trabajo de tesis titulado "INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS (HUMIFRESH) EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELON CANTALOUPE", que previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico-Electricista ha desarrollado el alumno MANUEL ENRIQUE MORALES RAMÍREZ con número de carné 91-12328.

Es mi deseo manifestarle que he encontrado el trabajo muy satisfactorio, y en mi opinión, llena los requisitos para su aceptación. Por lo anterior, le agradecería que revise el trabajo, a fin de dar el visto bueno para que el estudiante pueda someterse al examen público de tesis respectivo.

Por otro lado, el autor de este trabajo de graduación y yo como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, agradezco su atención.

Atentamente,


Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga.
ASESOR.



Guatemala, 26 de SEPTIEMBRE 2007.

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS
(HUMIFRESH) EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELON
CANTALOUPE**, desarrollado por el estudiante; Manuel Enrique
Morales Ramírez, por considerar que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área de Electrotécnica

FJGL/sro





El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Manuel Enrique Morales Ramirez titulado: **INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS (HUMIFRESH) EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELON CANTALOUPE**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 1 DE OCTUBRE 2,007.



Ref. DTG. 472.2007

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **INSTALACIÓN DE HUMIDIFICADORES EVAPORATIVOS (HUMIFRESH), EN PLANTAS EMPACADORAS DE MELÓN CANTALOUPE**, presentado por el estudiante universitario **Manuel Enrique Morales Ramírez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2007



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres: Ángel Alberto Morales Marroquín y Encarnación Ramírez de Morales.

Mi tía: Blanca Lidia Morales Marroquín.

Mis abuelas: Francisca Marroquín Riera y Refugio Ramírez.

Sin su guía, apoyo y ayuda, no me habría sido posible alcanzar este logro tan grande y poder realizarme personal y profesionalmente como un ser humano completo.

AGRADECIMIENTOS A:

Luís Alfredo Asturias Zúñiga y Mario Alfredo Gutiérrez Quintana, por su amistad y asesoría durante el desarrollo del presente trabajo de graduación.

Compañeros de labores y amigos de las empresas:

Fresh Quest Produce

Central American Produce

Del Monte

Sin su cooperación y aportes, no habría sido posible la elaboración del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XV |
| GLOSARIO | XVII |
| RESUMEN | XXI |
| OBJETIVOS | XXIII |
| INTRODUCCIÓN | XXV |
| | |
| 1. HUMIDIFICADOR EVAPORATIVO. | 1 |
| 1.1 Tipos y modelos | 2 |
| 1.2 Dimensiones | 8 |
| 1.3 Aplicaciones del humidificador evaporativo | 10 |
| 1.4 Componentes del humidificador evaporativo | 11 |
| 1.5 Funcionamiento | 12 |
| 1.6 Especificaciones | 13 |
| 1.7 Operación | 14 |
| 1.8 Mantenimiento | 16 |
| 1.8.1 Mantenimiento General | 16 |
| 1.8.1.1 Boquillas | 17 |
| 1.8.1.2 Agua | 17 |
| 1.8.1.3 Ventilador de Succión | 17 |
| 1.8.1.4 Filtros | 18 |
| 1.9 Pre-enfriamiento y almacenaje en un cuarto | 18 |
| 1.10 Importancia del pre-enfriamiento | 19 |
| 1.11 Por qué enfriar lo más pronto posible después de cosechar. | 21 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1.12 | Productos que pueden ser enfriados con aire forzado | 22 |
| 1.12.1 | Productos muy altamente perecederos | 22 |
| 1.12.2 | Productos altamente perecederos | 23 |
| 1.12.3 | Productos moderadamente perecederos | 23 |
| 2. | ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO. | 25 |
| 2.1 | Cómo es realizado el enfriamiento por aire forzado | 26 |
| 2.2 | Métodos de pre-enfriamiento | 27 |
| 2.2.1 | Túnel de enfriamiento | 27 |
| 2.2.2 | Enfriamiento por pared fría | 31 |
| 2.2.3 | Serpentín enfriador | 35 |
| 2.2.4 | Enfriamiento evaporativo | 40 |
| 2.3 | Algunos beneficios del enfriamiento por aire forzado | 42 |
| 3. | UNIDAD CONDENSADORA. | 45 |
| 3.1 | Unidades condensadoras con un circuito de refrigeración | 45 |
| 3.2 | Unidades condensadoras con dos circuitos de refrigeración | 46 |
| 3.3 | Especificaciones de unidades condensadoras para humidificadores evaporativos. | 47 |
| 3.4 | Requerimientos de espacio y localización de unidades condensadoras. | 49 |
| 3.4.1 | Paredes y obstrucciones. | 49 |
| 3.4.2 | Unidades múltiples | 51 |
| 3.4.3 | Unidades en foso | 52 |
| 3.4.4 | Unidades cercanas a celosías, muros decorativos | 53 |
| 3.4.5 | Obstrucciones verticales | 54 |
| 3.5 | Espacio y localización para condensadores remotos | 55 |

| | |
|---|-----|
| 4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL HUMIDIFICADOR | |
| EVAPORATIVO | 57 |
| 4.1 Requerimientos | 57 |
| 4.2 Cargas del sistema | 58 |
| 4.3 Reduciendo los costos de energía | 59 |
| 4.4 Sistemas de soporte de tubería eléctrica y bandejas para cableado | 62 |
| 4.5 Tableros eléctricos | 78 |
| 4.6 Esquemas de conexión | 81 |
| 4.7 Cálculo de dispositivos de protección contra sobrecarga, corto-circuito y falla a tierra. | 91 |
| | |
| 5. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO | 99 |
| 5.1 Prácticas de manejo del producto | 104 |
| 5.2 Períodos medios de enfriamiento (7/8) | 106 |
| 5.2.1 Uso del tiempo de enfriamiento | 107 |
| 5.3 Enfriamiento rápido | 109 |
| 5.4 Tendencia de enfriamiento | 111 |
| | |
| 6. EMPAQUE Y ESTIBA | 115 |
| 6.1 Contenedores para enfriamiento con aire forzado | 115 |
| 6.2 Perforado de cajas y bandejas | 117 |
| 6.3 Tipos de estibado | 117 |
| 6.3.1 Estibado cruzado de caja de cartón | 118 |
| 6.3.2 Estibado denso de caja de cartón | 119 |
| 6.3.3 Estibado cruzado de cajilla o bandeja | 120 |
| 6.4 Ancho de los contenedores estibados para enfriamiento con aire forzado. | 120 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 6.5 | Corto-circuito del flujo de aire de enfriamiento | 121 |
| 6.5.1 | Prevencción del corto-circuito del flujo aire de enfriamiento. | 122 |
| 6.5.2 | Puntos de corto-circuito del flujo de aire. | 122 |
| 7. | DISEÑO DEL SISTEMA | 125 |
| 7.1 | Selección del ventilador | 125 |
| 7.2 | Dimensiones de los canales de aire | 134 |
| 7.2.1 | 10 pasos para diseñar un enfriador por aire forzado. | 140 |
| 7.3 | Esquemas de instalación | 146 |
| 8. | ANCLAJE Y SEÑALIZACIÓN DE TUBERÍA | 157 |
| 8.1 | Amortiguadores de vibración | 160 |
| 8.2 | Soportes para tubería de refrigeración | 163 |
| 8.3 | Elementos de anclaje | 166 |
| 8.4 | Colocación de anclaje y espaciado | 172 |
| 8.5 | Identificación de tuberías | 175 |
| 9. | INSTRUMENTOS | 177 |
| 9.1 | Psicrometría y Operaciones pos-cosecha | 177 |
| 9.2 | Variables psicrométricas | 177 |
| 9.2.1 | Temperatura de bulbo seco (db) | 178 |
| 9.2.2 | Humedad relativa (RH) | 179 |
| 9.2.3 | Relación de humedad (Relación de mezcla, humedad absoluta) | 179 |
| 9.2.4 | Entalpía | 179 |
| 9.2.5 | Volumen específico | 180 |
| 9.3 | Carta psicrométrica | 180 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 9.4 | Efecto de las variables psicrométricas sobre los productos perecederos. | 187 |
| 9.4.1 | Temperatura | 187 |
| 9.4.2 | Humedad relativa/presión de vapor | 187 |
| 9.4.3 | Humedad relativa | 189 |
| 9.4.4 | Temperatura de punto de rocío | 190 |
| 9.5 | Medida de las Variables Psicrométricas | 191 |
| 9.5.1 | Temperatura de Bulbo Seco | 191 |
| 9.5.2 | Temperatura de Bulbo Húmedo | 193 |
| 9.5.3 | Humedad Relativa | 197 |
| 9.5.4 | Indicadores de Punto de Rocío | 199 |
| 9.5.5 | Medición de la presión estática y velocidad | 199 |
| 9.5.6 | Medición del volumen de aire o caudal | 202 |
| 9.6 | Relación entre velocidad de flujo de aire, presión de velocidad y presión estática. | 203 |
| 9.7 | Monitoreo de parámetros | 205 |
| 9.8 | Trazabilidad | 207 |
| 10. | TRATAMIENTO Y SANITIZACIÓN DEL AGUA. | 211 |
| 10.1 | Sanitización del agua recirculada | 211 |
| 10.2 | Elección del sanitizante | 212 |
| 10.2.1 | Cloro | 214 |
| 10.2.2 | Dióxido de cloro (CLO ₂) | 214 |
| 10.2.3 | Ácido Perioxiacético (PAA) | 215 |
| 10.2.4 | Ozono (O ₂) | 216 |
| 10.3 | Presentaciones del cloro | 217 |
| 10.4 | Factores que influyen la actividad del cloro | 218 |
| 10.4.1 | Concentración de cloro | 220 |
| 10.4.2 | Tiempo de exposición | 220 |

| | | |
|------------------------|---|-----|
| 10.4.3 | Cantidad de materia orgánica en el agua | 221 |
| 10.4.4 | Temperatura del agua | 221 |
| 10.4.5 | Tipo y etapa de crecimiento de patógenos | 221 |
| 10.5 | Mantenimiento adecuado de la concentración de cloro | 222 |
| 10.6 | Mezclando soluciones de cloro | 223 |
| 10.7 | Recomendaciones | 224 |
| 10.8 | Filtros | 225 |
| CONCLUSIONES | | 229 |
| RECOMENDACIONES | | 233 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 237 |
| ANEXOS | | 241 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Humidificador evaporativo con bomba para agua lateral, sin los difusores en la parte superior. | 3 |
| 2 | Humidificador evaporativo con bomba para agua trasera, plenum y difusores en su posición, ubicado en cuarto frío. | 3 |
| 3 | Humidificador evaporativo con bomba trasera, ubicado dentro del cuarto frío. | 4 |
| 4 | Humidificador Evaporativo con Bomba de Agua lateral, con plenum, ubicado dentro del cuarto individual. | 4 |
| 5 | Cuarto frío de enfriamiento de producto. | 5 |
| 6 | Equipo de enfriamiento evaporativo en cuarto individual, con plenum. | 5 |
| 7 | Equipo de enfriamiento sin plenum ubicado en cuarto frío. | 6 |
| 8 | Equipo de enfriamiento fabricado con evaporador de aire forzado, ubicado en cuarto individual con sistema de nebulización de agua fría. | 7 |
| 9 | El equipo de enfriamiento anterior con las lonas desplegadas para cubrir los túneles formados por las tarimas de producto. | 7 |
| 10 | Dimensiones en metros del humidificador evaporativo. | 8 |
| 11 | Dimensiones en metros de plenum para humidificador evaporativo. | 9 |
| 12 | Identificación de las partes de un equipo de enfriamiento por aire forzado de alta humedad. | 12 |
| 13 | Cuarto frío con divisor para albergar un sistema de enfriamiento por aire forzado. | 19 |
| 14 | Esquema de un enfriador de aire forzado tipo túnel. | 28 |

| | | |
|----|--|----|
| 15 | Enfriador de aire forzado tipo túnel. | 28 |
| 16 | Túnel para enfriamiento, se indica la dirección de retorno de los flujos de aire frío. | 29 |
| 17 | Túnel de aire forzado para enfriamiento de productos frescos con ventilador portátil. | 30 |
| 18 | Enfriador por aire forzado tipo pared fría. | 31 |
| 19 | Enfriador de pared fría con carga de producto. | 32 |
| 20 | Enfriador de pared fría a presión. | 33 |
| 21 | Sistema de enfriamiento de pared fría por aire forzado. | 34 |
| 22 | Enfriador de pared fría tipo permanente. | 35 |
| 23 | Serpentín enfriador por aire forzado. | 36 |
| 24 | Paletas de bins colocadas contra la pared de un serpentín enfriador. | 37 |
| 25 | El burlete abre las ranuras del plenum cuando los bins son colocados en posición. | 38 |
| 26 | Tiras de tejido bloquean el flujo de aire en niveles alternativos de bins. | 38 |
| 27 | Flujo de aire en el serpentín enfriador. | 39 |
| 28 | Enfriamiento evaporativo. | 40 |
| 29 | Esquema de funcionamiento de un sistema de alta humedad. | 43 |
| 30 | Unidad condensadora de circuito simple para humidificador evaporativo. | 46 |
| 31 | Unidad condensadora de circuito doble o dual, lado derecho. | 46 |
| 32 | Unidad condensadora de circuito doble o dual lado izquierdo. | 47 |
| 33 | Unidad condensadora de descarga vertical cercana a muro. | 50 |
| 34 | Unidad condensadora de descarga horizontal cercana a muro. | 51 |
| 35 | Unidades condensadoras de descarga vertical cercanas. | 51 |
| 36 | Unidades condensadoras de descarga horizontal cercanas. | 52 |
| 37 | Unidades condensadoras adyacentes por la parte trasera o delantera. | 52 |
| 38 | Unidad condensadora localizada dentro de foso. | 53 |

| | | |
|----|---|----|
| 39 | Localización de una unidad condensadora cerca de muros decorativos. | 54 |
| 40 | Esquema de una unidad condensadora con obstrucción vertical. | 54 |
| 41 | Suspensión de bandejas, canaletas y tuberías eléctricas. | 63 |
| 42 | Sistema de suspensión bandejas para cables. | 64 |
| 43 | Suspensión de bandeja para cables de superficie plana de techo. | 65 |
| 44 | Conducción de cables a doble bandeja, con suspensión en techo. | 66 |
| 45 | Sistema múltiple de ménsulas para conducción de cableado eléctrico. | 67 |
| 46 | Tee y bajada, para bandeja de conducción de cableado. | 68 |
| 47 | Tapadera, para bandeja de cableado eléctrico. | 68 |
| 48 | Divisor, para bandeja de cableado eléctrico. | 69 |
| 49 | Sección armada indicando puntos de fijación. | 69 |
| 50 | Patio de condensadores, conducción de tubería y cableado, tableros eléctricos y dimensiones de tuberías de refrigeración. | 71 |
| 51 | Bandejas auto-soportantes en PVC. | 72 |
| 52 | Ángulos, derivaciones y bajadas para sistema auto-soportado de PVC. | 72 |
| 53 | Utilización en ambientes internos o externos altamente agresivos. | 73 |
| 54 | Rango de capacidad, abrazadera de nylon. | 74 |
| 55 | Montaje de abrazadera de nylon. | 74 |
| 56 | Ampliación del sistema. | 75 |
| 57 | Instalación con anclaje central. | 76 |
| 58 | Dimensiones de abrazadera con diagrama. | 77 |
| 59 | Tablero de distribución con interruptor principal tipo Masterpact electrónico, auto-soportado. | 78 |
| 60 | Tablero de distribución con interruptor termo-magnético principal de caja moldeada, auto-soportado. | 79 |
| 61 | Tablero tipo sobreponer, con dispositivos de mando y control. | 80 |

| | | |
|----|---|-----|
| 62 | Tablero de control auto-soportado, conformado por módulos independientes. | 80 |
| 63 | Unidad condensadora para sistema de enfriamiento evaporativo de alta humedad, con su respectivo tablero de control. | 81 |
| 64 | Instalación eléctrica de potencia y control de unidades condensadoras, para sistemas de enfriamiento evaporativo de alta humedad. | 82 |
| 65 | Instalación eléctrica de potencia y control en unidad de enfriamiento evaporativo, de alta humedad con bomba lateral. | 83 |
| 66 | Instalación eléctrica de potencia y control de unidad de enfriamiento evaporativo, de alta humedad con bomba trasera. | 83 |
| 67 | Esquema de cableado externo (potencia y control). | 85 |
| 68 | Diagramas unifilares de fuerza, mando y esquemas de conexión de unidad condensadora, y sistema de alta humedad. | 86 |
| 69 | Diagrama unifilar para el problema 1. | 93 |
| 70 | Típico modelo de temperatura en enfriamiento de producto. | 99 |
| 71 | Temperatura del producto en un enfriador por aire forzado, paletas de melón Cantaloupe en sus respectivas cajas. | 101 |
| 72 | Temperatura del producto en un enfriador de aire forzado, paletas de cerezas en sus respectivas cajas. | 102 |
| 73 | Efectos del diámetro del producto y la tasa de flujo de aire en los tiempos de enfriamiento. | 103 |
| 74 | Modelo de enfriamiento del producto con aire forzado a 35 °F. | 105 |
| 75 | Relación típica tiempo-temperatura para productos a ser enfriados. | 109 |
| 76 | Comparación temperatura-tiempo relativo de enfriamiento de tres sistemas. | 110 |
| 77 | Gráfica hecha con los puntos contenidos en la matriz de resultados. | 113 |
| 78 | Distancia y tipo de perforado para contenedores estibados en forma cruzada. | 116 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 79 | Estibado cruzado de cajas. | 118 |
| 80 | Estibado denso o alineado. | 119 |
| 81 | Estibado cruzado de bandejas o cajillas. | 120 |
| 82 | Puntos localizados de corto-circuito del aire de enfriamiento. | 123 |
| 83 | Descenso de presión contra flujo de aire a través de paletas (tarimas). | 127 |
| 84 | Descenso de presión contra flujo de aire a través de paletas (tarimas). | 128 |
| 85 | Diámetro del ventilador contra eficiencia pico. | 130 |
| 86 | Eficiencia nominal contra potencia, considerando el número de polos del motor y sus RPM. | 131 |
| 87 | Nivel sonoro contra número de ventiladores. | 132 |
| 88 | Dimensiones en los canales de aire. | 135 |
| 89 | Dimensiones de los canales de aire en el sistema inglés. | 137 |
| 90 | Dimensiones de los canales de aire en el SI. | 137 |
| 91 | Ubicación de los parámetros a medir para el cálculo de las dimensiones de los canales de aire. | 139 |
| 92 | Instalación de sistema de enfriamiento evaporativo con bomba trasera. | 147 |
| 93 | Dimensiones perpendiculares en el sistema con túnel. | 149 |
| 94 | Instalación del sistema con bomba lateral. | 150 |
| 95 | Dimensiones mínimas perpendiculares en el sistema de túnel. | 152 |
| 96 | Instalación de varios equipos con bomba trasera. | 154 |
| 97 | Instalación de varios equipos con bomba lateral. | 155 |
| 98 | Instalación de varias unidades en forma ideal. | 156 |
| 99 | Junta de expansión utilizada en la salida en la unidad condensadora de la línea de alta presión. | 161 |
| 100 | Amortiguador de vibraciones para tubo. | 161 |
| 101 | Soporte aislante para tubería de gran diámetro y abrazadera circular. | 162 |
| 102 | Tira aislante para tubería. | 163 |
| 103 | Instalación de tuberías de refrigeración en pared. | 164 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 104 | Sistemas de anclaje variados. | 164 |
| 105 | Elementos para anclaje de perfiles industriales en concreto. | 168 |
| 106 | Columna de vuelco y dimensiones. | 171 |
| 107 | Forma correcta de anclaje a la salida de la unidad condensadora. | 174 |
| 108 | Métodos de anclaje anti-vibratorio para maquinaria con movimiento alternativo. | 174 |
| 109 | Orientación de las variables psicrométricas sobre la carta psicrométrica. | 180 |
| 110 | Variables psicrométricas localizadas en la carta. | 181 |
| 111 | Carta psicrométrica en unidades inglesas. | 185 |
| 112 | Carta psicrométrica en unidades métricas. | 186 |
| 113 | Termómetro para uso industrial. | 192 |
| 114 | Termómetros para control de calidad en producto. | 193 |
| 115 | Psicrómetros análogo o manual. | 194 |
| 116 | Psicrómetro digital portable. | 194 |
| 117 | Medidores de humedad relativa e higrómetro, potables. | 197 |
| 118 | Indicador de humedad relativa, temperatura para control de la calidad del aire en enfriadores evaporativos. | 198 |
| 119 | Tubo Pitot para la medición de la presión estática y presión total en el túnel de succión de aire. | 201 |
| 120 | Instrumento que registra la velocidad del aire en fpm y la presión estática en w.c. (columna de agua). | 201 |
| 121 | Anemómetro de aspas giratorias para la medición del caudal de aire en CFM. | 202 |
| 122 | Mapeo que muestra las posiciones del tubo Pitot para efectuar mediciones en ductos rectangulares y redondos. | 204 |
| 123 | Monitor de velocidad de aire instalado en panel. | 206 |
| 124 | Porcentaje de variación del cloro respecto al pH y temperatura del agua. | 219 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 125 | Filtro compuesto por dos elementos para agua recirculada. | 226 |
| 126 | Posición de los elementos de filtrado respecto a los otros dispositivos del equipo. | 227 |
| 127 | Instalación de filtros en el sistema. | 228 |

TABLAS

| | | |
|------|--|-----|
| I | Perisibilidad de frutas frescas y vegetales, tiempo de enfriamiento y flujo de aire para enfriamiento del producto. | 24 |
| II | Cargas eléctricas del sistema. | 58 |
| III | Comparación en uso eficiente de energía de métodos de enfriamiento. | 59 |
| IV | Ampacidad de conductores aislados de cero a 2,000 voltios. | 92 |
| V | Corriente de plena carga para motores de inducción trifásicos. | 93 |
| VI | Máximos valores de dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos ramales de motores. | 94 |
| VII | Relaciones para el cálculo del tiempo de enfriamiento 7/8. | 108 |
| VIII | Tendencia de enfriamiento temperatura – tiempo. | 111 |
| IX | Matriz de resultados al aplicar el modelo de enfriamiento de Newton. | 112 |
| X | Especificaciones para ventiladores centrífugos. | 133 |
| XI | Especificaciones para ventiladores axiales. | 134 |
| XII | Resultados en el diseño del los canales de aire para sistema de alta humedad. | 141 |
| XIII | Cálculo de toneladas de refrigeración con base en volumen de producto. | 143 |
| XIV | Dimensiones y esfuerzos admisibles para elemento de anclaje. | 170 |

| | | |
|-------|--|-----|
| XV | Criterio de espaciado de soportes en tubería de refrigeración de cobre. | 172 |
| XVI | Máximo espaciado de soportes para tubería de cobre. | 173 |
| XVII | Código de colores para tuberías que transportan fluidos de uso industrial. | 176 |
| XVIII | Químicos sanitizantes para plantas empacadoras | 213 |
| XIX | Guía rápida para cálculo de mezcla de soluciones de cloro. | 223 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---------------|--|
| RPM | Revoluciones por minuto. |
| GPM | Galones por minuto. |
| T.R. | Tonelada de refrigeración, es igual a 12,000 BTUH. |
| CFM | (Cubic Feet per minute), Pies cúbicos por minuto. |
| w.c. | (water column) Columna de agua. |
| Hp | (Horse power) Caballo de potencia. |
| °F | Grados Fahrenheit |
| °C | Grados Celsius. |
| cfm/lb | Pies cúbicos por minuto por libra. |
| L/s/kg | Litros por segundo por kilogramo. |
| fpm | (feet per minuto) Pies por minuto. |
| m/s | Metros por segundo |
| kW | Kilowatt, Kilovatio |
| lbs | Libras |
| A | Amperio. |
| V | Voltio. |
| W | (Wide) Ancho. |
| kVA | Kilo voltios amperios. |
| In (A) | Corriente nominal en amperios. |
| 7/8 | 87.5% |
| cm | Centímetro. |
| % | Porcentaje. |
| h | Hora. |
| mm | Milímetro. |
| min | Minuto. |

| | |
|----------------------------|---|
| “ | Pulgada. |
| Lw(A) | Decibeles. |
| L/s | Litros por segundo. |
| kg | Kilogramo. |
| kN | Kilonewton. |
| db | (dry bulb) Bulbo seco. |
| wb | (wet bulb) Bulbo húmedo. |
| dp | (dew point) Punto de rocío. |
| RH | (Relative Humidity) Humedad relativa. |
| m³/kg | Metro cúbico por kilogramo. |
| pie³/lb. | Pie cúbico por libra. |
| g | Aceleración de la gravedad. |
| ppm | Partes por millón. |
| pH | Potencial hidrógeno. |
| pie³/min | Pie cúbico por minuto. |
| lbs/pie³ | Libras por pie cúbico. |
| BTU | (British Thermal Unit), Unidad Térmica Británica. |
| NEC | (National Electrical Code), Código Nacional de Electricidad. |
| LRA | (Locked Rotor Amperes), Amperes a Rotor Bloqueado, corriente de arranque. |
| RLA | (Rotor Loaded Amperes), Amperes rotor cargado, corriente nominal a plena carga. |
| BTUH | Unidad Térmica Británica por hora. |
| NTU | (Normal Turbidity Units), Unidad normal de turbidez, medida de material suspendido en agua. |

GLOSARIO

| | |
|------------------------------------|--|
| Calor latente | Es el calor necesario para cambiar el estado de un cuerpo sin alterar su temperatura, es el cambio de entalpía de dicha sustancia. |
| Calor específico | Es la capacidad de un cuerpo de absorber calor, para cada tipo de producto tenemos un calor específico, el cual forma parte de las cargas BTUH del recinto. |
| Calor sensible | Es el tipo de calor que se percibe al tacto, en donde el calor cesa a una temperatura de $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$, la cual es el cero absoluto. |
| Coefficiente de respiración | Es muy similar al calor específico, con la diferencia que el coeficiente de respiración, es el calor que se genera en frutas y vegetales a temperaturas bajas, se da como una carga adicional en el diseño de una instalación frigorífica. |
| Conducción | Es la transmisión de calor por medio de un cuerpo sólido, el cual tiene características de buen conductor, tal como el cobre, aluminio y otros. |
| Convección | Es la transmisión de calor por medio de una sustancia, el cual lo transporta a otro lugar, sirviendo éste como un refrigerante en esta clase de equipos. |

| | |
|--------------------------------|--|
| Inocuidad | Característica de un ambiente con bajo contenido de bacterias. |
| Radiación | Es la transmisión de calor por un medio, el cual se irradia de un cuerpo a otro menos radiante. |
| Corto-circuito del aire | La mezcla de aire y agua fría suministrada por el equipo que debería de pasar por las perforaciones del empaque, enfriando así el producto, retorna al ventilador por hendiduras sin tener contacto con el producto. |
| Fillacel | Red de hilos interna en el humidificador evaporativo que sirve para suspender gotas pequeñas de agua fría. |
| Petos | Cojines instalados en las aberturas en el plenum o en la máquina que amortiguan el impacto cuando es colocada una tarima con producto |
| Burlete | Regla de madera colocada en la parte inferior de la máquina para evitar el corto circuito del aire. |
| Difusores | Elementos instalados en la parte superior del humidificador evaporativo por los cuales sale el flujo de aire arrastrando partículas de agua fría. |
| Hydrocooler | Equipo de enfriamiento de productos perecederos, que utiliza el contacto del producto con una corriente de agua fría durante un tiempo determinado. |

| | |
|--------------------|---|
| Estibado | Colocar sobre una tarima de madera las cajas de producto en un orden, sentido y altura determinados. |
| Cajilla | Caja especialmente diseñada para el empaque de productos alimenticios, para ser enviados al mercado europeo. |
| Propela | Hélice. |
| Sanitizante | Compuesto químico de uso industrial para desinfectar o eliminar la proliferación de micro-organismos, principalmente bacterias. |

RESUMEN

El humidificador evaporativo o sistema de enfriamiento de alta humedad, utiliza una corriente de aire mezclada con agua fría para lograr el enfriamiento del producto, este es un tipo de enfriamiento por aire forzado. Existen varios modelos y pueden ser utilizados con unidades condensadoras de simple o doble circuito de refrigeración, deben tomarse en consideración distancias mínimas de instalación tanto del humidificador como de la unidad condensadora

La instalación eléctrica del equipo, requiere material eléctrico adecuado basada en normativas de carácter internacional, debe ponerse especial atención en la instalación de la tubería de refrigeración para evitar daño por vibraciones excesivas.

La forma de estibado y tipo de empaque, afectan la eficiencia del equipo, es por ello que debe hacerse en forma correcta y elegir el empaque adecuado, esto repercute en la elevación del porcentaje de aire en corto-circuito. El diseño del sistema radica primordialmente en el dimensionamiento de los canales de aire a los costados de la máquina y el túnel de succión, con el fin de optimizar el flujo convectivo o tiro y el flujo de succión dentro del túnel hacia la máquina.

La medición constante de los parámetros que involucran la operación del sistema es importante para su optimización, esto llevará a establecer bases de datos para realizar labores de conservación del equipo y mantenimiento del servicio en forma predictiva de los elementos que más influyen en la calidad del producto final, como la sanitización del agua empleada en la humidificación, ya que este es el medio de trabajo del equipo y por ende tiene contacto con el producto afectando su vida y calidad.

OBJETIVOS

GENERAL:

Proporcionar información completa al personal técnico operativo, técnicos en refrigeración e ingenieros, sobre el funcionamiento del humidificador evaporativo, instalación y posterior aplicación para su correcta operación y administración, con el fin de obtener un adecuado enfriamiento de productos perecederos, en especial el melón de la variedad Cantaloupe, producto que necesita de enfriamiento lento para prolongar su vida y mantener un estándar de calidad para el consumidor, ya que será empacado y despachado hacia el mercado exterior.

ESPECÍFICOS:

1. El conocimiento del sistema de refrigeración evaporativo o de alta humedad, y la comprensión de su funcionamiento.
2. Aplicación del sistema de refrigeración de alta humedad a productos perecederos, dependiendo del tipo de enfriamiento de estos.
3. Lograr una operación eficiente del sistema que beneficie a la empresa productora, en cuanto a ahorro de energía eléctrica.
4. Lograr una correcta administración del sistema que redunde en mayor cantidad de producto enfriado por unidad de tiempo.
5. Teniendo el conocimiento completo del sistema enfriamiento de alta humedad, promover modificaciones futuras al sistema con el objetivo de mejorar su eficiencia.
6. Conocer y aplicar rutinas de conservación del equipo y mantenimiento del servicio que éste presta.

INTRODUCCIÓN

Como estudiante de la carrera de ingeniería mecánica-eléctrica, existe la capacidad de comprensión de sistemas que involucran estas dos áreas, en una industria grande, como es el caso de la exportación de productos alimenticios hacia mercados en el exterior, existe también el beneficio de obtener conocimientos de estas dos áreas debido a que estas empresas tienen un sinnúmero de dispositivos que combinan ambas ramas de la ingeniería, de esta cuenta surge la necesidad de enfocarse en el proceso de producción desde el punto de vista de la ingeniería mecánica y eléctrica, específicamente en la etapa de enfriamiento del producto, esta etapa consume una gran cantidad de tiempo dentro del proceso y es determinante para la vida posterior del producto y su calidad en el mercado exterior.

Habiendo hecho hincapié en estos antecedentes, puede entonces inferirse del por qué de esta investigación que viene a ser un tratado práctico acerca de los factores principales y secundarios que afectan la eficiencia, operación y administración del humidificador evaporativo o enfriador de alta humedad; esta obra es específicamente acerca de la máquina en cuestión, siendo necesario que el lector posea conocimientos previos de refrigeración industrial para la completa comprensión de los temas descritos.

Los capítulos 1, 2, y 3, son conocimientos que pueden encontrarse en cualquier tratado de refrigeración industrial u obras complementarias a ésta, pero que conceden al lector una base general para el conocimiento del sistema. Así como también el manejo de ciertas variables de la refrigeración industrial que influyen directamente en el humidificador evaporativo, contrasta los métodos de enfriamiento a fin de obtener un criterio más amplio de la refrigeración industrial de productos alimenticios.

La instalación eléctrica, es el tema tratado en el capítulo cuatro, en el cual se hace énfasis en la seguridad y en la confiabilidad del sistema, utilizando equipo y materiales eléctricos adecuados, desde luego, el costo de este tipo de instalación es mucho más elevado debido a las condiciones extremas, tanto en el exterior como en el recinto, es importante mencionar que la instalación eléctrica debe estar sujeta a normativas como por ejemplo NEC, esto garantiza los dos aspectos mencionados con anterioridad y la concordancia con otras normas de carácter internacional para plantas procesadoras de alimentos.

El tiempo de enfriamiento es la variable de mayor preocupación para las personas encargadas de la producción, se ve afectada por varios factores que se estudian en el capítulo cinco, también comprende el uso e interpretación del tiempo de enfriamiento; en el capítulo seis, explica la influencia de factores físicos como el tamaño del empaque, material, área de perforación y forma de colocarlo sobre la tarima sobre el tiempo de enfriamiento y explica el fenómeno del corto circuito del aire.

El diseño del sistema, que consiste en el correcto posicionamiento de los equipos en el exterior y dentro del recinto, se detalla en el capítulo siete, en este capítulo se da una hoja electrónica para el cálculo de los canales de aire de acuerdo al volumen del producto, velocidad del aire, etc. Se detalla también esquemas que podría decirse son estándar para la instalación de los equipos.

Las vibraciones sin control o sin restricción, producidas por equipos recíprocos como compresores o equipos rotatorios como ventiladores, afectan de manera considerable la vida útil de los equipos y la probabilidad de falla se incrementa, aumentando los costos de conservación y mantenimiento, es por ello que en el capítulo ocho se describe la importancia de limitar éstas con sistemas de anclajes propios para las condiciones de operación.

En los capítulos 9 y 10 se abordan temas que involucran la calidad del producto, en primer lugar, es necesario contar con instrumentación adecuada en el recinto donde se usa el equipo, esto para monitorear la correcta operación y si dicha operación afecta en forma directa o indirecta la calidad del producto. Se hace una descripción de la forma en que afectan las variables psicrométricas a la calidad del producto durante el funcionamiento de la máquina. En segundo lugar, el agua como medio transmisor de micro-organismo y medio de trabajo del equipo, necesita un tratamiento adecuado para evitar la proliferación de microorganismos que afecten la calidad del producto perdiendo inocuidad.

1. HUMIDIFICADOR EVAPORATIVO

El humidificador evaporativo, es la máquina empleada para el enfriamiento de fruta pos-cosecha, que procede de un proceso de lavado y clasificación, será posteriormente empacada para su almacenamiento en bodegas frías antes de ser despachada en contenedores para su exportación, este es uno de los métodos llamados de aire forzado para el enfriamiento, debido a que la máquina hace circular a través de las paletas formadas por cajillas con rendijas que contienen el producto a enfriar, estibadas en tarimas de madera de dimensión industrial (40 pulgadas por 48 pulgadas), una corriente de aire conteniendo partículas muy finas de agua fría es empleada para el enfriamiento. Este flujo de aire forzado a través del producto se establece por medio de succión, contrario a la mayoría de los equipos de aire forzado que el flujo sale de la máquina y choca contra el producto produciéndose así el enfriamiento.

De ahí su nombre de humidificador evaporativo, ya que no es más que un evaporador, cuyo flujo de aire recoge las partículas de agua suspendidas, chocando contra el serpentín de este, por lo tanto, agua fría en vez de aire forzado es utilizada para el enfriamiento, ya que el aire forzado sólo sirve en estos casos para el transporte del agua fría.

1.1 Tipos y modelos

En la industria de exportación de melón en nuestro país tenemos equipos importados de fábrica y los armados en el país, podemos ver las siguientes configuraciones para el enfriamiento del producto.

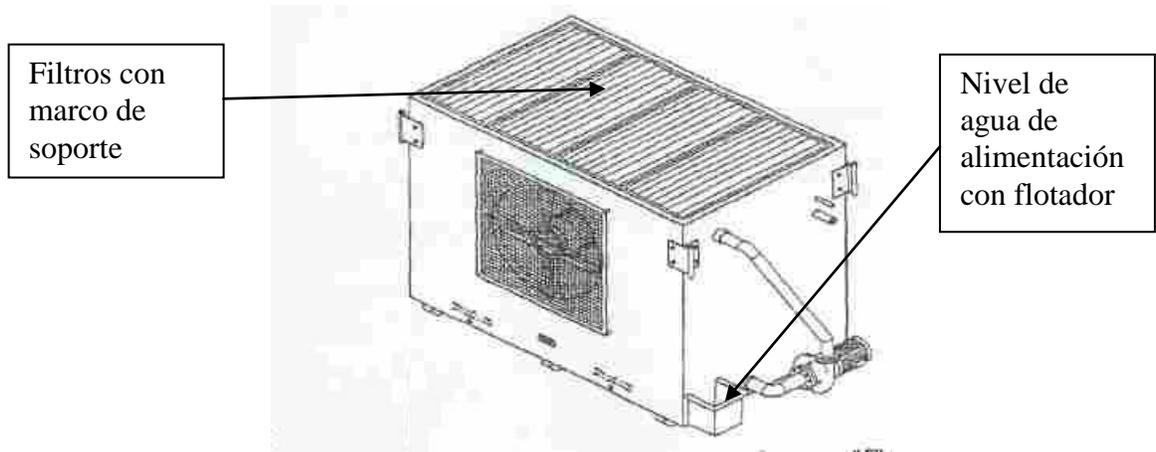
- a. Humidificadores evaporativos en cuarto frío.
- b. Humidificadores evaporativos en cuartos o espacios individuales.

De los equipos que provienen de fábrica (figuras 1 y 2) podemos distinguir varias opciones entre las cuales tenemos:

1. Equipos con bomba lateral.
2. Equipos con bomba trasera.

Ambos modelos están instalados en las empresas en cuarto individual o en cuarto frío para varios equipos armando una sala o cuarto para enfriamiento como puede verse en las figuras 3 y 4.

Figura 1. Humidificador evaporativo con bomba para agua lateral, sin los difusores en la parte superior.



Fuente: Pressure Cool Co. Fresh Produce Cooling and Storage Plants, página 2.

Figura 2. Humidificador evaporativo con bomba para agua trasera, plenum y difusores en su posición, ubicado en cuarto frío.

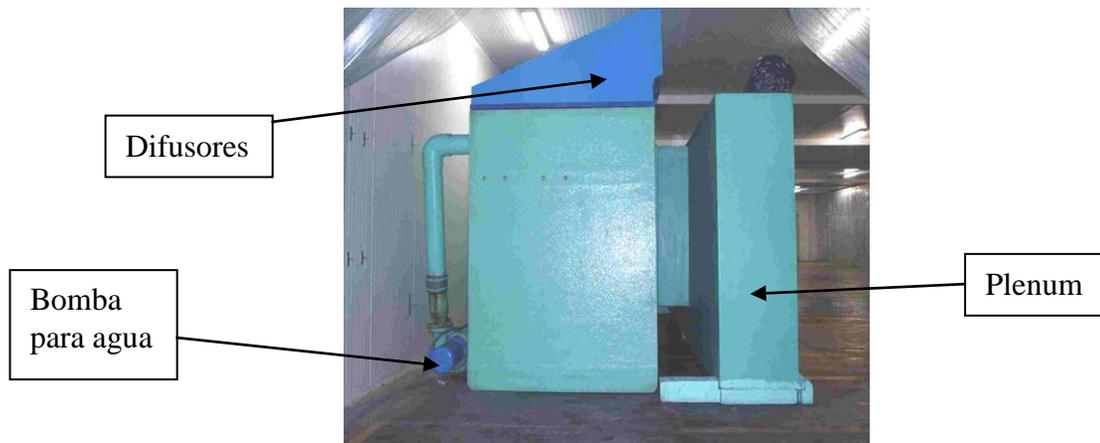


Figura 3. Humidificador Evaporativo, con bomba para agua trasera, ubicado dentro de cuarto frío.



Figura 4. Humidificador Evaporativo, con bomba para agua lateral y plenum, ubicado dentro de cuarto individual.



Ambos tienen la opción de poderse utilizar con plenum, dispositivo que aumenta la capacidad volumétrica de producto a enfriar. Las empresas que utilizan este tipo de enfriamiento instalan sus equipos formando diferentes configuraciones, variando la instalación para el enfriamiento del agua y el manejo del aire de succión a través del producto como se muestra en las figuras 5, 6 y 7, donde los equipos son utilizados con plenum o sin el.

Figura 5. Cuarto frío de enfriamiento de producto.



Figura 6. Equipo de enfriamiento evaporativo en cuarto individual, con plenum.

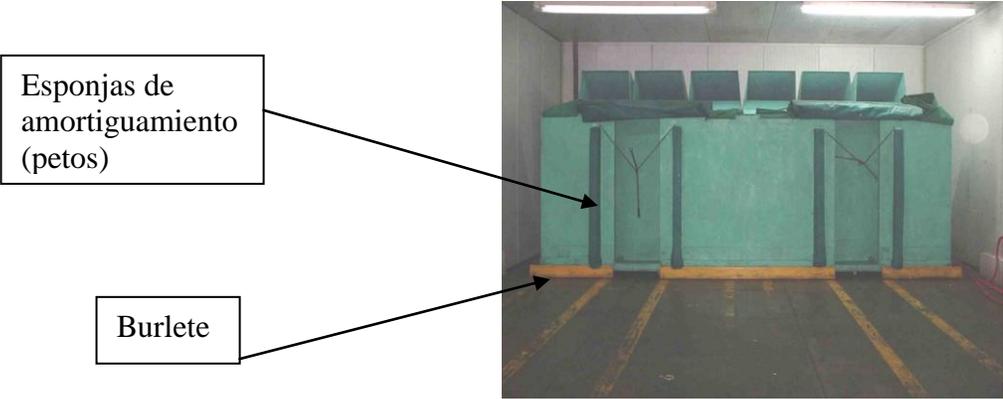
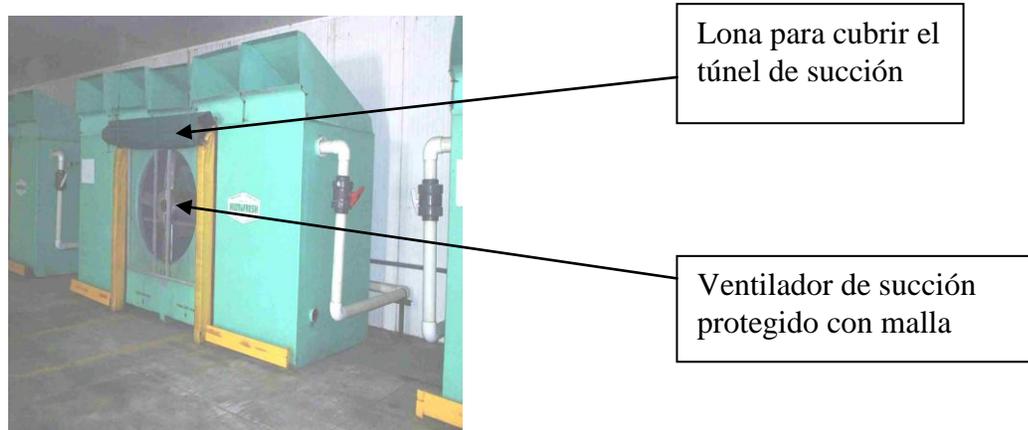


Figura 7. Equipo de enfriamiento sin plenum ubicado en cuarto frío.



Los equipos armados en el país, utilizan un evaporador de 4 ventiladores que iguale la capacidad energética de la máquina original (BTUH) mostrados en las figuras 8 y 9, se instala debidamente para crear el flujo de succión a través del producto. Este tipo de equipo a veces son llamados humifresh secos o túneles secos, debido a que el flujo de succión no posee partículas de agua, en otros casos se les instala un sistema de nebulizado de agua fría, compuesto por bomba, red de tuberías y boquillas nebulizadoras que se localizan directamente arriba del producto estibado.

Con paneles se construye en la parte de abajo del evaporador una pared de referencia para la localización de las paletas y en ella se hacen las dos perforación por las cuales el aire retornará a los evaporadores, creando succión a través del producto.

Figura 8. Equipo de enfriamiento fabricado con evaporador de aire forzado, ubicado en cuarto individual con sistema de nebulización de agua fría.

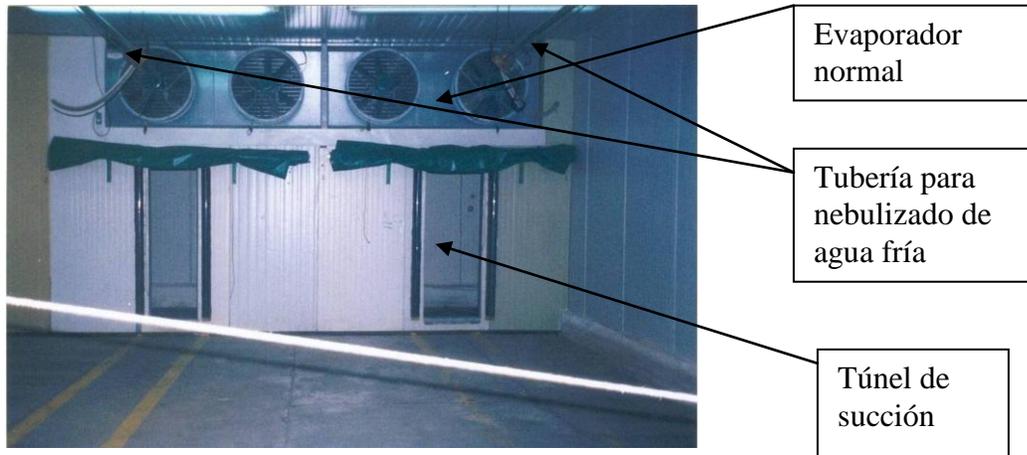


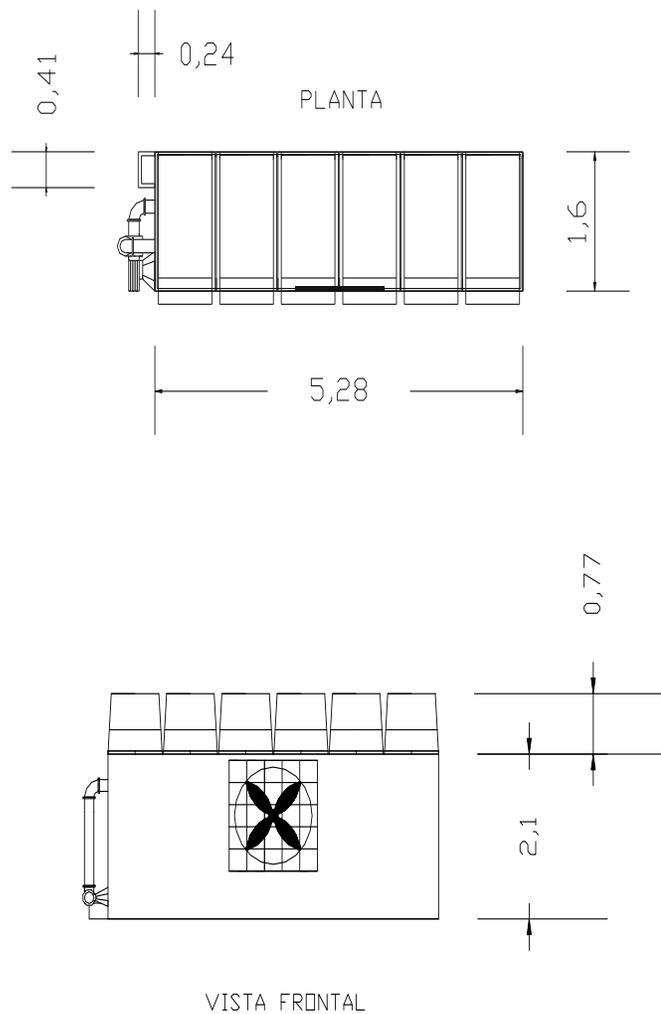
Figura 9. El equipo de enfriamiento anterior con las lonas desplegadas para cubrir los túneles formados por las tarimas de producto.

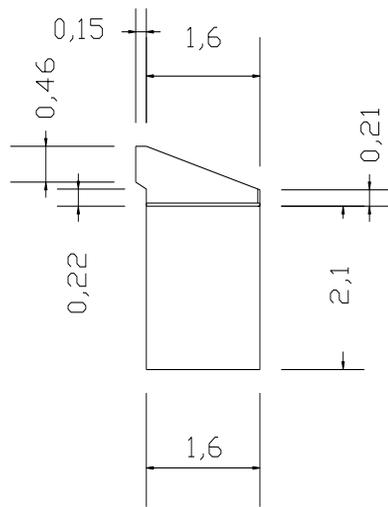


1.2 Dimensiones

Las dimensiones mostradas en la figura 10 y 11, son las normales para ambos modelos de máquinas utilizadas en las plantas empacadoras de melón cantaloupe.

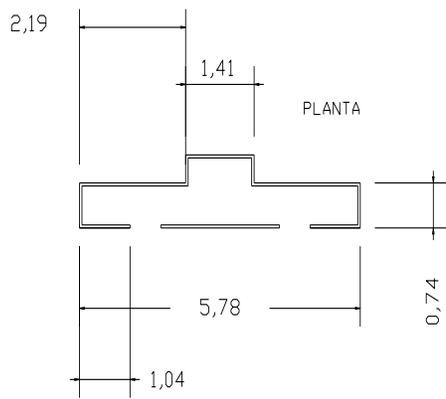
Figura 10. Dimensiones en metros de humidificador evaporativo..



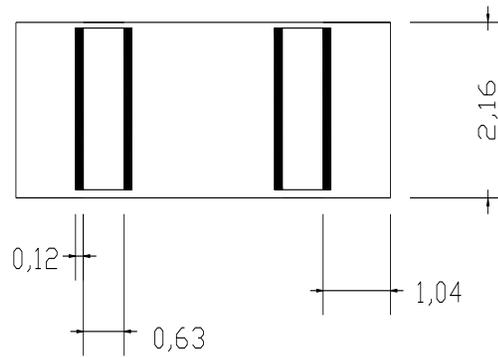


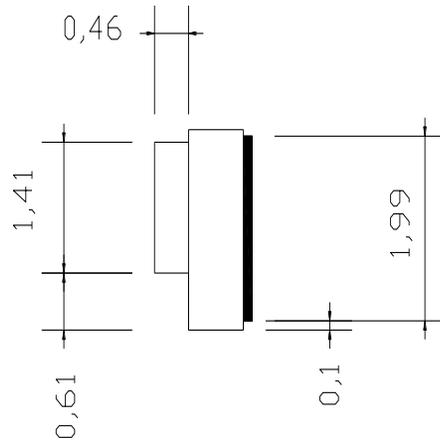
VISTA LATERAL

Figura 11. Dimensiones en metros de plenum, para humidificador evaporativo.



VISTA FRONTAL





VISTA LATERAL

1.3 Aplicaciones del humidificador evaporativo

El humidificador evaporativo se utiliza para el enfriamiento de productos perecederos como vegetales y frutas que van a ser empacados y almacenados para ser trasladados en contenedores fríos hacia su destino final.

El humidificador evaporativo produce un enfriamiento del producto debido a las gotas de agua fría, cumplen un doble propósito primero sirven para el enfriamiento y segundo contribuyen a mantener los niveles de humectación e hidratación del producto sometido al frío, el producto de nuestro interés es el melón cantaloupe el cual debe ser enfriado hasta los 3 ó 3.5 grados Celsius para ser empacado y almacenado convenientemente.

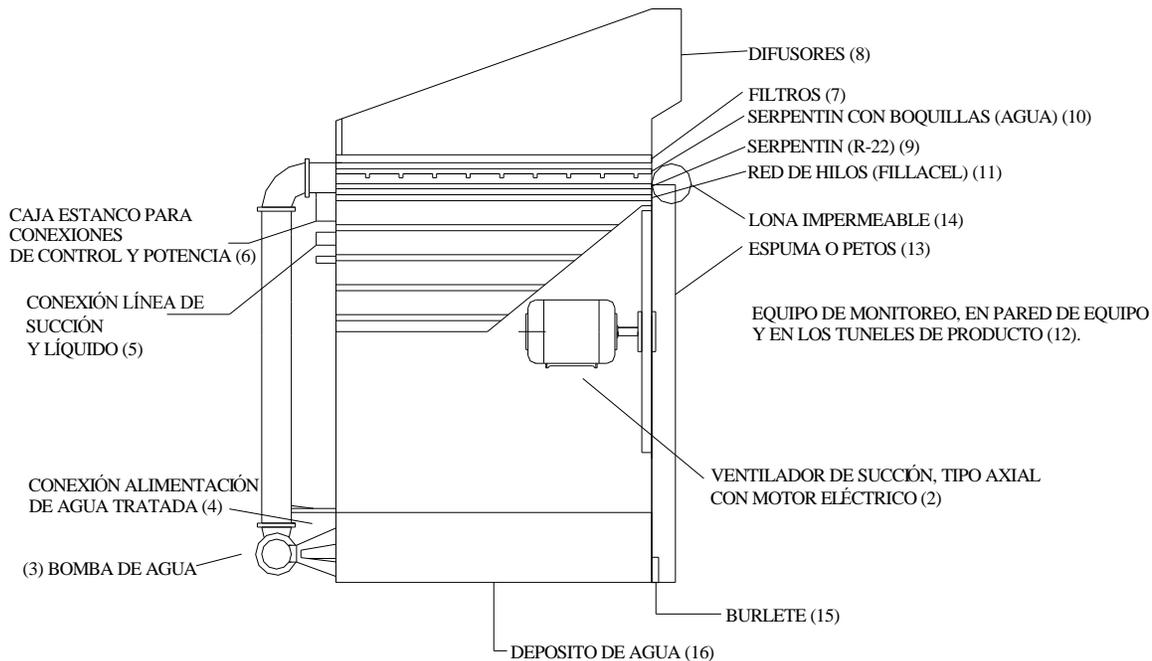
1.4 Componentes del humidificador evaporativo

El equipo es auto-soportado, esto quiere decir que su armazón sirve para concederle rigidez sobre el suelo y a la vez a esta armazón están fijados todos los componentes, la armazón del humidificador evaporativo está hecha de fibra de vidrio con un recubrimiento de pintura epóxica, el cual evita la formación de hongos, podemos ver entonces en el esquema las partes de la máquina enumeradas a continuación.

1. Armazón de fibra de vidrio (depósito de agua), con válvula de flotador.
2. Motor y ventilador.
3. Bomba de agua y tuberías de succión y descarga.
4. Conexión línea de alimentación de agua.
5. Conexión para línea de succión y línea de líquido (gas refrigerante).
6. Caja a prueba de agua para conexiones de control y potencia.
7. Filtros y sus soportes.
8. Difusores.
9. Serpentín de enfriamiento.
10. Serpentín con boquillas de agua.
11. Red de hilos para suspensión de gotas de agua (Fillacel)
12. Equipo de monitoreo (temperatura, humedad relativa, presión estática, caudal de aire y velocidad del aire).
13. Espumas (petos) de amortiguamiento.
14. Lona impermeable.
15. Burlete.
16. Depósito de agua.

Algunas de las partes han sido identificadas en gráficas anteriores, una descripción más completa se tiene en la figura 12.

Figura 12. Identificación de las partes de un equipo de enfriamiento por aire forzado de alta humedad.



1.5 Funcionamiento

La bomba establece un flujo de agua que va desde el depósito, que es la parte inferior de la armazón de fibra de vidrio, hacia arriba en donde se encuentra el serpentín con las boquillas, al salir el agua de las boquillas en forma de chorro de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro con poco caudal, este flujo de agua de

arriba hacia abajo pasa por diferentes niveles el primero donde se encuentran el serpentín de enfriamiento, el agua choca contra éste enfriándose y descomponiéndose en pequeñas gotas, para después pasar al segundo nivel en el cual tenemos la red de hilos de suspensión de gotas de agua (fillacel), aquí se queda atrapada cierta cantidad de agua y el volumen restante retorna al deposito.

Las gotas de agua fría en suspensión son atrapadas por la corriente de aire ascendente chocando nuevamente con el serpentín de enfriamiento y el serpentín de boquillas pasando por los filtros para luego ser enviada hacia el exterior de la máquina en un ángulo de 90 grados por medio de los difusores colocados en la parte superior.

El volumen de agua comienza a descender sobre la fruta contenida en cajillas con un porcentaje de perforación adecuado, debido a que estas están cubiertas en su parte superior y frontal con una lona de tipo impermeable, el flujo de aire es forzado a retornar por las partes laterales hacia la máquina, esta succión hace que el agua fría contenida en el flujo de aire choque contra la fruta produciendo su enfriamiento así como su humectación, nuevamente el exceso es retornado al deposito por medio del ventilador de succión llevando un poco de este volumen hacia arriba.

1.6 Especificaciones

Refrigerante R-22

Carga del evaporador 30 T.R. (360,000 BTUH)

Válvula de expansión Termoestática Sporlan OVE-30-C (refrigeración comercial, 10 °C a -30 °C)

Distribuidor Sporlan 1128-16-5/16, Orificio C-30
Serpentín de refrigeración: ½ pulgada de diámetro, cédula 40, longitud 1062 pies.
Control banco de hielo Ranco 018 (con delay timer)
Bomba de agua marca PACO
Voltaje de operación bomba de agua: 460-480 voltios, trifásico.
Potencia bomba de agua: 5 Hp
Velocidad nominal bomba de agua: 1800 RPM
Caudal nominal bomba de agua: 650 GPM
Carga nominal bomba de agua: 18 pies de cabeza
Voltaje de operación ventilador de succión: 230/460 voltios, trifásico.
Potencia ventilador de succión: 10 - 15 Hp.
Velocidad nominal motor ventilador de succión: 1200 RPM
CFM: 32,000 aproximadamente
Motor marco: 256T
Diámetro de propela: 48 pulgadas
Angulo de propela: 19°
Presión estática externa: .35 pulgadas de columna de agua (ajustable)

1.7 Operación

Para la correcta operación del humidificador evaporativo es necesario seguir los siguientes pasos.

1. Asegurarse que el deposito del humidificador evaporativo o manejador de aire este limpio y libre de escorias.

2. Llene el depósito del manejador de aire con agua una pulgada debajo de la marca de rebosamiento, drene el excedente por la tubería de pie.
3. Con los interruptores desconectados en posición off, rote la propela y la bomba de agua con las manos para asegurarse que están libres de obstrucciones.
4. Arranque el sistema de la bomba de agua.
5. Remueva los difusores y filtros del equipo para limpiarlos, revise las boquillas para una operación correcta.
6. Reinstale los difusores y filtros del manejador, arranque el motor del ventilador de succión.
7. La rotación de la propela del ventilador de succión debe ser en contra de las manecillas del reloj.
8. Compare los amperios de placa de los motores, si un exceso es notado, revise la línea de voltaje, las conexiones eléctricas y el paso de la propela.
9. Si es notado en los difusores un exceso de agua, que pasa por otra parte diferente del filtro, revise la empaquetadura de los difusores y reinstale.
10. Arranque la unidad de refrigeración y complete la carga de operación, la válvula de expansión debe calibrarse para manejar un sobrecalentamiento de 7 a 10 °F, en algunos casos hasta 14 °F, con el propósito de evitar refrigerante líquido en la línea de succión, esto tiende a producir mal funcionamiento en los compresores, un recalentamiento excesivo tiende a disminuir la eficiencia del sistema por el calor extra absorbido y la caída de presión que se da.

11. Agregue una pequeña cantidad de agente antiespumante para prevenir un exceso y lograr que floten espumas y sólidos. Un cuarto de galón de aceite vegetal por cada ciclo de trabajo del equipo se considera aceptable.

12. Opere la unidad por 24 horas entonces renueve el agua del deposito, revisando las boquillas de nuevo. Agregue una pequeña cantidad de desespumante. El agua puede aparecer oscura debido al desteñido de la madera roja usada en la construcción de los soportes del filtro,

1.8 Mantenimiento

1.8.1 Mantenimiento general

La construcción a base de fibra de vidrio del humidificador evaporativo, permite una operación libre de corrosión con un mínimo de mantenimiento. No es requerido lijado de su superficie, se acostumbra al final de cada temporada de operación darle una mano de pintura de tipo epóxica sin contenido de plomo para evitar la formación de algas y hongos.

El suplemento de agua del manejador de aire, debe de estar libre de suciedad o escorias, es práctica común eliminar los sólidos en suspensión y la dureza del agua de alimentación por medio de unidades filtrantes, finalmente el depósito debe ser drenado y lavado antes de cada ciclo de operación del equipo.

1.8.1.1. Boquillas

Después que el sistema de agua ha sido revisado, limpie o reemplace las boquillas tapadas, esto debe hacerse al finalizar el ciclo de operación del equipo.

1.8.1.2 Agua

El agua de alimentación al equipo, hay que cambiarla cada periodo de trabajo, o cuando esta se vea sucia, el agua no debe contener cloro u otro químico, debe de adicionarse un cuarto de galón de aceite vegetal para poder mantener atrapada la suciedad en la película de aceite, evitando que sea succionada por la bomba y llegue a tapar las boquillas.

1.8.1.3 Ventilador de succión

Limpie la propela y la pantalla protectora, para obtener el máximo de eficiencia de la unidad, al motor es necesario prestarle mantenimiento de tipo mecánico como lo es la revisión o cambio de rodamientos en caso de daño o al cumplir su ciclo de vida, limpieza general interna y externa, mantenimiento eléctrico que consiste en barnizado de bobina, pruebas de resistencia de aislamiento, pruebas a los devanados, revisión de cables y conexiones.

1.8.1.4 Filtros

Inspeccione los marcos de los filtros y filtros del equipo, pueden presentar agujeros, los marcos o los soportes de madera pueden estar rotos, los empaques de hule pueden presentar roturas, debe repararse o reemplazarse cualquiera de estos elementos, es de importancia asegurarse que los marcos con sus filtros estén colocados de manera apropiada en la máquina, ya que de no ser así el filtrado no será eficiente.

1.9 Pre-enfriamiento y almacenaje en un cuarto

Si las finanzas lo permiten, 2 (o más) cuartos fríos ofrecen buena flexibilidad, de dos cuartos fríos habilitados, uno puede ser usado para pre-enfriamiento de producto tibio, mientras que el otro es usado como cuarto para un corto período de almacenaje para el producto enfriado.

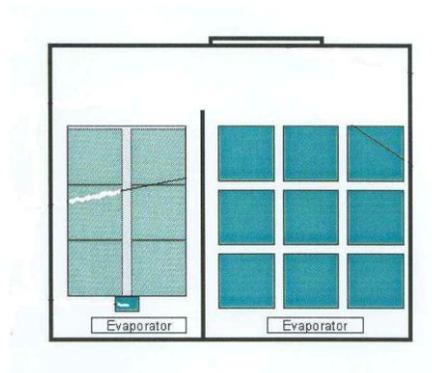
Regularmente si no es posible tener dos cuartos, un cuarto puede ser exitosamente usado para enfriamiento por aire forzado y cuarto de almacenaje, el enfriamiento por aire forzado del producto remueve una gran cantidad de calor, si la temperatura no es rápidamente disminuida, el producto en la sección de almacenaje ya frío puede comenzar a entibiarse.

En algunas circunstancias construyendo un divisor (figura 13) o cortina, puede excluir el aire tibio circundante desde los alrededores del producto enfriado. Este sistema solo debe ser usado si hay al menos un evaporador en cada división,

especialistas aconsejan que debe ser evaluada esta opción previa a la construcción del divisor en el cuarto, esto puede influir dramáticamente en el rendimiento del cuarto.

Las paletas de producto frío están a merced del re-entibiamiento del producto frío si la temperatura del aire es temporalmente elevada durante el enfriamiento por aire forzado.

Figura 13. Cuarto frío con divisor para albergar un sistema de enfriamiento por aire forzado.



Fuente: Forced Air Cooling, Cool Chain information kit No. 11. Página 7.

1.10 Importancia del pre-enfriamiento.

La importancia del enfriamiento antes del almacenamiento es preservar la calidad y prolongar la vida de almacenamiento de frutas y vegetales, además es esencial para enfriar rápidamente el producto a una óptima temperatura de almacenamiento. Los estudios han mostrado que el producto pre-enfriado incrementa grandemente su vida de

almacenamiento, sin el pre-enfriado muchas frutas y verduras no estarían disponibles en cantidad y calidad.

El almacenamiento frío disminuye la respiración del producto y la descomposición por enzimas, disminuye la pérdida de agua y el marchitamiento, la producción de etileno, agente natural de maduración, disminuye y frena el crecimiento y la producción de microorganismos. La actividad metabólica de frutas y vegetales produce calor por lo tanto el objetivo del almacenamiento óptimo es limitar la producción, almacenamiento y absorción de calor por el producto.

La cantidad de calor en el producto es gobernada por la temperatura alrededor de este, la diferencia de temperatura entre el producto cosechado y la temperatura óptima de almacenaje es un indicador del calor contenido en el producto proveniente del campo. Disminuir rápidamente la temperatura del producto cosechado para acercarlo a la temperatura óptima de almacenamiento, esto es conocido como pre-enfriamiento, o remoción del calor del campo.

El producto es usualmente pre-enfriado a $7/8$ u 87.5% de la diferencia de temperatura, el enfriamiento adicional es limitado por el tiempo y energía requeridos para reducir la temperatura del producto a la temperatura óptima de almacenamiento. Muchos métodos están disponibles para pre-enfriar el producto, la elección de uno depende de varios factores:

I. Qué método puede tolerar el producto

- II. En qué forma puede ser enfriado el producto rápidamente para asegurar alta calidad.
- III. Es el método eficiente en uso de energía.
- IV. El precio del equipo.
- V. Es requerido personal calificado.
- VI. Qué opciones están disponibles en el lugar.

El pre-enfriamiento es altamente recomendado y muchas veces necesario por los procedimientos empleados.

1.11 Por qué enfriar lo más pronto posible después de cosechar

Todos los productos hortícolas frescos son organismos vivos, igual después de cosecha, pueden permanecer vivos y saludables hasta que son procesados o consumidos. La energía necesaria para seguir viviendo viene de las reservas de alimento en el mismo producto. El proceso por el cual las reservas son convertidas en energía es llamado **respiración**. Energía calorífica es liberada durante la respiración, pero la relación varía dependiendo del tipo y variedad de producto, el nivel de maduración, la cantidad de daños y la temperatura del producto.

La temperatura del producto tiene una gran influencia en la actividad respiratoria, rápido y uniforme el enfriamiento pos-cosecha remueve el calor del campo, el enfriamiento es crítico en el descenso de la relación de respiración, esto reduce el deterioro y ayuda a proporcionar una larga vida en estante. Una regla empírica es que *una hora de retardo en el enfriamiento reduce la vida del producto en estante por un día.*

Esta regla no es para todos los productos, pero puede ser considerada válida especialmente para productos altamente perecederos en clima cálido. Reduciendo la temperatura también se reduce la producción de etileno, pérdida de humedad, difusión de microorganismos y deterioro causado por maltrato.

1.12 Productos que pueden ser enfriados con aire forzado

Muchos productos pueden ser enfriados con aire forzado, consultar la tabla de propiedades y datos de almacenamiento para productos perecederos de ASHRAE dado en el anexo, en la tabla I se presenta algunos productos. El tiempo de enfriamiento con relación $7/8$ debe ser acortado para algunos productos que tienen necesidades especiales como:

- a. Alta relación de respiración en cosecha.
- b. Pierden humedad fácilmente (cerezas, hojas vegetales).
- c. Son bastante maduros o maduran con gran rapidez.
- d. Son enviados a mercados distantes.

1.12.1 Productos muy altamente perecederos

- I. Alta tasa de respiración en temperatura de cosecha.
- II. Pérdida de humedad en forma rápida después de cosecha.
- III. Muy pequeña o no tienen vida de estante, si no son rápidamente enfriados, después de cosecha.

- IV. Enfriamiento rápidamente terminado con altas relaciones de flujo de aire y alta humedad relativa, para reducir el peligro por resequead exterior.
- V. Flujo de aire no menor a las comprendidas entre 2 a 6 L/s/kg (2 a 6 CFM/lb).
- VI. Atendiendo el tiempo de enfriamiento 7/8 en no más de 45 a 90 minutos.
- VII. Monitoreo por si presentan signos de resequead
- VIII. Rociar agua sobre el producto antes del enfriamiento con aire forzado como ayuda.
- IX. No alargue el enfriamiento por aire forzado más tiempo del necesario.

Productos altamente perecederos

- II. Tienen alta tasa de respiración a temperatura de cosecha.
- III. Pierden humedad rápidamente.
- IV. No son tan críticos para enfriar como los anteriores.
- V. Deben ser enfriados con aire forzado rápidamente después de cosecharlos.
- VI. Vigilar signos de resequead del producto.
- VII. Flujo de aire en el rango de 1 a 3 L/s/kg (1 a 3 CFM/lb), deben ser usadas con tiempos 7/8 de enfriamiento de 1 a 3 horas.

1.12.3 Productos moderadamente perecederos

- I. Recomendado que estos productos sean rápidamente enfriados, cuanto antes después de practicar la cosecha.
- II. Su vida en estante puede ser mejorada.

- III. Flujo de aire en el rango de 0.5 a 1.5 L/s/kg de producto (0.5 a 1.5 CFM/lb).
- IV. Tiempos de enfriamiento 7/8 entre 3 y 6 horas son sugeridos.
- V. Cantaloupes son sensibles a daños por enfriamiento, deben ser enfriados entre 2 °C a 5 °C (34 °F a 41 °F).

Tabla I. Perisibilidad de frutas frescas y vegetales, tiempo de enfriamiento y flujo de aire para enfriamiento del producto.

| Relative Perishability of Crops | Crop | 7/8 Cool Time (hr) | ^a Airflow L/s/kg (CFM/lb) |
|---------------------------------|--|--------------------|--------------------------------------|
| Very High | ^a Asparagus, ^a broccoli, ^a leaf lettuce, ^a spinach, ^a sweet corn, mushrooms | 0.75-1.5 | 6 - 2 (6 - 2) |
| High | Blueberries, raspberries, strawberries, sweet cherries, cauliflower, snap beans, head lettuce | 1-2.5 | 4 - 1.25 (4 - 1.25) |
| Moderate | Apples (early), cabbage (early), cantaloupes, ^a celery, peaches, plums, peppers, summer squash | 2-6 | 1.5-0.5 (1.5-0.5) |

Fuente: H.W. Fraser. TUNNEL FORCED-AIR COOLERS FOR FRESH FRUIT AND VEGETABLES. Ministry of Agriculture and Food. Ontario, Canada. June 1998. Página 3.

2. ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO

El enfriamiento por aire forzado es un método ampliamente usado para enfriar frutas, vegetales y tallos de flor. El enfriamiento es producido por aire frío forzado que circula a través de los contenedores y de las piezas individuales del producto.

Casi todos los productos frescos pueden ser enfriados por aire forzado, pero es comúnmente usado para tres productos, cerezas, melón y tallos de flor. Este tipo de enfriamiento no requiere un contenedor resistente para agua como los hydrocooler y los métodos de enfriamiento con hielo. Una de las desventajas del aire forzado es la lentitud de enfriamiento, comparado con otros métodos, causa excesiva pérdida de agua en algunos productos.

El enfriamiento con aire forzado requiere un empaque designado para el paso de flujo de aire frío en las piezas individuales de producto y las variables psicrométricas del aire son cuidadas para que no pierda consistencia el producto a baja temperatura.

Cuando existen facilidades para forzar aire, el enfriamiento es práctico y factible. Hay variaciones de enfriamiento por aire forzado que son apropiados para las necesidades de contenedores específicos.

La clave del enfriamiento por aire forzado es el movimiento del aire frío a través del contenedor y su contenido, los factores importantes para enfriamiento en contenedores, es la ventilación producida en ellos por el tipo y la localización de los agujeros, el estibado de contenedores y tamaño de los agujeros. Los agujeros deben ser

alineados, en todo caso los contenedores son estibados alineados o cruzados para maximizar el flujo de aire a través de ellos.

Si los agujeros son demasiado pequeños o insuficientes el flujo de aire es frenado, si son muchos el contenedor puede colapsar, en este método, los contenedores son estibados muy cercanos en forma ajustada. Bolsas y divisores pueden frenar el flujo de aire a través del contenedor, así el pre-enfriamiento del producto es recomendado antes de un empaque adicional.

Cómo es realizado el enfriamiento por aire forzado

El enfriamiento por aire forzado es sólo un método para remover rápidamente el calor del producto fresco recolectado desde el campo. Muchas frutas y vegetales frescos pueden ser enfriados por aire forzado, la alta capacidad de los ventiladores es usada para succionar el aire refrigerado a través del producto, resulta un rápido y uniforme enfriamiento desde que el producto tibio tiene contacto con el aire refrigerado forzado con flujo convectivo y con alta velocidad.

Esta es la diferencia con el cuarto frío, donde el producto es simplemente colocado en un cuarto de almacenamiento donde enfría lentamente y en forma no uniforme, principalmente a través de conducción y el contacto natural con el flujo convectivo con aire refrigerado.

Succionando aire, más bien que impulsar aire a través del producto, es preferible, este proceso minimiza las pérdidas de aire, resultando en un enfriamiento más uniforme.

El flujo de aire no será uniforme si es impulsado, como sería si fuera succionado a través del producto. Con el apropiado diseño y orientación de los contenedores, el producto puede ser rápidamente y uniformemente enfriado en canastas, cajas, bins o bolsas, el enfriamiento por aire forzado simplemente hace un mejor trabajo con el aire refrigerado en el almacenamiento frío.

Aunque más costoso, es mejor y recomendable para proporcionar un buen período de almacenamiento al producto, tener un cuarto dedicado exclusivamente al enfriamiento por aire forzado. Muchos cuartos fríos usados para enfriamiento por aire forzado elevarán temperatura después de que cada lote de producto tibio sea agregado.

La elevación de temperatura es grande debido al sub-dimensionamiento del sistema ya que los cuartos fríos están diseñados exclusivamente para el almacenaje del producto, que necesita ser mantenido a una temperatura constante, después del enfriamiento, el producto frío ya en el cuarto condensa agua en su superficie y eleva su temperatura, ambas situaciones son inaceptables.

Una buena forma de minimizar estas situaciones es formar un área de enfriamiento por aire forzado muy próxima al área de almacenamiento o mantenimiento de temperatura también por aire forzado.

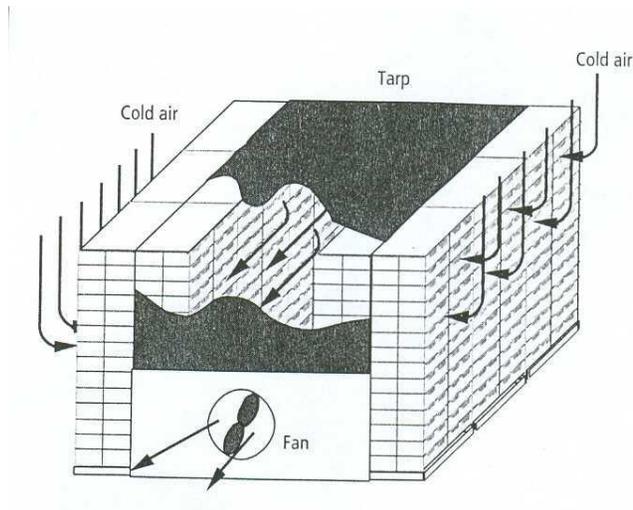
Métodos de pre-enfriamiento

2.2.1 Túnel de enfriamiento

El túnel de enfriamiento es lo más común diseñado para forzar aire frío a través de las cajas de producto o bins plásticos estibados sobre tarimas de madera alineadas a ambos lados de la máquina, formando filas de determinado número de tarimas dependiendo del diseño.

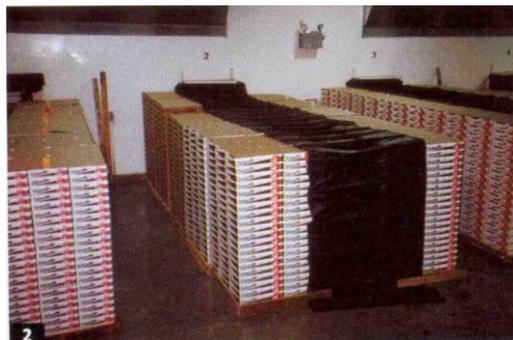
Las paletas cargadas de producto son colocadas en 2 filas a ambos lados de un canal abierto como lo muestra la figura 14 y la figura 15 Una lona es colocada sobre el producto, cubriendo el canal abierto y un ventilador remueve el aire de el canal, forzando el aire a través del producto empacado.

Figura 14. Esquema de un enfriador de aire forzado tipo túnel.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers. Forced Air Cooling. Página 8.

Figura 15. Enfriador de aire forzado tipo túnel.



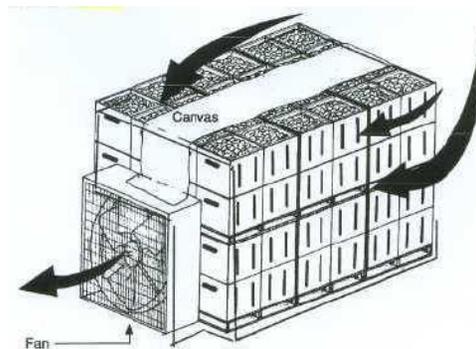
Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 61.

El aire entibiado es dirigido al serpentín del evaporador, re-enfriado y retornado al cuarto, en el pasado bloques de hielo eran usados para enfriar aire. Las paletas pueden ser apiladas en doble altura para obtener mejor uso del volumen interior en el cuarto frío. El producto paletizado en bins pueden ser enfriados con este sistema de direccionamiento de aire si las paredes del bin son ventiladas.

Este sistema permite enfriar gran cantidad de producto en una simple carga sin manejar específicamente la temperatura individual de las cajas o paletas cargadas. Algunas instalaciones son hechas a pedido y cada una de estas cargas tiene un ventilador separado. El ventilador es algunas veces equipado con un control de velocidad variable, como el aire de retorno desciende en temperatura durante el proceso, la velocidad del ventilador es disminuida para reducir el consumo de energía.

Un ventilador de vacío es colocado al final del pasillo o de las filas de contenedores o bins sobre paletas. En la parte alta del pasillo y al final son cubiertos con plástico o canvas (lonas), creando un túnel. Estableciéndose un flujo de aire, se ilustra en la figura 16.

Figura 16. Túnel para enfriamiento, se indica la dirección de retorno de los flujos de aire frío.



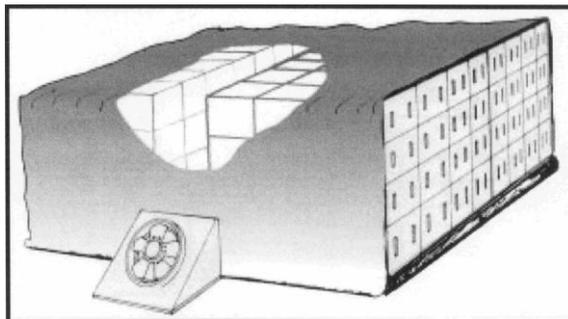
Fuente: Precooling produce, fruits and vegetables, cooperative extension service, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Página 3.

El ventilador de vacío puede ser portátil, creando un túnel de aire forzado simple, donde sea necesario, también esto puede ser parte de una pared estacionaria adyacente para el enfriamiento superficial. Con muchos ventiladores pueden ser creados varios túneles con variadas opciones en la succión.

Este sistema es particularmente adaptable a los cuartos fríos ya existentes. El ventilador de enfriamiento es colocado en posición después de que las paletas son colocadas en el cuarto, después el enfriamiento por aire forzado es completado, el ventilador puede simplemente apagarse y las paletas permanecen en posición para ser llevadas al cuarto de almacenaje.

Las paletas son estibadas en número uniforme en posición fija sobre el piso del cuarto de enfriamiento. Una lona es colocada sobre los bins o paletas hasta la parte de abajo entonces el ventilador es empujado contra estos y encendido para forzar el aire a través de las paletas, puede verse este sistema en la figura 17.

Figura. 17. Túnel de aire forzado para enfriamiento de productos frescos con ventilador portátil.

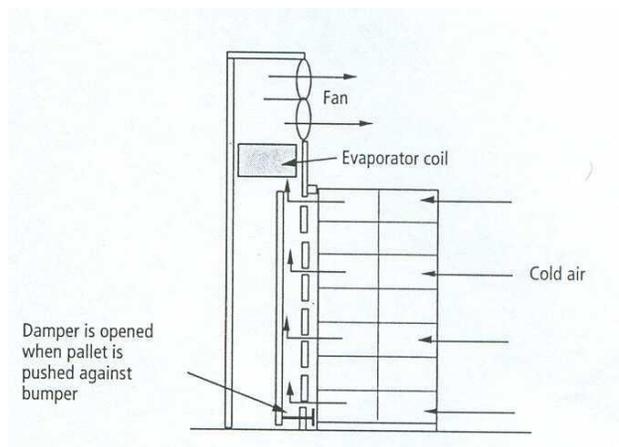


Fuente: Forced air cooling, Cool Chain information kit No. 11. Página 3.

2.2.2 Enfriamiento por pared fría

El enfriador de pared fría, enfría eficientemente pequeños lotes y cargas de paletas incompletas de producto. Las paletas individuales son colocadas lado por lado contra el plenum, usualmente en una fila sobre el piso y en una o dos filas sobre soportes elevados o estantes. El interior del plenum está bajo succión, o en algunos enfriadores bajo presión, el hogar abre cuando las paletas hacen contacto con el mecanismo de este, permitiendo iniciar el flujo de aire como se muestra en la figura 18.

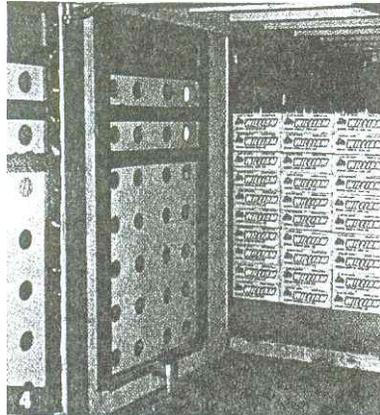
Figura 18. Enfriador por aire forzado tipo pared fría.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 9.

Los hogares pueden ser dispuestos para abrir solo si es alcanzada una determinada altura del estibado de contenedores sobre las paletas, permitiendo a los estibados de varias alturas ser enfriados sin ajustes o pérdidas de aire, puede verse un enfriador de este tipo en la figura 19.

Figura 19. Enfriador de pared fría con carga de producto.

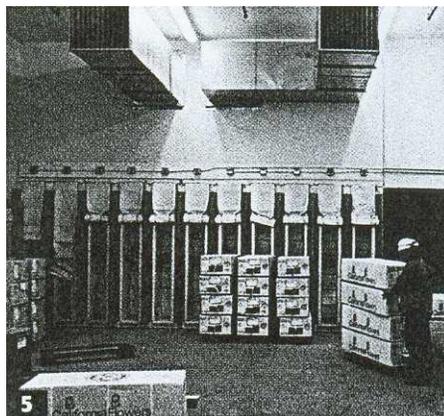


Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 61.

Las flores cortadas son enfriadas la mayoría de las veces en enfriadores de pared fría con presión como el mostrado en la figura 20, las cajas de empaque son colocadas contra el plenum presurizado en el rango 2 a 4 cm (1 a 1.5 pulgadas), columna de agua de presión estática. El plenum posee agujeros que están alineados con las perforaciones en las cajas diseñadas en forma adecuada así que el descenso de presión a través de los agujeros es grande comparado con el descenso de presión a través de la caja.

El flujo de aire a través de los agujeros no cambia mucho cuando la caja es colocada en posición de modo que los agujeros permanecen abiertos, aquí no es necesario un sistema de hogar. El producto colocado en un enfriador de tipo estante empieza a enfriar inmediatamente, los operadores no necesitan colocar lonas o encender ventiladores, cada paleta o bin es accesible de removerse a cualquier hora y puede ser inmediatamente reemplazada por otra, permitiendo virtualmente el uso continuo de todas las posiciones de enfriamiento.

Figura 20. Enfriador de pared fría a presión.



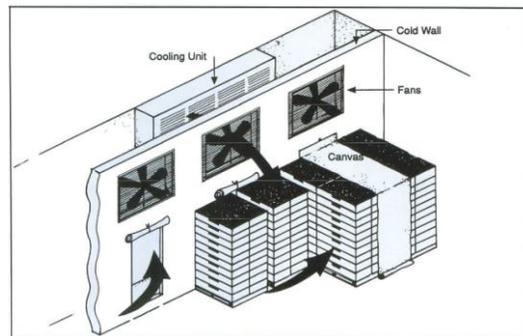
Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 61.

Estas ventajas son compensadas por el costo de bandejas, hogares y la gran superficie necesaria en relación al volumen de material enfriado. En adición cada carga finaliza a diferente hora, forzando a los operadores a monitorear la temperatura del producto continuamente y con eso evitar innecesaria exposición al flujo de aire después del enfriamiento. Algunos enfriadores tiene incorporado un sistema de control de tiempo, después del período fijado, el timer apaga la luz verde y enciende la luz roja, alertando al operador para que revise la temperatura del producto para determinar si el enfriamiento es completo.

En la figura 21 se muestra un sistema de enfriamiento por aire forzado de pared fría en el cual una falsa pared permanente o un plenum de aire cubren un ventilador de succión que toma el aire del cuarto y lo dirige fuera de la superficie de enfriamiento. La pared puede ser colocada al final del cuarto frío así como la superficie de enfriamiento, la pared es construida con un sistema de hogar que sólo abre cuando los contenedores

con aberturas son colocados en frente de ella. El ventilador tira del aire del cuarto frío a través de los contenedores y su contenido, enfriando el producto.

Figura 21. Sistema de enfriamiento de pared fría por aire forzado.

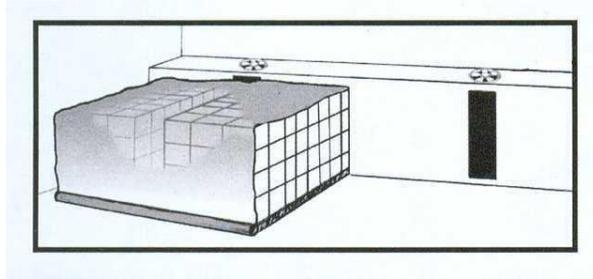


Fuente: Precooling produce, fruits and vegetables, cooperative extension service, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Página 3.

Este sistema también utiliza un sistema de pared permanente montado. El ventilador que tira del aire a través del producto es montado en una cámara. Regular número de paletas o bins pueden ser colocado con un corredor entre ellos el cual está alineado con las aberturas del plenum. Una lona de ancho completo es usada para cubrir todas las paletas y asegurar que el flujo de aire está atravesando todo el producto.

Más de una abertura y múltiples ventiladores pueden ser instalados en un plenum de cámara sencilla, las aberturas deben ser cubiertas cuando no estén en uso. Este tipo de construcción puede verse en la figura 22.

Figura 22. Enfriador de pared fría tipo permanente.



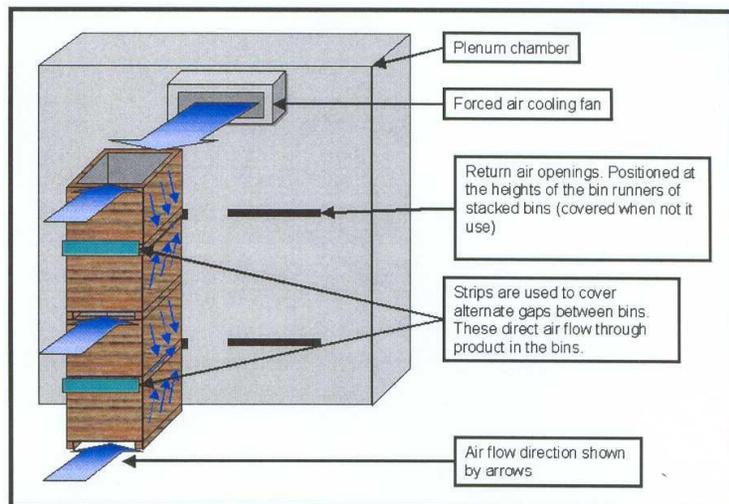
Fuente: Forced air cooling, Cool Chain information kit No. 11. Página 3.

2.2.3 Serpentín enfriador

El serpentín enfriador está diseñado para enfriar el producto en paletas de bines con fondo perforado. Las aberturas debajo de los bines para los montacargas son usadas como canales de suplemento y retorno de aire, estibados en número regular, los bines son colocados contra la pared del plenum, la cual tiene ranuras que se alinean con cada canal de aire de los bines, mostrado en las figuras 23 y 24.

Lonas angostas son colocadas sobre las aberturas de los bines alternados hasta el bin más lejano del ventilador, las lonas son colocadas solo sobre las aberturas del bin que son opuestas a las ranuras del plenum, forzando así al aire frío en el cuarto a que fluya en niveles alternativos de las aberturas de los bines, a través del producto en los bines y de regreso al plenum a través de los canales formados por las aberturas para montacargas, se ilustra en las figuras 25 y 26.

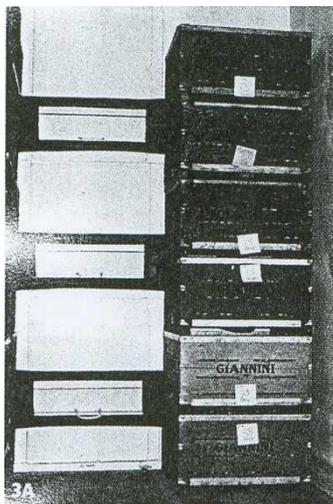
Figura 23. Serpentín enfriador por aire forzado.



Fuente: Forced air cooling, Cool Chan information kit No. 11. Página 4.

Las aberturas en el bin para montacargas tienen una pequeña área que permite el flujo de aire, un serpentín enfriador esta limitado a tiempos relativamente largos de enfriamiento, si el estándar 0.6 metros (2 pies) de profundidad para bins de frutas son estibados a mas de 2 o 3 veces esa profundidad desde la pared, la velocidad del aire a través de las aberturas de los bins no debe exceder 5 m/s (1000 fpm), aunque es posible usar una velocidad de 7.5 m/s (1500 fpm) y aún tener una variación aceptable en los tiempos de enfriamiento en diferentes posiciones de los bins.

Figura 24. Paletas de bins colocadas contra la pared de un serpentín enfriador.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 61.

La mayoría de los sistemas son diseñados para un enfriamiento inicial del producto antes de ser empacado, el flujo de aire es bajo (0.25 a 0.5 cfm/lb o menos), el enfriamiento es usualmente hecho por la noche y el producto es considerado adecuadamente enfriado cuando este alcanza de 5 °C a 10 °C (41°F a 50°F).

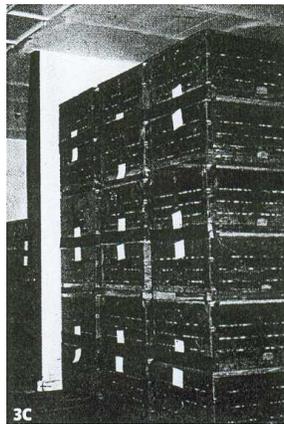
Estos sistemas frecuentemente son operados como una simple carga, aunque el flujo de aire puede ser iniciado tan pronto como varias líneas de bins sean estibadas, tantos como sea necesario desde la pared. El serpentín de enfriamiento utiliza en forma eficiente el volumen del cuarto.

Figura 25. El burlete abre las ranuras del plenum cuando los bins son colocados en posición.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 61.

Figura 26. Tiras de tejido bloquean el flujo de aire en niveles alternativos de bins.

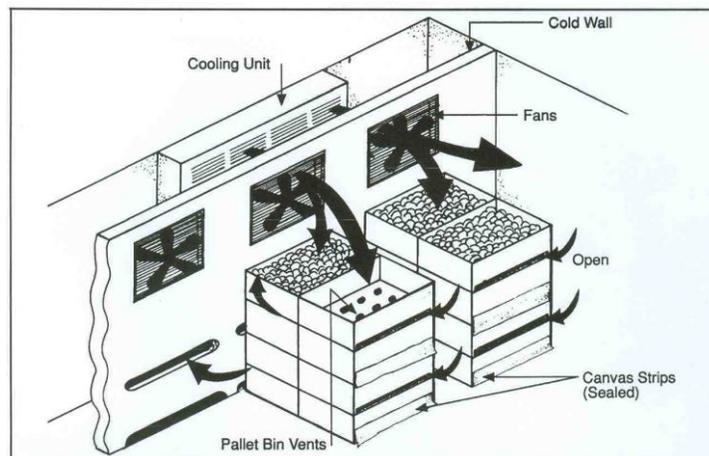


Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 61.

Un sistema de serpentín es diseñado para el enfriamiento de bins a granel, este es una modificación del enfriador de pared fría, la mayor parte de los bins tienen el fondo perforado con o sin ventilación lateral, los bins son estibados a varias alturas y varias longitudes, sellando con lienzos en forma alternada las ranuras para montacargas

Las ranuras alternadas sin sellar permiten que el aire frío circule a través del producto, el aire del cuarto frío es manejado o conducido a través de producto entrando por las aberturas alternas sin sellar en el estibado y la parte alta de los bins, este proceso es descrito en la figura 27.

Figura 27. Flujo de aire en el serpentín enfriador.



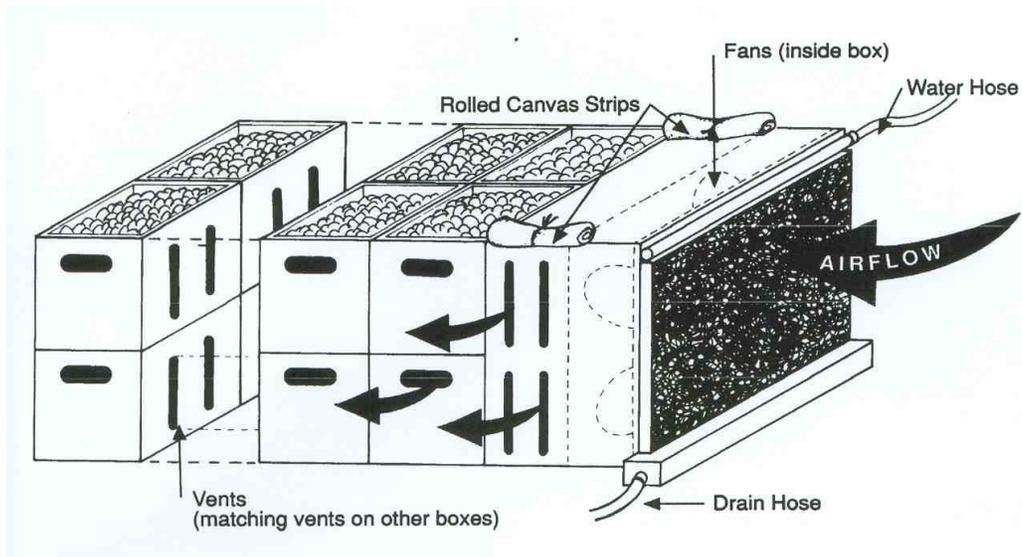
Fuente: Precooling produce, fruits and vegetables, cooperative extension service, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Página 4.

2.2.4 Enfriamiento evaporativo

El enfriamiento evaporativo es un método poco costoso y efectivo de disminuir la temperatura del producto. Es el más efectivo en áreas donde la humedad es baja. El aire seco es pasado a través de una almohadilla húmeda (figura 28) o una fina niebla con agua, entonces atraviesa los contenedores perforados con producto. Como el agua cambia de líquido a vapor, este absorbe el calor del aire, así disminuye la temperatura del producto.

El aire entrante puede tener no menos del 65 % de humedad relativa para un efectivo enfriamiento evaporativo, esto sólo reducirá la temperatura de 10 °F a 15 °F. Este método supuesto adecuado para cosechas de temperatura cálida, requiere temperatura de almacenamiento comprendidas entre 45 °F a 55 °F).

Figura 28. Enfriamiento evaporativo.



Fuente: Precooling produce, fruits and vegetables, cooperative extension service, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Página 5.

Fuentes alternativas de agua fría (3 °C o 37.4 °F) pueden ser usadas para pre-enfriar el producto, sin embargo el agua debe de estar libre de químicos y contaminantes biológicos, los cuales pueden hacer que el producto sea inaceptable para consumo humano. Una fuente común de agua fría son los pozos, la temperatura del agua de pozo esta cerca de los 50°F (10 °C), es factible usar el agua de pozo para pre-enfriamiento, con una diferencia de temperatura de 10 °F (-12.22°C) entre la temperatura del producto y la del agua.

La mayor desventaja de este método es la gran cantidad de agua usada, otros usos para el agua que se desecha por este método deben ser considerados. Otra alternativa es la combinación de agua de pozo con un sistema de refrigeración para remover el calor transferido por el producto al agua,

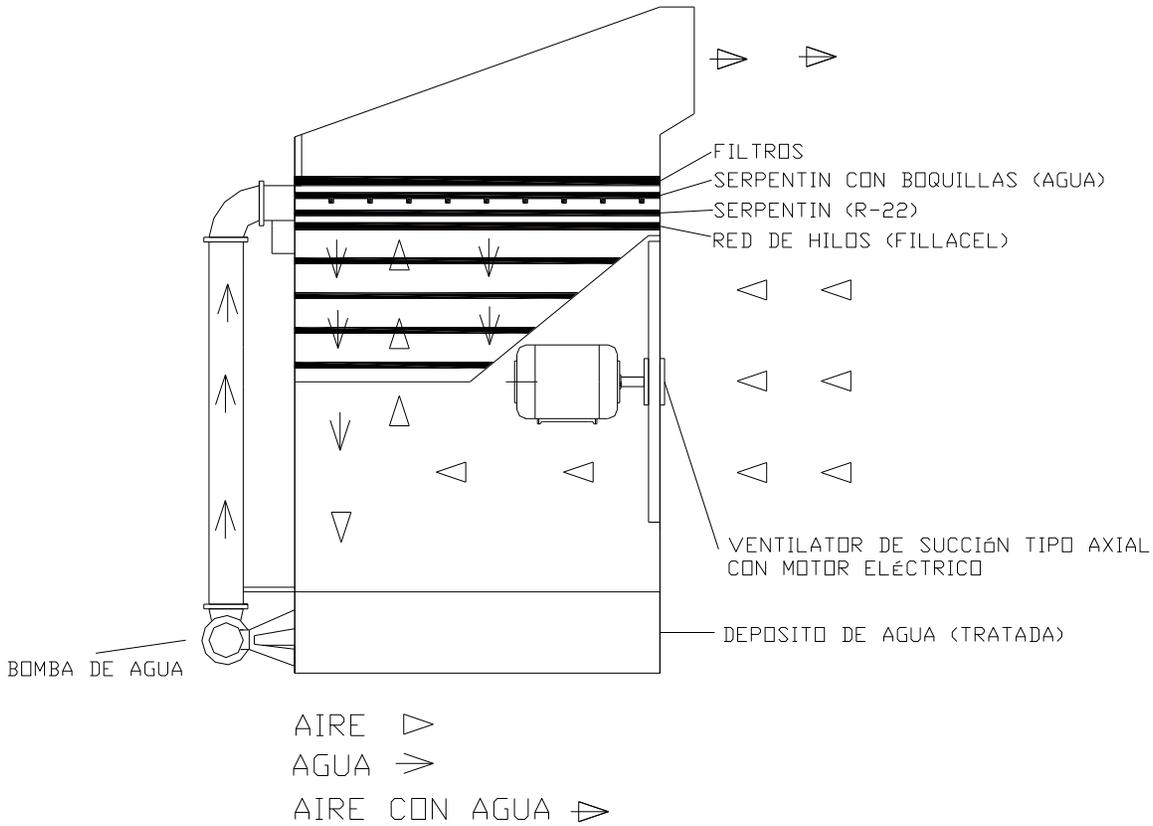
Los sistemas de alta humedad como el mostrado en la figura 29 ofrecen los beneficios obvios de poder mantener un ambiente con alta humedad. Si son usados en combinación con el aire forzado el beneficio es doble ya que se obtiene un enfriamiento rápido con alta humedad en el ambiente, este tipo de enfriamiento es beneficioso para aquellos productos donde es crítico minimizar las pérdidas de agua, no obstante una limitación de estos sistemas de alta humedad es su incapacidad para alcanzar bajas temperaturas, ya que el sistema esta basado en el enfriamiento de agua.

Cuando la temperatura se aproxima a los 0°C (32 °F) el agua se congelará limitando la temperatura a la cual el producto puede ser enfriado. Antes de adquirir un sistema de este tipo debe ser evaluada la cantidad de producto, el tipo de producto y la temperatura final que debe ser alcanzada.

2.3 Algunos beneficios del enfriamiento por aire forzado.

- i. Rápido enfriamiento, más rápido que un cuarto frío.
- ii. Enfriamiento Uniforme dentro del bin o pallet.
- iii. Puede ser usado en combinación con un cuarto frío existente.
- iv. Puede efectivamente enfriar producto en bines que pueden no estar enfriados apropiadamente en un cuarto.
- v. El capital gastado es menor que en otros sistemas de enfriamiento rápido semejante al hydrocooler y el enfriamiento por vacío (prácticamente si es usado dentro de un cuarto frío existente).
- vi. Los cuartos con enfriamiento por aire forzado pueden ser usados para pre-enfriamiento y almacenaje.
- vii. Puede ser usado sobre un rango de productos.
- viii. Evita el exceso de manipulación y humedecimiento del producto.

Figura 29. Esquema de funcionamiento de un sistema de alta humedad.



3. UNIDAD CONDENSADORA

La unidad condensadora es un componente fundamental en el sistema de refrigeración para un humidificador evaporativo, estos equipos tienen una capacidad calorífica de 360,000 BTUH, para que el equipo despliegue toda su capacidad es necesario que el mínimo de capacidad energética de la unidad condensadora sea lo anterior, de este punto podemos entonces seleccionar de los diferentes catálogos de fabricantes de unidades condensadoras la adecuada para nuestro humidificador evaporativo.

Las unidades condensadoras que nosotros podemos encontrar en las plantas procesadoras de melón Cantaloupe en nuestro país se diferencian en dos tipos:

- a. Unidades de un circuito de refrigeración o simples
- b. Unidades de doble circuito de refrigeración o duales

3.1 Unidades condensadoras con un circuito de refrigeración

Estas unidades condensadoras como puede verse en la figura 30, poseen una salida para línea de líquido y una entrada para línea de succión, los accesorios tales como filtros, depósitos, recuperadores de aceite y líquido son únicos. El serpentín de la unidad condensadora es compartido por ambos compresores debido a que estos trabajan en paralelo, los controles son únicos también para ambos sistemas.

Figura 30. Unidad condensadora simple para humidificador evaporativo.



3.2. Unidades condensadores con doble circuito de refrigeración

Este tipo de unidad condensadora posee dos salidas para líquido ubicadas a ambos lados de la unidad, así como también dos entradas para línea de succión ubicadas a ambos lados de la unidad, figuras 31 y 32. Las unidades dobles tienen accesorios separados como el acumulador de líquidos, filtros de cartucho independientes, visores, etc. Es de suma importancia hacer notar que los compresores están compartidos por medio de un manifold en la línea de líquido y otro en la línea de succión, además el serpentín sigue siendo compartido por ambos compresores.

Figura 31. Unidad Condensadora dual, lado derecho.



Figura 32. Unidad condensadora dual lado izquierdo.



3.3 Especificaciones de unidades condensadoras para humidificadores evaporativos

La unidad condensadora preferida con un circuito de refrigeración para los humidificadores evaporativos es la de marca CENTURY con las siguientes especificaciones:

FABRICANTE: CENTURY REFRIGERATION

RAE CORPORATION U.S.A.

MODELO: DD50H2

VENTILADORES: 6 VENTILADORES DE DESCARGA VERTICAL

BTUH: 404,020 (95°F AMBIENTE)

TEMPERATURA DE SUCCIÓN: 25 °F

POTENCIA: 2 COMPRESORES DE 25 hp c/u, (39.6 Kw el grupo)

DIMENSIONES (en pulgadas): LARGO: 190 ANCHO: 88 ALTO: 63

PESO (Lbs): 3220

REFRIGERANTE: **R-22**

DIÁMETRO LÍNEA DE SUCCIÓN (pulgadas): **2 5/8**

DIAMETRO LÍNEA DE LÍQUIDO (pulgadas): **1 1/8**

PRESIÓN EN EL LADO DE ALTA (psig): **250**

PRESIÓN EN EL LADO DE BAJA (psig): **65**

PRESIONES DE PRUEBA: LADO DE ALTA (psig): **400**

LADO DE BAJA (psig): **162**

COMPRESOR 1: RLA **41.1** LRA **214**

COMPRESOR 2: RLA **41.1** LRA **214**

VENTILADORES: **6 (1 Hp c/u)**

RANGO DE TEMPERATURA DEL EVAPORADOR: **10 °F a 45 °F**

MÍNIMA AMPACIDAD DEL CIRCUITO: **107 Amperios**

Si se desea se puede consultar el catálogo de la HEATCRAFT CORPORATION, podemos encontrar unidades duales para este propósito bajo la marcas BOHN O CHANDLER, en donde podemos partir de la potencia mínima necesaria para el humidificador evaporativo, mencionaremos entonces dos modelos de éstas marcas que poseen especificaciones muy similares.

FABRICANTE: **HEATCRAFT CORPORATION U.S.A.**

MARCAS: **BOHN, CHANDLER**

MODELO: **JD 5200 H2, HDD 5200 H2**

VENTILADORES: **6 VENTILADORES DE DESCARGA VERTICAL**

BTUH: **373,600 (95°F AMBIENTE)**

TEMPERATURA DE SUCCIÓN: **25 °F**

POTENCIA: **2 COMPRESORES DE 25 hp (39.6 Kw, 90.9 A)**

DIMENSIONES (en pulgadas): LARGO: **179** ANCHO: **88** ALTO: **61**

PESO (Lbs): **3230**

REFRIGERANTE: **R-22**

DIÁMETRO LÍNEA DE SUCCIÓN (pulgadas): **2 1/8**

DIAMETRO LÍNEA DE LÍQUIDO (pulgadas): **1 1/8**

Es de importancia mencionar al lector que estas unidades operan con una distribución de voltaje trifásica cuya magnitud es de 480 voltios (voltaje de línea), es por ello que debe contarse con adecuada protección contra cortocircuito y sobrecargas como se presenta en los diagramas eléctricos correspondientes a las unidades descritas anteriormente.

La unidad condensadora debe colocarse lo mas cerca posible del lugar donde operará el humidificador evaporativo debido a que este estará sometido a variación de sus parámetros en forma constante, debido a la introducción de fruta que ya ha sido lavada y pre-empacada así como evacuación de fruta que ha finalizado su proceso de enfriamiento, su colocación obedece a ciertas distancias mínimas necesarias para la circulación del aire forzado en la unidad condensadora estas distancias dependen de la potencia de la máquina, dimensiones y la infraestructura existente en el lugar donde se pretende su instalación, si queremos obtener un máximo de eficiencia de la unidad condensadora es importante respetar estas disposiciones.

3.4 Requerimientos de espacio y localización para unidades condensadoras

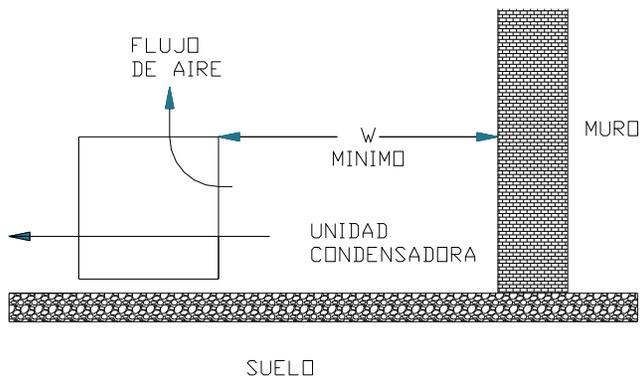
3.4.1 Paredes y obstrucciones

Las unidades deben ser localizadas para que el aire circule libremente y no se produzca una recirculación. Para un corrector flujo de aire y acceso a todos los lados de

la unidad deben tener un mínimo correspondiente a la anchura de la unidad condensadora separada de cualquier pared u obstrucción. Se puede incrementar la distancia siempre que sea posible. Los cuidados que deben ser tomados en una amplia habitación en cuanto a las distancias mínimas son necesarios para trabajos de mantenimiento a través de paneles, ver detalles en la figura 33 y figura 34.

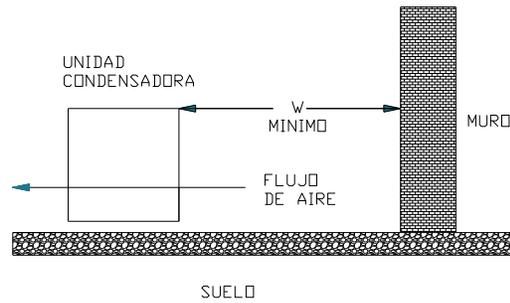
Obstrucciones superiores no están permitidas, cuando la unidad condensadora está en un área donde esta encerrada por 3 paredes la unidad debe ser instalada como es indicado para las unidades localizadas en fosos.

Figura 33. Unidad condensadora de descarga vertical cercana a muro.



Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, página 10.

Figura 34. Unidad condensadora de descarga horizontal cercana a muro.

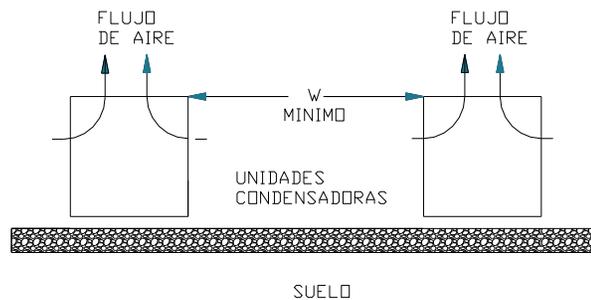


Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, página 10.

3.4.2 Unidades Múltiples

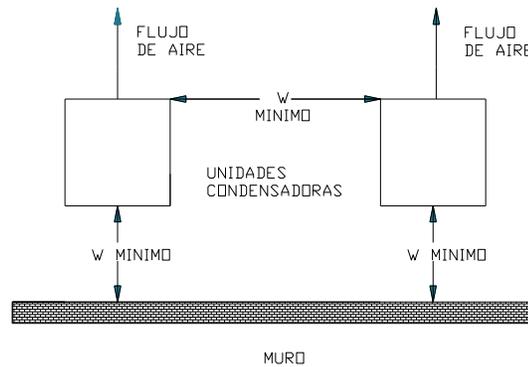
Para unidades de descarga vertical colocadas lado a lado, como en la figura 35 y unidades de descarga vertical cuyo detalle ilustra la figura 36, la mínima distancia entre las unidades corresponde al ancho de la unidad más grande, si las unidades están colocadas espalda con espalda, la mínima distancia entre ellas es de 4 pies, ver detalle en la figura 37.

Figura. 35. Unidades condensadoras de descarga vertical cercanas.



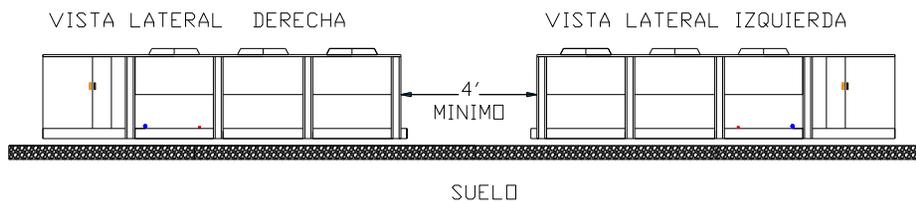
Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, página 10.

Figura 36. Unidades condensadoras de descarga horizontal cercanas.



Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, Página 10.

Figura: 37. Unidades condensadoras adyacentes por la parte trasera o delantera.



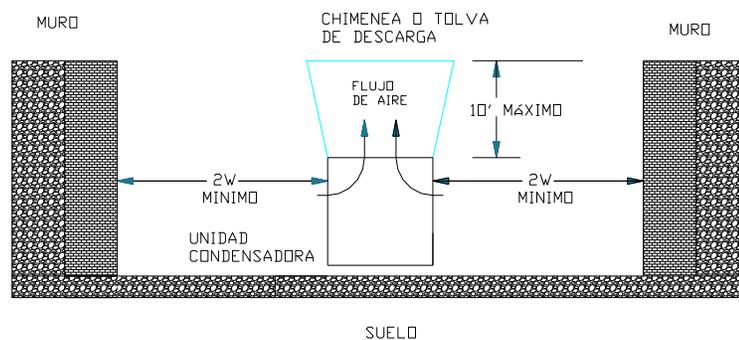
Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, Página 10.

3.4.3 Unidades en foso

La parte superior de la unidad debe estar a nivel o coincidir con el nivel del suelo y el espaciado de la unidad respecto a cualquier pared interior del foso debe ser 2 veces el ancho de la unidad a instalar ($2W$), estos detalles se muestran en la figura 38.

Si la parte superior de la unidad no está a nivel con el suelo o cielo del foso, pueden utilizarse conos de descarga o conductos tipo chimenea para proveer una descarga efectiva del aire caliente y evitar la recirculación dentro del foso.

Figura 38. Unidad condensadora localizada dentro de un foso.

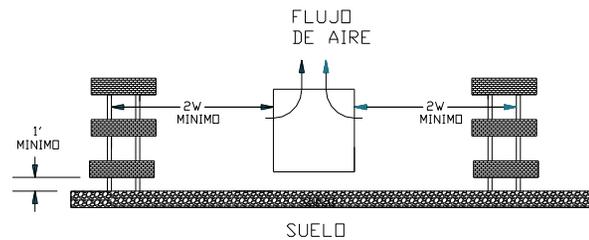


Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, página 10.

3.4.4 Unidades cercanas a celosías, muros decorativos

Los muros decorativos, celosías o cercas pueden tener el 50 % de su área libre con 1 pie de separación del nivel del suelo; una distancia mínima correspondiente al ancho de la unidad condensadora de separación horizontal, el muro decorativo, celosía o cerca no debe exceder la altura de la unidad. Si estos requerimientos no pueden ser llevados a cabo al momento de la instalación debe de considerarse instalar la unidad como si estuviera contenida en un foso, la figura 39 ilustra estos requerimientos.

Figura 39. Localización de una unidad condensadora cerca de muros decorativos.

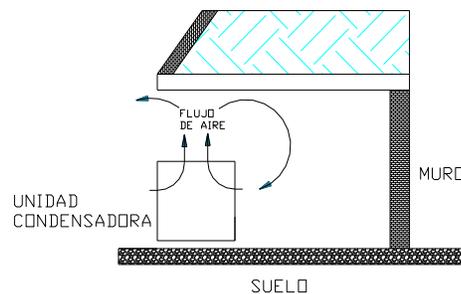


Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, página 10.

3.4.5 Obstrucciones Verticales.

Las obstrucciones verticales no son permitidas. La descarga del aire vertical desde la unidad condensadora no debe ser obstruida, puede causar que la descarga de aire recircule como lo ilustra la figura 40 y regrese a la succión de la unidad, este aspecto se tome muy en cuenta a la hora de ubicar una unidad condensadora de descarga vertical.

Figura 40. Esquema de una unidad condensadora con obstrucción vertical.



Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005, página 10.

3.5 Espacio y localización para condensadores remotos

La más importante consideración, cuando se decide sobre la localización del equipo de enfriamiento de aire es la provisión de un suplemento de aire adecuado hacia la unidad condensadora y la remoción del aire caliente desde la unidad condensadora o el área de la unidad condensadora remota.

Si las distancias mínimas no son consideradas adecuadamente esto resultará en una elevada presión, lo cual causa una pobre operación del equipo, las unidades no deben ser localizadas en la vecindad de instalaciones de vapor, aire caliente o escapes de gases, las atmósferas corrosivas requieren especial diseño en las unidades condensadoras.

Otras consideraciones que deben ser tomadas es que la unidad debe ser montada lejos de espacios sensitivos al ruido y pueden tener soportes adecuados para evitar transmisión de vibraciones y ruido dentro de la planta.

Las unidades deben ser montadas en corredores o patios destinados especialmente para este fin además de áreas en las cuales el nivel de ruido no es un factor importante.

Los arranques y paradas de la unidad condensadora deben estar basados en la demanda en el interior del cuarto frío, donde se encuentra el humidificador evaporativo, debe contarse también con un arranque secuencial cuando falte la energía y se desee volver a continuar con el enfriamiento del producto, esto garantizará niveles de voltajes más regulados en la instalación eléctrica de la planta y como consecuencia una mejor compensación del factor de potencia por medio del banco de condensadores instalados,

ya que la intensidad de arranque de estos equipos es muy alta y su consumo de potencia a carga nominal también.

4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL HUMIDIFICADOR EVAPORATIVO

4.1 Requerimientos

Para realizar la instalación eléctrica del humidificador evaporativo es necesario satisfacer requerimientos en cuanto a la disponibilidad de energía, niveles de voltaje y corriente, entre los más significativos tenemos:

- i. Contar con un voltaje de alimentación de 480 voltios AC, trifásico.
- ii. Contar con voltaje de alimentación 120 voltios AC, para mando y control del equipo, regularmente el equipo cuenta con un transformador de mando y control para obtener éste nivel de voltaje.
- iii. La alimentación del humidificador evaporativo y unidad condensadora correspondiente deben de contar con tableros específicos, con las debidas protecciones e identificaciones, fuera del alcance de los elementos climáticos, pero cercano a los equipos.
- iv. La instalación eléctrica debe contar con conductores de calibre adecuado para los niveles de corriente que se manejan.
- v. El confinamiento de los conductores debe ser específico, utilizando el material eléctrico de conducción apropiado para las condiciones de humedad en que opera el humidificador.
- vi. El circuito de potencia del ventilador debe de contar con un interruptor de seguridad o paro de emergencia para desconexión en caso de accidentes o

emergencias, como también cuando no recibe carga de producto en períodos muy prolongados.

4.2 Cargas del sistema

La carga eléctrica que implica la instalación de una máquina de este tipo puede desglosarse de la forma presentada en la tabla II.

Tabla II. Cargas eléctricas del sistema.

| Cargas eléctricas para un sistema de humidificador evaporativo (Unidades Century, Chandler y Bohn Duales) | | | |
|--|-------------------------------|-------------------|------------------|
| Factor de potencia mínimo | | 0,9 | |
| Eficiencia de motores eléctricos | Hp | Eficiencia | |
| | 1 | 0,65 | |
| | 5 | 0,77 | |
| | 10 | 0,83 | |
| | 15 | 0,84 | |
| | 35 | 0,89 | |
| Voltaje de operación | | 460 | |
| | Descripción | Hp | KVA |
| | | | In (A) |
| | Bomba de agua (humidificador) | 5 | 3,73 |
| | Ventilador (humidificador) | 10 | 7,46 |
| | Compresor 1 (Unidad C.) | 25 | 18,65 |
| | Compresor 2 (Unidad C.) | 25 | 18,65 |
| | Ventiladores (Unidad C.) | 6 | 4,476 |
| | Mando y control | | 0,3 |
| | Iluminación interior | | 0,6 |
| | Iluminación exterior | | 0,08 |
| | Iluminación de emergencia | | 0,2 |
| | Total----- | 71 | 54,146 |
| | | | 90,828179 |

4.3 Reduciendo los costos de energía

La tabla III compara la eficiencia de energía de 5 métodos de enfriamiento por medio del *coeficiente de energía*. El coeficiente se obtiene dividiendo el trabajo de enfriamiento entre la energía adquirida para operar el enfriador, altos valores de este coeficiente representa alta eficiencia en la operación del enfriador, el enfriamiento por vacío es el método más eficiente seguido por el Hydrocooler, enfriamiento por agua en spray al vacío, enfriamiento por aire forzado y empacado con hielo respectivamente.

Tabla III. Comparación en uso eficiente de energía de métodos de enfriamiento.

| Método de Enfriamiento | Coefficiente de Energía Promedio | Rango |
|-------------------------------|---|--------------|
| Aire Forzado | 0.9 | 0.3 - 0.5 |
| Empacado con hielo | 0.7 | 0.3 - 1.0 |
| Vacío con Agua en Spray | 1.1 | 0.9 - 1.3 |
| Hydrocooler | 1.4 | 0.7 - 2.3 |
| Vacío | 1.8 | 1.5 - 2.5 |

Fuente: Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and flowers. University of California, Publicación 21567, página 16.

Parte de la razón de la alta eficiencia del enfriamiento por vacío se debe a que éste remueve el calor desde que el producto es puesto a enfriar mientras que los otros tipos de enfriador lo hacen con ventiladores, los motores eléctricos elevan la temperatura del recinto, también tenemos aportaciones como infiltración de aire exterior, conducción de calor a través de paredes exteriores, luces, elevadores y personas trabajando en el área de enfriamiento. Casi todos los enfriadores por aire forzado son usados por algunos

períodos de almacenamiento de producto, esto contribuye a su particularmente bajo coeficiente de energía.

La tabla III también muestra una gran diferencia entre el más eficiente y el menos eficiente de todos los métodos de enfriamiento, por ejemplo un hydrocooler bien operado puede tener un coeficiente de energía mayor que muchos sistemas de enfriamiento por vacío, no obstante un hydrocooler operado pobremente puede tener casi un bajo coeficiente de energía cercano al del enfriamiento por aire forzado, la diferencia en eficiencia entre un método de enfriamiento dado y el mejor método de enfriamiento representa los potenciales ahorros de energía.

Puede considerarse el uso de grupos electrógenos si se compara con el costo de energía proveniente de los distribuidores locales. También contar con bancos de condensadores para la corrección del factor de potencia ya sea proveniente de la red de distribución local o de los grupos electrógenos.

Usando menos flujo de aire y enfriamiento lento, puede trabajar bien si existe la facilidad de enfriar el producto por las noches, la calidad de la mayoría de los productos perecederos no se ve adversamente afectada si el producto se empieza a enfriar rápidamente después de la cosecha y su enfriamiento final es pospuesto para hacerse en horas de la noche. Los montacargas operados con baterías reducen la demanda porque producen menos calor que los operados con combustible y las baterías pueden ser cargadas durante la noche, los montacargas eléctricos son más caros que los operados por combustible, pero en muchas plantas de empaque no son permitidos en espacios cerrados porque el personal y el producto son expuesto al monóxido de carbono.

Contabilizando el uso de la energía por el método de enfriamiento por aire forzado se tiene lo siguiente: el 47 % de la energía de refrigeración es usada para el enfriamiento del producto, 37% para remover el calor proveniente del ventilador, 8% remover calor de montacargas (operados con combustible para uso exterior y eléctricos para uso interior), 7% calor conducido a través de superficies de las paredes exteriores e infiltraciones de aire y finalmente 1% de fuentes misceláneas de calor como luces y personas u otros dispositivos instalados cerca del sistema de enfriamiento.

La entrada de calor en el sistema de enfriamiento por aire forzado y el tamaño del sistema de refrigeración para removerlo, puede ser minimizado tomando en consideración lo siguiente:

- a. Reducir la energía del ventilador usando cajas con perforación adecuada.
- b. Seleccionando un serpentín de evaporador con 3 aletas por pulgada para reducir el descenso de presión a través del serpentín.
- c. Apagando el ventilador cuando este no se necesite para enfriar.
- d. Seleccionando ventiladores con buena eficiencia debajo de las típicas tasas de presión de aire y flujo de aire.
- e. Usando motores eléctricos de alta eficiencia.
- f. Uso de montacargas eléctricos.
- g. Aislar el enfriador, los nuevos enfriadores están más o menos contruidos con R-40 en las paredes y R-60 en el techo.
- h. Reducir la infiltración usando puertas de acción rápida, cortinas con buena adherencia en las hojas, sellos entre construcciones.
- i. Uso de iluminación de alta eficiencia de energía (poco consumo).
- j. Enfríe el producto después de seleccionado, para eliminar la fruta que no puede ser vendida, antes que llegue al enfriador.

4.4 Sistemas de soporte de tubería eléctrica y bandejas para cableado

En el mercado existe una gran variedad de sistema para soporte y conducción tanto de tuberías como de cableado, es importante considerar que los equipos en mención se encuentran ubicados en regiones de alta temperatura ambiental y duras condiciones ambientales, por lo tanto debe de cumplirse ciertas especificaciones y cuidados a la hora de seleccionar el sistema más adecuado.

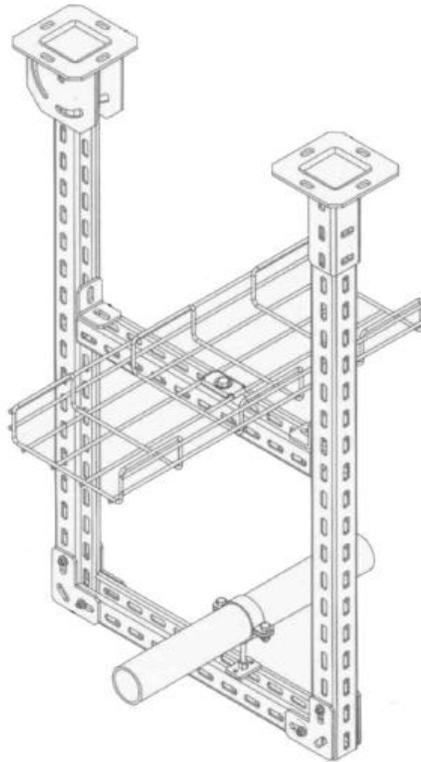
Dentro de las especificaciones o solicitudes para estos sistemas tenemos:

- a) Poseer adecuada ventilación, para máxima transferencia de calor.
- b) Estar fabricado o tener algún revestimiento que impida la rápida oxidación y corrosión.
- c) Ser resistente a esfuerzos de tracción y compresión.
- d) Uso del material eléctrico adecuado para brindar seguridad al personal que efectúe trabajos, como ampliación de la red de cableado, red de tuberías, conservación y mantenimiento
- e) Tener buena resistencia mecánica a los impactos, para evitar deformaciones.
- f) Brindar un medio seguro para sujeción de tubería rígida, cables eléctricos y pequeños elementos de medición y control.
- g) Las diferentes partes deben poseer buena fijación mecánica entre ellas, así como también con la estructura del edificio o instalación industrial donde será instalado.
- h) Debe poderse quitar las tapaderas con facilidad si se tienen, para la rápida limpieza del interior, la limpieza del exterior debe poder realizarse con facilidad por el personal capacitado.

- i) La distribución interior de los elementos de conducción de energía eléctrica, debe ser tal que permita la rápida inspección y revisión de los mismos para detectar en forma preventiva fallas.

En la figura 41 se muestra un sistema combinado de suspensión de bandejas para cables y tuberías eléctricas con bridas para fijación en techo o viga de acero.

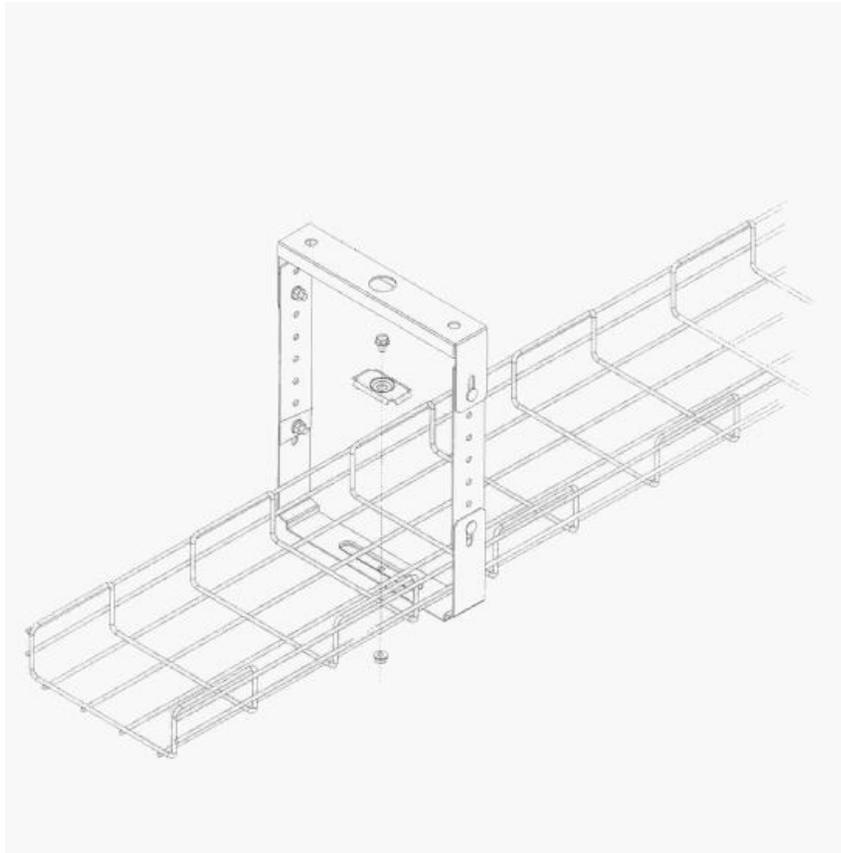
Figura 41. Suspensión de bandejas, canaletas y tuberías eléctricas.



Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 4/6.

Si se desea en la instalación se puede optar por sistemas independientes de suspensión para bandejas, canaletas y tuberías como el mostrado en la figura 42, se observa que la suspensión de la bandeja de conducción de cables se hace por medio de soportes que pueden anclarse a vigas o techos.

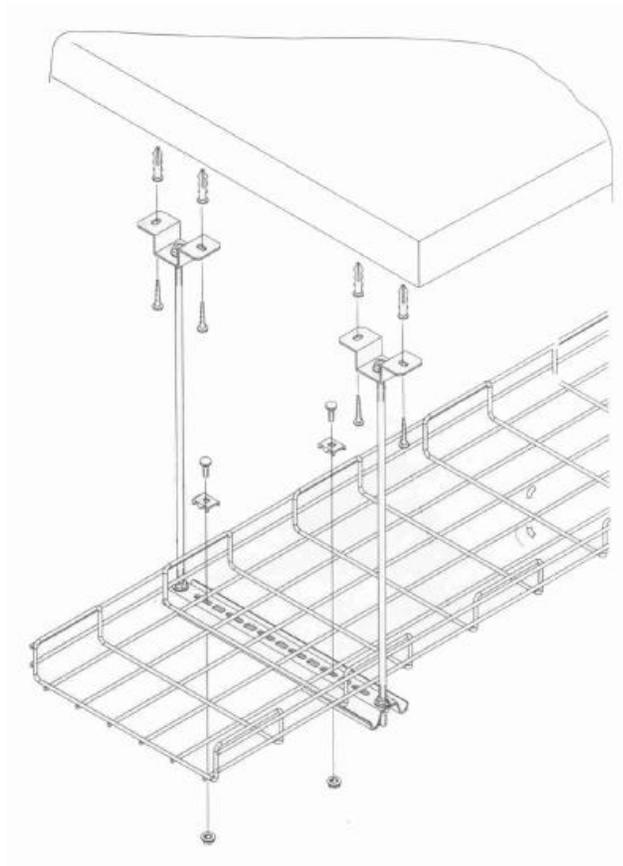
Figura 42. Sistema de suspensión de bandeja para cables.



Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 4/7.

Existen variantes dependientes del tipo de infraestructura que se tenga en la planta, en la figura 43 se muestra un sistema de suspensión de bandeja para cables anclado en superficies planas de techo o fracciones de techo.

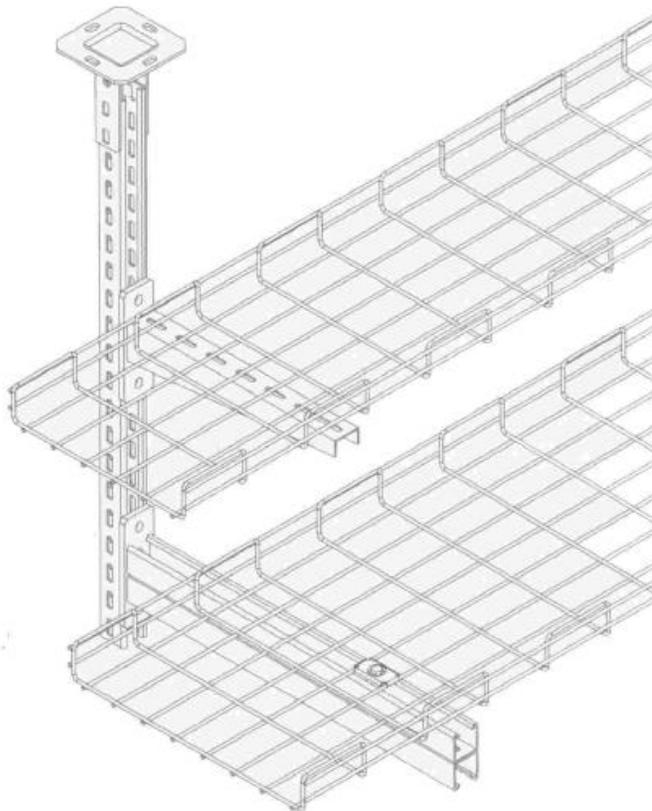
Figura 43. Suspensión de bandeja para cables de superficie plana de techos.



Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 4/2.

Si los cables se desean conducir por una determina vía dentro de la planta, puede optarse por opciones como las mostradas en las figuras 44 y 45, en la primera tenemos un sistema de suspensión de doble ménsula con bandejas, anclado en techo, por ejemplo, la ménsula de abajo es mayor debido a que en esta se acomodan los cables de fuerza y en la superior el cableado de control

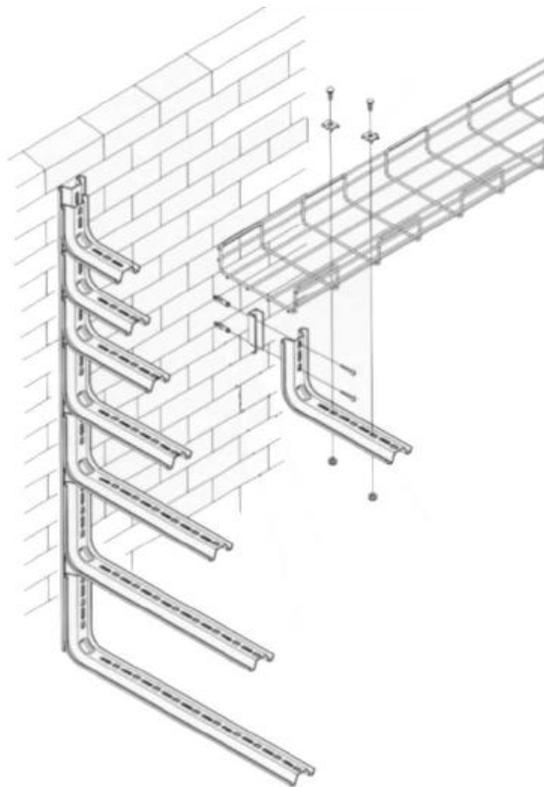
Figura 44. Conducción de cables a doble bandeja, con suspensión en techo.



Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 4/6.

En la figura 44 tenemos un sistema múltiple de ménsulas que puede ser anclado en la pared, este sistema permite flexibilidad en cuanto a la clasificación de conductores por área de alimentación, aplicación técnica y nivel de voltaje.

Figura 45. Sistema múltiple de ménsulas para conducción de cableado eléctrico.

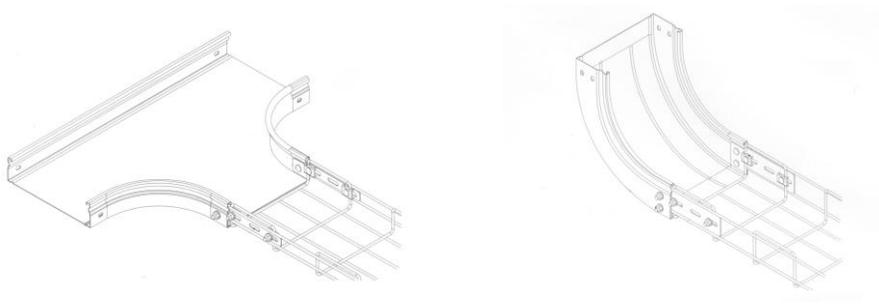


Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 4/3.

Este sistema en particular exhibe una gran flexibilidad para conducir tuberías y cableado eléctrico contando con una extensa cantidad de accesorios para diferentes configuraciones, en las figuras 46, 47 y 48 se presentan diferentes accesorios como lo

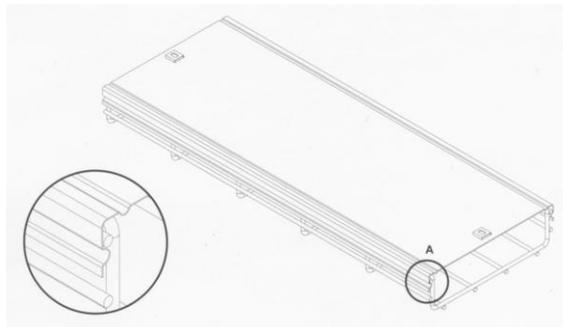
son tee para derivaciones, bajadas, tapaderas para la bandeja y divisores, en la figura 49 se muestra una sección ya armada en donde se indican los puntos de fijación. Es de importancia hacer notar al lector que debe referirse a los catálogos del fabricante para obtener un mejor conocimiento del sistema de acuerdo a las necesidades particulares de cada empresa.

Figura 46. Tee y bajada, para bandeja de conducción de cableado.



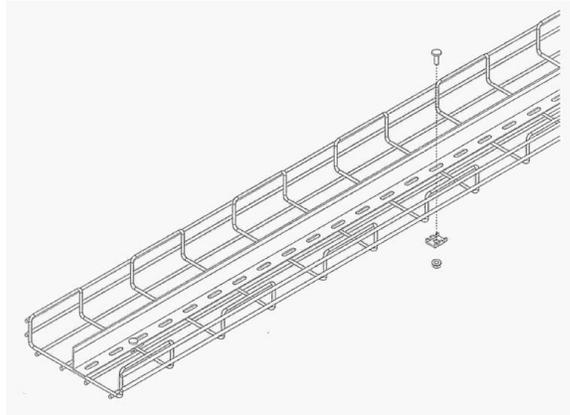
Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 3/4.

Figura 47. Tapadera, para bandeja de cableado eléctrico.



Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 3/12.

Figura 48. Divisor, para bandeja de cableado eléctrico.

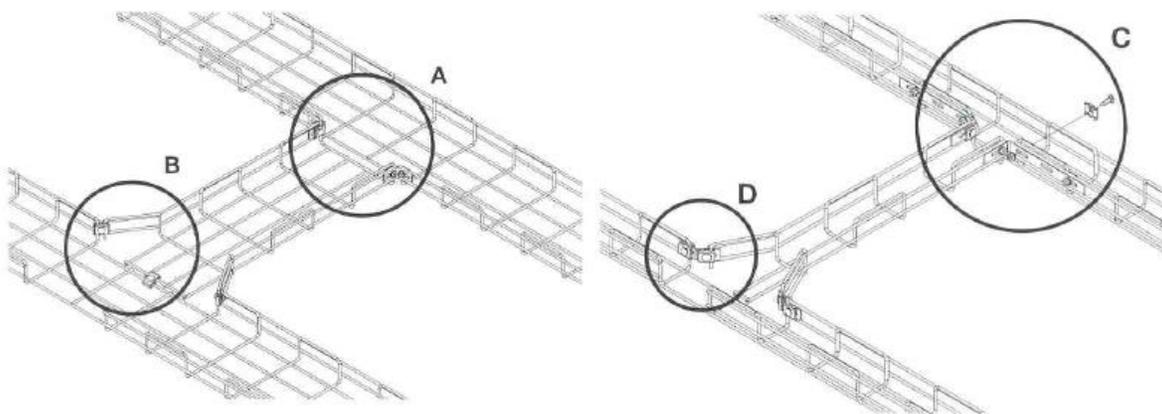


Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 3/12.

Figura 49. Sección armada indicando puntos de fijación.

Per passerelle B = 100-200-300-400-500 mm

Per passerelle B = 75-150 mm



Fuente: ABB SACE. CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES. Catálogo técnico. 2005, página 3/9.

Para que el lector tome un buen concepto de lo que implica la instalación de cableado y tuberías, para equipos de refrigeración industrial, así como los factores que inciden en dicha instalación, a continuación se presenta en la figura 50, un plano en planta que comprende varios tamaños de condensadores con sus respectivas tuberías, la colocación de las bandejas de conducción, tableros eléctricos de control y potencia de los equipos de refrigeración exteriores.

Entre los equipos mostrados en el plano se encuentran los condensadores que manejan los sistemas de enfriamiento evaporativo con alta humedad que motivan esta investigación.

Posteriormente, en las figuras 51, 52 y 53 puede observarse algunas formas de instalación en áreas industriales así como el uso de accesorios.

SIMBOLOGÍA

■ columna de galera.

□ tablero eléctrico de control y potencia con tubería (azul).

▨ bandeja de conducción de cables eléctricos y tubería de refrigeración.

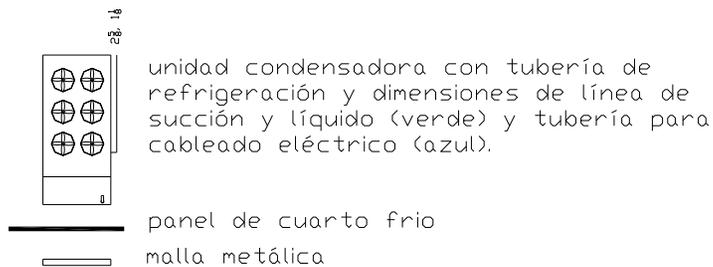


Figura 50. Patio de condensadores, tubería eléctrica y cableado, tableros eléctricos y dimensiones de tuberías de refrigeración.

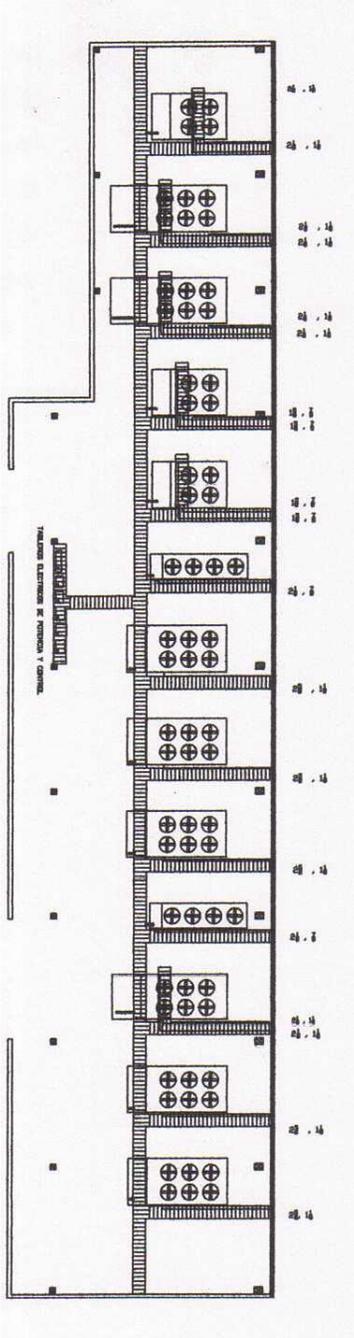
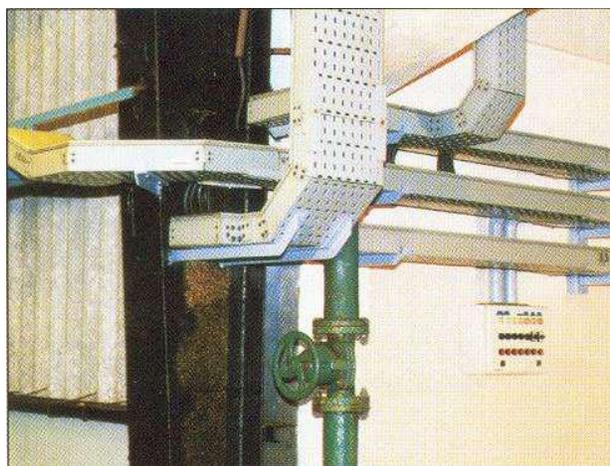


Figura 51. Bandejas auto-soportantes en PVC.



Fuente: Legrand Electric Co. MATERIAL ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES. Catálogo 2003, página 116.

Figura 52. Ángulos, derivaciones y bajadas para sistema auto-soportado de PVC.



Fuente: Legrand Electric Co. MATERIAL ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES. Catálogo 2003, página 116.

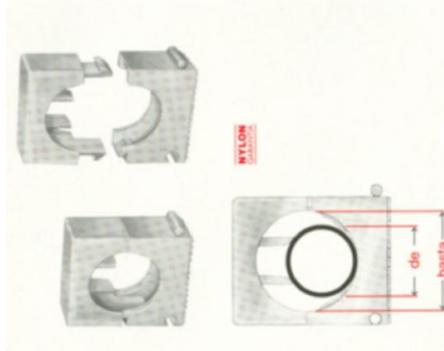
Figura 53. Utilización en ambientes internos o externos altamente agresivos.



Fuente: Legrand Electric Co. MATERIAL ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES. Catálogo 2003, página 116.

Uno de los aspectos más importantes en este tipo de instalaciones es la flexibilidad, el sistema que a continuación se describirá es adecuado para las instalaciones eléctricas y sanitarias, gracias a la presión de muelle de las lengüetas interiores, se pueden tender con un mismo tamaño de abrazadera como se muestra en la figura 54, cables o tuberías de diferente diámetro, no oprime la pared del tubo.

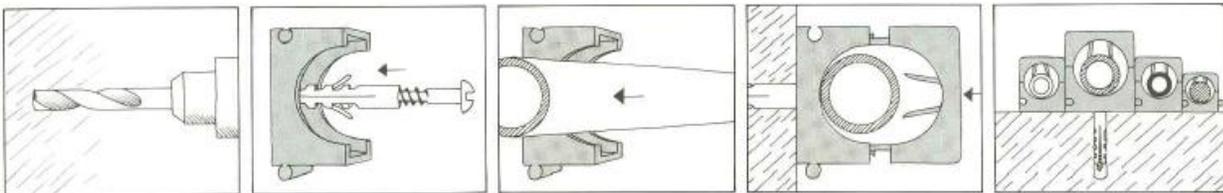
Figura 54. Rango de capacidad, abrazadera de nylon para suspensión de tubería eléctrica.



Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales, página 64.

Abrazadera para montaje individual y múltiple (en serie), indistintamente, sistema de encaje lateral unificado para todos los diámetros desde 4 a 54 mm, como lo muestra la figura 55. Montaje sin carriles ni abrazaderas suplementarias, no es preciso atornillar la tapa, ya que encaja con la simple presión del dedo, la parte superior de la tapa posee alta capacidad portante.

Figura 55. Montaje de abrazadera de nylon.

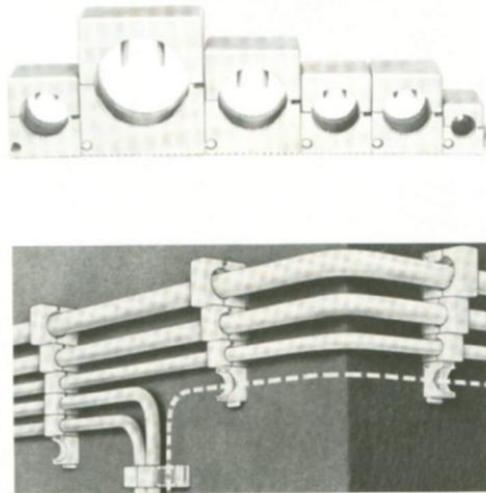


Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales, página 64.

Además posee alta resistencia al calor, desde $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, especialmente indicada para el tendido de tuberías de agua caliente o tuberías de instalaciones frigoríficas y tuberías eléctricas. La especial construcción en nylon posibilita una dilatación longitudinal sin impedimentos de los tubos o cables.

Los tubos de PVC, cables con chaqueta de PVC y tubos de cobre no son atacados por el material de nylon de la abrazadera, se puede ampliar fácilmente mediante el encaje lateral de otras abrazaderas, sin taladrar ni atornillar, tampoco se tiene el problema de saturación de carriles. Puede tenerse un solo punto de fijación para tres o cuatro abrazaderas montadas en serie, esta característica puede verse en la figura 56, como siempre es importante revisar las cargas admisibles máximas.

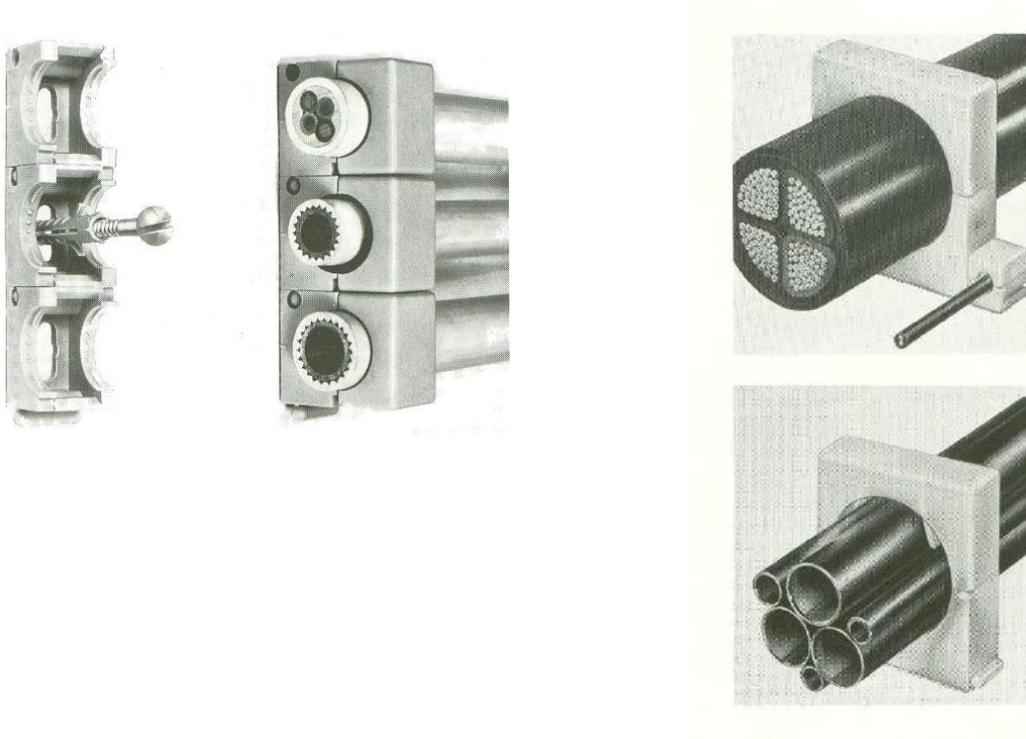
Figura 56. Ampliación del sistema.



Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales, página 64.

En la figura 57 se puede ver la instalación de 3 abrazaderas de nylon con tornillo central, así como los diferentes tipos de tuberías eléctricas y cables que se pueden utilizar, se presenta en la figura 58 una tabla con su diagrama correspondiente de las dimensiones a tomar en consideración a la hora de su instalación.

Figura 57. Instalación con anclaje central.

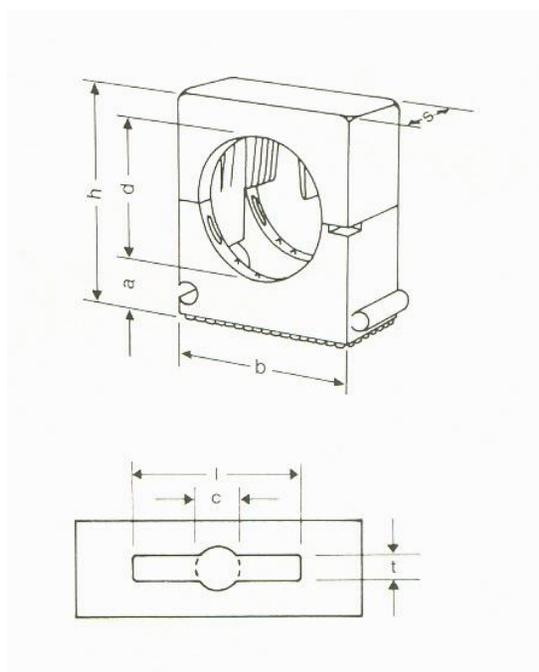


Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales, página 65.

Figura 58. Dimensiones de abrazadera con diagrama.

Dimensiones importantes de la abrazadera fischer SCH para el instalador

| | | Margen de sujeción | | b | s | a | l | t | c |
|-----|------|---------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | d | h | | | | | | |
| SCH | 48 | 4-8 \varnothing | 18,2 | 16,5 | 16,5 | 5,7 | 7,2 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 610 | 6-10 \varnothing | 21,2 | 16,5 | 16,5 | 6,0 | 9 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 812 | 8-12 \varnothing | 23,1 | 21,5 | 16,5 | 6,1 | 12 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 1216 | 12-16 \varnothing | 28,7 | 27,5 | 16,5 | 6,7 | 16 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 1619 | 16-19 \varnothing | 37,6 | 32,5 | 16,5 | 8,0 | 18 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 1623 | 16-23 \varnothing | 37,6 | 36,0 | 16,5 | 7,6 | 18 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 2332 | 23-32 \varnothing | 50,0 | 46,5 | 16,5 | 10,0 | 28 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 3242 | 32-42 \varnothing | 62,0 | 53,5 | 16,5 | 11,0 | 33,5 | 4,5 | 5,1 |
| SCH | 4254 | 42-54 \varnothing | 75,0 | 67,0 | 16,5 | 11,0 | 46,5 | 4,5 | 5,1 |

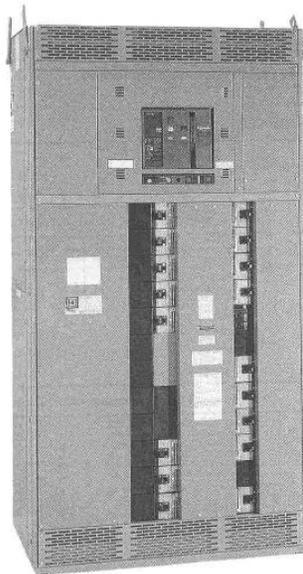


Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales, página 65.

4.5 Tableros eléctricos

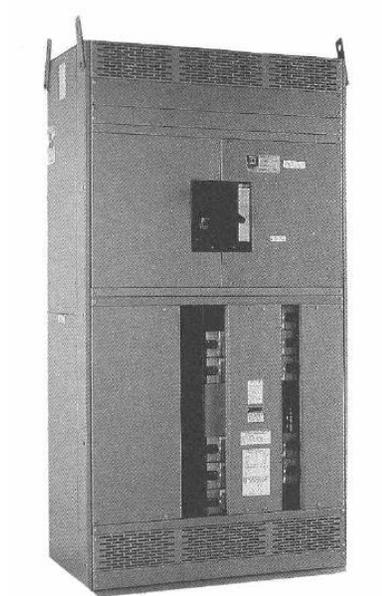
Las figuras 59 y 60 muestran tableros auto-soportados con interruptor principal para la distribución de potencia por número de máquinas o sectores de aplicación, deben instalarse siguiendo la normativa contemplada en las secciones 110.26, 110.27 y la tabla 110.26(A)(1) del NEC (Nacional Electrical Code) que nos muestran el espaciado de tableros, distancias de seguridad a partes vivas y distancias de trabajo. Estos tableros deben permitir la circulación de aire en su interior por medio de perforaciones o medios mecánicos como ventiladores.

Figura 59. Tablero de distribución con interruptor termo-magnético principal electrónico, auto soportado.



Fuente: Square D. Compendio No. 22. Junio 1997. Tableros Auto-soportados de Distribución para Baja Tensión, página 6-4.

Figura 60. Tablero de distribución con interruptor termo-magnético principal de caja moldeada, auto soportado.



Fuente: Square D. Compendio No. 22. Junio 1997. Tableros Auto-soportados de Distribución para Baja Tensión, página 6-4.

Para la instalación de los dispositivos de mando y control existen tableros para sobreponer o auto-soportados fabricados en acero, acero inoxidable y plástico dependiente de las condiciones del medio a instalarse, los auto-soportados son los mas utilizados en este tipo de industria, debido a que el funcionamiento del equipo es continuo existe alta probabilidad de elevación de temperatura dentro del tablero por la alta temperatura exterior, la construcción de estos tableros permite circulación de aire dentro del mismo y su instalación debe permitir la circulación de aire a su alrededor, la figura 61 y 62 muestran dos tipos de tableros de los ya mencionados.

Figura. 61. Tablero tipo sobreponer, con dispositivos de mando y control.



Fuente: Legrand Electric Co. MATERIAL ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES. Catálogo 2003, página 71.

Figura. 62. Tablero de control Auto-soportado, conformado por módulos independientes.



Fuente: ABB, Catálogo de productos, 2005. Productos industriales, baja tensión, página 176.

4.6 Esquemas de conexión

Las figuras 63 y 64 muestran la ubicación de las instalaciones eléctricas de potencia, mando y control de los equipos colocados en el exterior como la unidad condensadora, el tablero de control y mando es colocado en un lugar accesible para su monitoreo y operación por el personal, cercano a la unidad condensadora, la protección del cableado de potencia y control exterior se hace con conduit metálico intermedio galvanizado IMC y accesorios, para resistir las condiciones ambientales, alejado del alcance de personas no autorizadas, desde la conducción principal hacia la entrada de la máquina.

Figura. 63. Unidad condensadora para sistema de enfriamiento evaporativo de alta humedad con su respectivo tablero de control y mando.



Figura 64. Instalación eléctrica de potencia para unidades condensadoras de sistemas de enfriamiento evaporativo de alta humedad.



Las figuras 65 y 66 muestran la instalación eléctrica de potencia, mando y control internas, en el humidificador evaporativo, se puede observar que se realizan con tableros y accesorios de tipo estanco para evitar entrada de agua en forma de vapor, ya que tiene efectos nocivos sobre los bornes de conexión, el cableado es protegido mecánicamente empleando conduit no metálico flexible a prueba de agua LFNC-B (artículo 356 NEC), los accesorios poseen empaquetaduras para evitar entrada de vapor de agua.

Figura. 65. Instalación eléctrica de potencia y control en unidad de enfriamiento evaporativo de alta humedad, con bomba lateral.

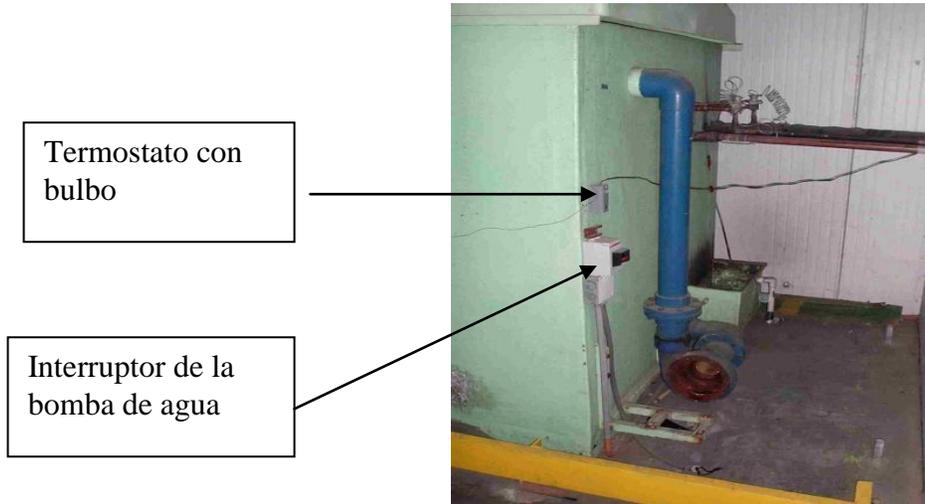
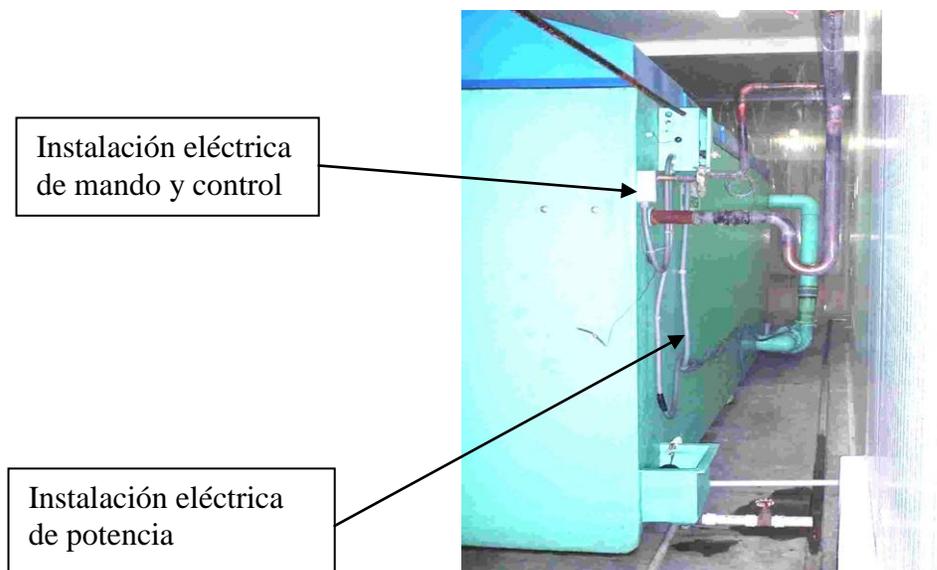


Figura. 66. Instalación eléctrica de potencia y control de unidad de enfriamiento evaporativo de alta humedad con bomba trasera.



En la figura 67 se presenta un esquema de las conexiones externas del sistema y posteriormente en la figura 68 se presenta diagramas completos del cableado interno de los equipos y conexiones, estos diagramas pueden verse con más detalle en el archivo de Autocad adjunto.

Figura 67. Esquema de Cableado externo (potencia y control).

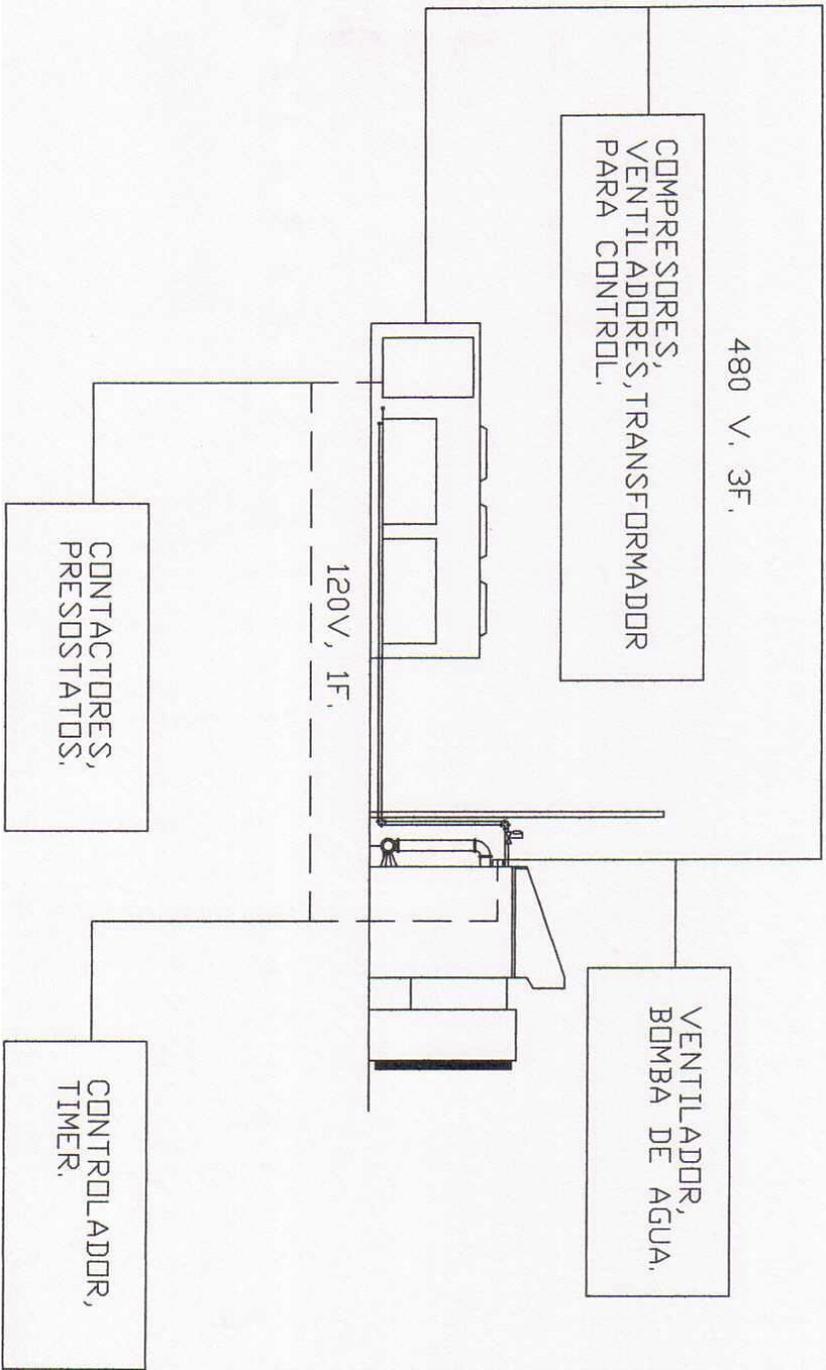
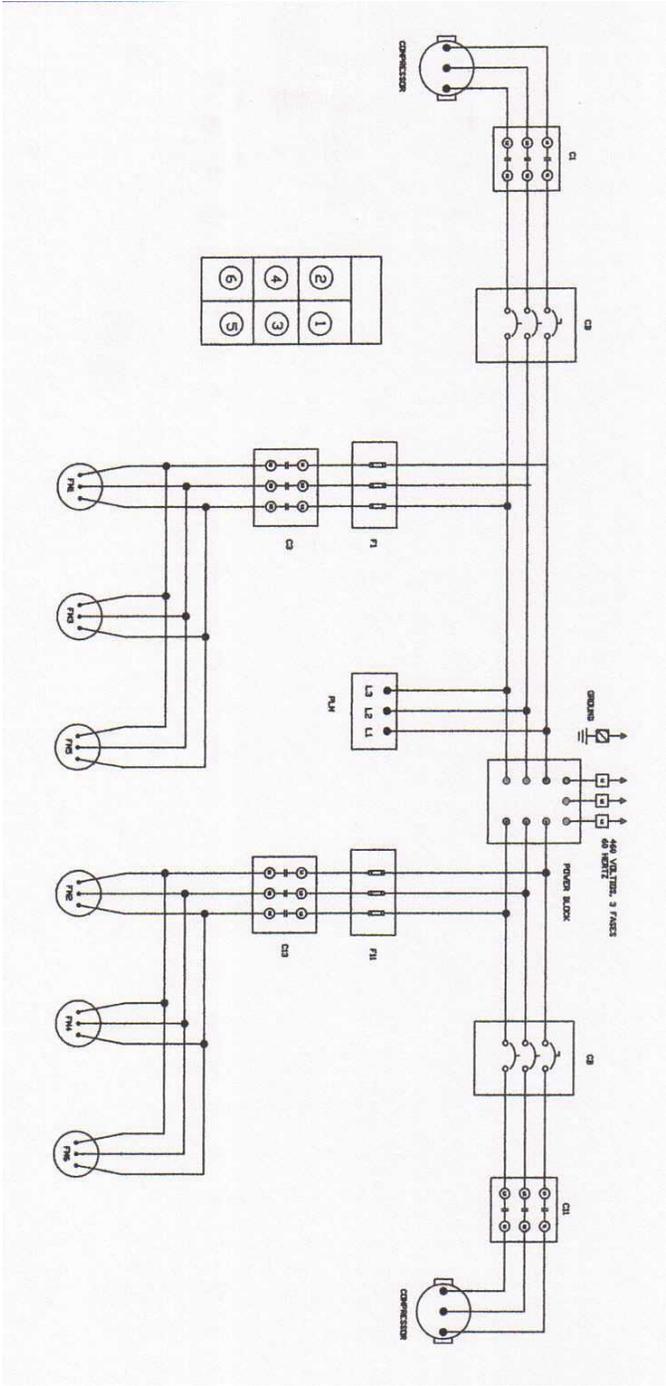
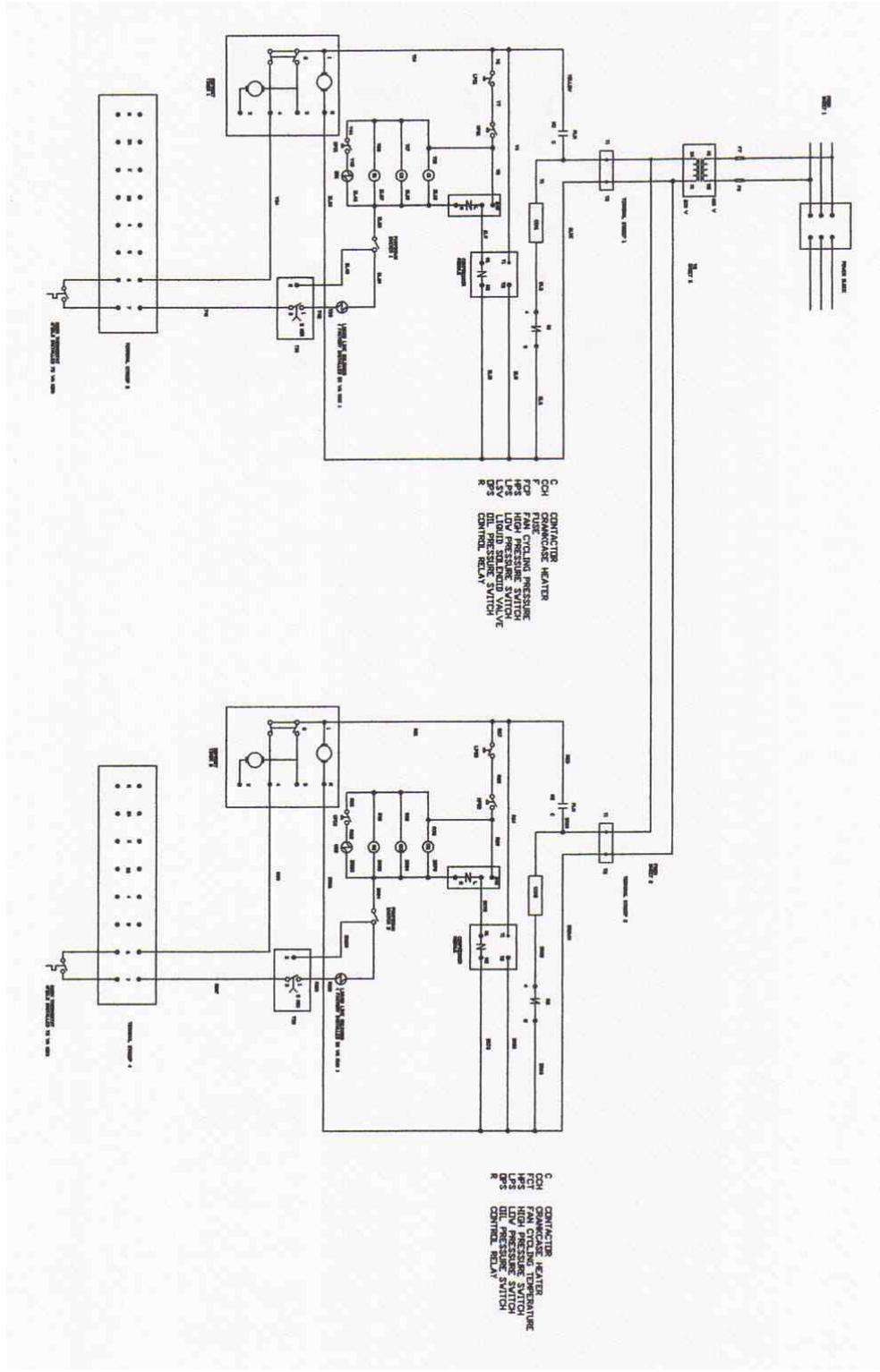
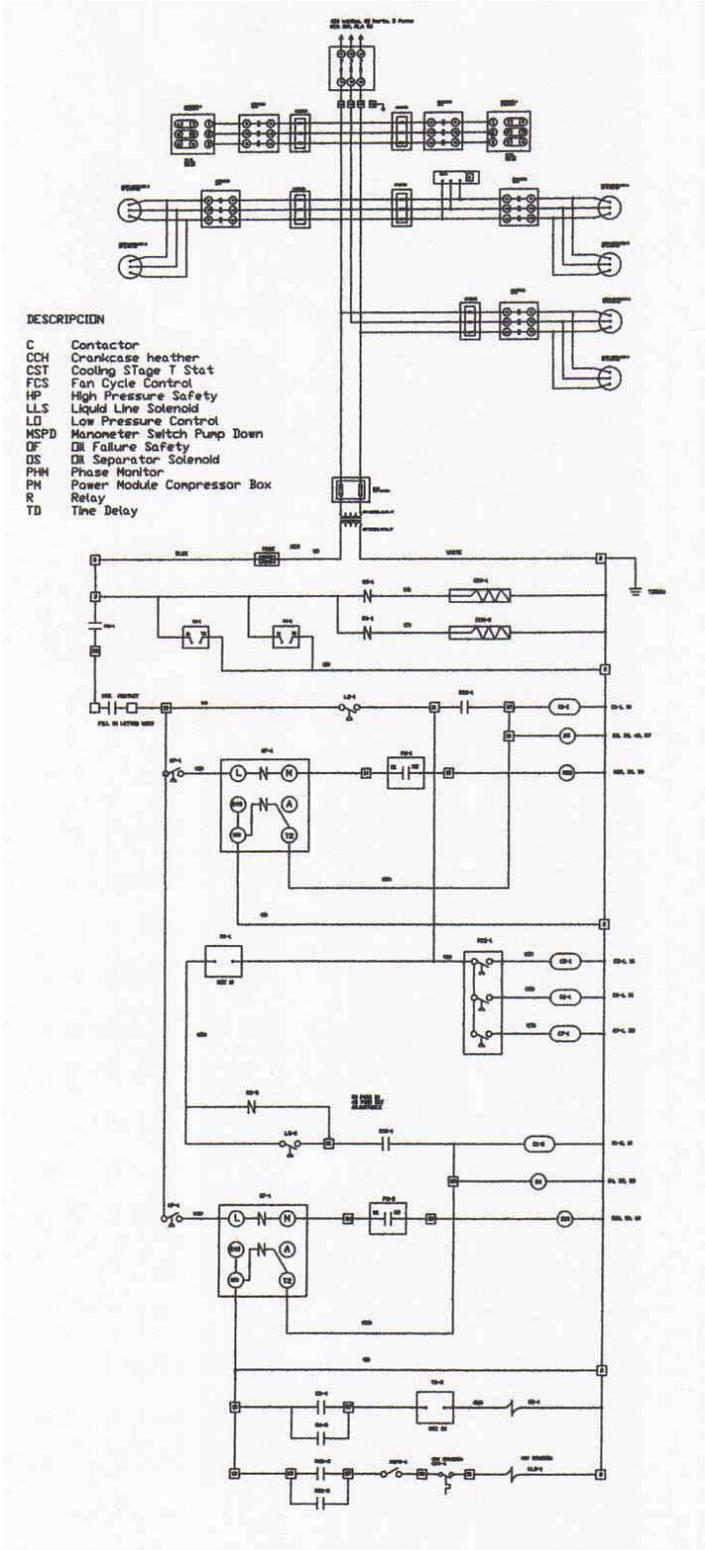


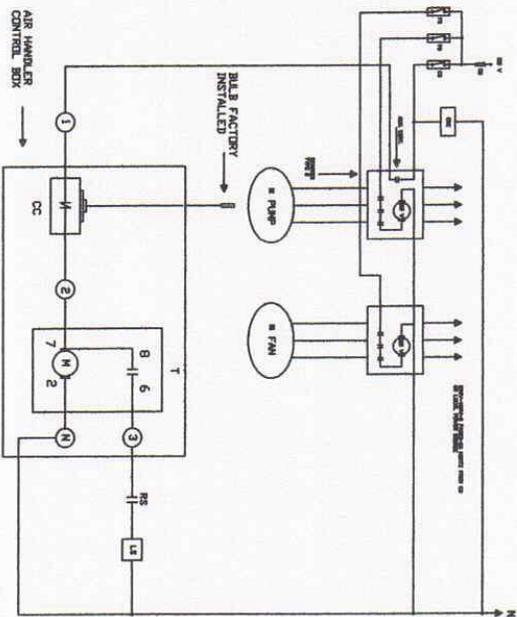
Figura 68. Diagramas unifilares de fuerza, mando y esquemas de conexión de unidad condensadora, y sistema de alta humedad.







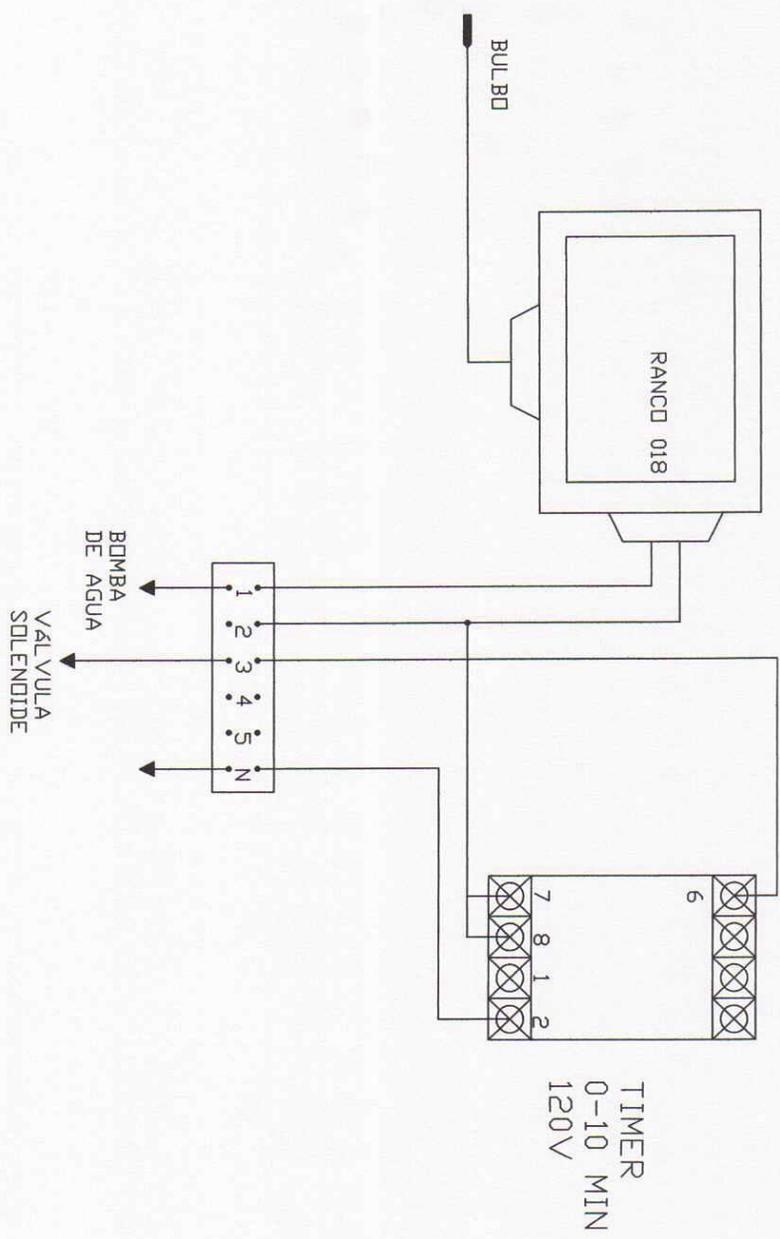
ESQUEMAS ELECTRICOS
HUMIDIFICADOR EVAPORATIVO
MODELO C
CONTROLADOR C18



* SUPPLIED WITH / AND MOUNTED ON AIR HANDLER
A.B. #700HRM12TA17 TIMER 0-12 MIN, W/ SR2P-06 BASE, SET @ 6-9 MINS.
LIQUID FIN SOLENOID VALVE
ROOM THERMOSTAT (IF USED)
FAN START SWITCH
PUMP START SWITCH
CONDENSING UNIT CONTROL POWER SWITCH
CONDENSING UNIT CONTROLS
COIL CONTROL - OPERATING AND / OR SAFETY CONTROL

T
LS
RS
FS
PS
CS
CUC
CC

DIAGRAMA DE CONEXIÓN
 CONTROLADOR RANCO 018 Y TIMER
 CAJA SELLADA, PARTE TRASERA
 HUMIDIFICADOR EVAPORATIVO



4.7 Cálculo de dispositivos de protección contra sobrecarga, corto-circuito y falla a tierra.

Ejemplo 1: Cálculo de los valores de los dispositivos de protección contra sobrecarga, corto-circuito y falla a tierra para un motor eléctrico.

Datos del motor:

Motor de inducción tipo jaula de ardilla.

Potencia: 15 Hp

Voltaje nominal: 230 voltios, AC.

Fases. Trifásico.

Código NEMA: B.

Factor de servicio: 1.15

El motor es alimentado por medio de conductores 250 kcmil, asumiendo 3 conductores en un solo confinamiento, los conductores de cobre tienen aislamiento tipo THWN sin factor de corrección por temperatura ambiente, podemos ver en la tabla IV, columna para 75 grados Celsius que el valor de ampacidad a transportar para dicho conductor es de 255 Amperios.

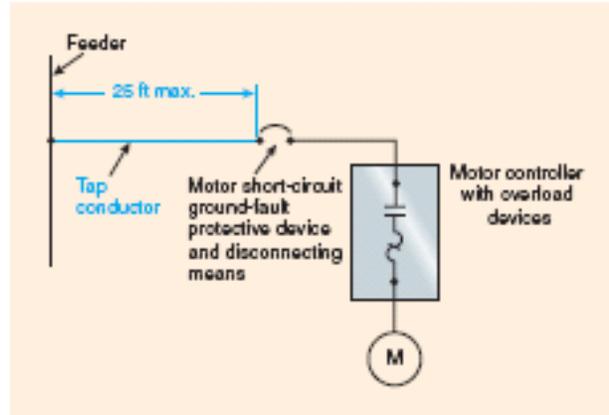
En la figura 69 se muestra que el circuito ramal no excede de 25 pies desde el alimentador hasta los dispositivos de protección, con base en la sección 430.28¹ podemos utilizar para el circuito ramal un conductor de menor calibre que pueda transportar un tercio de la corriente del alimentador, tenemos entonces: $255 \text{ A.} / 3 = 85 \text{ A.}$ Si volvemos a buscar en la misma columna de la tabla IV encontramos que este valor de ampacidad corresponde a un calibre de conductor 4 AWG.

Tabla IV. Ampacidad de conductores aislados de cero a 2,000 voltios.

| Size AWG or Kernl | Temperature Rating of Conductor (See Table 310.13.) | | | | Size AWG or Kernl |
|----------------------|---|--|---|--|----------------------|
| | 60°C (140°F) | 75°C (167°F) | 90°C (194°F) | 90°C (194°F) | |
| | Types TW, UF | Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW | Types TRS, SA, SIS, FEP, FEPP, MI, RHH, RHW, 2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE, 2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 | Types TRS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 | |
| | COPPER | | | | |
| 18 | — | — | 14 | — | — |
| 16 | — | — | 18 | — | — |
| 14* | 20 | 20 | 25 | 20 | 25 |
| 12* | 25 | 25 | 30 | 25 | 35 |
| 10* | 30 | 35 | 40 | 30 | 45 |
| 8 | 40 | 50 | 55 | 40 | 55 |
| | ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM | | | | |
| 6 | 55 | 65 | 75 | 40 | 60 |
| 4 | 70 | 85 | 95 | 55 | 75 |
| 3 | 85 | 100 | 110 | 75 | 85 |
| 2 | 95 | 115 | 130 | 90 | 100 |
| 1 | 110 | 130 | 150 | 100 | 115 |
| | COPPER | | | | |
| 1/0 | 125 | 150 | 170 | 100 | 135 |
| 2/0 | 145 | 175 | 195 | 115 | 150 |
| 3/0 | 165 | 200 | 225 | 130 | 175 |
| 4/0 | 195 | 230 | 260 | 150 | 205 |
| | ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM | | | | |
| 250 | 215 | 255 | 290 | 170 | 230 |
| 300 | 240 | 285 | 320 | 190 | 255 |
| 350 | 260 | 310 | 350 | 210 | 280 |
| 400 | 280 | 335 | 380 | 225 | 305 |
| 500 | 320 | 380 | 430 | 260 | 350 |

Fuente: Código Nacional de Electricidad, NEC 2005 (Nacional Electrical Code 2005), Edición 10, tabla 310.16, página 297.

Figura 69. Diagrama unifilar para el problema 1.



Fuente: Código Nacional de Electricidad, NEC 2005 (National Electrical Code 2005), Edición 10, figura 430.8, página 559.

Basado en la sección 430.6 (A) ¹ y en la tabla V, la corriente de plena carga del motor de 15 Hp es 42 Amperios.

Tabla V. Corriente de plena carga para motores de inducción trifásicos.

| Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes) | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Horsepower | 115 Volts | 200 Volts | 208 Volts | 230 Volts | 460 Volts | 575 Volts | 2300 Volts |
| ½ | 4.4 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 1.1 | 0.9 | — |
| ¾ | 6.4 | 3.7 | 3.5 | 3.2 | 1.6 | 1.3 | — |
| 1 | 8.4 | 4.8 | 4.6 | 4.2 | 2.1 | 1.7 | — |
| 1½ | 12.0 | 6.9 | 6.6 | 6.0 | 3.0 | 2.4 | — |
| 2 | 13.6 | 7.8 | 7.5 | 6.8 | 3.4 | 2.7 | — |
| 3 | — | 11.0 | 10.6 | 9.6 | 4.8 | 3.9 | — |
| 5 | — | 17.5 | 16.7 | 15.2 | 7.6 | 6.1 | — |
| 7½ | — | 25.3 | 24.2 | 22 | 11 | 9 | — |
| 10 | — | 32.2 | 30.8 | 28 | 14 | 11 | — |
| 15 | — | 48.3 | 46.2 | 42 | 21 | 17 | — |
| 20 | — | 62.1 | 59.4 | 54 | 27 | 22 | — |
| 25 | — | 78.2 | 74.8 | 68 | 34 | 27 | — |
| 30 | — | 92 | 88 | 80 | 40 | 32 | — |
| 40 | — | 120 | 114 | 104 | 52 | 41 | — |

Fuente: Código Nacional de Electricidad, NEC 2005 (National Electrical Code 2005), Edición 10, tabla 430.250, página 593.

Con base en la sección 430.52 (C) (1)¹ los valores de los dispositivos de protección para el ramal, corto circuito y falla a tierra no pueden exceder los valores especificados en la tabla VI.

Tenemos entonces:

Valor máximo de amperaje del fusible (delay-time): $42 \text{ A.} * 1.75 = 73.5 \text{ Amperios.}$

Valor máximo del interruptor de tiempo inverso: $42 \text{ A.} * 2.50 = 105 \text{ Amperios.}$

Tabla VI. Máximos valores de dispositivos de protección contra corto circuito y falla a tierra para circuitos ramales de motores.

| Type of Motor | Percentage of Full-Load Current | | | |
|---|---------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------------|
| | Nontime Delay Fuse ¹ | Dual Element (Time-Delay) Fuse ¹ | Instantaneous Trip Breaker | Inverse Time Breaker ² |
| Single-phase motors | 300 | 175 | 800 | 250 |
| AC polyphase motors other than wound-rotor Squirrel cage — other than Design B energy-efficient | 300 | 175 | 800 | 250 |
| Design B energy-efficient | 300 | 175 | 1100 | 250 |
| Synchronous ³ | 300 | 175 | 800 | 250 |
| Wound rotor | 150 | 150 | 800 | 150 |
| Direct current (constant voltage) | 150 | 150 | 250 | 150 |

Fuente: Código Nacional de Electricidad, NEC 2005 (National Electrical Code 2005), tabla 430.52, Edición 10, página 566.

La sección 430.52 (C) (1)¹, excepción 1, permite el uso del tamaño estándar superior que sería en este caso 80 y 110 Amperios respectivamente, la excepción 2 nos permite usar un tamaño próximo mayor si los anteriores afectan el arranque de la máquina.

De acuerdo con la sección 430.32¹, el dispositivo de protección contra sobrecarga será fijado a un valor no mayor del 125 % del valor de la corriente de plena carga en la placa del motor, un valor más alto del dispositivo contra sobrecarga puede ser fijado a 140 %, pero tomando en consideración las reglas dadas en la sección 430.32 (C)¹.

Ejemplo 2: Determine la ampacidad del conductor de calibre mínimo requerido, la protección de los motores contra sobrecarga, la protección del ramal contra cortocircuito y falla a tierra y la protección del alimentador para 3 motores tipo inducción de 480 voltios, 3 fases.

Descripción de los motores:

- a) Un motor de 25 Hp, 460 voltios, 3 fases, jaula de ardilla, corriente nominal de plena carga 32 amperios, diseño NEMA B, factor de servicio 1.15.
- b) Dos motores de 30 Hp, 460 voltios, 3 fases, rotor devanado, corriente primaria de plena carga 38 amperios, corriente secundaria de plena carga 65 amperios, la temperatura se eleva a 40 °C.

AMPACIDAD DEL CONDUCTOR:

El valor de corriente de plena carga usado para determinar la mínima ampacidad de conductor requerida es obtenido de la tabla V con base en la sección 430.6 (A)¹, para el motor jaula de ardilla y el primario del motor de rotor devanado. De acuerdo a las secciones 430.22¹ y 430.23 (A)¹ para obtener la mínima ampacidad de conductor requerida la corriente de plena carga es multiplicada por 1.25.

Para el motor de 25 Hp tenemos: $34 \text{ A.} * 1.25 = 42.5 \text{ Amperios.}$

Para los motores de 30 Hp tenemos: $40 \text{ A.} * 1.25 = 50 \text{ Amperios.}$

$65 \text{ A} * 1.25 = 81.25 \text{ Amperios.}$

PROTECCIÓN DEL MOTOR CONTRA SOBRECARGA:

Es requerido que los motores tengan un dispositivo por separado de protección contra sobrecargas, fijado a un valor no mayor del 125% de la corriente nominal de plena carga, según las secciones 430.6(A)¹ y 430.32 (A) (1)¹, tenemos entonces:

Motor de 25 Hp: $32 \text{ Amperios} * 1.25 = 40 \text{ Amperios}$

Motores de 30 Hp: $38 \text{ Amperios} * 1.25 = 47.5 \text{ Amperios.}$

Cuando la protección contra la sobrecarga es individual y es por medio de un relé de sobrecarga (no un fusible o interruptor termo-magnético) y el dispositivo contra

sobrecarga seleccionado al 125 % no es suficiente para arrancar el motor o transportar la carga, el ajuste de picos es permitido, es decir incrementar el valor del dispositivo de protección de acuerdo con la sección 430.32 (C)¹, de la siguiente forma:

Motores con factor de servicio 1.15 o mayor: 140%

Motores con una elevación de temperatura de 40 °C o menor: 140%

Otros motores: 130%

PROTECCIÓN CONTRA CORTO CIRCUITO Y FALLA A TIERRA DE CIRCUITOS RAMALES.

La selección del valor del dispositivo de protección, depende del tipo de dispositivo de protección aplicable al caso, en concordancia con la sección 430.52¹ y a la tabla VI se selecciona el dispositivo de protección para el motor de 15 Hp.

- a) Fusible Nontime-delay: Para este tipo de fusible su valor es de 300% del valor de la corriente de plena carga según la tabla 5 esto es: $34 \text{ Amperios} * 3.00 = 102 \text{ Amperios}$, el siguiente valor estándar del fusible comercialmente es 110 Amperios, ver secciones 240.6¹ y 430.52 (C) (1)¹, excepción No 1.
- b) Fusible Time-delay: El valor de este dispositivo es 175% del valor de la corriente de plena carga según la tabla VI lo cual da: $34 \text{ Amperios} * 1.75 = 59.5 \text{ Amperios}$, el tamaño próximo estándar es 60 Amperios, si el motor no arranca con este dispositivo es permitido que este valor sea incrementado a

70 Amperios ya que este valor no excede el 225% del valor de la corriente de plena carga, de acuerdo a las secciones 430.52 (C) (1)¹ excepción No. 2b.

PROTECCIÓN EN EL ALIMENTADOR CONTRA CORTO CIRCUITO Y FALLA A TIERRA.

El valor del dispositivo de protección del alimentador esta basado en la suma del valor más alto del dispositivo para protección del ramal (en este caso 110 A.) y las corrientes de plena carga de los restantes motores, tenemos entonces:

$$110 \text{ Amperios} + 40 \text{ Amperios} + 40 \text{ Amperios} = 190 \text{ Amperios.}$$

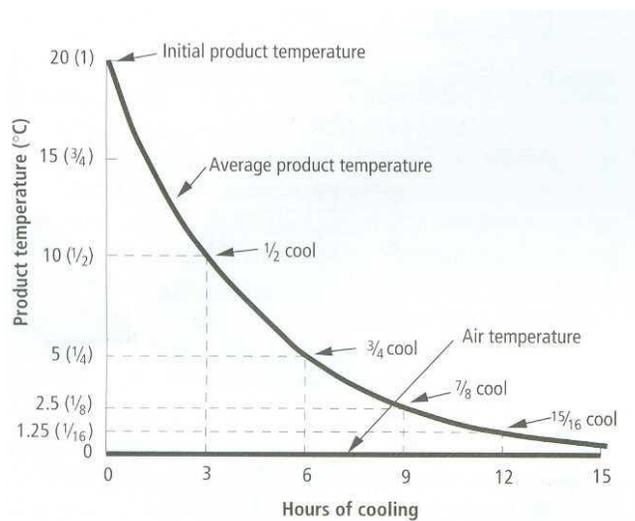
El valor más próximo de fusible estándar que no excede este valor es de 175 amperios, con base en las secciones 240.6¹ y 430.62 (A)¹.

¹ Código Nacional de Electricidad, NEC 2005 (National Electrical Code 2005). Edición 10.

5. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO.

La temperatura promedio del producto durante el enfriamiento sigue un patrón, mostrado en la figura 70 (este mismo patrón es seguido por productos en un hydrocooler). Los números entre paréntesis indican la fracción obtenida por división de la diferencia entre la temperatura del producto y la temperatura del aire en el enfriamiento por la diferencia entre la temperatura inicial del producto y la temperatura del aire. La proporción de temperatura de descenso está relacionada a la diferencia de temperatura entre el producto y el aire frío.

Figura 70. Típico modelo de temperatura en enfriamiento de producto.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 10.

El descenso de temperatura del producto por hora es rápido en el comienzo del enfriamiento y lento cuando el producto se acerca a la temperatura final. Este proceso a menudo es aproximado al concepto de tiempo medio de enfriamiento, el tiempo requerido para que la temperatura de descenso del producto esté entre los valores de la temperatura inicial del producto y la temperatura del aire frío.

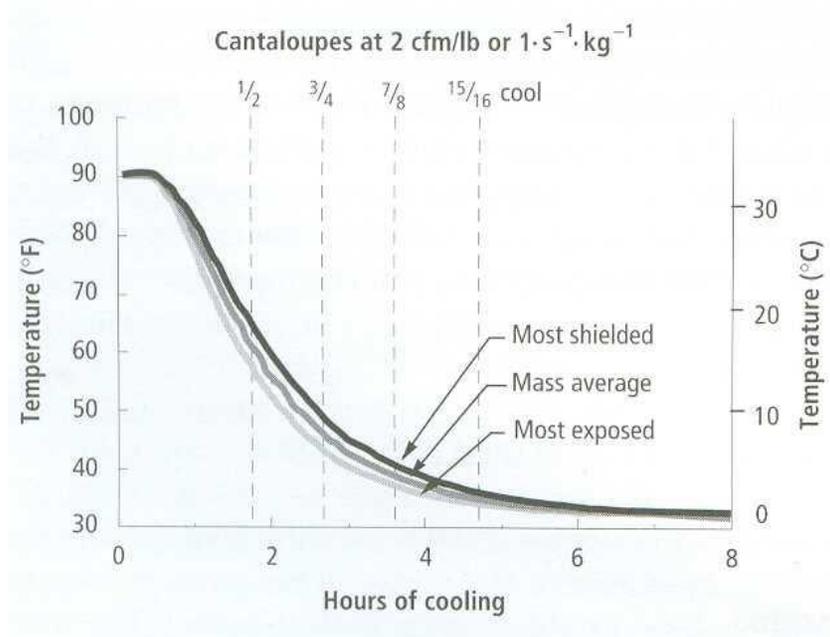
En la figura 70, el producto es enfriado desde 20 °C a 10 °C en el primer medio período de enfriamiento, durante el siguiente medio período de enfriamiento, igual en tiempo al primero, el producto también pierde la mitad de la diferencia entre la temperatura del producto al comienzo del enfriamiento menos la temperatura del aire frío, porque la diferencia de temperatura en el comienzo del segundo período es la mitad de la diferencia de temperatura al comienzo del primer medio período de enfriamiento.

El descenso de temperatura durante el segundo medio período de enfriamiento es la mitad como mucho, sólo 5 °C. La mayoría de los productos son dejados en el enfriador por 3 medios períodos de enfriamiento $7/8$ ó 4 medios períodos de enfriamiento, período $15/16$. Este modelo de enfriamiento demuestra la necesidad de monitorear el aire frío cerca de la temperatura fijada, especialmente cerca del fin del período de enfriamiento. Si la temperatura del aire refrigerado sube algunos grados en el tercer o cuarto períodos medios de enfriamiento, podrá casi detenerse el enfriamiento.

Los enfriadores de túnel serán construidos como cuartos individuales o divididos en secciones para que el producto entrante no afecte la temperatura del aire cerca de los lotes que están siendo enfriados. Las figuras 71 y 72 son representaciones más precisas de modelos de enfriamiento de producto, la longitud de los medios períodos de enfriamiento no son exactamente iguales, aunque asumiendo períodos iguales se tiene

una buena aproximación, las figuras también muestran que los productos cercanos al suplemento de aire para enfriar toman menor tiempo de enfriamiento.

Figura 71. Temperatura del producto en un enfriador por aire forzado, paletas de melón Cantaloupe en sus respectivas cajas.

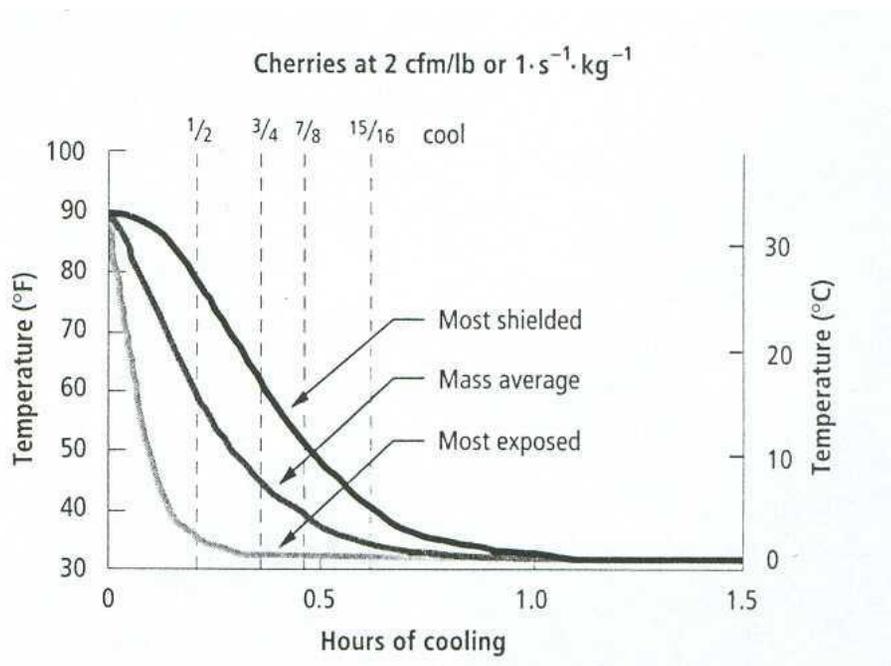


Fuente: UC, Comercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 10.

Para productos de diámetro grande como los melones cantaloupe la diferencia entre el rápido y lento enfriamiento del producto no es grande. El tiempo requerido para que el calor sea removido desde el centro de un melón es casi el mismo que el requerido para que el calor sea removido desde los melones que reciben el aire de enfriamiento

último. Para productos de pequeños diámetros como las cerezas, sin embargo la diferencia entre los tiempos de enfriamiento para el rápido y lento enfriamiento del producto es grande.

Figura 72. Temperatura del producto en un enfriador de aire forzado, paletas de cerezas en sus respectivas cajas.



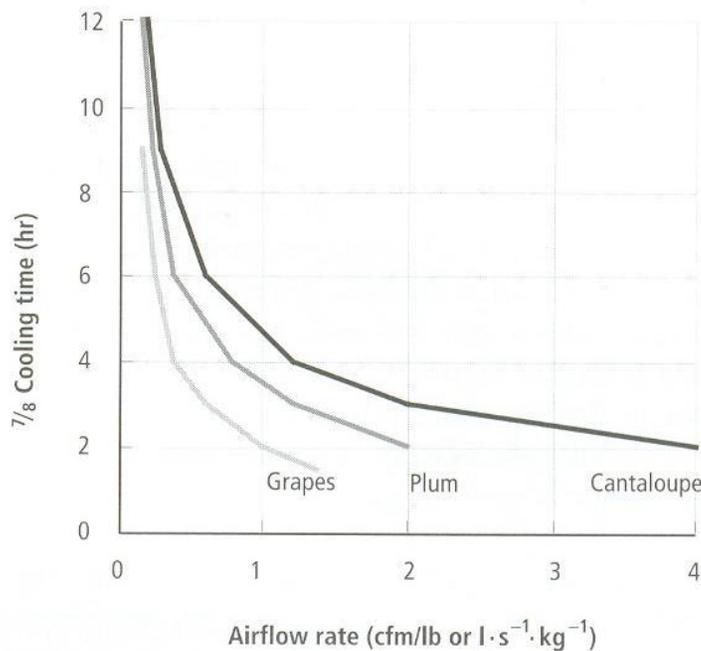
Fuente: UC, Comercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 10.

Un operador del enfriador por aire forzado puede asegurarse que una carga no sea removida del enfriador mientras el producto tibio no ha alcanzado la temperatura adecuada. El tiempo total de enfriamiento depende del flujo de aire y del diámetro del producto. La figura 73 muestra que un diámetro grande toma considerablemente más tiempo para enfriar que un diámetro pequeño de fruta. Un melón cantaloupe de 15 cm

(6 pulgadas) de diámetro toma 2 veces más tiempo de enfriamiento que una cereza de 1.3 cm (0.5 pulgadas), esto puede verse al comparar el tiempo de enfriamiento entre las figuras 71 y 72.

La figura 73 también muestra que incrementando el flujo de aire, medido en volumen de aire por tiempo dividido entre la masa del producto, se reduce el tiempo de enfriamiento.

Figura 73. Efectos del diámetro del producto y el caudal de flujo de aire en los tiempos de enfriamiento.



Fuente: UC, Comercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 11.

Los enfriadores son muchas veces diseñados para proveer un flujo de aire cerca de **1 litro/seg/kg (1 cfm/lb)**, proporciona rápido enfriamiento y requiere un razonable tamaño de ventilador. Duplicando el flujo de aire a **2 litros/seg/kg (2 cfm/lb)** se reduce el tiempo de enfriamiento cerca del 40%. Al duplicar el flujo de aire se requiere que el ventilador proporcione cerca de cuatro veces más presión y requerirá de un motor con 6 o 7 veces más potencia.

Reduciendo el flujo de aire por la mitad se incrementa el tiempo de enfriamiento entre 50% a 75%, el tamaño del motor es reducido y el costo de energía también. La desventaja del enfriamiento lento es que necesita de más área fría para manejar un equivalente diario de enfriamiento necesario, levemente se incrementa la pérdida de humedad en el producto.

Algunas plantas de empaque permiten al aire rodear el producto y son comúnmente enfriados con flujo de aire arriba de 2 L/seg/kg (2 cfm/lb) para tener un tiempo aceptable de enfriamiento. Estas plantas de empaque generalmente requieren de bajas diferencias de presión para producir altos flujos de aire.

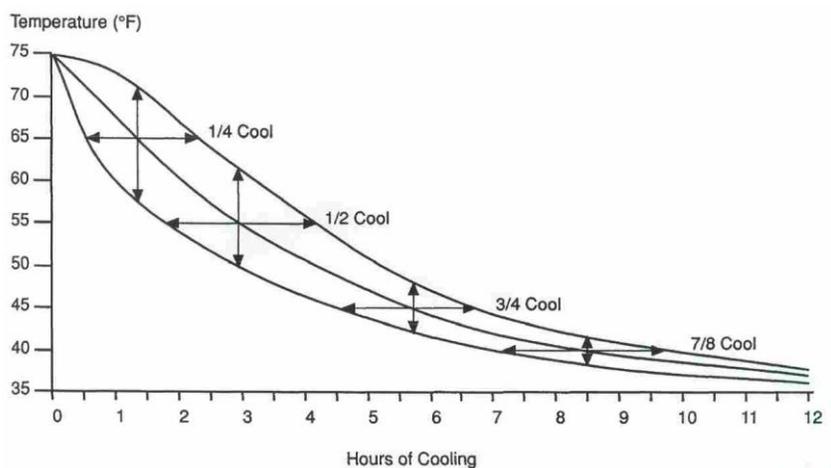
5.1 Prácticas de manejo del producto

Como con cualquier buen sistema de manipulación, las prácticas de manejo pueden hacer del empaque fácilmente exitoso o inefectivo, en las primeras etapas del manejo del producto, la temperatura es el mejor indicador de la futura calidad del producto y el crecimiento de beneficios.

El producto cosechado temprano por las mañanas tendría baja temperatura y por lo tanto baja cantidad de calor para remover, pequeñas cantidades de calor ambiental resultan en bajo consumo de energía para pre-enfriamiento, podemos alcanzar en forma rápida temperaturas óptimas de almacenamiento y transporte. Se recomienda monitorear la temperatura del producto en esta etapa del proceso (pre-enfriamiento), haciendo eficiente el uso del equipo.

La figura 74 muestra como la temperatura del producto cambia durante el pre-enfriamiento con aire forzado desde 75 °F a 35 °F usando una temperatura ambiente de 35 °F, el producto enfría a diferentes proporciones, dependiendo de la localización de éste, el contenedor usado y el estibado de los contenedores. El producto localizado hacia el exterior en el contenedor está más expuesto al aire frío, se enfría rápido (línea inferior de la figura 74).

Figura 74. Modelo de enfriamiento del producto con aire forzado a 35 °F.



Fuente: Pre-cooling produce, fruits and vegetables, cooperative extension service, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Página 6.

El producto en el centro del contenedor está protegido o escudado del aire frío, enfría despacio (línea superior de la figura 74). El producto expuesto al aire frío está a $\frac{1}{4}$ de su enfriamiento (65 °F) después de 30 minutos, mientras el producto protegido no alcanzaría esta etapa de enfriamiento antes de 2 horas.

5.2 Períodos medios de enfriamiento (7/8)

Todas las frutas y vegetales, primero son enfriados rápidamente y más lentamente en tiempo adicional. Los factores que afectan la proporción de enfriamiento por aire forzado incluyen:

- Densidad del producto en los contenedores, en los menos densos el enfriamiento es más rápido.
- Tipo de contenedor, orientación y características del perforado. Si el aire pasa uniformemente y constantemente por el producto, el enfriamiento es más rápido.
- Relación de volumen a área superficial del producto; si esta relación es baja el enfriamiento es más rápido.
- Distancia que viaja el aire, al acortar la distancia, el enfriamiento de las paletas completas es rápido.
- Capacidad de flujo de aire, alto flujo de aire disminuye el tiempo de enfriamiento.

La humedad relativa del aire de enfriamiento tendría pequeño efecto sobre la pérdida de humedad, si ésta es superior al 85% y el período de enfriamiento es inferior al intervalo de 1 a 2 horas.

Sin centrar la atención en la temperatura del aire de enfriamiento o de la temperatura a la cual inicia el enfriamiento del producto, la forma de la curva de enfriamiento permanece igual, condicionando todos los otros factores citados anteriormente todos ellos son constantes y el único factor variable será la proporción de enfriamiento.

El tiempo de enfriamiento **7/8** es un período estándar industrial que describe *el tiempo para remover el 87.5 % de la diferencia de temperatura entre la temperatura de inicio del producto y la temperatura del medio de enfriamiento* (aire refrigerado, en el caso de enfriamiento por aire forzado). Este es un método conveniente de indicación cuando el producto ha venido tan cerca en forma práctica de la temperatura del medio refrigerante. El enfriamiento por aire forzado debe iniciar cuanto antes en la práctica, después de la cosecha preferiblemente dentro del rango de 1 hora.

No debe dejarse acumulado el producto antes de colocarse en el enfriador por alta humedad o humidificador evaporativo, de lo contrario pierde calidad y vida. El tiempo de enfriamiento 7/8 es medido desde el tiempo en que el producto es colocado primero en el enfriador por aire forzado.

5.2.1 Uso del tiempo de enfriamiento

Por ejemplo si los melocotones a 32 °C (89.6 °F) son enfriados usando aire a 0 °C (32 °F), alcanzan 4 °C (39.2 °F) en 9 horas, el tiempo de enfriamiento 7/8 es 9 horas, como lo muestra la figura 74, de 32 °C tiene un descenso a 28 °C (82.4 °F), esta es la diferencia de temperatura entre la temperatura del producto y la temperatura del aire, se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Diferencia de temperatura} = (7 * 32 \text{ }^\circ\text{C})/8$$

$$\text{Diferencia de temperatura} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla VII. Relaciones para el cálculo del tiempo de enfriamiento 7/8.

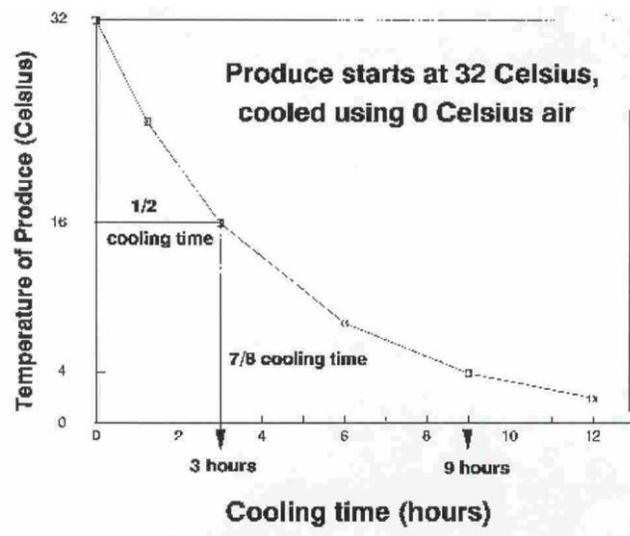
| Si se conoce la fracción del enfriamiento | Multiplicar por el factor para encontrar el tiempo 7/8 |
|---|--|
| 1/4 | 7.25 |
| 3/8 | 4.40 |
| 1/2 | 3.00 |
| 3/4 | 1.25 |

Fuente: H.W. Fraser. TUNNEL FORCED-AIR COOLERS FOR FRESH FRUIT AND VEGETABLES. Ministry of Agriculture and Food. Ontario, Canada. June 1998. Página 3.

Un aspecto muy importante en el uso del tiempo de enfriamiento 7/8, es que sólo puede utilizarse para temperaturas en grados Celsius. El tiempo de enfriamiento 7/8 teóricamente es tres veces tan largo como el tiempo de enfriamiento medio y los mismos melocotones que tomaron 9 horas para enfriar arriba de los 4 °C, figura 75, tomarán solo 3 horas para alcanzar 16 °C (60.8 °F) que es la temperatura del tiempo de enfriamiento medio, si todo lo demás permaneció igual. En la practica el tiempo de enfriamiento 7/8 es usualmente diferente a tres veces el tiempo de enfriamiento medio porque las condiciones raramente permanecen exactamente iguales durante el enfriamiento por aire forzado.

Puede usarse también para calcular el tiempo de enfriamiento $7/8$ las relaciones dadas en la tabla VII, multiplicando la fracción conocida en horas del tiempo de enfriamiento, por el factor dado para obtener el tiempo total de enfriamiento en horas.

Figura 75. Relación típica tiempo-temperatura para productos a ser enfriados.



Fuente: Tunnel Forced Air-Cooler for Fresh Fruit and Vegetables, Ministry of Agriculture and Food, Ontario. Página 5.

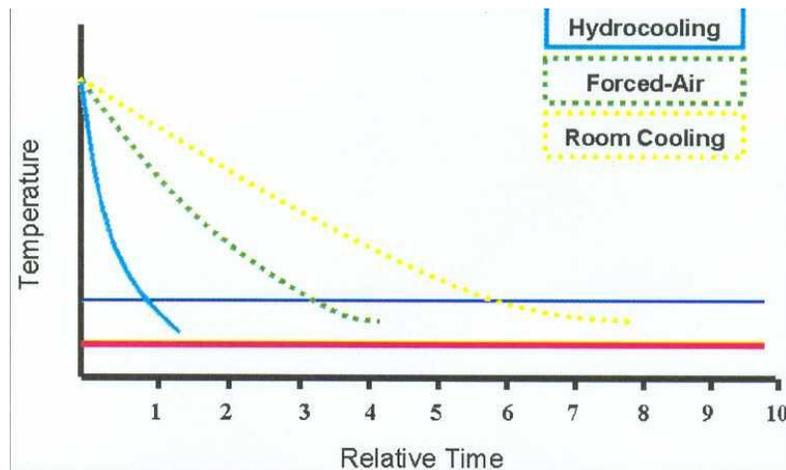
5.3 Enfriamiento rápido

La velocidad de enfriamiento del producto, la cual depende del tipo de producto y tamaño, capacidad de refrigeración tanto del sistema como del recinto y el flujo de aire sobre y alrededor del producto.

El enfriamiento por aire forzado incrementa el flujo de aire y además incrementa dramáticamente la proporción de enfriamiento comparada con la proporción de los cuartos fríos. Si hacemos una comparación, una paleta con fruta empacada colocada en un cuarto frío puede tardar hasta 24 horas en enfriarse a una temperatura adecuada, pero usando enfriamiento por aire forzado la misma paleta tardaría en llegar a dicha temperatura menos de 5 horas.

La figura 76 muestra la diferencia relativa en proporción de enfriamiento entre tres métodos para un mismo producto.

Figura 76. Comparación temperatura-tiempo relativo de enfriamiento de tres métodos



Fuente: South Australian Research And Development Institute Forced Air Cooling. Página 2.

5.4 Tendencia de enfriamiento

Por medio de la *Ley de Enfriamiento de Newton* se puede concebir un modelo aproximado de la tendencia que seguiría el producto con enfriamiento constante, hasta llegar a la temperatura deseada, esta aproximación indicará como se comporta la temperatura del producto a un determinado tiempo, tiene como base los datos de ingreso del producto, su temperatura, temperatura del medio o del equipo que está enfriando, como se muestra en la tabla VIII, los datos de salida se dan en la tabla IX y la representación gráfica en la figura 77, es necesario además tomar una lectura con termómetro manual en la fruta y el tiempo al cual se realizó la lectura después de haber colocado la fruta en el equipo. Este dato se transformara en una condición para el modelo matemático y así completar el desarrollo del mismo.

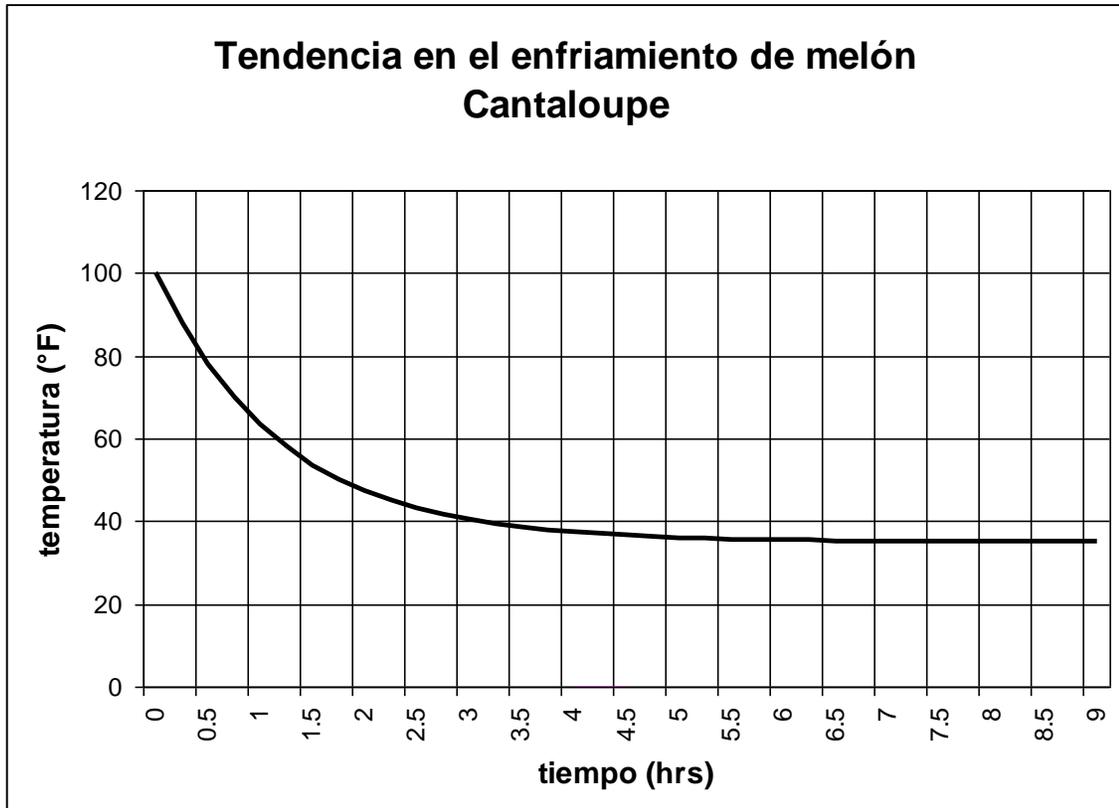
Tabla VIII. Tendencia de enfriamiento temperatura – tiempo.

| ANALISIS DE TENDENCIA DE ENFRIAMIENTO MELON CANTALOUPE. | | | |
|--|---------------------|---------------|-------------|
| Temperatura de ingreso (°F) | | 100 | |
| Temperatura final (°F) | | 35 | |
| Diferencia de temperaturas (°F) | | 65 | |
| Condiciones observadas: | | | |
| | Tiempo (min., hrs.) | 135 | 2,25 |
| | Temperatura (°F) | 45 | |
| Constante de proporcionalidad: | | -0,014 | |

Tabla IX. Matriz de resultados al aplicar el modelo de enfriamiento de Newton.

| TABLA DE TENDENCIA | | |
|--------------------|---------|-------------|
| t (hrs) | t (min) | temp. (°F) |
| 0 | 0 | 100 |
| 0.25 | 15 | 87.79461782 |
| 0.5 | 30 | 77.88110262 |
| 0.75 | 45 | 69.82909884 |
| 1 | 60 | 63.28906096 |
| 1.25 | 75 | 57.97707941 |
| 1.5 | 90 | 53.66255578 |
| 1.75 | 105 | 50.15819231 |
| 2 | 120 | 47.31186107 |
| 2.25 | 135 | 45 |
| 2.5 | 150 | 43.12224889 |
| 2.75 | 165 | 41.59709271 |
| 3 | 180 | 40.3583229 |
| 3.25 | 195 | 39.35216322 |
| 3.5 | 210 | 38.53493529 |
| 3.75 | 225 | 37.87116243 |
| 4 | 240 | 37.33202959 |
| 4.25 | 255 | 36.89413247 |
| 4.5 | 270 | 36.53846154 |
| 4.75 | 285 | 36.24957675 |
| 5 | 300 | 36.01493734 |
| 5.25 | 315 | 35.82435737 |
| 5.5 | 330 | 35.66956357 |
| 5.75 | 345 | 35.5438362 |
| 6 | 360 | 35.4417173 |
| 6.25 | 375 | 35.35877378 |
| 6.5 | 390 | 35.291405 |
| 6.75 | 405 | 35.23668639 |
| 7 | 420 | 35.19224258 |
| 7.25 | 435 | 35.15614421 |
| 7.5 | 450 | 35.12682421 |
| 7.75 | 465 | 35.10300978 |
| 8 | 480 | 35.08366711 |
| 8.25 | 495 | 35.06795651 |
| 8.5 | 510 | 35.05519597 |
| 8.75 | 525 | 35.04483154 |
| 9 | 540 | 35.03641329 |

Figura 77. Gráfica hecha con los puntos contenidos en la matriz de resultados.



6. EMPAQUE Y ESTIBA.

Contenedores para enfriamiento con aire forzado

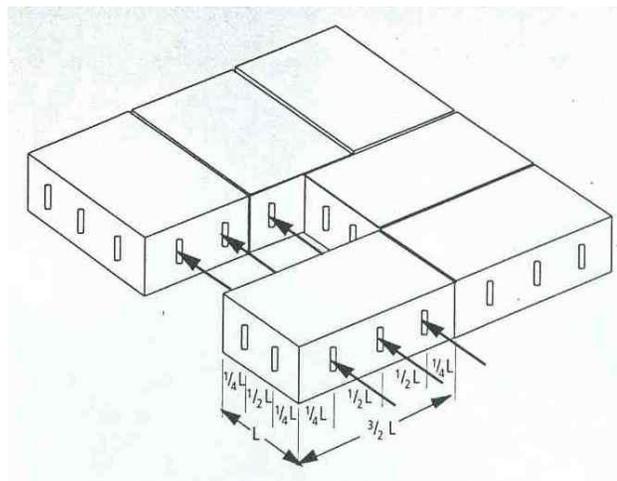
Los métodos de empaque y los contenedores pueden permitir un volumen satisfactorio de flujo de aire con una razonable diferencia de presión a través del estibado, las paletas en las cuales los espacios intermedios del producto son ocupados por material de empaque (papel prensado), restringen el flujo de aire y frenan el enfriamiento. Sin perforado, las películas plásticas de visores en las cajas impiden que el aire pase a través de las paletas causando un enfriamiento muy lento.

La fruta empacada en bandejas o canastas plásticas enfriará satisfactoriamente si los recipientes son diseñados para dejar pasar el aire en tapadera y fondo de cada contenedor. El área de los agujeros perforados en los contenedores debe ser igual a un mínimo del 5 % del área total lateral, los agujeros con área menor a esta restringen el flujo de aire causando aumento en el tiempo de enfriamiento y aumento en el costo de enfriamiento.

La mayoría de contenedores fabricados con cartón corrugado pueden tener un pocos más del 5% de área lateral de perforación sin que afecte la capacidad para estibarlos. Los contenedores perforados deben diseñarse de acuerdo a lo siguiente:

- Tamaño del orificio y forma, no deben permitir el bloqueo del agujero por el producto.
- Evitar agujeros redondos si la forma del producto permite que ellos sean fácilmente bloqueados.
- Use agujeros largos preferiblemente a agujeros pequeños.
- Los agujeros deben estar a una distancia de 4 a 7 centímetros (1.5 a 3 pulgadas) en todas las esquinas
- Los agujeros deben tener 1 centímetro (1/2 pulgada) mínimo de anchura.
- El área de perforado debe ser 5% del área lateral.
- Para el estibado cruzado use el arreglo de agujeros como se muestra en la figura 78.

Figura 78. Distancia y tipo de perforado para contenedores estibados es forma cruzada.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 13.

Si los recipientes tienen un divisor plástico o de otro material, o si el producto es empacado en bolsas, el sistema de empaque puede ser diseñado para permitir un pasaje de aire a través de los contenedores.

Perforado de cajas y bandejas

La correcta perforación del empaque es necesaria para llevar a cabo un rápido y uniforme enfriamiento del producto empacado en cajas, bandejas de cartón o plástico. Sin embargo se necesita que la resistencia del empaque sea tomada en consideración a la hora del estibado, las cajillas o bandejas abiertas pueden tener hasta un máximo del 15% de perforado.

Son preferibles pocos agujeros de tamaño grande a que la caja o cajilla de cartón posea una gran cantidad de agujeros pequeños, los agujeros redondos pueden ser fácilmente bloqueados no así los agujeros alargados con bordes redondos o agujeros alargados en forma rectangular. Las perforaciones son particularmente importantes principalmente en productos que son empacados densamente o tienen una baja razón de área superficial a volumen. Las máximas tasas de enfriamiento pueden ser alcanzadas al lograr que el flujo de aire sea lo más uniformemente posible dentro y fuera de los contenedores.

Tipos de estibado

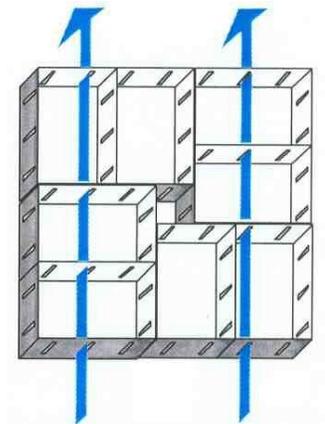
En la industria nacional de exportación de productos frescos como frutas y vegetales, comúnmente son usados dos tipos de arreglo de contenedores ya sea con cajas

de cartón o cajillas de cartón (bandejas), así como dos tipos de arreglo para el estibado en tarima de madera para formar las paletas.

6.3.1 Estibado cruzado de caja de cartón

El diseño de la caja y el estibado pueden ser considerados cuando se está operando el sistema de enfriamiento de alta humedad. El diseño del perforado que se muestra en la figura 79, permite al flujo de aire pasar continuamente desde uno de los lados de la paleta al otro. El aire pasa a través de todos los contenedores y a través del producto.

Figura 79. Estibado cruzado de cajas.

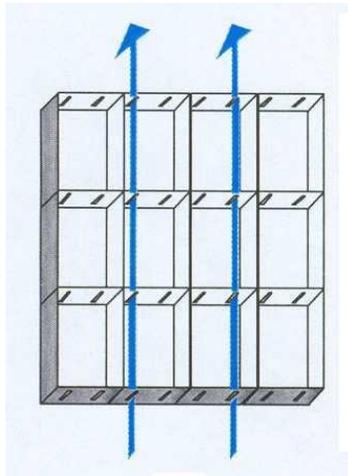


Fuente: South Australian Research And Development Institute, Forced Air Cooling. Página 8.

6.3.2 Estibado denso de caja de cartón

Un diseño de estibado denso o alineado es mostrado en la figura 80. Este sistema de estiba puede ser necesario donde el flujo de aire es sólo posible en una dirección, a través de las cajas o cuando los contenedores no pueden estibarse de forma cruzada sobre la tarima de madera. Ambos sistemas trabajan con contenedores con tapadera con tal que los agujeros laterales no sean obstruidos.

Figura 80. Estibado denso o alineado.

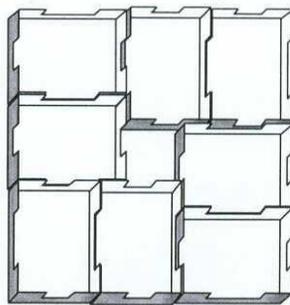


Fuente: South Australian Research And Development Institute, Forced Air Cooling. Página 8.

6.3.3 Estibado cruzado de cajilla o bandeja

Los espacios de aire en tapaderas abiertas de las cajillas o bandejas, permiten un buen flujo de aire a través de todo el producto. La figura 81 muestra como las bandejas pueden ser estibadas para facilitar el buen movimiento del aire alrededor del estibado.

Figura 81. Estibado cruzado de bandejas o cajillas.



Fuente: South Australian Research And Development Institute. Forced Air Cooling
Página 8.

Ancho de los contenedores estibados para enfriamiento con aire forzado

La anchura del producto estibado incrementa la distancia que el aire de enfriamiento debe recorrer a través del producto, esto usualmente incrementa la diferencia de temperatura entre el producto frío y el tibio hacia el final del enfriamiento. Sin embargo, si el flujo de aire es incrementado en un estibado ancho (1 L/kg/seg, 1cfm/lb) permanece la misma condición óptima, la diferencia de temperatura entre el

producto frío se acercará a la diferencia de temperaturas establecida para un estibado estrecho.

La presión estática requerida para mover aire se incrementa tanto como se incrementa la anchura del estibado. Los enfriadores para productos en contenedores son usualmente diseñados para que el flujo de aire pase a través de la parte ancha de una paleta (máxima anchura del producto estibado 1.2 m (4 pies)). Los contenedores a enviar son comúnmente estibados de 2 a 3 a lo ancho de una paleta, pero estibar una caja ancha permite gran volumen de flujo de aire para un rápido enfriamiento con baja presión estática y es usado algunas veces en enfriadores de tipo banda transportadora.

Corto-circuito del flujo de aire de enfriamiento

Este fenómeno se manifiesta cuando la mayor parte del flujo de aire retorna al humidificador por vías diferentes a lo que son las tarimas de producto, eligiendo un camino con menor resistencia, rodeando el producto sin chocar con el y por consiguiente incrementando el tiempo de enfriamiento, debido a diferentes circunstancias que se presentan en el estibado, formación de los túneles, construcción de tarimas, etc.

El corto-circuito del flujo de aire provoca mayor consumo de energía por parte del equipo y por consiguiente mayores costos de operación, el sistema de humidificador puede tolerar cierto porcentaje de flujo de aire en corto-circuito, es necesario la observación y análisis de este fenómeno ya que su control y posterior disminución contribuirá a hacer más eficiente el enfriamiento del humidificador.

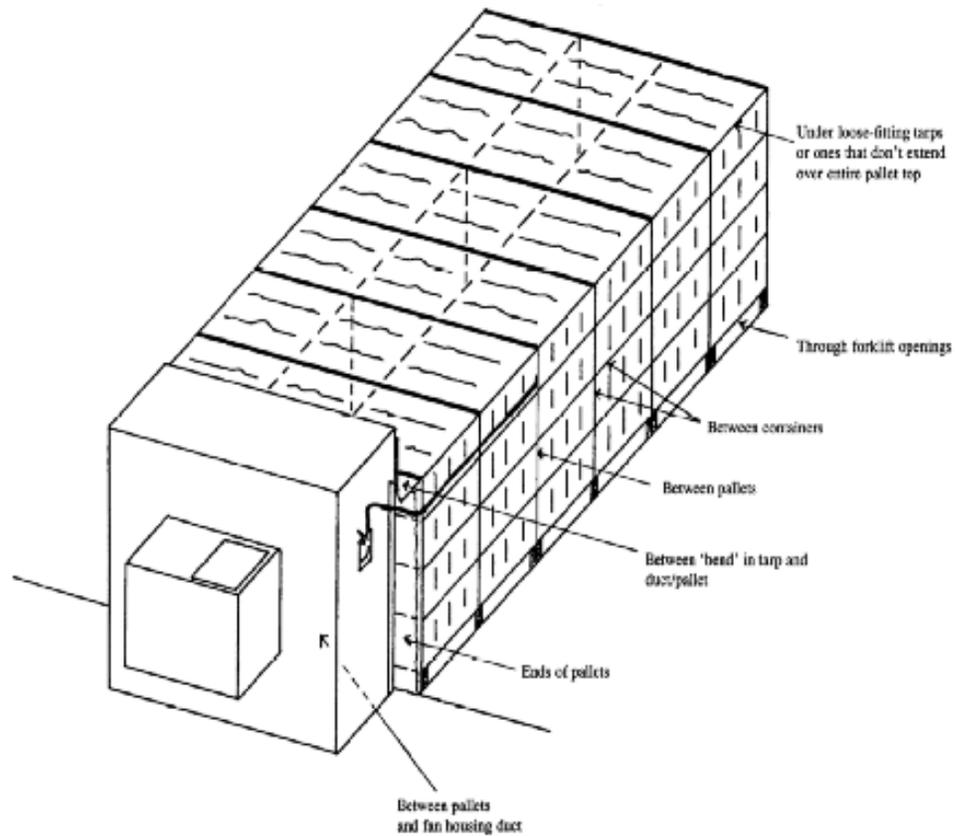
6.5.1 Prevención del corto-circuito del flujo de aire de enfriamiento

Uno de los más importantes requerimientos, pero más a menudo pasado por alto de un buen sistema de enfriamiento de alta humedad, es el método para impedir el corto-circuito del aire de enfriamiento. El aire siempre toma la trayectoria de menor resistencia, las pequeñas rajaduras o agujeros pueden ser tapadas, cierta cantidad de agujeros no afectarán tanto en la reducción de flujo de aire a través de la masa de producto, un buen diseño de estibado permitirá tener no más del 10% del aire de enfriamiento en corto-circuito, un mal diseño de estibado permitirá que el corto-circuito del aire de enfriamiento sea mucho mayor.

6.5.2 Puntos de Cortocircuito del Flujo de Aire.

Los puntos localizados de cortocircuito del aire de enfriamiento más comúnmente observados en el estibado en túneles de enfriamiento se indican en la figura 82, representa un humidificador con su correspondiente túnel armado.

Figura 82. Puntos localizados de corto-circuito del aire de enfriamiento.



Fuente: Tunnel Forced Air Cooler for Fresh Fruit and Vegetables. Ministry of Agriculture and Food, Ontario. Página 11.

Los puntos localizados de corto-circuito del aire en la figura 82 son los siguientes:

- Bajo la lona suelta, mal ajustada o que no ha sido extendida para cubrir completamente la parte superior de las paletas.
- A través de ranuras para montacargas de las tarimas.

- Entre contenedores, mal ajustados en lados y parte superior, debido a las dimensiones de las tarimas.
- Entre el dobléz de la lona con la pared del equipo y la parte superior de las paletas.
- En el dobléz de la lona contra las paletas, al final e inicio del túnel.
- Final de las paletas, colocadas contra la pared del equipo.
- Entre paletas y el ducto de la carcasa del ventilador.

7. DISEÑO DEL SISTEMA.

Selección del Ventilador

Los ventiladores son seleccionados en base al flujo de aire que pueden producir y la diferencia de presión estática entre la aspiración y la descarga del ventilador. Muchos enfriadores operan con flujo de aire de **0.5 a 2.0 L/seg/kg (0.5 a 2.0 cfm/lb)**. Cabe mencionar que flujos elevados permiten rápido enfriamiento pero causan un alto consumo de energía. El flujo total de aire es igual al peso del producto colocado en el enfriador multiplicado por el caudal pico de flujo de aire, el aire que rodea a las cajas y el aire que escapa.

Algunos diseños de cajas, tales como las cajas plásticas anidadas, permiten que pequeñas cantidades de aire de enfriamiento fluyan entre las cajas, esto se prefiere, el flujo de aire del ventilador debería ser incrementado tomando en cuenta lo anterior, por ejemplo para producir el mismo tiempo de enfriamiento, las uvas empacadas en cajas con fondos de madera con 2 centímetros (0.75 pulgadas) de espacio entre los separadores de hileras, requieren el doble de flujo de aire que las uvas empacadas en cajas sin separadores.

El aire puede escapar a través de las aberturas de las tarimas, espacios entre las paletas estibadas y lonas mal colocadas, estos escapes pueden ser del orden de menos del **10%** en sistemas bien operados y sobre **30%** en sistemas mal operados.

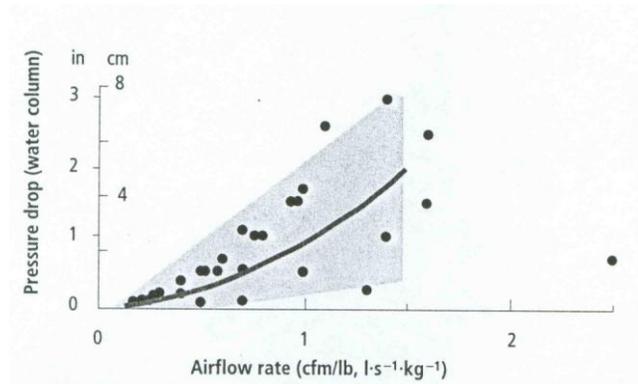
Los ventiladores de los sistemas de enfriamiento por aire forzado necesitan operar en un rango de flujos de aire, aunque el enfriador es especificado para operar a un único, el flujo total puede cambiar porque diferentes cantidades de producto están en el enfriador durante el día o diferentes productos pueden ser colocados en el enfriador durante la temporada. Algunos enfriadores también son diseñados para reducir el flujo de aire en el proceso cerca de su punto final, para acomodar el flujo de aire a un rango necesario, algunos enfriadores son operados con varios ventiladores en arreglos en forma paralela o en serie y algunas veces impulsados por motores de dos velocidades.

Una forma simple de obtener control sobre el flujo de aire es operar el motor del ventilador con un controlador de velocidad de frecuencia variable, así se puede producir un amplio rango de flujos de aire, esto debido a que es difícil predecir la presión estática a la que los ventiladores del equipo de enfriamiento por aire forzado deben operar, el descenso de presión a través de la paleta cargada con cajas para empaque es afectada por el área lateral perforada, número de perforaciones, alineación entre cajas próximas, número de cajas a través de las cuales el aire circula y alineación de los agujeros de la caja con los agujeros del material de empaque.

La figura 83 muestra un rango de flujos de aire y presión estática medidos para varios empaques, diseños de empaques comerciales empleados por *Thompson seedless grapes*. Para proveer **1 L/seg/kg (1 cfm/lb)** por paleta cargada de uvas, un ventilador puede necesitar operar desde los **6 mm (0.25 pulgadas)** de columna de agua a más de **5 cm (2 pulgadas)** de columna de agua. La baja presión de aire es necesaria para cajas con fondos de madera, eso permite que el aire fluya entre las cajas y rodee el producto, la alta presión es necesaria para cajas que son empacadas con separadores de cartón prensado u otro material interno de empaque que impida el flujo de aire.

La curva en la figura 83 representa el flujo de aire típico para productos casi esféricos empacados en cajas con 5% de perforado, sin material de empaque interior y sin rodear los canales de aire, el bajo descenso de presión es causado por cajas que permiten el flujo de aire entre ellas y rodean la fruta.

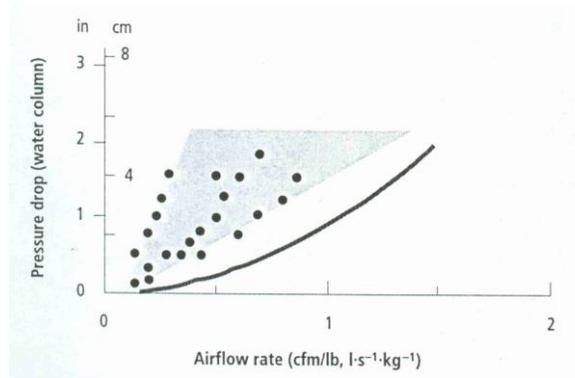
Figura 83. Descenso de presión contra flujo de aire a través de paletas (tarimas).



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 12.

Algunos productos requieren alta presión estática porque se empacan a menudo en cajas con baja área de perforado que están hechas de papel o cartón prensado u holgado como lo muestra la figura 84. Si los mismos ventiladores enfrían por ejemplo, peras y uvas, entonces el rango de presión debería ser extremadamente amplio, debido a esta incertidumbre un motor con velocidad variable es usado en la mayoría de los casos.

Figura 84. Descenso de presión contra flujo de aire a través de paletas (tarimas).



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 13.

El descenso total de presión a través del ventilador también incluye el descenso de presión a través del serpentín del evaporador y las resistencias en cualquier ducto, como una regla general, los ventiladores del sistema de enfriamiento de alta humedad deben ser seleccionados para proveer flujo de aire cerca de **5 centímetros (2 pulgadas)** de columna de agua, a menos que mediciones específicas indican que una baja presión es aceptable.

Los ventiladores de flujo axial (propela) y centrífugos (jaula de ardilla), ambos son usados para enfriadores por aire forzado. Los ventiladores de tipo axial son mejor situados en sistemas donde el ventilador opera cerca de 5 centímetros (2 pulgadas) de columna de agua. Los ventiladores centrífugos pueden ser seleccionados para operar con muchas más altas presiones y son generalmente más silenciosos que los de tipo axial.

El enfriamiento rápido generalmente requiere gran caudal de flujo de aire y alta presión estática esto tiene como consecuencia alto consumo de energía. La potencia requerida del ventilador esta relacionada con estos dos factores como lo muestran las ecuaciones 1 y 2.

Tenemos en unidades inglesas:

$$P_f = \frac{q * H * A_d}{e * 470} \quad (1)$$

Donde:

P_f = Potencia del ventilador (Hp).

q = Flujo de aire en pies cúbicos por minuto (cfm).

A_d = Densidad del aire (0.08 lb/pie³ a 32 °F).

H = Presión total (en pulgadas de columna de agua y a menudo aproximada a la presión estática a través del ventilador).

E = Eficiencia del ventilador (un ventilador seleccionado apropiadamente está en un rango de 0.4 a 0.7).

470 = Constante.

Para unidades en el sistema internacional:

$$P_f = \frac{q * p}{e * 100} \quad (2)$$

Donde:

P_f = Potencia del ventilador (kW).

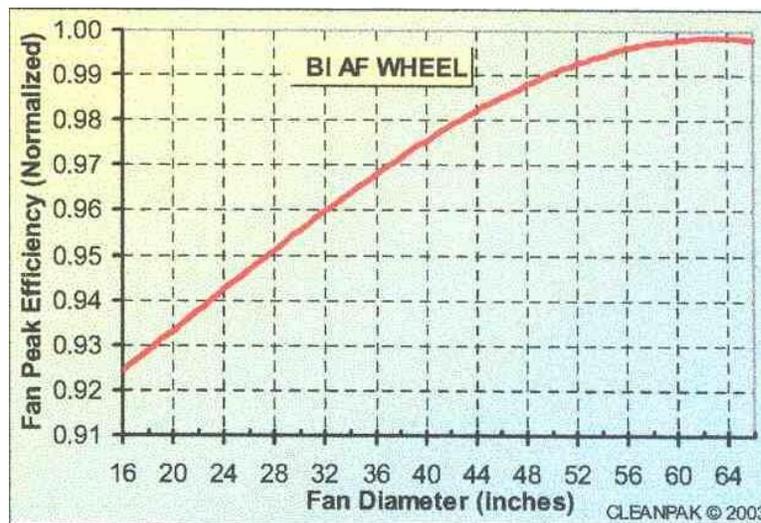
q = Flujo de aire (m³/seg).

p = presión total (en milímetros de columna de agua)

e = Eficiencia del ventilador (0.4 a 0.7).

La mayoría de fabricantes proporcionan gráficas de las cuales se puede obtener información, por ejemplo la figura 85 muestra una gráfica que contrasta el diámetro del ventilador con la eficiencia pico normalizada.

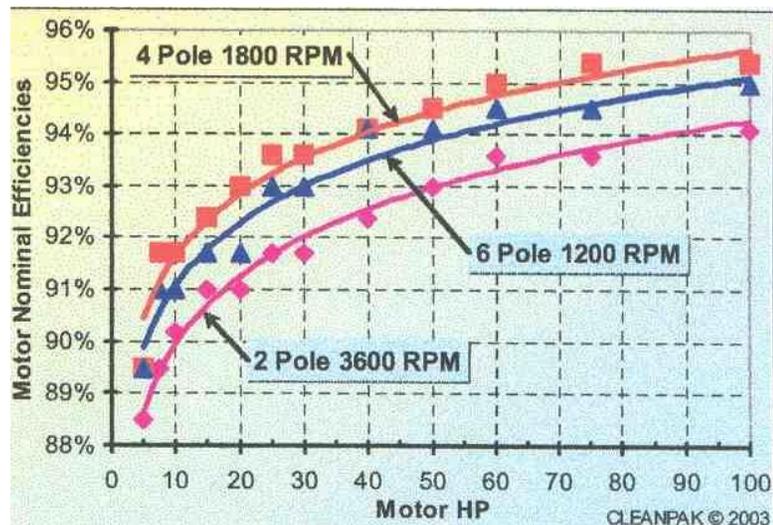
Figura 85. Diámetro del ventilador contra eficiencia pico.



Fuente: CLEANPAK Internacional, Technical Bulletin, Multi Redundant Plenum Fan. Página 1.

Puede encontrarse gráficas para comparar la potencia del ventilador, su número de polos así como sus revoluciones por minuto contra la eficiencia nominal, en la figura 86 se puede ver esta comparación para tres tipos de ventilador.

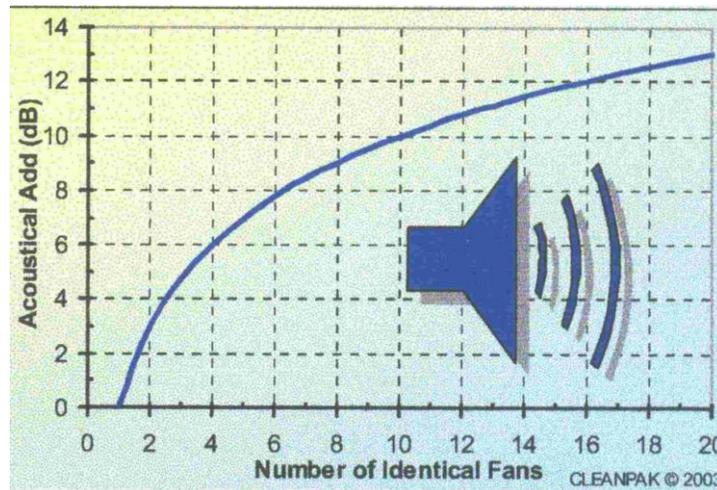
Figura 86. Eficiencia nominal contra potencia, considerando el número de polos del motor y las RPM.



Fuente: CLEANPAK Internacional, Technical Bulletin, Multi Redundant Plenum Fan. Página 1.

Uno de los aspectos más importantes en ambientes cerrados es el nivel de ruido, es necesario solicitar al fabricante para tener claro al diseñar nuestro sistema, la selección del ventilador que brinde un adecuado nivel de ruido para el espacio donde será ubicado el sistema, ya que la normativa internacional en materia de higiene industrial y salud ocupacional (OSHA) estima un rango máximo de nivel de ruido entre 85 dB a 90 dB, la figura 87 contrasta el nivel de ruido con el número de ventiladores en el sistema.

Figura 87. Nivel sonoro contra número de ventiladores.



Fuente: CLEANPAK Internacional, Technical Bulletin, Multi Redundant Plenum Fan. Página 2.

Puede considerarse como otro criterio de selección, utilizando **1 L/s/kg** de flujo de aire como parámetro estándar o regla general, ya que este flujo de aire es suficiente para el enfriamiento de la mayoría de productos.

El ventilador debe también ser capaz para ofrecer más flujo de aire, aunque exista una determinada cantidad de presión negativa, para productos empacados en contenedores con lados perforados y no empacados ajustadamente en cajas, un ventilador diseñado para ofrecer 1 L/seg/kg a **10 mm** de columna de agua, dará buenos resultados. Si el producto es empacado ajustadamente o existe un área mínima de perforado en los contenedores, se requerirá un ventilador con alta presión estática (**>15 mm de columna de agua**)

Para ilustrar este criterio podemos considerar seleccionar un ventilador para un flujo de aire de **1 L/s/kg, 10 a 15 mm de columna de agua** (dependiendo del producto y del empaque), para una carga de **3000 kg** de producto. Las especificaciones del ventilador requerido serán:

$$1 \text{ L/s/kg} * 3000 \text{ kg.} = 3000 \text{ L/sec} * \frac{2.11888 \text{ pie}^3 \text{ s}}{\text{L min}} = 6,356.64 \text{ pies}^3/\text{min (cfm)}.$$

Con una cabeza de presión de agua entre 10 y 15 mm de columna de agua.

Los fabricantes proporcionan datos respecto a sus ventiladores como la potencia del motor acoplado, cfm proporcionados por el ventilador y la presión estática generada, en las tablas X y XI, podemos ver un extracto de estas especificaciones.

Tabla X. Especificaciones para ventiladores centrífugos.

| Motor Eléctrico en kW (Hp) | flujo de aire aproximado, L/s (CFM) a la presión estática indicada | |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| | 12 mm (0.5 pulg.) | 25 mm (1 pulg.) |
| .37 (.5) | 1125 - 1225 (2400 - 2600) | |
| .75 (1) | 1700 - 2450 (3600 - 5200) | 1275 - 1500 (2700 - 4800) |
| 1.1 (1.5) | 2025 - 3075 (4300 - 6525) | 1650 - 2275 (3500 - 4800) |
| 1.5 (2) | 2175 - 3550 (4600 - 7525) | (1925 - 2825) (4100 -- 6000) |
| 2.25 (3) | 2500 - 4250 (5300 - 9000) | 2300 - 3575 (4900 -- 7600) |
| 3.75 (5) | 3250 - 5200 (6900 - 11000) | 3075 - 4750 (6500 - 10000) |

Fuente: Tunnel Forced-Air Cooler for Fresh Fruit and Vegetables, Ministry of Agriculture and Food, Ontario. Página 7.

Tabla XI. Especificaciones para ventiladores Axiales.

| diámetro de las hojas (pulgadas) | CFM y NIVEL SONORO Lw(A) Decibeles a la presión estática mostrada | | | | | | | | RPM | HP | Max. BHP |
|----------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|----------|
| | 1/4" | 3/8" | 1/2" | 5/8" | 3/4" | 1" | 1.5" | 1/8" | | | |
| 48 | 29915 | 20160 | 16880 | 12775 | | | | | 620 | 2 | 2.16 |
| | 86 | 86 | 86 | 87 | | | | | | | |
| | 26975 | 24605 | 22025 | 19050 | 15600 | 7710 | | | 709 | 3 | 3.3 |
| | 90 | 90 | 90 | 90 | 91 | 91 | | | | | |
| | 32565 | 30730 | 28755 | 26575 | 24215 | 21485 | | | 840 | 5 | 5.45 |
| | 95 | 90 | 94 | 94 | 95 | 95 | | | | | |
| | 37680 | 36125 | 34465 | 32710 | 30815 | 28835 | 24130 | | 960 | 7.5 | 8.19 |
| | 98 | 98 | 98 | 97 | 98 | 98 | 98 | | | | |
| | 41820 | 40430 | 38965 | 37425 | 35815 | 34090 | 30355 | 19000 | 1058 | 10 | 10.9 |
| 101 | 101 | 101 | 101 | 101 | 101 | 101 | 102 | | | | |

Fuente: GRAINGER, General Catalogue No. 377. Página 1660.

Dimensiones de los canales de aire

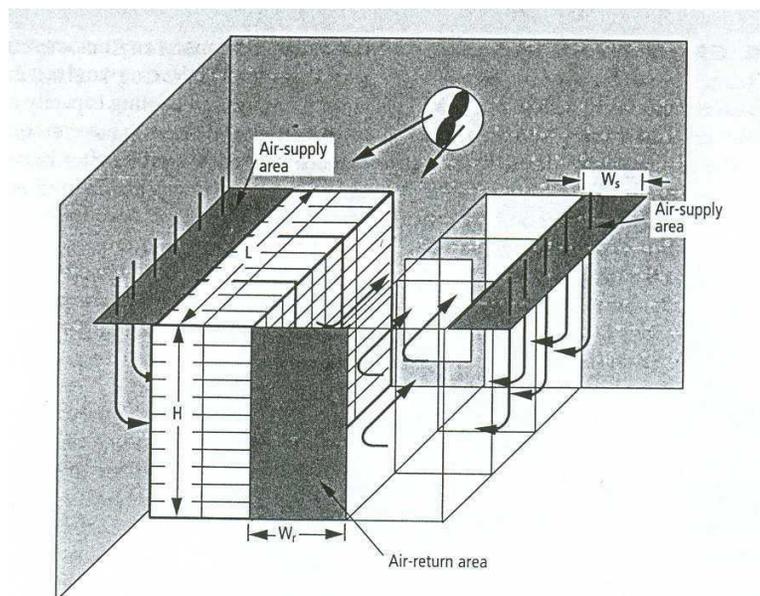
Los canales estrechos de suplemento del aire y retorno del aire en túneles de enfriamiento, causan irregular enfriamiento y pérdida de presión a través de las paletas

Los canales deben ser de un ancho suficiente para que la velocidad del aire no sea menor de **7.5 m/s (1500 fpm)**. Un canal estrecho de suplemento de aire causará que las cajas cargadas en el fondo de la paleta se enfríen más despacio que las cajas superiores y un canal estrecho de retorno de aire, causa que las paletas mas lejanas del ventilador de succión se enfríen más despacio que las paletas cerca del ventilador.

Junto a la medición de variación de temperatura, otro método para determinar el sub-dimensionamiento de los canales de aire es medir la pérdida de presión a través de las paletas para varias alturas, tomando paletas individuales para esta medición así como diferentes distancias respecto del ventilador. Si en las mediciones resultara una gran diferencia en la pérdida de presión esto será un indicativo de que existen diferencias en el flujo de aire a través de las paletas.

Las ecuaciones 3 y 4 pueden ser usadas para calcular el ancho del canal de aire de suplemento y el ancho del canal de aire de retorno, como lo muestra la figura 88. Haciendo notar que la distancia mínima entre paletas cargadas que esperan para ser enfriadas y las que están en posición de enfriamiento es dos veces la anchura del canal de suministro de aire ($2W_s$).

Figura 88. Dimensiones en los canales de aire.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 15.

$$W_s = \frac{Q}{2 * L * S} \quad (3)$$

$$W_r = \frac{Q}{H * S} \quad (4)$$

Donde:

Q = Caudal de aire del ventilador (cfm o m³/s).

L = Longitud total de todas las paletas colocadas en el enfriador (pies o metros)

W_s = Ancho del canal del canal de suplemento de aire (pies o metros).

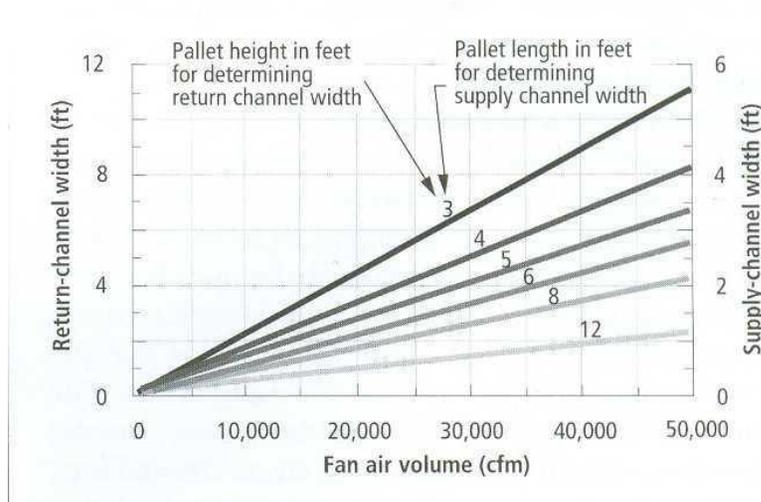
H = Altura de las paletas colocadas en el enfriador (pies o metros).

W_r = Ancho del canal de aire de retorno (pies o metros).

S = velocidad máxima del aire (1500 fpm o 7.5 m/s).

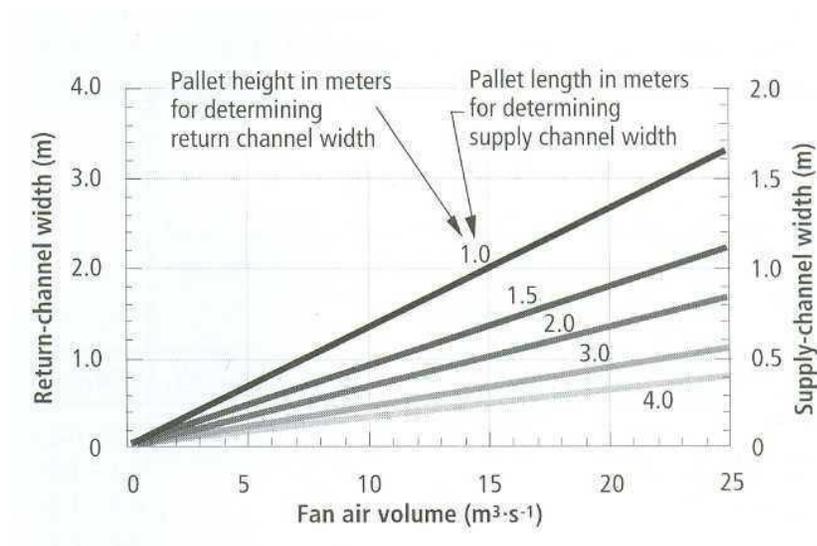
Las dimensiones de los canales de aire también pueden ser determinadas utilizando las graficas que comprenden la figura 89 y la figura 90, en las cuales se contrasta las dimensiones de los canales de aire con el caudal del ventilador para unidades en el SI y en el sistema inglés.

Figura 89. Dimensiones de los canales de aire en el sistema inglés.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 15.

Figura 90. Dimensiones de los canales de aire en el SI.



Fuente: UC, Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Forced Air Cooling. Página 15.

Para maximizar la eficiencia del enfriamiento por aire forzado, el flujo de aire debe ser uniforme a lo largo de todo el sistema. Si el flujo de aire no es uniforme los tiempos de enfriamiento pueden ser significativamente diferentes entre paletas, entre la parte alta y el fondo de las paletas. Para evitar el enfriamiento sin uniformidad los canales de aire de suplemento y aire de retorno deben tener una adecuada anchura.

Las ecuaciones que se presentan a continuación son diferentes de las anteriores, pero los resultados obtenidos con ellas son cercanos, pueden tomarse como otro procedimiento de cálculo para determinar la óptima anchura de los canales de aire, la figura 91 muestra la ubicación de los parámetros a medir. Para productos con cargas hasta de **5000 kg. (11023.11 lbs)**, se fija el ancho del canal de aire de retorno igual al diámetro del ventilador (ventilador axial tipo paletas o hélice), dejando **30 cm** para el canal de suplemento de aire, esto será suficiente para proveer un flujo de aire uniforme entre paletas.

Para cargas mayores los valores deben ser calculados para asegurar un máximo de eficiencia. En las ecuaciones 5 y 6 es prudente usar valores pico de carga de la temporada así como un flujo de aire de **1 L/s por cada 1 kg de carga.**

$$W_s = \frac{F_{as}}{PL * 15000} \quad (5)$$

$$W_r = \frac{F_{as}}{PH * 7500} \quad (6)$$

Donde:

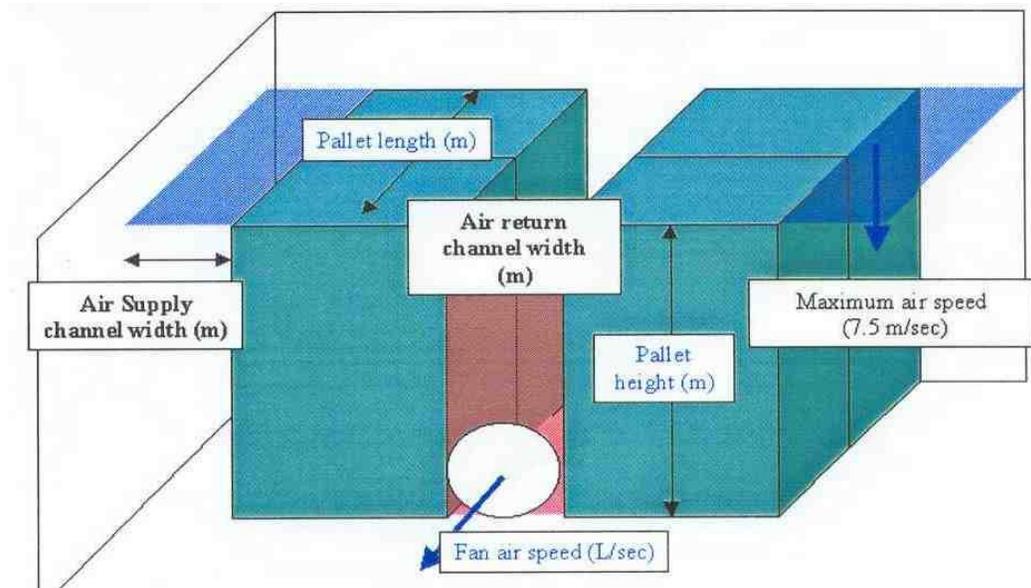
W_s = Ancho del canal de aire de suplemento (m).

F_{as} = Caudal del ventilador (L/s).

PL = Longitud de las paletas agrupadas (m).

PH = Altura de las paletas agrupadas (m).

Figura 91. Ubicación de los parámetros a medir para el cálculo de las dimensiones de los canales de aire.



Fuente: South Australian Research And Development Institute, Forced Air Cooling. Página 6.

7.2.1 10 pasos para diseñar un enfriador por aire forzado

1. Determinar un promedio de producción diaria (kg o lbs.).
2. Determinar carga pico de producción (kg. o lbs.).
3. Determinar tiempo disponible de enfriamiento (horas / día).
4. Establecer el número de lotes (lotes/día).
5. Calcular el tamaño del lote (kg/lote; lbs./lote).
6. Elegir un flujo de aire (L/s/kg. o cfm/lbs).
7. Calcular el flujo de aire del ventilador (L/s o cfm).
8. Calcular carga pico de refrigeración (kW o Btu/hr).
9. Use la regla de 2/3 de carga de refrigeración (kW o Btu/hr).
10. Determine el ancho del túnel de aire de retorno y el espacio a muros o paletas adyacentes. (m. o pies).

A continuación se presenta un resumen para el cálculo del ventilador y las dimensiones de los túneles de aire de retorno y de aire de suplemento incluidos en hojas electrónicas.

Después se presenta el anterior procedimiento resumido por medio de una hoja electrónica, que se adjunta para el monitoreo de los sistemas humidificadores evaporativos, un ejemplo se ilustra en la tabla XII. La tabla XIII muestra un cálculo de las toneladas de refrigeración necesarias para el enfriamiento de determinado volumen de producto, esto también se ofrece en una hoja electrónica.

Tabla XII. Resultados para el diseño de los canales de aire en sistema de alta humedad.

DIMENSIONES DE LOS CANALES DE AIRE

(Forced Aire Cooling, South Australian Research and Development institute)

| | | | |
|--|-------------------|---------------|-------------------|
| datos: | | | |
| Caudal de aire (L/s): | 26671.2314 | | |
| Altura de las paletas (m): | 1.8 | | |
| Longitud de las paletas (m): | | 8.4 | |
| Velocidad máxima del aire (m/s): | | 7.5 | |
| Ancho suministro de aire lateral: | | | |
| Ancho (m): | 0.21167644 | Ancho (pies): | 0.69446806 |
| Ancho del canal de succión: | | | |
| Ancho (m): | 1.97564677 | Ancho (pies): | 6.48170191 |

DIMENSIONES DE LOS CANALES DE AIRE

(Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers, University of California).

| | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| datos: | | | |
| Caudal del ventilador (CFM): | | 56513.1388 | |
| Caudal del ventilador (m ³ /s): | | 26.6712314 | |
| Altura de las paletas (m): | | 1.8 | |
| Altura de las paletas (pies): | | 5.90551181 | |
| Máxima velocidad del aire (fpm): | | 1476.37795 | |
| Máxima velocidad del aire (m/s): | | 7.5 | |
| Longitud de las paletas (m): | | | 8.4 |
| Longitud de las paletas (pies): | | 27.55872 | |
| Ancho canal de suministro de aire: | | | |
| Ancho (m): | 0.21167644 | Ancho (pies): | 0.69448495 |
| Ancho canal de aire de retorno: | | | |
| Ancho (m): | 1.97564677 | Ancho (pies): | 6.48178073 |
| Potencia del ventilador | | | |
| Flujo de aire (CFM): | | 56513.1388 | |
| Densidad del aire (lbs/pie cubico): | | 0.08 | |
| Presión total (pulgadas de columna de agua): | | 1 | |
| Eficiencia del motor (decimales): | | 0.85 | |
| | HP ventilador: | | 11.3167737 |
| Flujo de aire (metro cúbico/seg.): | 26.6712314 | | |
| Presión (pa): | 248.84 | | |
| Eficiencia del motor (decimales): | 0.85 | | |
| | kW ventilador: | | 78.0808142 |

Tabla XIII. Cálculo de toneladas de refrigeración con base en volumen de producto.

DISEÑO SISTEMA HUMIDIFICADOR

(Ministry of Agriculture and food, Ontario, Canadá)

| Cálculo de flujos de aire (ver tabla) | | | | | | | |
|--|--------|----------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | | Flujo | | | | | |
| Kilogramos | libras | (L/s/Kg) | L/s | CFM | CFM/Kg | CFM/Libra | MC/s |
| 26671.231 | 58800 | 1 | 26671.231 | 56513.139 | 2.11888 | 0.9611078 | 26.671231 |

| Área por la cual el flujo de aire debe pasar | | | |
|---|----------|---------------------------|------------------|
| Velocidad del aire (m/s): | 7.5 | área en metros cuadrados: | 3.5561642 |
| Velocidad del aire (FPM): | 1476.378 | área en pies cuadrados: | 38.278233 |

| Ancho mínimo del tunel | | | |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| Altura de las paletas (m): | 1.8 | ancho (m): | 1.9756468 |
| Altura de las paletas (pies): | 5.9055118 | ancho (pies): | 6.4817807 |
| Ancho túnel mínimo 0.6 m. o 1.97 pies | | ancho mínimo túnel (m): | 1.9756468 |
| Corredor mínimo 0.3 metros (1 pie) | | ancho mínimo túnel (m): | 6.4817807 |

| Promedio diario de producción: | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Hectáreas: | 4 | acres: | 10 |
| Cajas por hectárea: | 3000 | cajas/acre: | 1200 |
| Kg/caja: | 6 | libras/caja: | 13.2 |
| Días de cosecha: | 25 | días | 25 |
| kg/día: | 2880 | lbs/día: | 6336 |

Máximo de producción por día:Máximo de producción diaria (kg/día): **5760**Máximo de producción diaria (lbs/día): **12672****Tiempo de enfriamiento avalado (horas):** 6

Tiempo de enfriamiento, en horas (7/8, ver tabla): 1.5

Número de cargas por día: 4**Tamaño de la carga:**Kg/carga: **1440**lbs/carga: **3168**Cajas por carga: **240**Cajas por carga: **240**

Cajas por paleta: 64

Número de paletas: **3.75**Número de pañetas: **3.75****Potencia del ventilador:**L/s: **26671.231**CFM: **56513.139**

Ver tabla para la selección en base a estos datos y la presión estática.

Demanda pico de refrigeración del producto:

| | | | |
|--|-------------|---------|------------------|
| Temperatura del aire de enfriamiento (°C): | 0 | | |
| Temperatura del aire de enfriamiento (°F): | 32 | | |
| Temperatura del producto (°C): | 25 | | |
| Temperatura del producto (°F): | 77 | | |
| Peso del producto (Kg): | 1440 | | |
| Peso del producto (lbs): | 3174.6566 | | |
| Calor específico del producto (Kj/Kg/°C): | 3.77 | | |
| Calor específico del producto (Btu/lb/°F): | 0.9 | | |
| Tiempo de enfriamiento (7/8): | 1.5 | | |
| | | kJ/hr: | 190008 |
| | | Kw: | 52.78 |
| | | TR: | 14.937736 |
| | | Btu/hr: | 180003.03 |
| | | TR: | 15.000252 |

2/3 de la demanda pico de refrigeración del producto:

| | |
|---------------------|------------------|
| Kw (prácticos): | 35.186667 |
| TR (prácticos): | 9.9584906 |
| Btu/hr (prácticos): | 120002.02 |
| TR (prácticos): | 10.000168 |

7.3 Esquemas de instalación

Adicionalmente a lo expuesto para el diseño del túnel de aire, existe una consideración muy importante y que ejerce una gran influencia en la eficiencia de enfriamiento del sistema, como lo es la separación entre equipos fuera y dentro, del cuarto frío.

Esta separación variará de acuerdo al tipo de sistema de alta humedad utilizado si tiene bomba lateral, bomba trasera, sin plenum, con plenum, etc. Primeramente en la figura 92 se observa la elevación y planta de la instalación de una unidad con bomba trasera sin plenum y con plenum, estas dimensiones son paralelas al equipo ya sea en el exterior o interior.

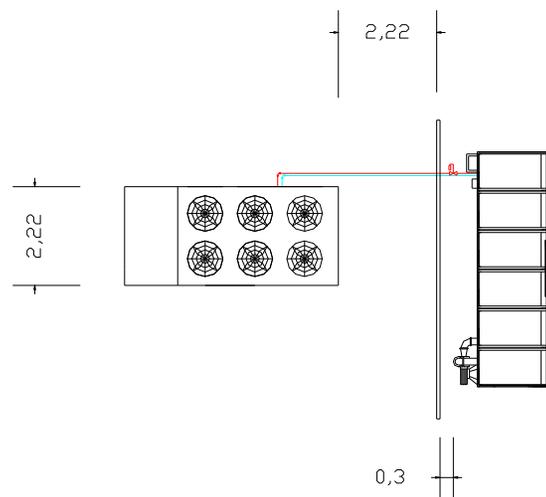
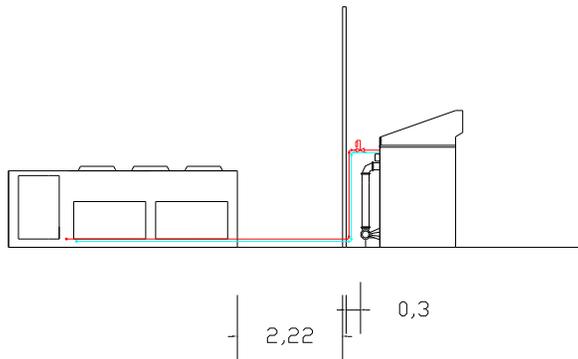
En la figura 93 se observa la misma condición anterior respecto al equipo, solo que, son dimensiones mínimas perpendiculares, dentro de un ambiente separado o cuarto frío propio, en la mayoría de las empresas a estos apartados les llaman túnel.

La instalación del sistema con bomba lateral se muestra en las figuras 94 y 95, esquemas en los cuales se sigue la misma tendencia que los anteriores, distancias paralelas en elevación y planta, y distancias perpendiculares en planta dentro de túnel.

Figura 92. Instalación de sistema de enfriamiento evaporativo con bomba trasera.

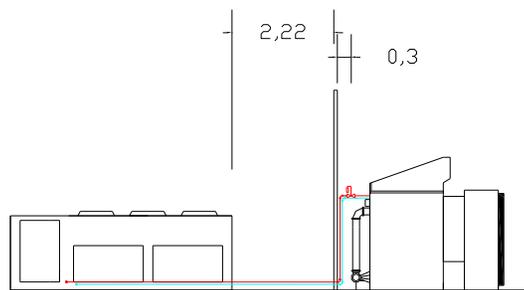
ELEVACIÓN

Unidad con bomba y nivel posteriores
túnel individual
distancias mínimas (m).



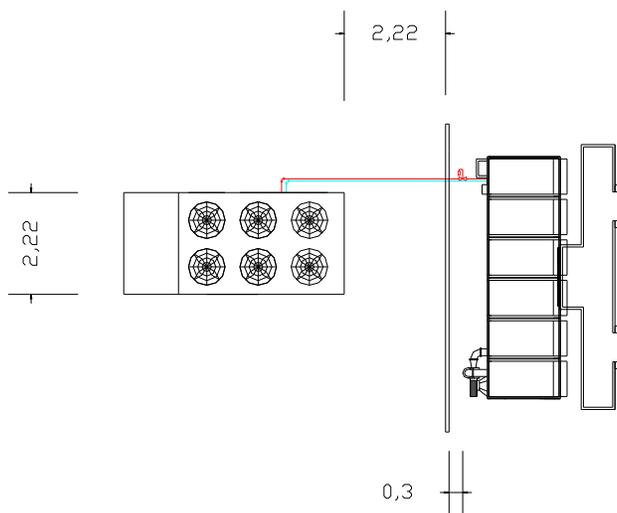
PLANTA

Unidad con bomba y nivel posteriores
túnel individual
distancias mínimas (m).



ELEVACIÓN

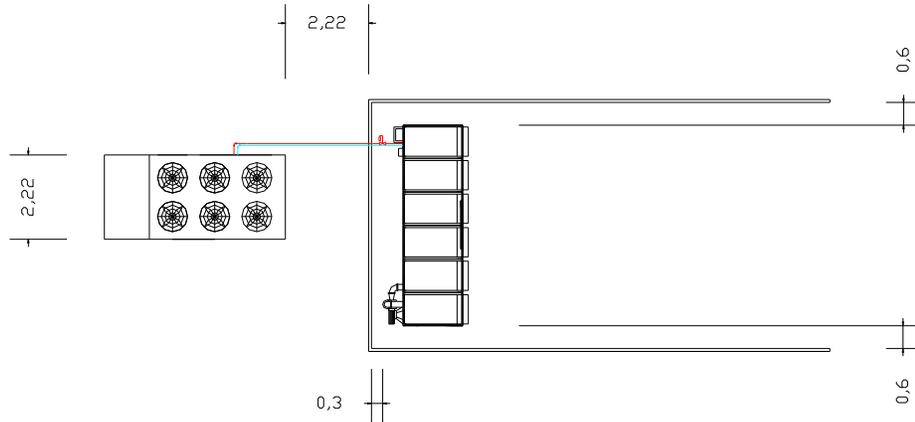
Unidad con bomba y nivel posteriores
con plenum para doble túnel
distancias mínimas (m).



PLANTA

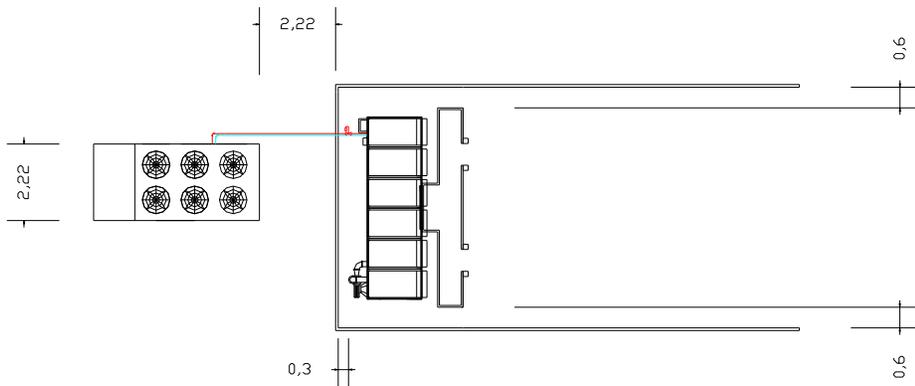
Unidad con bomba y nivel posteriores
con plenum para doble túnel
distancias mínimas (m).

Figura 93. Dimensiones perpendiculares en el sistema con túnel.



PLANTA

Unidad con bomba y nivel posteriores
túnel individual con divisores
distancias mínimas (m).



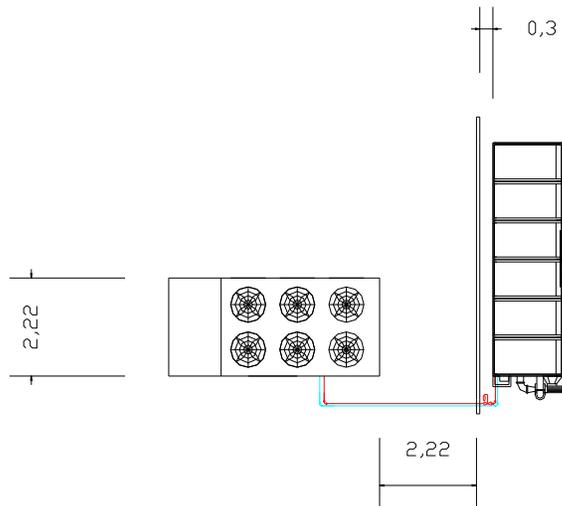
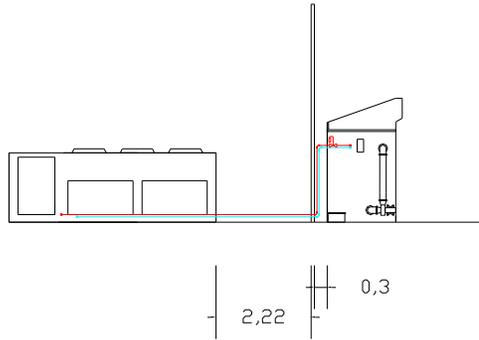
PLANTA

Unidad con bomba y nivel posteriores
con plenum para doble túnel con divisores
distancias mínimas (m).

Figura 94. Instalación del sistema con bomba lateral.

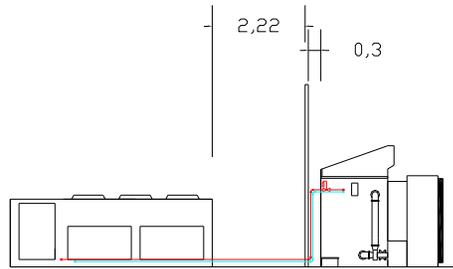
ELEVACIÓN

Unidad con bomba y nivel laterales
túnel individual
distancias mínimas (m).



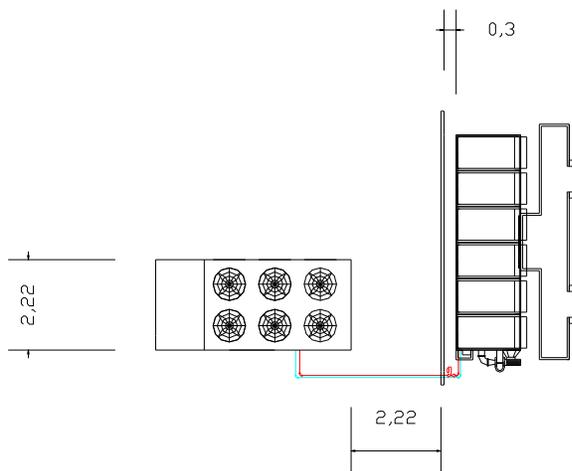
PLANTA

Unidad con bomba y nivel laterales
túnel individual
distancias mínimas (m).



ELEVACIÓN

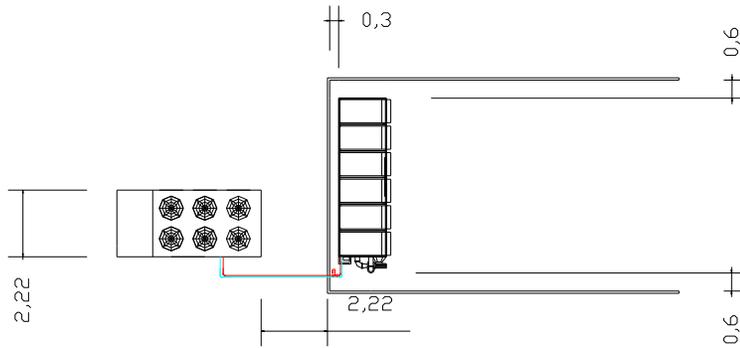
Unidad con bomba y nivel laterales con plenun para doble túnel distancias mínimas (m).



PLANTA

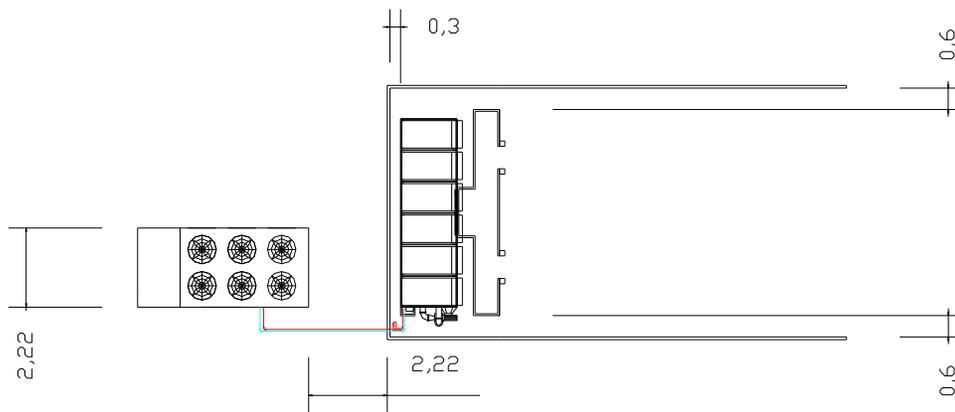
Unidad con bomba y nivel laterales con plenun para doble túnel distancias mínimas (m).

Figura 95. Dimensiones mínimas perpendiculares en el sistema de túnel.



PLANTA

Unidad con bomba y nivel laterales
túnel individual con divisores
distancias mínimas (m).



PLANTA

Unidad con bomba y nivel laterales
con plenum para doble túnel con divisores
distancias mínimas (m).

En las gráficas anteriores ilustran las distancias mínimas que deben tenerse en cuenta para la instalación de la máquina, estas distancias garantizan el correcto flujo de aire para succión y tiro de la máquina.

Si estas distancias no son respetadas, la máquina sufrirá un descenso en su eficiencia y por lo tanto necesitaremos períodos mas prolongados para alcanzar una temperatura prefijada.

En los esquemas que se presentarán en las figuras 96 y 97 se hace notar mayormente la separación entre equipos ya sea con plenum o sin el, cuando en la planta empacadora se construye un sala especial para estos equipos estas distancias tienen una gran importancia en la eficiencia del conjunto.

Una distancia incorrecta entre dos equipos no sólo afectara la eficiencia de ambos sino que producirá un desbalance en la recirculación volumétrica del aire del recinto, para compensar estos efectos se instala evaporadores de aire forzado en frente de los equipos, si existen suficiente separación entre el final de las tarimas de producto y la pared del recinto.

Si se tiene espacio suficiente en el sitio donde se instalarán las unidades condensadoras para los sistemas de alta humedad, es posible tomar en consideración el esquema de la figura 98, se aprecia que la distancia entre las unidades condensadoras es mucho mayor que la especificada como mínima.

Figura 96. Instalación de varios equipos con bomba trasera.

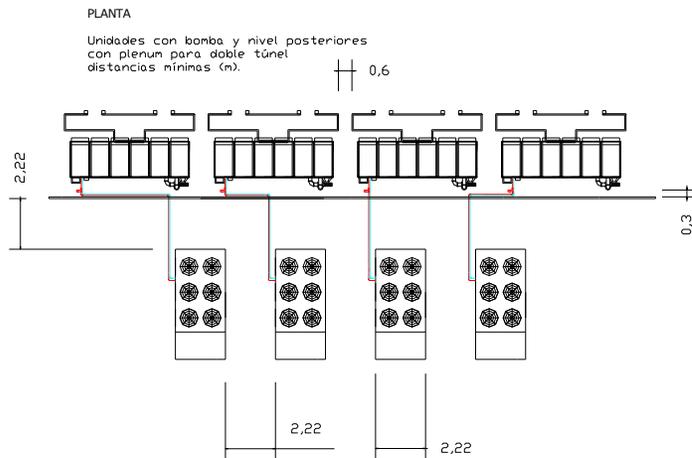
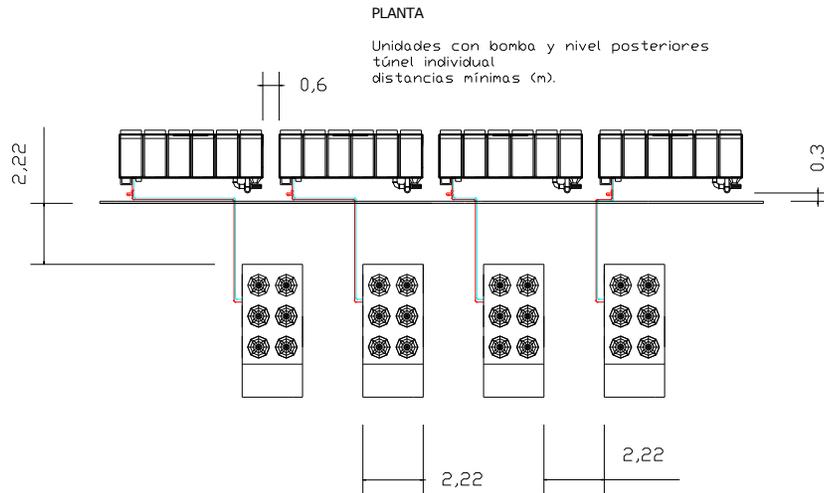


Figura 97. Instalación de varios Equipos con bomba lateral.

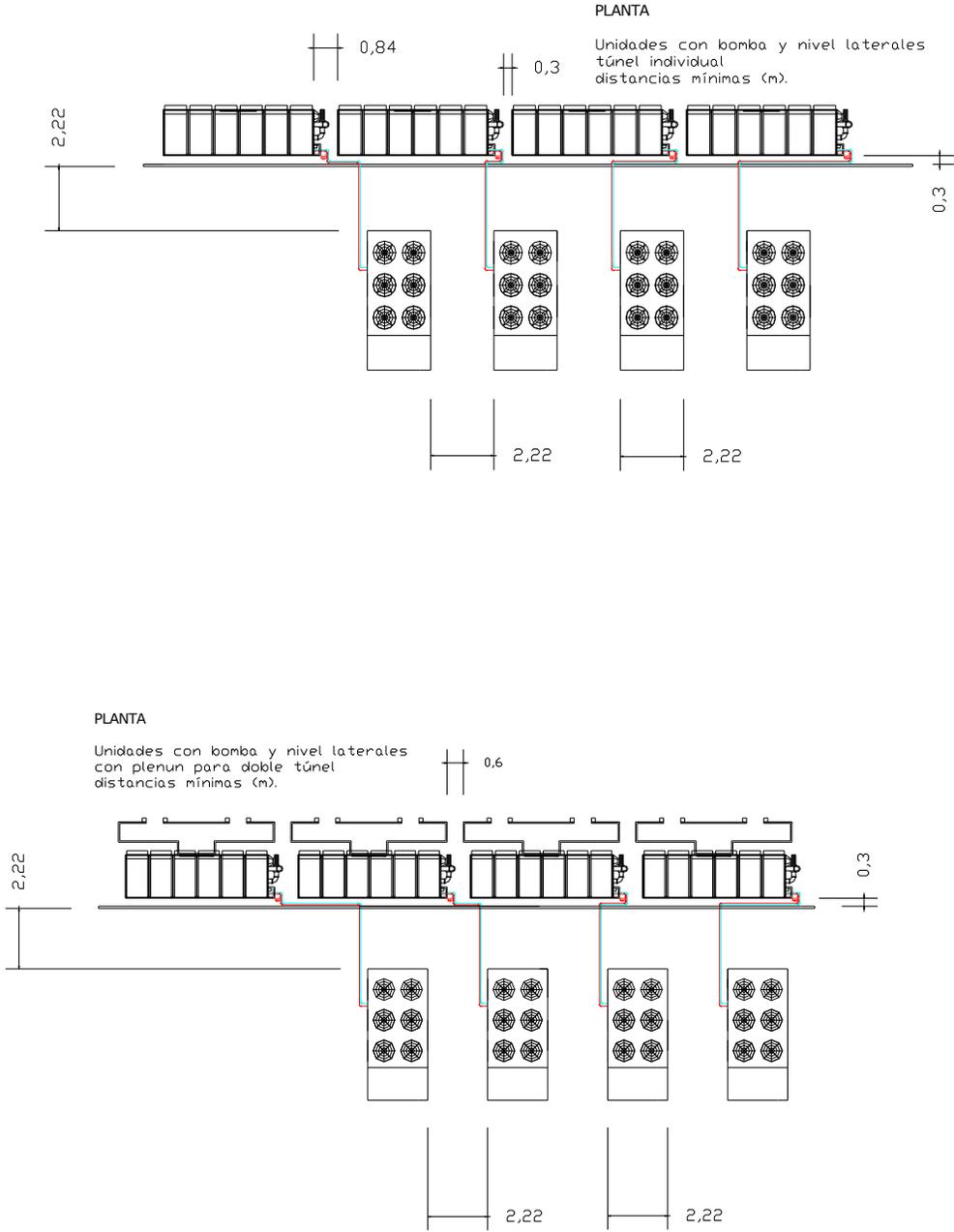
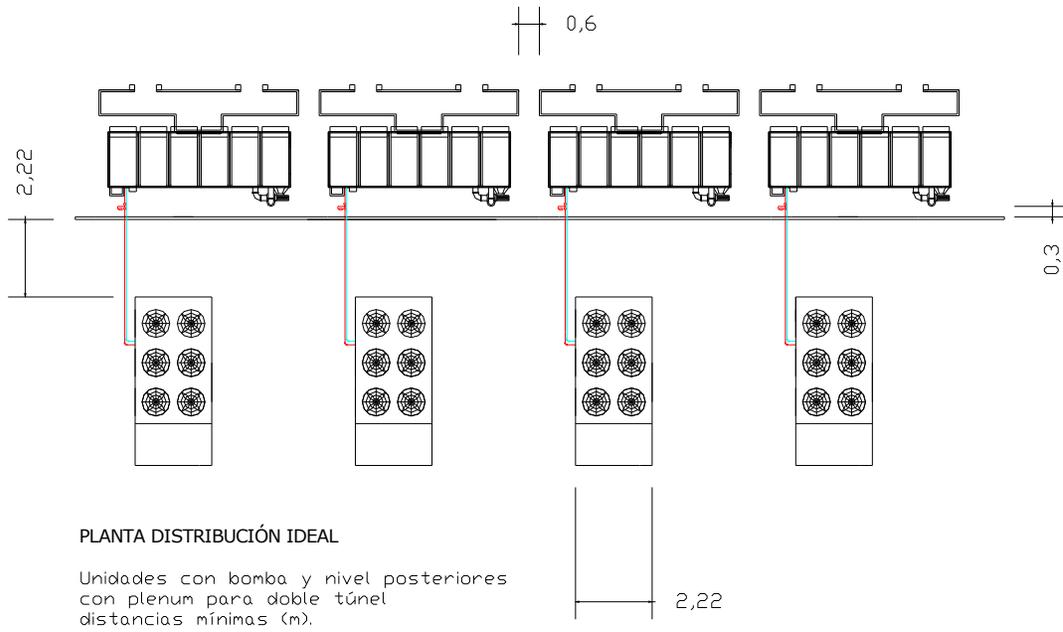


Figura 98. Instalación de varias unidades en forma ideal.



8. ANCLAJE Y SEÑALIZACIÓN DE TUBERÍA.

La tubería de cobre seleccionada para la instalación de un humidificador evaporativo o sistema de alta humedad debe cumplir especificaciones, como espesor de pared mínima, diámetro adecuado el cual depende de las presiones a manejar, distancia mínima que separa la unidad condensadora de la unidad evaporadora y la potencia a manejar (Btuh), etc.

Una vez realizada la selección de la tubería, existen otros parámetros para evaluar por el ingeniero antes de la instalación de la tubería, para lograr la máxima duración de la instalación y eficiencia en la operación, ya se ha demostrado en la práctica que dichos parámetros tienen una gran influencia en los costos de operación y mantenimiento del sistema:

1. La tubería no debe presentar ninguna deformación a lo largo, si existe un doblez, al tratar de enderezar el tubo se producirá un segmento de sección no uniforme (arrugamiento) por la parte de adentro causando un desgaste prematuro, el refrigerante tiende a ser abrasivo.
2. La tubería no debe presentar ningún tipo de abolladura, debido a la abrasión interna por el refrigerante, causará en el futuro rotura y fuga de refrigerante en este punto.

3. El acabado interior de la tubería debe ser tipo “espejo”, esto quiere decir lo más liso posible para disminuir en el primer ciclo de operación la abrasión al mínimo, recuerde que en este primer ciclo de operación se concentra una gran cantidad de partículas metálicas en el refrigerante producto del transporte en el aceite.
4. Toda la tubería a utilizar al momento de su recepción debe revisarse porque debe tener tapones en cada extremo, esto asegura la falta de contaminantes y ahorrará tiempo en la instalación debido a que no se necesita una limpieza previa.
5. La tubería debe almacenarse en un estante especialmente concebido o sobre una superficie horizontal sin protuberancias o rugosidades que dañen el tubo, esto con el fin de evitar deformaciones.
6. Los accesorios deben revisarse a fin de que no tengan ninguna deformación en las orillas, el tubo no podrá entrar en el accesorio o no entrará la longitud necesaria en el accesorio para una buena unión mecánica por soldadura, esto ocasionará dificultad en la instalación y consecuente pérdida de tiempo.

Cuando se está instalando el sistema de tuberías debe tenerse las siguientes precauciones además de las ya concebidas en la manipulación, corte y soldadura.

1. La tubería sobrante debe almacenarse colocando ambos tapones en cada extremo del tubo, esta medida nos garantiza que no habrá contaminación

interna al momento de reutilizarlo y la preservación del acabado interno, desde luego en el estante correspondiente o en una superficie horizontal.

2. Al realizar una unión por medio de soldadura será beneficioso introducir gas nitrógeno sellando los extremos de los tubos al soldar, esto preservara el acabado interno sometido a alta temperatura.

Este tipo de tubería se ve sometida a esfuerzos y vibraciones excesivas, ya que el sistema de enfriamiento evaporativo funciona en un rango de diez a doce horas diarias en empresas productas de melón cantaloupe para exportación, por ello es necesario contar con soportes adecuados, para instalación en piso y pared con elementos que disipen las vibraciones y minimicen los esfuerzos.

Los requisitos que debe poseer un buen sistema de montaje de tuberías para este tipo de instalación son los siguientes.

- a) Poseer una buena superficie para el anclaje en piso o pared que asegure estabilidad a la tubería.
- b) Amortiguar las vibraciones provenientes de elevación de presión del sistema.
- c) Amortiguar las vibraciones provenientes de máquinas reciprocantes (compresores de refrigeración) y ventiladores.

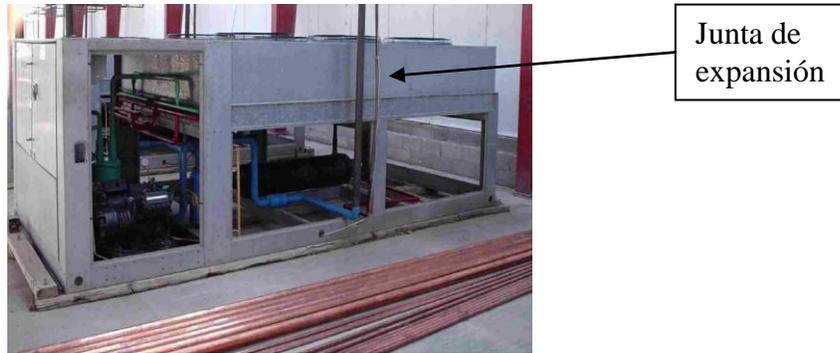
- d) El sistema debe poseer flexibilidad.
- e) De fácil armado y desarmado.
- f) Debe de utilizar poco espacio útil.
- g) Ser resistente a condiciones ambientales extremas, por ejemplo alta humedad y ambientes corrosivos.
- h) Soportar choques térmicos con efectividad en disipación de calor.

8.1 Amortiguadores de vibración

El amortiguador es un elemento muy importante en la instalación de refrigeración, ya que las máquinas rotatorias recíprocas como los compresores, transmiten gran cantidad de vibración a la tubería que sale de la unidad condensadora, esto también es común en la tubería que entra en la unidad evaporadora, en este caso el ventilador de succión y la bomba centrífuga de agua proveen vibración a estas tuberías.

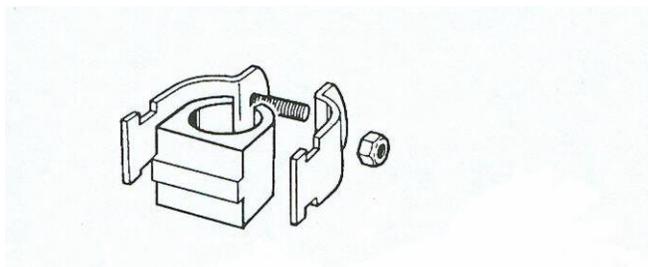
En el sistema de tuberías se producen desplazamientos pequeños debido al inicio de operación de la unidad condensadora, específicamente al arrancar el compresor eleva la presión en la tubería de líquido, este fenómeno es también apreciado al apagar el compresor, por lo tanto, es necesario minimizar estos desplazamientos con un buen anclaje de tubería y también utilizando juntas de expansión o uniones de expansión como se muestra en la figura 99.

Figura 99. Junta de expansión utilizada en la línea de alta presión de la unidad condensadora.



En la figura 100 se puede observar un amortiguador de vibraciones que se utiliza directamente para envolver la tubería, este se coloca en el soporte para tubería que está anclado a la pared o piso, estos amortiguadores para tubo se fabrican de polímeros que soportan rangos de temperaturas extremas, esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales extremas.

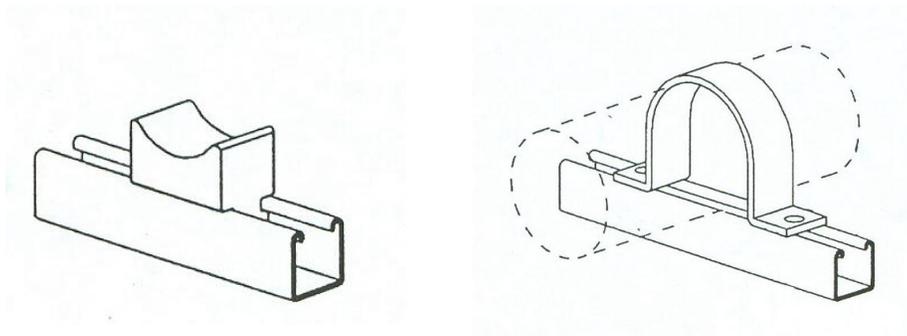
Figura 100. Amortiguador de vibraciones para tubo.



Fuente: Anclo Unicanal. CATALOGO DE FIJACIONES Y MATERIALES ELECTRICOS. México. 2003. Página 13.

Para diámetros grandes se tienen bloques aislantes que se colocan directamente en el riel de anclaje y para sujetar el tubo sobre el bloque firmemente se utiliza una abrazadera de tipo circular u omegas como se muestra en la figura 101.

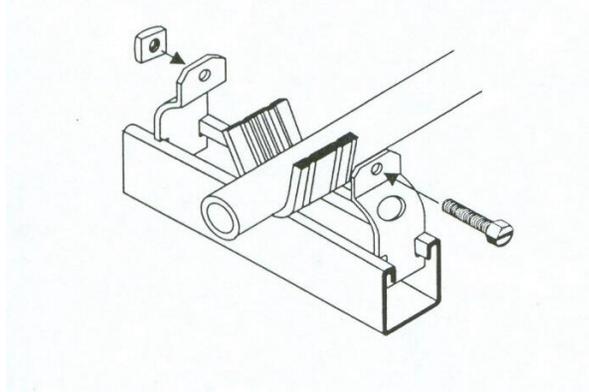
Figura 101. Soporte aislante para tubería de gran diámetro y abrazadera circular.



Fuente: Ancho Unicanal. CATALOGO DE FIJACIONES Y MATERIALES ELECTRICOS. México. 2003. Página 13.

Otra forma de aislar las tuberías de vibraciones es el uso de tiras de material elastómero, que pueden ser reemplazadas al notarse deterioro, esta solución es más económica que las anteriores no ofrece tanta confiabilidad, debido a que influye mucho la forma en que las instala el técnico, como se ilustra en la figura 102, su instalación es un poco mas dificultosa.

Figura 102. Tira aislante para tubería.



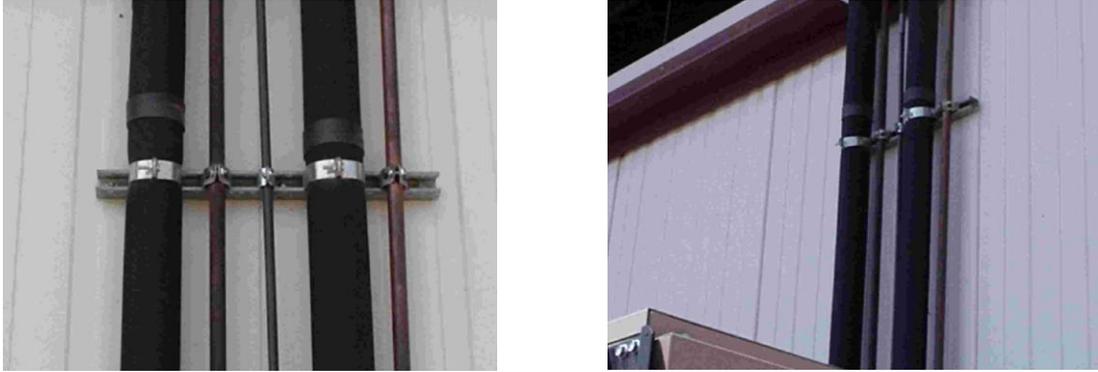
Fuente: Ancho Unicanal. CATALOGO DE FIJACIONES Y MATERIALES ELECTRICOS. México. 2003. Página 13.

8.2 Soportes para tubería de refrigeración

Para asegurar la correcta instalación de las tuberías de refrigeración es necesario tener una buena planificación del recorrido y por lo tanto la longitud de tubo, esta información se obtendrá de los planos hechos con anterioridad por el ingeniero.

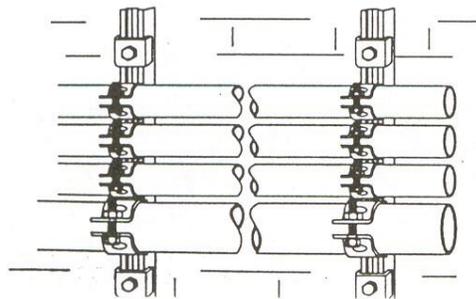
En la figura 103 se puede observar ejemplos de la correcta instalación y anclaje de las tuberías, es necesario recordar que la mayor ocurrencia de fallas del sistema se dará en la tubería, por eso es de gran importancia este aspecto.

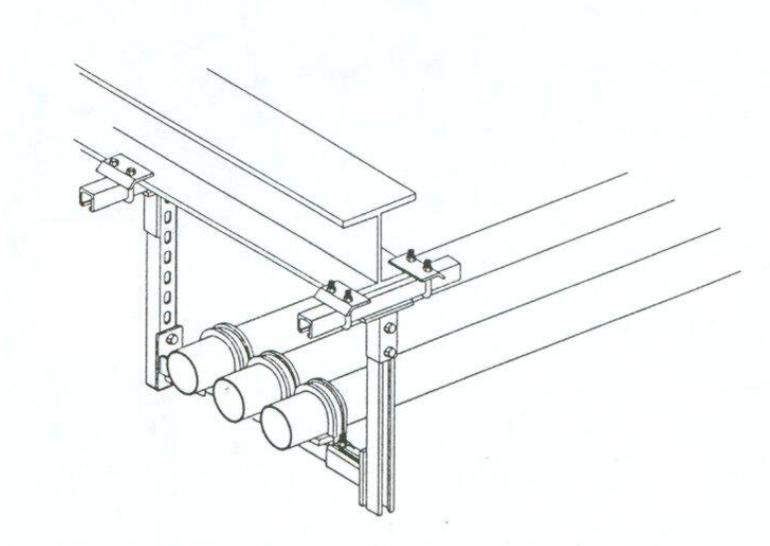
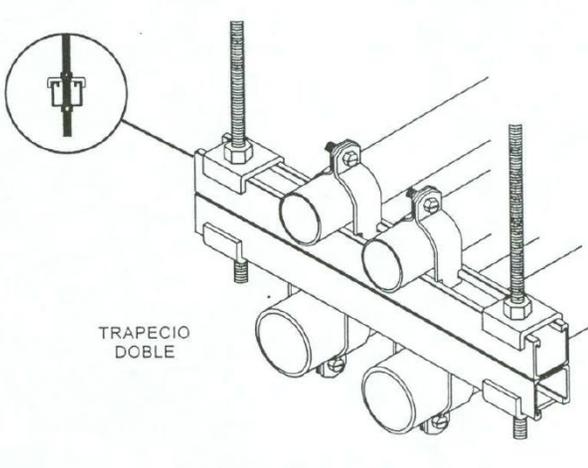
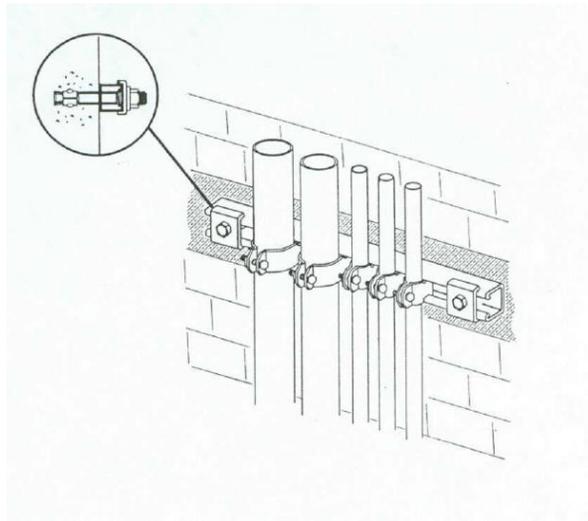
Figura 103. Instalación de tuberías de refrigeración en pared.

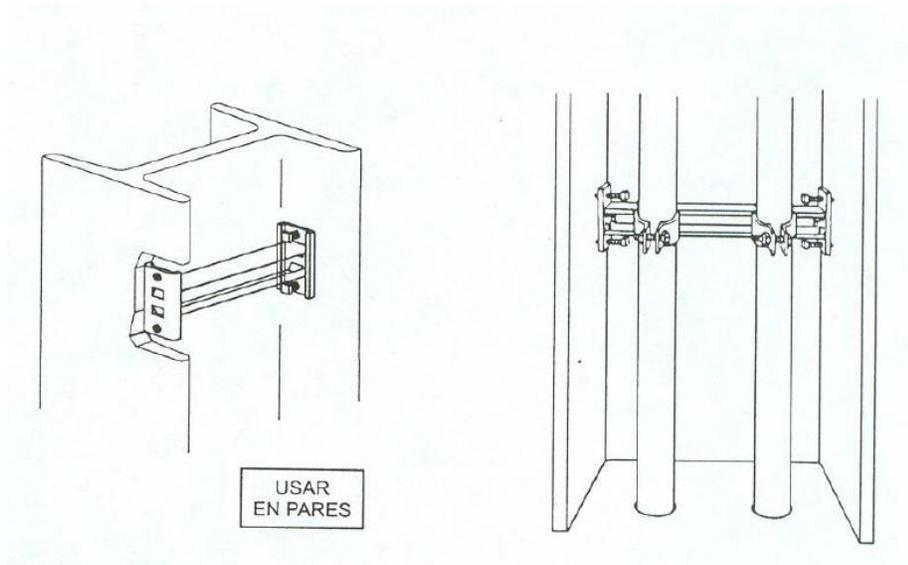


Dentro de los elementos para asegurar una buena instalación de la tubería así como un correcto anclaje de los tubos para evitar la transmisión de vibraciones y esfuerzos excesivos, puede tenerse variadas opciones como lo muestra la figura 104 en la cual se ejemplifica sistemas de anclaje para paredes, techos, suspensión de techo o estructura metálica existente como las galeras en naves industriales.

Figura 104. Sistemas de anclaje variados.







Fuente: Ancho Unicanal. CATALOGO DE FIJACIONES Y MATERIALES ELECTRICOS. México. 2003. Páginas 2, 3 y 10.

8.3 Elementos de anclaje

Los métodos de anclaje para perfiles de tipo comercial e industrial son variados, se exponen aquí el que a criterio y experiencia del autor es el mejor método para anclajes de cargas pesadas, el cual presenta las siguientes características:

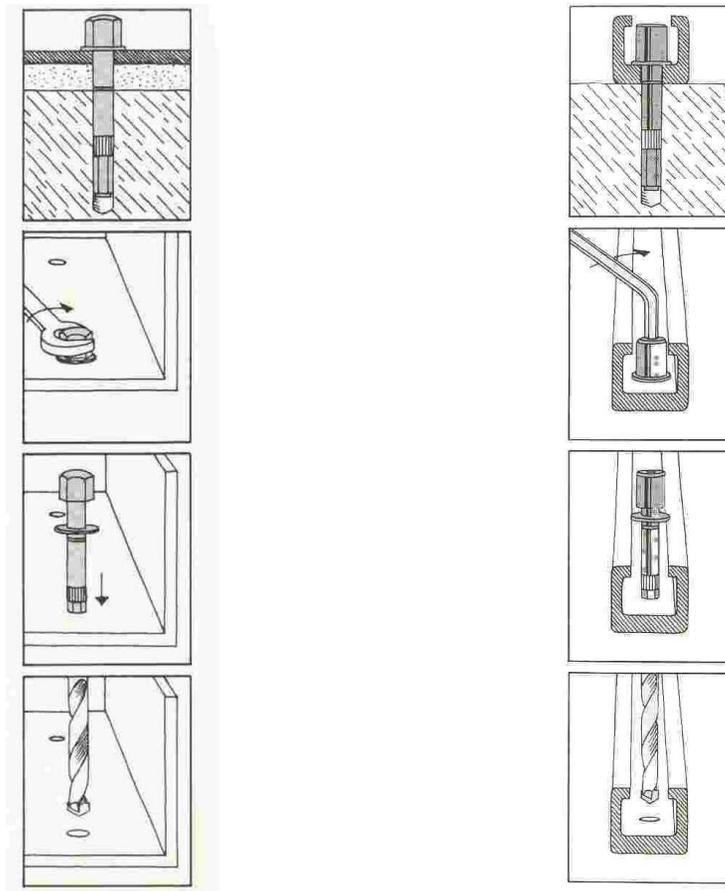
1. Bloqueo automático contra giro. El anillo automatic tiene unos nervios longitudinales que frenan y aseguran el taco en el agujero para que no gire junto con la tuerca.
2. Control automático de la perforación. El anillo automatic no agarra cuando el taladro es demasiado grande, y el taco gira con la tuerca.

3. Estanqueidad automática y protección anti-corrosión mediante anillo automatic, una vez apretado el taco.
4. Montaje rápido y seguro. Introducir y apretar el taco. El tornillo y el taco forman una unidad de fijación segura. Los tornillos ajustan siempre. La profundidad de montaje mínima está marcada.
5. Ideal para montajes pasantes en hormigón.
6. Agujero pequeño. El agujero no es mayor que la rosca de conexión.
7. La rosca de conexión no sobresale. Excelente presentación de la fijación mediante la tuerca de sombrerete.
8. El taco de acero automatic se suministra también en ejecución protegida contra la corrosión y en longitudes especiales, el material normalizado es el acero galvanizado.

En la figura 105 se presenta la forma de instalación, en la figura 106 tenemos las dimensiones del elemento de fijación que corresponde a las descripciones dadas en la tabla XIV, también encontramos en esta tabla las máximas cargas admisibles para tracción, corte y tracción oblicua, dadas en kilo-Newton, para cualquier ángulo de instalación, la última especificación se refiere a los momentos de flexión admisibles en el elemento también dados en kilo-Newton.

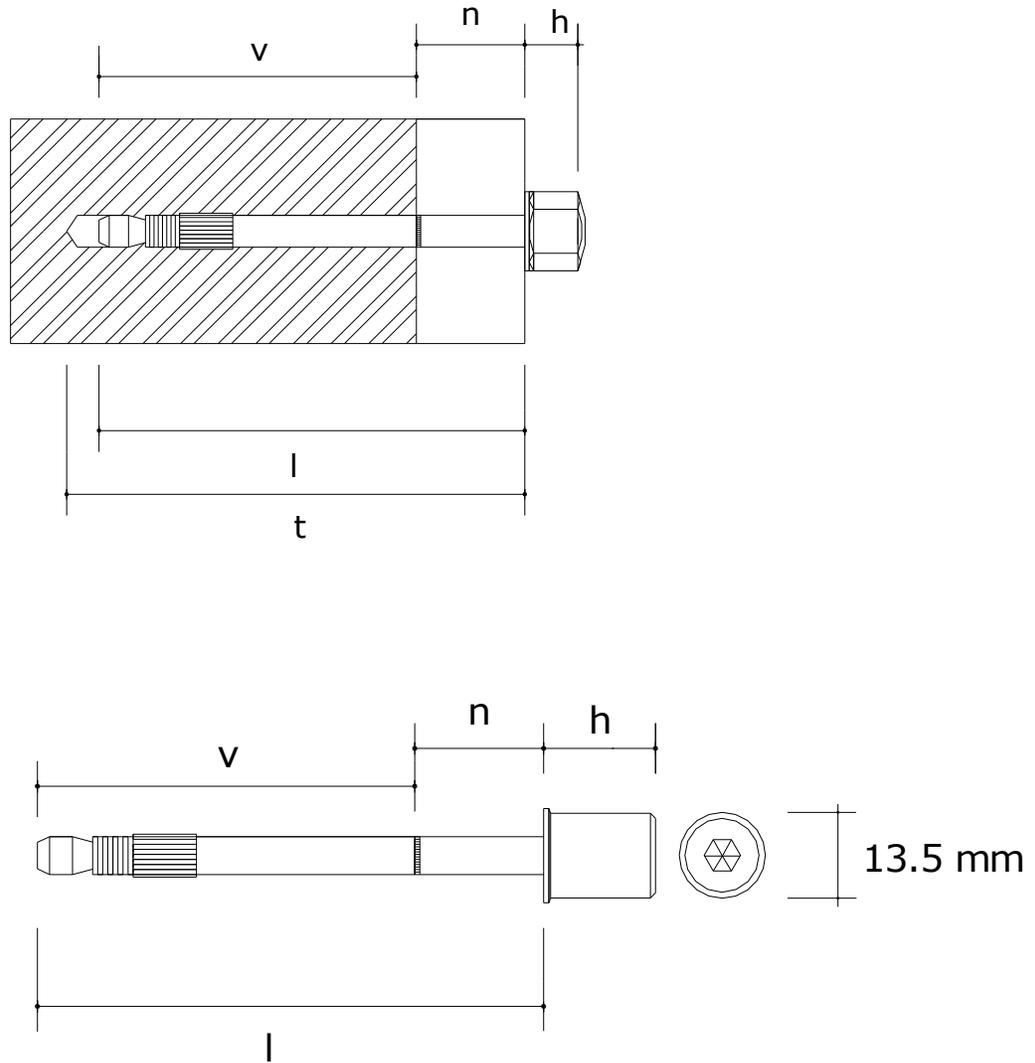
Es de importancia crucial recordarle al lector que consulte estas especificaciones antes de utilizar cualquier elemento de fijación en aplicaciones de este tipo.

Figura 105. Elementos para anclaje de perfiles industriales en concreto.



Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales.
Página 22.

Figura 106. Dimensiones en elementos de anclaje referidos a la tabla XIV.



Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales. Página 22.

Tabla XIV. Dimensiones y esfuerzos admisibles para elemento de anclaje.

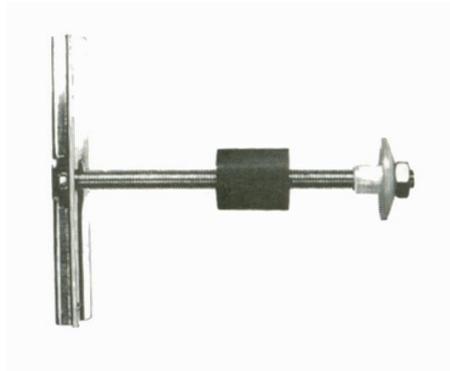
| Tipo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Resistencia del hormigón según DIN 1045 Cargas Admisibles (KN) para tracción, cizalladura y tracción oblicua bajo cualquier ángulo (números rojos). | | | | | | | 9 | |
|--------------|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | | | | | | | | B15 | 1.5 | B25 | 2.5 | B35 | 3 | B45 | | 3.5 |
| FA 8/15 - 1 | 8 | 60 | 65 | 50 | 15 | 14 | 13 | 10 | B15 | 1.5 | B25 | 2.5 | B35 | 3 | B45 | 3.5 | 12 |
| FA 8/25 - 1 | 8 | 60 | 75 | 50 | 25 | 14 | 13 | 10 | B15 | 1.5 | B25 | 2.5 | B35 | 3 | B45 | 3.5 | 12 |
| FA 10/15 - 1 | 10 | 70 | 75 | 60 | 15 | 16 | 17 | 20 | B15 | 2.1 | B25 | 3.5 | B35 | 3.7 | B45 | 4 | 21.3 |
| FA 10/20 - 1 | 10 | 70 | 110 | 60 | 50 | 16 | 17 | 20 | B15 | 2.1 | B25 | 3.5 | B35 | 3.7 | B45 | 4 | 21.3 |
| FA 10/35 - 2 | 10 | 70 | 95 | 60 | 35 | 20 | 6 | 20 | B15 | 2.1 | B25 | 3.5 | B35 | 3.7 | B45 | 4 | 21.3 |
| FA 12/15 - 1 | 12 | 80 | 85 | 70 | 15 | 19 | 19 | 35 | B15 | 2.7 | B25 | 4.5 | B35 | 5 | B45 | 5.5 | 35.8 |
| FA 12/50 - 1 | 12 | 80 | 120 | 70 | 50 | 19 | 19 | 35 | B15 | 2.7 | B25 | 4.5 | B35 | 5 | B45 | 5.5 | 35.8 |
| FA 14/20 - 1 | 14 | 90 | 100 | 80 | 20 | 20 | 22 | 50 | B15 | 3.6 | B25 | 6 | B35 | 7 | B45 | 8 | 54 |
| FA 14/50 - 1 | 14 | 90 | 130 | 80 | 50 | 20 | 22 | 50 | B15 | 3.6 | B25 | 6 | B35 | 7 | B45 | 8 | 54 |
| FA 16/20 - 1 | 16 | 100 | 110 | 90 | 20 | 23 | 24 | 70 | B15 | 4.2 | B25 | 7 | B35 | 9 | B45 | 11 | 93.5 |
| FA 18/25 - 1 | 18 | 100 | 115 | 90 | 25 | 24 | 27 | 80 | B15 | 4.2 | B25 | 7 | B35 | 9 | B45 | 11 | 131 |
| FA 18/60 - 1 | 18 | 100 | 150 | 90 | 60 | 24 | 27 | 80 | B15 | 4.2 | B25 | 7 | B35 | 9 | B45 | 11 | 131 |
| FA 22/30 - 1 | 22 | 120 | 135 | 105 | 30 | 31 | 32 | 100 | B15 | 6 | B25 | 10 | B35 | 13 | B45 | 16 | 191.8 |
| FA 22/60 - 1 | 22 | 120 | 165 | 105 | 60 | 31 | 32 | 100 | B15 | 6 | B25 | 10 | B35 | 13 | B45 | 16 | 191.8 |
| FA 28/40 - 1 | 28 | 160 | 170 | 130 | 40 | 36 | 41 | 200 | B15 | 9 | B25 | 15 | B35 | 18 | B45 | 21 | 428.4 |

1. Diámetro de broca en milímetros.
2. Profundidad mínima del agujero en milímetros (t)
3. Longitud del elemento de anclaje (l).
4. Profundidad mínima de anclaje (v).
5. Longitud útil máxima (n).
6. h en milímetros.
7. Ancho de llave.
8. Par de apriete en N-m.
9. Momento de flexión admisible en KN

Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales, página 23.

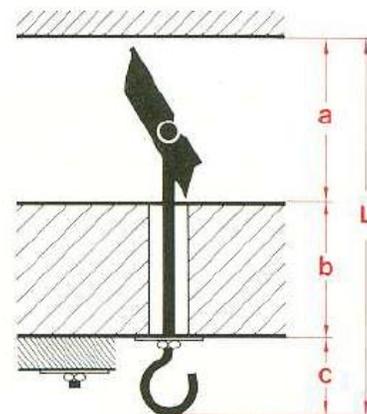
Para la instalación de los perfiles industriales en las paredes de un cuarto frío se pueden utilizar elementos de anclaje como la columna de vuelco ilustrada en la figura 106, así como sus dimensiones estándar, es importante verificar las máximas cargas admisibles del elemento.

Figura 106. Columna de vuelco y dimensiones.



a = Espacio hueco mínimo
b = Grosor máximo de la placa

| Taco de vuelco | mínimo a = mm | máximo b = mm | mínimo c = mm |
|----------------|------------------|------------------|------------------|
| K 32 | 32 | 65 | – |
| K 54 | 58 | 65 | – |
| KD 3 | 27 | 65 | 3 |
| KDH 3 | 27 | 51 | 28 |
| KD 4 | 34 | 69 | 3 |
| KDH 4 | 34 | 35 | 29 |
| KD 5 | 70 | 63 | 8 |
| KDH 5 | 70 | 60 | 34 |
| KD 6 | 70 | 63 | 10 |
| KDH 6 | 70 | 60 | 37 |
| KM 10 | 140 | 90 | 15 |



Fuente: Fischeribérica, Catálogo de fijaciones No. 26, Año 1990, fijaciones especiales. Página 45.

8.4 Colocación de anclaje y espaciado

Normalmente, cualquier tramo recto de tubería debe ser soportado en al menos dos puntos, cercal del final del tramo. Los tramos largos requieren soportes adicionales, las líneas de refrigerante deben ser soportadas y fijadas apropiadamente, en la tabla XV se presenta un criterio de distancia entre soportes.

Tabla XV. Criterio de espaciado de soportes en tubería de refrigeración de cobre.

| RANGO DE DIAMETRO MENOR----MAYOR | SEPARACIÓN DE SOPORTES EN PIES (METROS) |
|---|--|
| 3/8 - 7/8 | 5 PIES (1.5 METROS) |
| 1 1/8 - 1 3/8 | 7 PIES (2.15 METROS) |
| 1 5/8 - 2 1/8 | 9 - 10 PIES (2.75 - 3 METROS) |

Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005. Página 17.

La tabla XVI especifica separaciones entre soportes de tubería en forma más precisa, esta tabla presenta los diámetros de las tuberías como nominales o sea la denominación del mercado, además las distancias de separación son las máximas para tres calidades de tubería, de pared delgada o liviana, de pared regular o de espesor mediano y por último la tubería de pared extra fuerte o gruesa.

Tabla XVI. Máximo espaciado de soportes para tubería de cobre.

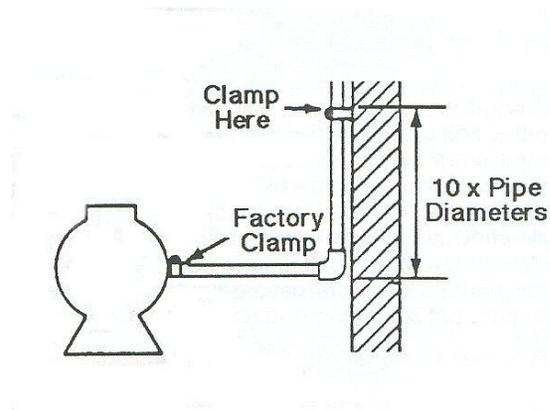
| Table 4-7 Support Spacing for Copper Pipe | | | |
|--|--|------------------------|-------------------------|
| Nominal Pipe Size, mm (in) | Maximum Support Spacing, m (ft) | | |
| | Cu Light Wall | Cu Regular Wall | Cu X-Strong Wall |
| 15 (0.5) | 1.5 (5.0)* | 1.5 (5.0)* | 1.5 (5.0)* |
| 20 (0.75) | 1.5 (5.0)* | 1.5 (5.0)* | 1.5 (5.0)* |
| 25 (1) | 1.8 (6.0)* | 1.8 (6.0)* | 1.8 (6.0)* |
| 40 (1.5) | 2.2 (7.3) | 2.4 (8.0)* | 2.4 (8.0)* |
| 50 (2) | 2.4 (7.8) | 2.4 (8.0)* | 2.4 (8.0)* |
| 80 (3) | 2.8 (9.2) | 3.0 (10.0)* | 3.0 (10.0)* |
| 100 (4) | 3.2 (10.4) | 3.7 (12.0)* | 3.7 (12.0)* |
| 150 (6) | 3.8 (12.6) | 4.2 (13.9) | 4.3 (14.0)* |
| 200 (8) | 4.5 (14.6) | 4.8 (15.8) | 4.9 (16.0)* |
| 250 (10) | 4.9 (16.1) | 5.3 (17.4) | 5.5 (18.0)* |
| 300 (12) | 5.4 (17.6) | 5.9 (19.4) | -- |

Notes:
 Cu = seamless copper ASTM B 42, allow C 12200, drawn with brazed fittings.
 Span lengths are based on a piping system that is a simple single span pipe run, is not insulated, has a full flow condition that is essentially water and is subject to a maximum operating condition of 93 °C (200 °F).
 *Maximum horizontal spacing based on MSS SP-69 (copper tube, water service).
 Source: Calculations by SAIC, 1998.

Fuente: United States, Army Corps of Engineers. LIQUID PROCESS PIPING, ENGINEERING AND DESIGN. Mayo 1999. Página 4-13.

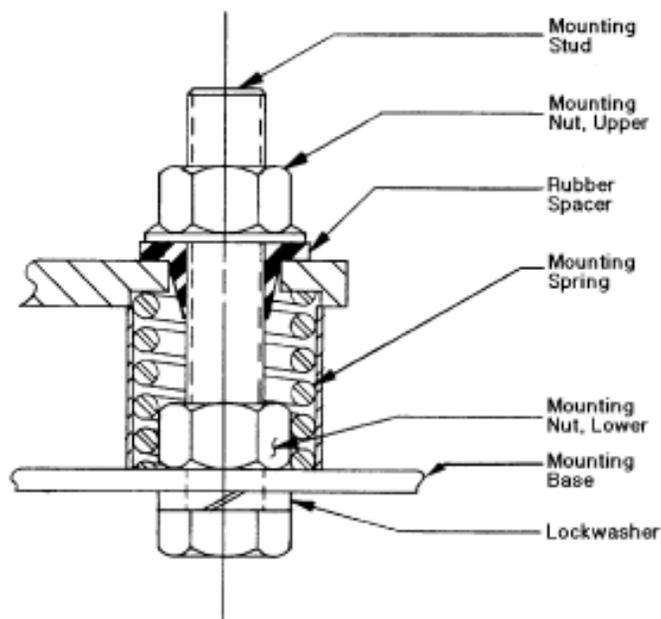
Un punto muy importante de anclaje es la salida de la unidad condensadora ya que el compresor produce muchas vibraciones y esfuerzos en la tubería, la forma correcta de anclaje se presenta en la figura 107, la figura 108 muestra anclajes anti-vibraciones para máquinas con movimiento alternativo.

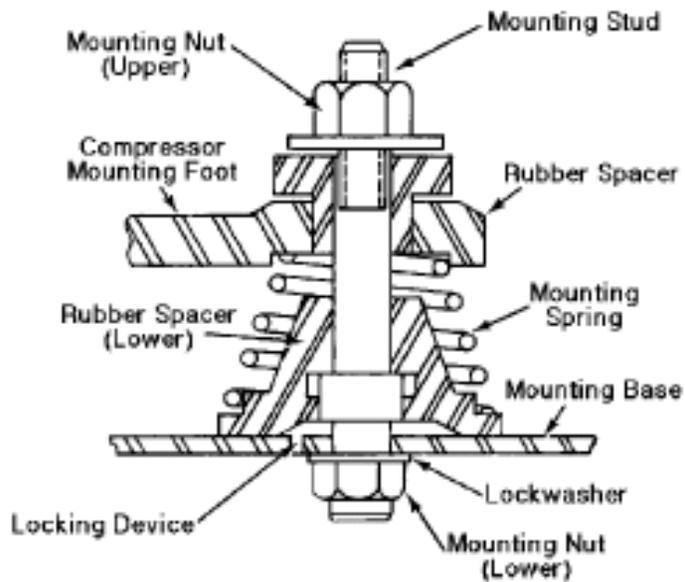
Figura 107. Forma correcta de anclaje a la salida de la unidad condensadora.



Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005. Página 17

Figura 108. Métodos de anclaje anti-vibraciones para maquinaria con movimiento alternativo.





Fuente: Manual de Instalación y Operación Heatcraft, Noviembre 2005. Página 12.

8.5 Identificación de tuberías

En la tabla XVII se tiene un listado de fluidos que pueden transportarse en tuberías, también en base a dicho fluido se recomienda el color que debe exhibir la tubería o el aislamiento de la tubería, para su identificación por personal técnico u operativo es importante que este código este siempre presente en las paredes de las áreas de instalaciones u oficinas.

Tabla XVII. Código de colores para tuberías que transportan fluidos de uso industrial.

| Table 3-6 Color Codes for Marking Pipe | | | |
|---|-------------------------|--------------|----------------|
| MATERIAL | LETTERS AND BAND | ARROW | LEGEND |
| Cold Water (potable) | Green | White | POTABLE WATER |
| Fire Protection Water | Red | White | FIRE PR. WATER |
| Hot Water (domestic) | Green | White | H. W. |
| Hot Water recirculating (domestic) | Green | White | H. W. R. |
| High Temp. Water Supply | Yellow | Black | H. T. W. S |
| High Temp. Water Return | Yellow | Black | H.T.W.R. |
| Boiler Feed Water | Yellow | Black | B. F. |
| Low Temp. Water Supply (heating) | Yellow | Black | L.T.W.S. |
| Low Temp. Water Return (heating) | Yellow | Black | L.T.W.R. |
| Condenser Water Supply | Green | White | COND. W.S. |
| Condenser Water Return | Green | White | COND. W.R. |
| Chilled Water Supply | Green | White | C.H.W.S. |
| Chilled Water Return | Green | White | C.H.W.R. |
| Treated Water | Yellow | Black | TR. WATER |
| Chemical Feed | Yellow | Black | CH. FEED |
| Compressed Air | Yellow | Black | COMP. AIR |
| Natural Gas | Blue | White | NAT. GAS |
| Freon | Blue | White | FREON |
| Fuel Oil | Yellow | Black | FUEL OIL |
| Steam | Yellow | Black | STM. |
| Condensate | Yellow | Black | COND. |

Source: USACE, Guide Specification 09900, Painting, General, Table 1.

Fuente: United States, Army Corps of Engineers. LIQUID PROCESS PIPING, ENGINEERING AND DESIGN. Mayo 1999. Página 3-25.

9. INSTRUMENTOS

9.1 Psicrometría y operaciones pos-cosecha

La psicrometría trata con las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el uso de estas propiedades para analizar las condiciones y procesos que envuelven el aire húmedo. Las variables psicrométricas comúnmente usadas son: **temperatura, humedad relativa, temperatura de punto de rocío y temperatura de bulbo húmedo.** Una mejor comprensión de la relación de las variables psicrométricas y sus efectos en los productos perecederos permitirá a los productores de frutas y vegetales, plantas empacadoras y enfriamiento comercial, que proveen enfriamiento pos-cosecha mejores condiciones de enfriamiento y almacenamiento para los productos perecederos frescos.

9.2 Variables psicrométricas

El aire atmosférico contiene muchos componentes gaseosos así como vapor de agua. El aire seco es una muestra de nitrógeno (78%), oxígeno (21%), y argón, dióxido de carbono y otros menores constituyentes (1%), el aire húmedo es la mezcla de dos componentes, aire seco y vapor de agua, la cantidad de vapor de agua en el aire húmedo varía desde cero (aire seco) a un máximo (saturación) el cual depende de la temperatura y la presión. Aunque el vapor de agua representa solo 0.4% a 1.5% del peso del aire, el vapor de agua juega un rol significativo en el efecto de las condiciones del aire sobre la vida pos-cosecha de los productos de consumo perecederos de tipo fresco.

Las propiedades psicrométricas importantes pos-cosecha incluyen: **temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, temperatura de punto de rocío, humedad relativa, razón de humedad, entalpía y volumen específico.**

9.2.1 Temperatura de bulbo seco (db) y temperatura de bulbo húmedo (wb)

Es la temperatura actual del aire, la temperatura de bulbo húmedo (wb) es medida con un termómetro común cubierto con una gasa humedecida con agua y en movimiento continuo en el aire ambiente. La evaporación desde la gasa alcanza un estado estable, en el cual el calor sensible de los alrededores provee calor de vaporización, el flujo de aire que pasa a través del bulbo puede ser suficientemente alto para impedir un cambio significativo en la temperatura del aire del ambiente. La evaporación del agua enfría el bulbo, secando el aire circundante, aumenta la razón de evaporación y baja la temperatura de bulbo húmedo. La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura más baja para la cual una mezcla de aire puede ser enfriada únicamente por la adición de agua sin calor removido.

El proceso de enfriamiento de la mezcla de aire con la adición de agua y no remoción de calor es llamado **enfriamiento evaporativo**. Si el aire es enfriado sin cambios en su contenido de humedad, éste perderá capacidad para guardar humedad. Si es enfriado suficiente, comenzará a saturarse y si sobrepasa el enfriamiento, perderá agua en forma de rocío o escarcha. La temperatura que causa la formación de condensado es llamada **punto de rocío (dp)**, si ésta se encuentra sobre 0°C (32°F), la temperatura es llamada punto de escarcha si está debajo de 0° (32°F).

9.2.2 Humedad relativa (RH)

Una de las variables mas importantes a conocer y quizá la mas usada, este término a sido utilizado para expresar la condición del vapor de agua en aire húmedo. La humedad relativa es definida como la relación de presión de vapor de agua en el aire a presión de vapor de saturación, a la misma temperatura y es normalmente expresada en porcentaje.

9.2.3 Relación de humedad (Relación de mezcla, Humedad absoluta)

Es la relación del peso de vapor de agua en una muestra de aire húmedo al peso de aire seco contenido en la muestra. Esto es usualmente expresado en términos de *kilogramo de agua/kilogramo de aire seco (lbs de agua/lbs de aire seco)*, Esta propiedad es muy usada, permite dos condiciones para ser comparadas en términos del gradiente de humedad entre las condiciones. El vapor de agua se moverá desde una condición con un alto nivel de humedad a una condición con un bajo nivel de humedad.

9.2.4 Entalpía

Es la energía calorífica contenida en una mezcla de vapor de agua. La energía es ambos, calor sensible (temperatura de bulbo seco) y calor latente de vaporización (energía contenida en el vapor de agua), esta variable es importante para cálculos en ingeniería para estimar las toneladas de refrigeración requeridas para enfriar producto perecedero.

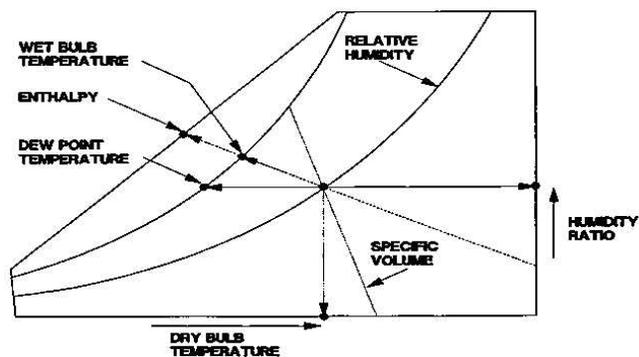
9.2.5 Volumen específico

En una mezcla de aire es definido como el *volumen de la mezcla por unidad de peso de aire seco* y es expresado en términos de m^3/kg de aire seco ó pie^3/lb de aire seco. Esto también es muy importante para cálculos de ingeniería antes que el análisis de condiciones ambientales.

9.3 Carta psicrométrica

La carta psicrométrica es una representación gráfica que describe la relación entre las variables psicrométricas como puede verse en la figura 109. Aunque complicada en apariencia esta carta puede ser usada para establecer un punto de estado y es fácilmente manejable.

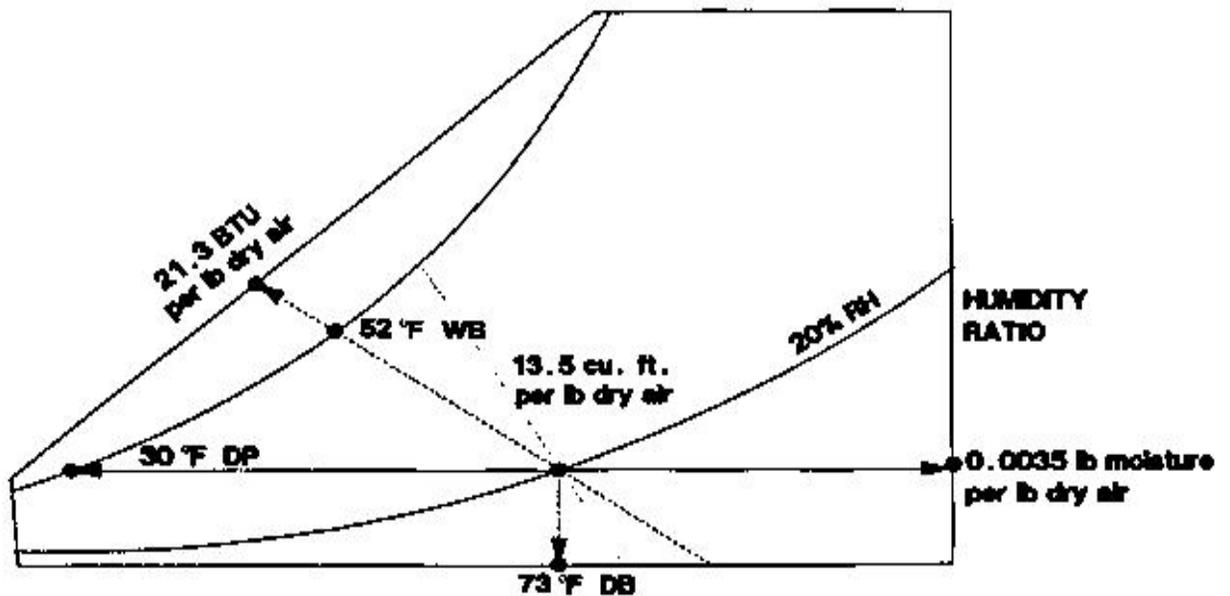
Figura 109. Orientación de las variables psicrométricas sobre la Carta psicrométrica.



Fuente: EDIS, University of Florida, Psychrometrics and Postharvest Operations, Julio 2002, página 3.

La temperatura de bulbo seco es el eje horizontal en la carta. El eje vertical localizado en el lado derecho de la carta es la razón de humedad. Dos de las variables pueden ser conocidas para establecer un punto de estado desde el cual otras variables pueden ser fácilmente obtenidas como muestra la figura 110 y la figura 111.

Figura 110. Variables Psicrométricas localizadas en la carta.



Fuente: EDIS, Universidad of Florida, Psychrometrics and Postharvest Operations, Julio 2002, página 3.

La máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede albergar a una temperatura específica es dada por el mayor número a la izquierda y arriba de las líneas curvas, véase la figura 109. Es notorio que el aire alberga o guarda incrementalmente más vapor de agua el incrementar la temperatura. La máxima cantidad de vapor de agua que el aire

puede guardar se duplica por cada **11 °C (20°F)** de incremento en la temperatura. Esta línea en la figura 109 es también llamada línea de 100% de humedad relativa.

Una línea del 50% de humedad relativa es correspondiente aproximadamente por el punto que representa el radio de humedad cuando al aire contiene una mitad de este máximo contenido de vapor de agua. Las otras líneas de humedad relativa son formadas de similar manera.

La humedad relativa sin otras variables psicrométricas no determina una condición específica de humedad en el aire en la carta y no es muy significativa. Por ejemplo 80% de H.R. a 0°C (32°F) es una condición del aire muy diferente a 80% de H.R. a 20°C (68°F).

Otra variable psicrométrica usada comúnmente es la temperatura de bulbo húmedo. En la carta está representada por líneas inclinadas diagonalmente, desarrollan de derecha a izquierda, ver figura 109. En la práctica las líneas de bulbo húmedo son usadas para determinar el punto exacto sobre la carta psicrométrica el cual representa las condiciones del aire en un local dado, medido por un psicrómetro, este instrumento se describirá más adelante. La intersección de la línea diagonal de temperatura de bulbo húmedo (equivalente a la temperatura de bulbo húmedo del termómetro) y la línea vertical de temperatura de bulbo seco, definen las condiciones de temperatura y humedad del aire.

La temperatura de punto de rocío de un punto de estado dado es encontrada por la intersección de la línea horizontal trazada a través del punto de estado y la línea de 100% de H.R esto puede verse en la figura 109.

La presión de vapor no es mostrada en toda la carta psicrométrica pero es un importante concepto en el manejo de perecederos, puede darse como presión barométrica, una directa correlación existe entre la razón de humedad y la presión de vapor sin tomar en cuenta la temperatura. La presión de vapor es muchas veces usada como una expresión de niveles de humedad particularmente en términos de la diferencia entre la presión de vapor en dos puntos (déficit de presión de vapor).

El vapor de agua fluirá desde un punto de alta presión a un punto de baja presión semejante al flujo de agua creado por una bomba durante la irrigación o el flujo de aire forzado. El déficit de presión de vapor determina la razón de evaporación y por lo tanto la respiración desde los productos hortícolas, lo cual es de gran importancia cuando se manejan productos perecederos frescos.

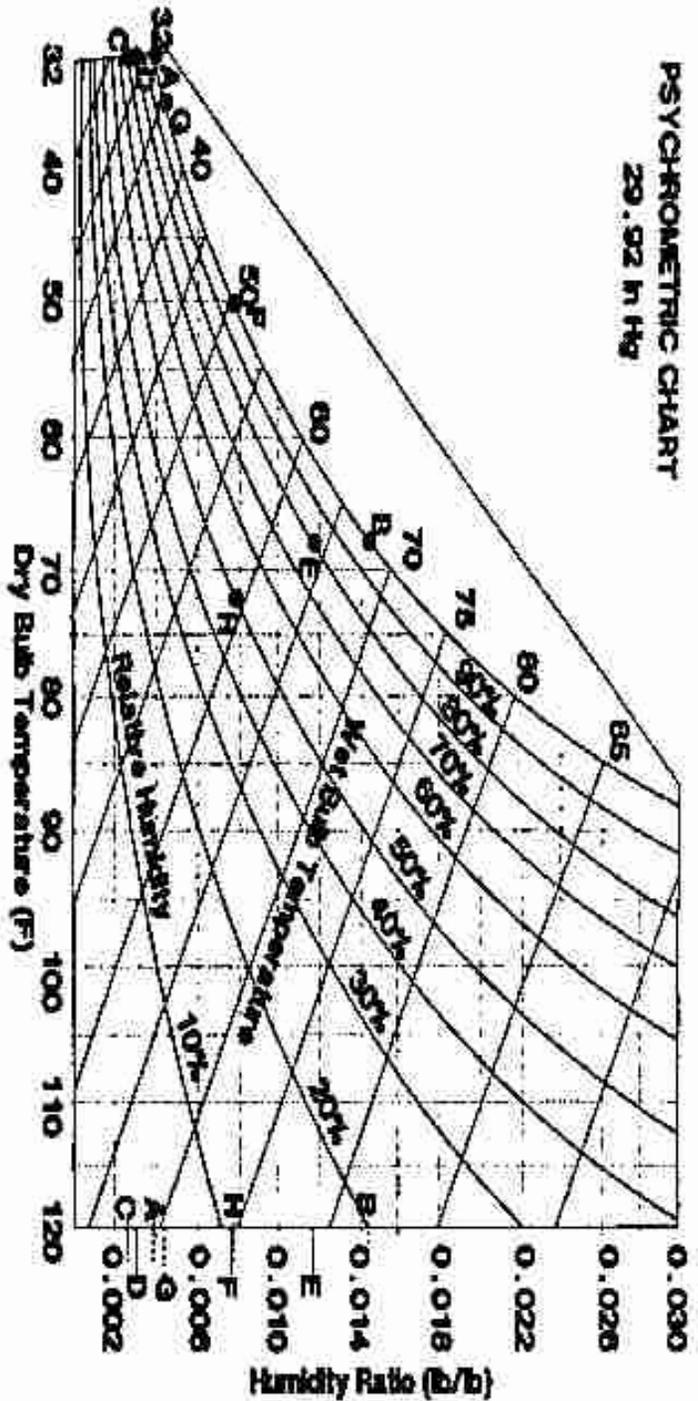
La figura 110 ilustra las propiedades del aire que pueden ser determinadas cuando las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo son conocidas, en este caso 73 °F de bulbo seco y 52 °F de bulbo húmedo, las restantes propiedades son 20% de H.R., 30 °F de temperatura de punto de rocío, 0.0035 lb de agua/lb de aire seco, como razón de humedad 21.3 Btu/lb de aire seco de entalpía y 13.5 pies³/lb de aire seco de volumen específico.

Las figuras 111 y 112 son cartas psicrométricas en unidades inglesa y SI, respectivamente, las cuales ayudarán a ilustrar el significado de varios términos.

Las cartas psicrométricas y los cálculos están basados en una presión atmosférica específica, usualmente una típica condición de nivel del mar.

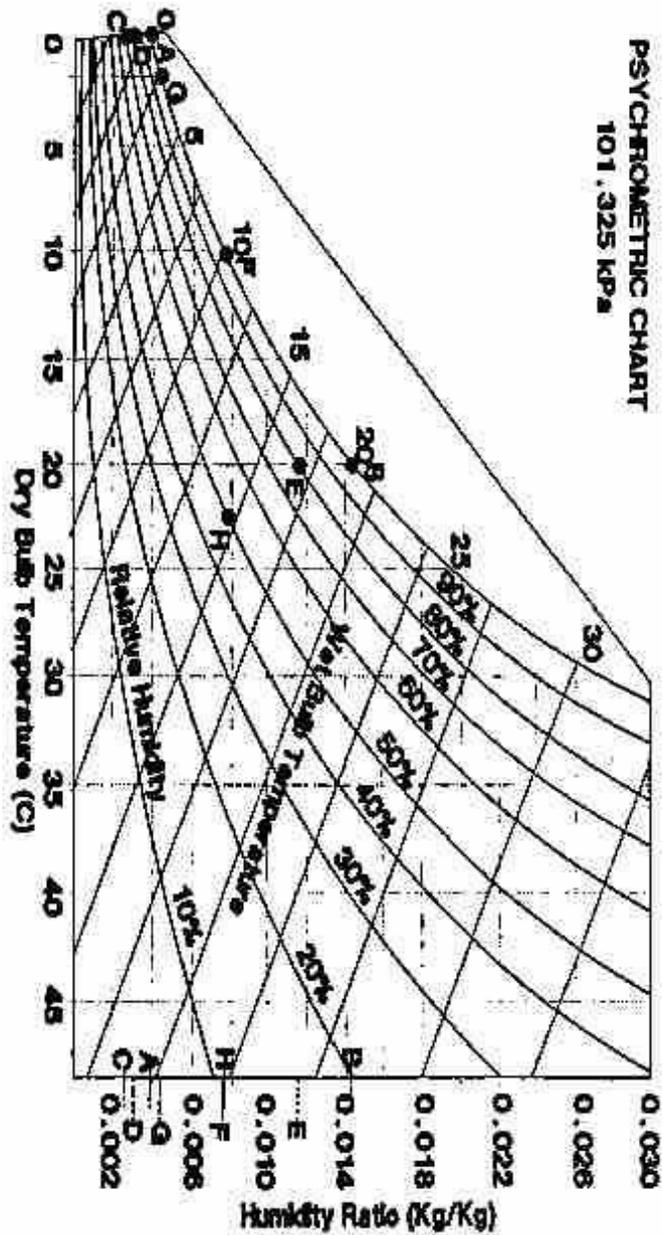
Los cálculos precisos de las variables psicrométricas requerirán ajustes diferentes de presión barométrica, El manual ASHRAE y textos básicos de aire acondicionado proveen más información sobre este tema, La mayor parte de las mediciones no requieren ajuste de presión.

Figura 111. Carta Psicrométrica en unidades inglesas.



Fuente: EDIS, University of Florida, Psychrometrics and Postharvest Operations, Julio 2002, página 4.

Figura 112. Carta Psicrométrica en unidades SI.



Fuente: EDIS, University of Florida, Psychrometrics and Postharvest Operations, Julio 2002, página 5.

9.4 Efecto de las variables psicrométricas sobre los productos perecederos

9.4.1 Temperatura

Todos los productos perecederos tienen un rango óptimo de temperatura de almacenamiento. Sobre la temperatura óptima ellos respiran a altas proporciones inaceptables y son más susceptibles al etileno y daños por enfermedad. En realidad los productos horticulturas respiran al doble, triple o igual al cuádruplo por cada **10 °C (18 °F)** de incremento en la temperatura. Las temperaturas debajo de la óptima resultan en congelamiento o daños por frío intenso. El control exacto de temperatura durante el preenfriamiento y almacenaje es vital para el mantenimiento de la vida y calidad del producto.

9.4.2 Humedad relativa / presión de vapor

La razón de pérdida de humedad desde un perecedero es primariamente controlada por la diferencia en presión de vapor entre el aire de los espacios intercelulares del material de la planta y el aire circundante. Si la presión de vapor de agua incrementa arriba de la indicada, el contenido de humedad del aire incrementará (razón de humedad). El aire en el material de plantas frescas es cercanamente saturado o en otras palabras está cerca de 100% de humedad relativa, por consiguiente la razón de humedad de este aire esta determinada solamente por la temperatura del material de la planta.

En la carta psicrométrica se podría apreciar en apariencia que bajas temperaturas resultan en bajas razones de humedad y altas temperaturas resultan en altas razones de humedad.

Al considerar ejemplos de cómo la deshidratación de productos perecederos es influenciada por las diferencias de presión de vapor (razón de humedad). Se puede considerar el maíz dulce, si es pre-enfriado a 0 °C (32 °F) (punto A, figuras 111 y 112) y colocado en un cuarto refrigerado con aire saturado a 0 °C (32 °F) (también punto A, figuras 111 y 112), el maíz no perderá humectación, porque la razón de humedad y la temperatura del aire en el maíz y el aire circundante es la misma.

No obstante el maíz estará a 20 °C (68 °F) (punto B, figuras 111 y 112) porque no fue pre-enfriado antes de ser colocado en el mismo cuarto refrigerado, el aire en el maíz tendrá una alta presión de vapor (alta temperatura y razón de humedad) comparado al aire refrigerado, causando que el maíz se deshidrate.

Si el maíz es preenfriado a 0 °C (32 °F) (nuevamente punto A, figuras 111 y 112), pero el aire refrigerado tendrá 70% de humedad relativa (punto C, figuras 111 y 112), la deshidratación ocurriría también porque el aire refrigerado es más bajo en razón de humedad que el aire situado en el maíz. No obstante la razón de pérdida de humectación es muy grande cuando el maíz es pre-enfriado que cuando está a temperatura de almacenamiento pero el aire del cuarto de almacenamiento no es saturado. Por ejemplo la diferencia en razón de humedad entre el aire en el maíz y el aire del almacén es más de nueve veces cuando el maíz no es pre-enfriado que cuando éste es enfriado y colocado en aire no saturado en el almacén.

9.4.3 Humedad relativa

La humedad relativa es un término comúnmente usado para describir la humedad del aire, pero no es particularmente significativo sin conocer la temperatura de bulbo seco del aire. Estas dos variables permiten la determinación de la razón de humedad la cual es un mejor indicador del potencial de deshidratación.

Del ejemplo anterior, la razón de humedad a 80% de H.R y 0 °C (32 °F) (punto D, figuras 111 y 112) es mucho menor que la razón de humedad del aire a 80% de H.R. y 20 °C (68 °F) (punto E, figuras 111 y 112). En el ejemplo anterior si el maíz dulce fuera enfriado a 10 °C (50 °F) (punto F, figuras 111 y 112) y el aire refrigerado está a 0 °C (32 °F) y 100% de H.R. (nuevamente punto A, figuras 111 y 112), la deshidratación ocurriría porque el aire refrigerado está a una baja razón de humedad que el aire saturado en el maíz.

Por lo tanto, el 100% de H.R. no significa que no haya potencial pérdida de humectación. Para adicionar a lo ilustrado, el uso de la humedad relativa sola puede crear confusión, considerar un cuarto frío trabajando a 2 °C (35 °F) y 100% de H.R. (punto G, figuras 111 y 112) expuesto a un aire exterior con condiciones de 23 °C (72 °F) y 50% de H.R. (punto H, figuras 111 y 112). Considerando el porcentaje de humedad relativa solo, hay un aparente gradiente de humedad de 2 a 1, desde la atmósfera del cuarto frío hacia las condiciones del ambiente exterior, mientras considerando la razón de humedad el gradiente de humedad actúa desde las condiciones ambientales hacia el interior de la atmósfera del cuarto frío. El uso de la carta psicrométrica nos permite predecir la dirección de la potencial migración del vapor de agua.

9.4.4 Temperatura de punto de rocío

La condensación de agua líquida sobre el producto perecedero y sobre la superficie de los contenedores puede ser un factor que causa problemas de enfermedades y degradación del producto así como de la resistencia del contenedor. Si un producto es enfriado a una temperatura debajo de la temperatura de punto de rocío del aire exterior y sacado del cuarto frío, formará condensado. Esto puede ocurrir cuando el producto está expuesto a condiciones ambientales entre el pre-enfriamiento y el cuarto frío, y entre el cuarto frío y el transporte refrigerado.

La condensación sobre el producto, contenedores y paredes del cuarto de almacenamiento puede ocurrir en almacenaje, si la temperatura del aire fluctúa mucho. Otra forma de condensación ocurre en el cuarto de almacenamiento debido a que el aire es circulado sobre el serpentín enfriador del evaporador del sistema de refrigeración. La temperatura del serpentín enfriador es usualmente más baja que el aire de retorno y el aire es enfriado debajo de la temperatura de punto de rocío, condensando humedad, removida desde el cuarto frío (bandejas de drenaje).

A menos que humedad sea agregada por un sistema de humidificación, la humedad condensada sobre el serpentín será reemplazada por humedad desde el producto almacenado.

Para reducir la pérdida de humedad debido a la condensación sobre el serpentín de enfriamiento, la diferencia de temperatura entre el aire de retorno y el serpentín puede

ser reducida. Puede realizarse usando serpentines con áreas superficiales suficientemente grandes. Esto incrementará el costo del sistema de enfriamiento pero es la mejor manera para mantener altos niveles de humedad.

9.5 Medida de las variables psicrométricas

Todas las propiedades psicrométricas del aire pueden ser determinadas a partir de la medición de dos variables psicrométricas. Por ejemplo si se conocen la temperatura de bulbo seco y húmedo entonces la humedad relativa, la razón de humedad (presión de vapor), punto de rocío y demás pueden ser determinadas usando la carta Psicrométrica, las variables más usadas son: *temperatura de bulbo seco*, *temperatura de bulbo húmedo*, *temperatura de punto de rocío* y *humedad relativa*, para determinar el estado psicrométrico del aire.

9.5.1 Temperatura de bulbo seco

La temperatura de bulbo seco puede ser fácil y barato medirla con un termómetro de vidrio con mercurio. El termómetro debe tener divisiones de al menos **0.2 °C (0.5 °F)** si el termómetro es usado en conjunto con un termómetro de bulbo húmedo para determinar las condiciones del aire en cuarto frío. El termómetro debe ser protegido de la fuente de calor radiante como motores, luces, paredes externas y personas. La protección puede ser realizada colocando el termómetro tal que no tome lectura de objetos tibios o protegiendo éste con una armadura para calor radiante.

También pueden ser usados, termistor de mano, bulbo de resistencia o termómetro termo-copla. Un termómetro de termo-copla manual ofrece diversas ventajas incluyendo rápida respuesta, durabilidad y flexibilidad. Un instrumento de adecuada exactitud y precisión puede ser comprado por medio de catálogos para productos agrícolas o suplementos generales desde US\$100 a US\$250 dependiendo de opciones y accesorios

Estos instrumentos están equipados con una punta de prueba permitiendo ser usados para medir la temperatura de la pulpa como puede verse en la figura 113 y 114. En adición a los sensores portátiles, las puntas termo-coplas pueden ser extendidas de un punto central para un monitoreo remoto, pero esto requiere un costo inicial adicional para puntas con capacidad multi-canal. Los termómetros de vidrio-alcohol y dial bimetalico no son recomendados debido a límites de exactitud, inadecuada calibración y lento tiempo de respuesta.

Figura 113. Termómetro para uso industrial.



Fuente: Cooper Atkins instruments, Catalogue 2007, página 14.

Figura 114. Termómetros para control de calidad en producto.

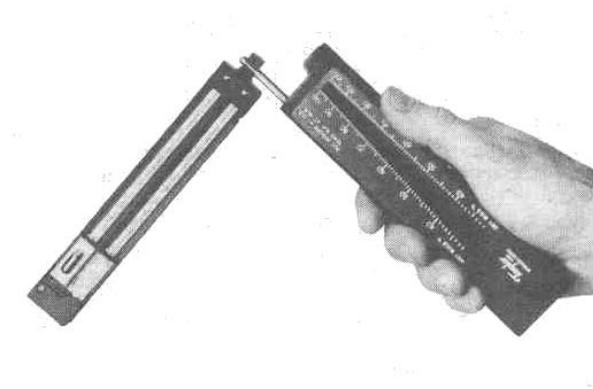


Fuente: Cooper-Atkins Inc. **CATALOGUE 2003**. www.atkinstempotec.com/Products-Detail.asp.

9.5.2 Temperatura de bulbo húmedo

El uso del termómetro de bulbo húmedo en conjunto con un termómetro de bulbo seco es un método muy común de determinar el punto de estado sobre la carta psicrométrica, tal instrumento llamado psicrometro consiste de un par de sensores de temperatura, uno de los cuales es mantenido humedecido, el termómetro de bulbo húmedo es básicamente un termómetro ordinario de vidrio (aunque elementos electrónicos para sensar temperatura pueden ser usados) con una gasa de algodón humedecida asegurada alrededor del depósito. El aire es forzado sobre la gasa causando que enfríe hasta la temperatura de bulbo húmedo. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo juntas determinan el punto de estado del aire sobre la carta psicrométrica permitiendo que las variables sean determinadas.

Figura 115. Psicrómetros análogo o manual.



Fuente: Grainger, General Catalogue No. 377, página 407.

Figura 116. Psicrómetro digital portable.



Fuente: Grainger, General Catalogue No. 377, página 408.

El psicrómetro es un instrumento valioso para evaluar las condiciones internas de un cuarto frío de almacenamiento. Diversos tipos de psicrómetro están disponibles. Un psicrómetro honda consiste de un termómetro de bulbo seco y húmedo, y un mango para

rotarlo a fin de proveer el flujo de aire necesario para la evaporación (figura 115). La exactitud de la lectura de temperatura de bulbo húmedo depende de:

- Sensibilidad y precisión del termómetro.
- Manteniendo una adecuada velocidad del aire a través de la gasa.
- Protegiendo el termómetro de radiación.
- Uso de agua destilada o desionizada para humedecer la gasa.
- Usar una gasa de algodón.

La sensibilidad del termómetro requerida para determinar una humedad exacta varía de acuerdo al rango de temperatura del aire. A bajas temperaturas más sensibilidad es necesaria que a altas temperaturas. Por ejemplo en 65 °C (149 °F) un error de 0.5 °C (0.9 °F) en la temperatura de bulbo húmedo resulta en un error de 2.6 % en la determinación de la humedad relativa pero en 0 °C (32 °F) un error de 0.5 °C (0.9 °F) en la temperatura de bulbo húmedo resulta en un error de 10.5 % en la determinación de la humedad relativa.

En la mayoría de los casos la calibración absoluta del termómetro de bulbo seco y húmedo no es tan importante como asegurarse que produzcan las mismas lecturas a una temperatura dada. Por ejemplo si en ambos termómetros se tiene una lectura de 0.5 °C (0.9 °F) debajo de la lectura correcta, esto resultará en un error no mayor de 1.3 % en la humedad relativa, en la temperatura de bulbo seco entre 65 °C (149 °F) y 0 °C (32 °F) cuando la diferencia entre la temperatura de bulbo seco y húmedo leída es 5 °C (9 °F).

Antes de humedecer la gasa del termómetro de bulbo húmedo, ambos termómetros serán operados suficiente tiempo para determinar si hay cualquier diferencia entre sus lecturas, si hay una diferencia y el termómetro es usado, una es asumida correcta y la lectura del otro ajustada de acuerdo a la determinación de la humedad relativa.

La razón de evaporación de la gasa es una función de la velocidad del aire que la atraviesa. Una mínima velocidad del aire alrededor de **3 m/s (500pies/min.)** es requerida para lecturas exactas. Una velocidad del aire muy por debajo de esta resulta en una lectura muy alta de bulbo húmedo. Como con el termómetro de bulbo seco, las fuentes de calor radiante como motores, luces y otros, afectan el termómetro de bulbo húmedo. La lectura puede ser tomada en un área protegida de estas fuentes de radiación o el termómetro será protegido de la energía radiante.

Formación de sales de agua contaminada o contaminantes en el aire afectarán la razón de evaporación de agua en la gasa y resultará un dato erróneo. El agua destilada o desionizada será usada para humedecer la gasa y será reemplazada al haber cualquier signo de contaminación. Estos cuidados serán tomados para asegurar que el material de la gasa no tenga o sea tratado con químicos o compuestos que afectan la razón de evaporación de agua. Estas precauciones pueden pasarse por alto al usar un psicrómetro digital (figura 116), solo es necesario tener el instrumento inmerso en el ambiente a medir en varios puntos y con sólo presionar un botón se registra el parámetro.

En general propiamente diseñado y operado el psicrómetro de bulbo seco y húmedo puede operar con una exactitud no mayor de 2% de la humedad relativa actual. La operación impropia incrementa el error.

9.5.3 Humedad relativa

En la medición directa de la humedad relativa usualmente se emplea un elemento sensor eléctrico o un sistema mecánico. Los higrómetros eléctricos como el mostrado en la figura 117 y figura 118, operan usando sustancias cuyas propiedades eléctricas cambian debido a que son función de su contenido de humedad, así como la humedad del aire circundante incrementa la del sensor, su incremento de humedad es proporcional, afectando las propiedades eléctricas del sensor.

Figura 117. Medidores de humedad relativa e higrómetro, portables.



Fuente: Dwyer Instruments, Inc. GENERAL CATALOGUE 2006.
www.dwyerinstruments.com.

Figura 118. Indicador de humedad relativa y temperatura, para control de la calidad del aire en enfriadores evaporativos.



Fuente: DeltaTRACK instruments, General Catalogue 2007, www.DeltaTrackinstruments.com.

Estos aparatos son más costosos (ver figura 116) que los psicrómetros de bulbo seco y húmedo, pero en ellos la exactitud no se ve severamente afectada por operación incorrecta. Una exactitud no mayor del 2% de la humedad actual es muchas veces fácilmente obtenible.

Los sensores perderán su calibración si se permite contaminación y presencia de condensado en ellos, la mayoría de los sensores tienen un límite de vida. Los instrumentos para humedad relativa no son recomendados para uso en las condiciones toscas que se encuentran en la mayoría de plantas empacadoras. Los higrómetros mecánicos usualmente emplean cabellos humanos y cabellos sintéticos como un elemento sensor de humedad relativa. El cabello cambia de longitud en proporción de la humedad del aire. El elemento de cabello humano o sintético responde lentamente a cambios en la humedad relativa y no es confiable a muy altas humedades relativas.

Estos dispositivos son aceptables como un indicador de un rango general de humedad pero no son especialmente confiables para medidas exactas de humedad relativa.

9.5.4 Indicadores de punto de rocío

Dos tipos de sensores de punto de rocío son usados comúnmente hoy: Un sistema de sal saturado y un método de condensación de punto de rocío. El sistema de sales saturadas opera a puntos de rocío entre **-12 °C a 37 °C (10 °F a 100 °F)** con una exactitud menor a **1 °C (2 °F)**. El sistema es bajo en costo comparado con el sistema de condensado, no es significativamente afectado por iones contaminantes y su respuesta de tiempo es alrededor de los **4 minutos**.

El tipo de condensación es muy preciso, menor a **0.5 °C (0.9 °F)**, sobre un rango ancho de temperatura de punto de rocío, desde **-73 °C a 100 °C (-100 °F a 212 °F)**. Un higrómetro de condensación de punto de rocío puede ser costoso. Hay una variedad de otros métodos para medir las variables psicrométricas, algunos son extremadamente precisos y tienen algunas características las cuales hacen que se sitúen para mediciones de prueba. No obstante la mayoría no están comercialmente disponibles y son usados primariamente en laboratorios de instrumentos.

9.5.5 Medición de la presión estática y velocidad

Un medidor de presión estática como el mostrado en la figura 120 con una escala apropiada en pulgadas de columna de agua (w.c.), proporciona información de cuanto

corto-circuito de aire está ocurriendo. El tubo de baja presión puede ser instalado dentro del túnel entre las paletas de producto tan lejos del ventilador como sea posible, mientras que el tubo de alta presión debe ser instalado en el flujo normal de aire a través del producto, cuando el medidor tenga esta opción, puede hacerse también con dos medidores uno de baja presión y el otro de alta presión.

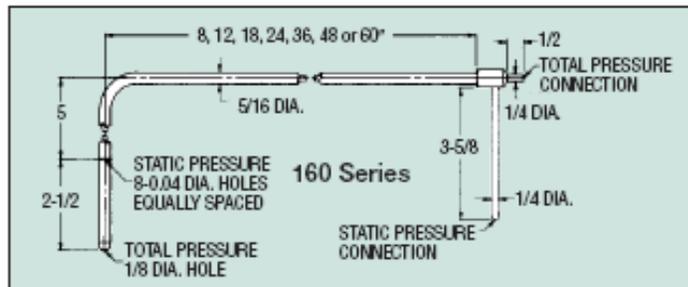
Para la mayoría de las aplicaciones la diferencia de presión estática debería ser 12 mm (0.5 pulgadas de columna de agua), estas mediciones indicarán que tanto está el ventilador succionando, si la diferencia de presión estática se eleva puede concluirse que el ventilador está trabajando, bien succionando el aire a través del producto y asegurando que el aire viaja a través de este y no a su alrededor.

Es de importancia mencionar que todos los instrumentos que miden parámetros en el aire trabajan con **tubo Pitot** (figura 119). Consiste en dos tubos concéntricos, el tubo interior tiene un orificio en el extremo, que se apunta directamente hacia la corriente de aire y por lo tanto indica la presión total. El tubo exterior tiene agujeros en la circunferencia, que son perpendiculares al flujo de aire, y por lo tanto la presión estática se transmite a través de él.

Si se conecta la salida de la presión total a un brazo del manómetro y la salida de la presión estática al otro, el manómetro indica la diferencia entre esas presiones. A esa diferencia se le llama presión de la velocidad, de esta manera puede relacionarse la velocidad con la presión estática.

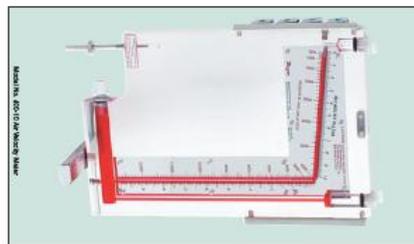
Por ello en el mercado puede encontrarse instrumentos que registran la velocidad del aire en fpm (pies cúbicos por minuto) juntamente con la presión estática en w.c. (columna de agua), como el mostrado en las figuras 120.

Figura 119. Tubo Pitot para la medición de la presión estática y presión total en el túnel de succión de aire.



Fuente: Dwyer Instrumens, Inc. GENERAL CATALOGUE 2006.
www.dwyerinstruments.com.

Figura 120. Instrumento que registra la velocidad del aire en pies por minuto (fpm) y la presión estática en pulgadas de columna de agua (wc).



Fuente: Dwyer Instrumens, Inc. GENERAL CATALOGUE 2006.
www.dwyerinstruments.com.

9.5.6 Medición del volumen de aire o caudal

La importancia de la medición de la velocidad del aire radica en conocer el alcance de succión del ventilador, según el número de tarimas colocadas formando el túnel, además nos indica si los **fpm** (pies por minuto) del ventilador son los adecuados para el tipo de producto a enfriar. Para realizar esta medición tanto desde el punto de vista de control de calidad del producto como de mantenimiento del equipo se puede utilizar una diversidad de equipos existente en el mercado.

Para medir la velocidad del aire en diferentes puntos del túnel se utiliza un medidor de velocidad de aire de tipo hélice portable, comúnmente llamado anemómetro, este instrumento debe responder a las exigencias de la atmósfera en donde va a ser usado, actualmente estos instrumentos combinan la medición de velocidad de aire (**fpm**) con la medición de volumen de aire en pies cúbicos por minuto (**cfm**) como se aprecia en la figura 121, que incluye además la medición de temperatura del aire circulante.

Figura 121. Anemómetro de aspas giratorias para la medición del caudal de aire en pies cúbicos por minuto (cfm).



Fuente: Alnor instrumentos, Inc. **CATALOGUE 2004**. www.alnor.com.

9.6. Relación entre velocidad de flujo de aire, presión de velocidad y presión estática

La presión total de un fluido en movimiento se define por medio de la ecuación:

$$H_t = H_s + H_v$$

Donde: H_t = presión total.

H_s = Presión estática.

H_v = Presión de la velocidad.

La presión estática es la presión que tiene el fluido en reposo, la presión de la velocidad, se ha definido como:

$$H_s = V^2/2g$$

La energía de presión total que tiene un fluido en cualquier punto se puede considerar formada por dos partes: su energía de presión estática y su energía de presión de velocidad. Esta idea es útil para medir las velocidades y flujos en tuberías y ductos. Si obtenemos la presión de velocidad por medición directa del tubo Pitot, se puede calcular la velocidad despejando V .

Al medir el flujo de aire empleado pulgadas de columna de agua como unidad de presión, y al estar la velocidad en fpm, se obtiene la siguiente ecuación.

$$V = 4000 \sqrt{H_v}$$

En la cual se tiene:

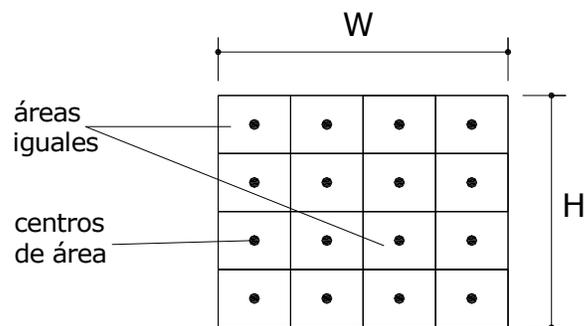
V = Velocidad del aire en pies por minuto (fpm).

H_v = Presión de velocidad en pulgadas de columna de agua (w.c).

Es necesario tomar varias lecturas para tener una velocidad promedio, debido a que en general la velocidad en cualquier sección varía en distintos lugares, y por lo tanto se necesita encontrar una velocidad promedio. Esto se lleva a cabo colocando el tubo en varios lugares diferentes, llamado mapeo, midiendo las presiones de velocidad en esos puntos como lo muestra la figura 122, calculando las velocidades y promediándolas.

Para ductos rectangulares se toman indicaciones en 16 puntos o más lugares. Cuando se usa un tubo Pitot se debe tener cuidado que el sensor apunte directamente hacia la corriente de aire.

Figura 122. Mapeo que muestra las posiciones del tubo Pitot para efectuar mediciones en ductos rectangulares.



Fuente: Acondicionamiento de Aire, Eduard G. Pita. Capítulo 16, página 451.

Una vez encontrada la velocidad promedio del fluido en el túnel y teniendo el valor de la sección a lo largo del túnel, se puede calcular el caudal de aire que pasa por medio de la ecuación siguiente:

$$\text{VRF} = A * V$$

Tenemos: VRF = Flujo volumétrico de aire en pies cúbicos por minuto (cfm).

A = Área efectiva en pies cuadrados.

V = Velocidad promedio del aire en pies por minuto (fpm).

9.7. Monitoreo de Parámetros

Los parámetros que deben ser monitoreados diariamente son: la temperatura del producto, temperatura del ambiente, humedad relativa, velocidad del aire, flujo volumétrico y presiones dentro del túnel. Puede adoptarse una rutina diaria en períodos de 1 hora para el monitoreo de la humedad relativa, temperatura del ambiente y temperatura del producto.

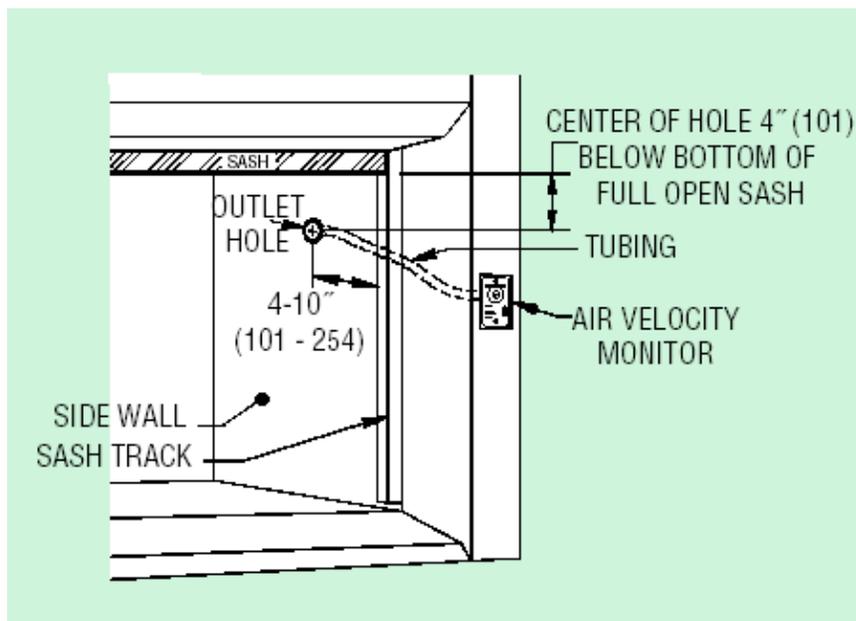
Para los parámetros dentro del túnel, puede hacerse en forma diaria la medición de presiones y velocidades, el flujo volumétrico puede medirse una vez al día, pero si las cargas de productos no son constantes en tamaño, habrá que tomar datos cada vez que una carga sea puesta frente a la máquina.

Estas mediciones las hace un operador entrenado para tal efecto y en un formato especialmente diseñado para ello por carga de producto y máquina utilizada, se registran todos los datos, con el objetivo de tener registros diarios, semanales, mensuales y por

cosechas para posteriormente analizarlos y obtener una tendencia del comportamiento del producto y equipo.

Para el monitoreo de los parámetros puede tenerse instrumentos registradores e indicadores instalados permanentemente en los equipos como lo muestra la figura 123, en la cual un monitor de velocidad de aire conectado a un tubo Pitot por medio de una tubería de material polimérico que soporta las condiciones ambientales, está montado en una pared adyacente al flujo de aire.

Figura 123. Monitor de velocidad de aire instalado en panel.



Fuente: Dwyer Instrumens, Inc. GENERAL CATALOGUE 2006.
www.dwyerinstruments.com.

9.8 Trazabilidad

Actualmente, todos los productores de melón cantaloupe han adoptado un código de trazabilidad, para identificar plenamente al producto, principalmente en los mercados con altas regulaciones sanitarias como Estados Unidos.

Este código permite conocer todas las variables que intervienen en su producción, desde siembra pasando por fertilización, protección, cosecha hasta el tratamiento pos-cosecha que consiste en el enfriamiento por alta humedad y mantenimiento.

Este código va impreso en etiquetas autoadheribles que son pegadas en cada caja de producto que se despacha, acompaña a esta etiqueta con el código de trazabilidad, el sello de certificación internacional de inocuidad de alimentos HACCP.

El código que rige actualmente consta de cuatro campos definidos, por medio de estos el distribuidor del producto puede resolver las dudas del consumidor con sólo solicitar información al productor por medio del código que lleva adherido el empaque del producto, ya que se cuenta con registros del producto. Los campos mencionados son:

1. Finca de Procedencia: A cada finca productora le es asignado una letra código, por ejemplo:

| CODIGO DE FINCAS | |
|------------------|--------------------|
| N | FINCA SAN NICOLAS |
| J | FINCA SAN JOSE |
| G | FINCA MONTE GRANDE |

2. Mes de cosecha: La temporada de producción está comprendida desde el mes de octubre al mes de junio del año siguiente, el código es también una letra.

| CODIGO DE MES | |
|---------------|-----------|
| A | OCTUBRE |
| B | NOVIEMBRE |
| C | DICIEMBRE |
| D | ENERO |
| E | FEBERO |
| F | MARZO |
| G | ABRIL |
| H | MAYO |
| I | JUNIO |

3. Fecha de corte: La fecha de corte simplemente se representa por el día.
4. Lote: Este código es utilizado desde que el producto entra a la planta de empaque, el departamento de control de calidad los asigna conforme realizan un muestreo aleatorio del producto para medir sus parámetros, los resultados son asignados al lote, este valor define también la forma en que fue enfriado el producto y almacenado para su mantenimiento, antes de ser despachado, regularmente es un número que indica el orden de entrada de los lotes a la planta acompañado de una letra que identifica el campo de procedencia..

Por ejemplo: 1A, 2A,.....1B, 2B, 3B,.....etc.

Para una mejor comprensión del código de trazabilidad se muestra un ejemplo de su uso.

| | | | |
|----------|----------|-----------|-----------|
| N | C | 24 | 3A |
|----------|----------|-----------|-----------|

| | |
|----|----------------------------------|
| N | FINCA SAN NICOLAS |
| C | COSECHADO EL MES DE DICIEMBRE |
| 24 | DÍA DE COSECHA DEL PRODUCTO |
| 3A | LOTE |

Este ejemplo indica que la finca productora es San Nicolás, que fue cosechado el 24 de diciembre, el producto pertenece al tercer lote ingresado a la planta de empaque y proviene del campo de cultivo identificado con la letra A de la finca citada.

10. TRATAMIENTO Y SANITIZACIÓN DE AGUA.

10.1 Sanitización de agua recirculada

Los patógenos presentes sobre la fruta fresca y vegetales, acumulados en sistemas de manejo de agua en los cuales el agua es recirculada, pueden verse saludables, los productos que vienen del campo pueden albergar gran población de patógenos, particularmente durante el calentamiento, o tiempo lluvioso.

Cuando las frutas y vegetales son inmersas en agua conteniendo patógenos pueden comenzar a infectar e iniciar el proceso de descomposición durante el envío o manejo. Muchos problemas de decaimiento pos-cosecha resultan desde el uso incorrecto de cloro para sanitizar los cuartos de empaque, aunque muchos empacadores agregan cloro al agua de los sistemas de manejo.

La eficacia de estos tratamientos en reducir el decaimiento pos-cosecha puede ser disminuida o mantenida inexistente a través de fallas en el seguimiento de las guías para sanitización de aguas en plantas empacadoras.

Siempre que un producto es descargado dentro del agua o lavado con recirculación de agua que no es mantenida bajo estas condiciones hay una buena probabilidad que existan problemas de decaimiento que pueden acrecentarse durante el manejo y envío.

El primer requerimiento del mantenimiento del agua sanitizada, es la adición de un sanitizante aprobado, al agua que va a utilizarse con productos alimenticios. Toda el agua recirculada debe ser cambiada sobre una base diaria, o más frecuentemente si el agua se pone extremadamente dura debido a la formación de materia orgánica. Las muestras deben ser tomadas en una base horaria.

10.2 Elección del sanitizante

La adecuada sanitización del agua (especialmente la recirculada) usada en tanques de descarga, Hydrocooler, etc, de productos fresco en plantas empacadoras, es importante para ofrecer un producto sano al consumidor. No sólo las condiciones sin sanitización promueven directamente la pérdida de producto por decaimiento, el propósito es elevar la seguridad en los alimentos por los patógenos humanos ya que pueden llegar a tener un incremento importante para el consumidor. El agua es uno de los mejores transportes de patógenos y puede ser tratada (químicamente o físicamente) para prevenir su acumulación y prevenir la contaminación del producto sano.

Tales tratamientos no son particularmente efectivos para reducir los niveles de patógenos alrededor o sobre la superficie del producto, estos son mucho más efectivos para prevenir la contaminación en primer lugar. Aunque el cloro es corrientemente el sanitizante elegido por plantas empacadoras, otros químicos están aprobados por **EPA (Environmental Protection Agency)** para contacto con productos alimenticios, los siguientes son algunos de los químicos anti-microbianos aprobados presentando inicialmente en la tabla XVIII algunas de sus ventajas y desventajas, posteriormente se tratará con mas detalle cada uno de ellos. Aunque el amonio cuaternario es un efectivo

sanitizante con propiedades útiles, puede ser usado para sanitizar equipo, no está registrado para contacto con alimentos.

Tabla XVIII. Químicos sanitizantes para plantas empacadoras.

| PRODUCTO | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|---|---|
| Cloro (El sanitizante más usado en sistemas de agua de plantas empacadoras). | Relativamente barato. 2. Amplio espectro, efectivo contra muchos microbios diferentes. 3. Prácticamente no deja residuo sobre el producto fresco perecedero | 1. Corrosivo para equipos. 2. Sensible para pH, debajo de 6.5 o arriba de 7.5 reduce actividad o incrementa hedores nocivos. 3. Puede irritar la piel y dañar las membranas mucosas. |
| Dióxido de Cloro | Actividad es mucho menor, pH dependiente del cloro. | 1. Puede ser generado en el sitio. 2. Mayor riesgo de exposición humana que el cloro, producción de gases tóxicos es común. 3. Concentración de gases puede ser explosiva. |
| Ácido Peroxiacético | 1. No se conocen residuos tóxicos o subproductos. 2. Produce muy pocos gases. 3. Menos afectado por materia orgánica que el cloro. 4. Baja corrosión para equipos. | 1. Actividad es reducida en presencia de iones metálicos. 2. Producto concentrado es muy tóxico para humanos. 3. Sensible para pH, grandemente reduce actividad sobre pH 7-8. |
| Ozono | 1. Muy fuerte oxidante/sanitizante. 2. Puede reducir los residuos de pesticidas en el agua. 3. Menos sensitivo para pH que el cloro, pero se degrada más rápido sobre un pH aproximado de 8.5. 4. No se conocen residuos tóxicos o subproductos | 1. Puede ser generado en el sitio. 2. El gas ozono es tóxico para los humanos, gases pueden ser un problema. 3. El agua tratada debe ser filtrada para remover partículas y materia orgánica. 4. Muy corrosivo para equipos (incluyendo hule y algunos plásticos). 5. Altamente inestable en agua, vida media 15 minutos; puede ser menor que 1 minuto en agua con materia orgánica o tierra. |

Fuente: UF/IFAS, capítulo 18, página 96.

10.2.1 Cloro

El cloro es corrientemente el método predominante usado por plantas empacadoras para sanitizar los sistemas de agua. La principal ventaja en el uso del cloro es que es efectivo para matar un amplio rango de patógenos y es relativamente barato. Este también deja muy poco residuo o película sobre la superficie, no obstante, el cloro es corrosivo para los equipos y el pH puede ser monitoreado y ajustado muchas veces para mantener el cloro en forma activa.

La continua adición de cloro sin cambio o renovación de agua puede resultar en la acumulación de altas concentraciones de sales que pueden dañar algo el producto. Adicional, el cloro puede reaccionar con la materia orgánica para formar pequeñas cantidades de *trihalometanos (THM's)*, esto puede ser carcinógeno, pero el riesgo de cloro-generador de THM's en productos frescos es extremadamente bajo.

10.2.2 Dióxido de Cloro (ClO₂)

El dióxido de cloro es un producto producido sintéticamente, es un gas verde amarillento con un olor similar al cloro. El dióxido de cloro es típicamente usado en concentraciones entre 1 ppm a 5 ppm, este usualmente puede ser generado en el sitio porque el gas concentrado puede ser explosivo y se descompone rápidamente cuando es expuesto a luz o temperaturas sobre los 50 °C (122 °F). Estos gases concentrados también se perfilan como un gran riesgo para los trabajadores, más que el hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

Los olores nocivos de los gases liberados pueden ser un problema común, especialmente a altas concentraciones, lo cual restringe su uso a áreas bien ventiladas, alejadas de los trabajadores. A diferencia del cloro, el ClO_2 no hidroliza en agua, es virtualmente inafectado por los cambios de pH entre 6 a 10 y no reacciona con la materia orgánica para producir THM's. El ClO_2 puede producir otros subproductos potencialmente peligrosos (*cloratos* y *cloritos*). No es fácil analizar por monitor las concentraciones de ClO_2 ya que no está disponible el instrumento para hacerlo.

10.2.3 Ácido Peroxiacético (PAA)

El ácido peroxiacético es un fuerte oxidante formado a partir del peróxido de hidrógeno y ácido acético. El producto concentrado (40% PAA) tiene un olor picante, es altamente tóxico para los humanos, el PAA es muy soluble en agua con muy poca liberación de gases, esto no deja conocer los efectos tóxicos para la salud con el uso de este producto en frutas y verduras o el residuo dejado en ellos.

A diferencia del cloro y el ozono este tiene muy buena estabilidad en agua conteniendo materia orgánica, lo cual puede grandemente incrementar la longevidad del sanitizante y este no es corrosivo para el equipo, el PAA es más activo en entornos ácidos con pH entre 3.5 y 7, pero su actividad declina rápidamente sobre un pH de 7 a 8, las altas temperaturas y la contaminación con iones metálicos reducirán esta actividad.

10.2.4 Ozono (O₃)

El ozono es un gas soluble en agua formado por división del O₂ (con electricidad o luz UV), esto reacciona adicionándose O₂ para formar O₃. El ozono gaseoso es uno de los más fuertes agentes oxidantes y sanitizantes disponibles, es altamente corrosivo para el equipo incluyendo el hule, algunos plásticos y fibra de vidrio. En 1997 fue generalmente reconocido como seguro y el O₃ es corrientemente legal para aplicaciones con contacto en alimentos.

Aunque el O₃ no es particularmente soluble en agua (30 ppm a 20 °C), concentraciones de 0.5 ppm a 2 ppm son efectivas contra patógenos en agua limpia sin sólidos o materia orgánica. En la práctica concentraciones constantes de 10 ppm son difíciles para obtener y concentraciones de 5 ppm o menos son más comunes, se tienen reportes que el O₃ puede inducir resistencia a ataques subsecuentes de hongos en algunos productos hortícolas.

El ozono se descompone rápidamente en agua, con una vida media de 15 a 20 minutos en agua limpia y no más de 1 minuto en agua contaminada con partículas de sólidos en suspensión y materia orgánica. Así el agua será filtrada para remover esas partículas, las temperaturas de enfriamiento de los hydrocooler pueden también extender la vida media del ozono, la actividad anti-microbial del O₃ es estable entre 6 y 8 de pH, pero se descompone más rápidamente a altos pH. El ozono descompone O₂ y otros subproductos no tóxicos. La eficacia del ozono es disminuida cuando se disuelve hierro, está presente en la solución manganeso, cobre, níquel, sulfito de hidrógeno y amonio.

Debido a este fuerte potencial oxidante, el O₃ es tóxico para los humanos y puede ser generado en el sitio, la exposición prolongada a más de 4 ppm de O₃ en el aire puede ser letal. El ozono tiene un olor picante que puede ser detectado por los humanos desde 0.01 ppm a 0.04 ppm, OSHA tiene fijado para la seguridad de los trabajadores límites en el aire de 0.1 ppm para exposiciones superiores a períodos de 8 horas y 0.3 ppm en períodos superiores a 15 minutos. En concentraciones en agua arriba de 1 ppm, la liberación de gases puede resultar en concentraciones en el aire que exceden los límites de OSHA de 0.1 ppm.

10.3 Presentaciones del cloro

Las principales presentaciones de cloro usadas incluyen:

- a) Hipoclorito de Sodio (NaCl).
- b) Hipoclorito de Calcio (Ca(OCl)₂).
- c) Cloro Gaseoso (Cl₂).

El hipoclorito de sodio en la mayoría de las veces es vendido como solución del 12 % al 15 %. El hipoclorito de calcio usualmente es vendido como polvo o tabletas en formulaciones del 65 %, sin embargo no se disuelve rápidamente (especialmente en agua fría) y las partículas sin disolver pueden dañar frutas y vegetales. Para prevenir esto, primero se disuelve el polvo o gránulos en una pequeña cantidad de agua caliente antes de agregarlo en el tanque.

Si usando tabletas continuamente percibe una lenta liberación y distribución en el reservorio o tanque, asegúrese que esas tabletas son colocadas en donde el agua recircula bien alrededor de ellas. El cloro gaseoso viene en cilindros presurizados y puede ser manejado cuidadosamente de acuerdo a las instrucciones en la etiqueta.

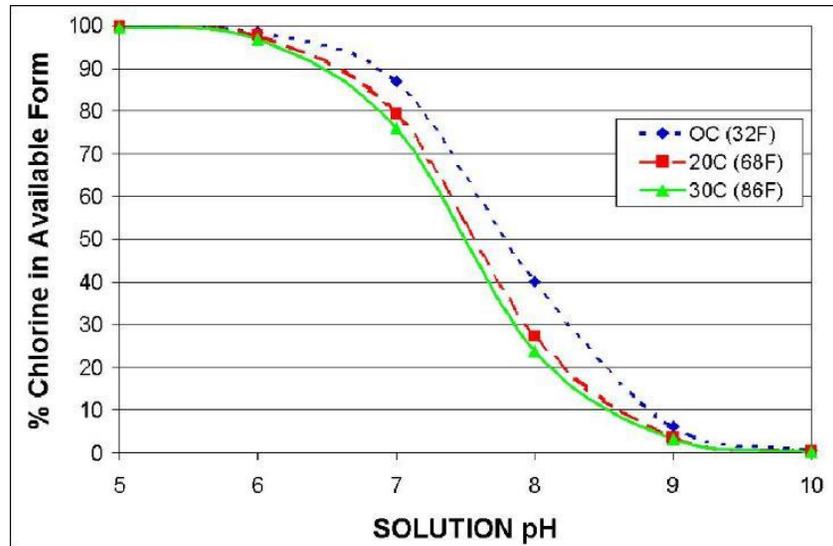
10.4 Factores que influyen la actividad del cloro

Cuando el hipoclorito de sodio es agregado al agua, este forma *hidróxido de sodio* (NaOH) y *ácido hipoclorhídrico* (HOCl). Las tres presentaciones de cloro producen ácido hipoclorhídrico (también llamado cloro disponible o cloro libre). El ácido hipoclorhídrico es el que mata los patógenos, en una solución con alto pH, la mayor parte de ácido hipoclorhídrico es disociado para formar el ión *hipoclorito* (OCl), el cual no es un efectivo sanitizante.

Los kits de prueba para cloro libre miden ambos, ácido hipoclorhídrico e ión hipoclorito y uno de estos parámetros por si solo no indican la cantidad de cloro disponible que mata patógenos. Las soluciones de cloro con pH arriba de 8 son relativamente inefectivas contra patógenos, debajo de un pH 6, el cloro es más corrosivo para el equipo y activamente es rápidamente perdido. Un pH alrededor de 7 mantendrá cerca de 80% de cloro en forma disponible con muy poca formación de gas. Por lo tanto para conocer la fuerza sanitizante de una solución de cloro deben ser medidos el pH y el cloro libre resultante en el tanque o reservorio a tratar.

En la figura 124 se puede observar como cambia la concentración de cloro disponible en una solución a diferente pH y temperatura del agua.

Figura 124. Porcentaje de variación del cloro disponible respecto al pH y temperatura del agua.



Fuente: EDIS, Chlorine Use In Produce Packing Lines, University Of Florida, página 2.

Ambos, la fuente de agua y la presentación del cloro afectarán el manejo del pH, por ejemplo, puede presentarse un pH de 8 debido a carbonato de calcio disuelto, agregando algo de hipoclorito de sodio o calcio será incrementado el pH, mientras agregando cloro gaseoso será disminuido el pH del agua a 7 por agregación de algo de ácido.

Se puede entonces listar algunos agentes químicos que pueden utilizarse para el control del pH.

- a) Ácido hipoclorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H₂SO₄).
- b) Ácido cítrico, comúnmente usado para bajar el pH.
- c) Hidróxido de sodio (NaOH), comúnmente llamado lejía, mantendrá el pH.

El pH del agua puede ser determinado usando un medidor electrónico, que pueda ser inmerso en el tanque o reservorio.

10.4.1 Concentración de cloro

Aunque las bajas concentraciones de ácido hipoclorhídrico (< 40 ppm) serán suficientes para matar la mayor parte de patógenos poco menos de 1 minuto, altas concentraciones (100 ppm a 150 ppm) son comúnmente usadas para compensar varias pérdidas de cloro disponible en el tanque o reservorio.

10.4.2 Tiempo de exposición.

Altas concentraciones de cloro disponible matan patógenos después de un corto tiempo de exposición (< 1 min.), en bajas concentraciones mas tiempo de contacto es requerido para matar los patógenos.

10.4.3 Cantidad de materia orgánica en el agua

La materia orgánica en el agua, inactivará el ácido hipoclorhídrico y puede rápidamente reducir la cantidad de cloro disponible. Cloro, el cual combinado con materia orgánica no es grandemente activo contra patógenos pero puede ser todavía medido utilizando un kit de medida, obteniendo el cloro total presente.

10.4.4 Temperatura del agua

En altas temperaturas, el ácido hipoclorhídrico mata patógenos más rápidamente pero es también perdido más rápidamente debido a reacciones con materia orgánica.

10.4.5 Tipo y etapa de crecimiento de patógenos

Aunque la germinación de esporas y hongos de tipo micelios son relativamente fáciles de matar. Las esporas son mucho más resistentes al cloro y los patógenos que están creciendo dentro del tejido de la fruta o vegetal (heridas internas o infecciones quiescentes), son escudadas desde el cloro y no muertas.

10.5 Mantenimiento adecuado de la concentración de cloro

El cloro puede ser continuamente agregado al agua para reemplazar su pérdida, ocasionada al reaccionar con materia orgánica, químicos, microorganismos y la superficie de frutas y vegetales, hay diversas maneras para mantener la adecuada concentración de cloro. Hay equipos disponibles para medir automáticamente la concentración de cloro y para agregar cloro al agua cuando sea necesario (dosificadores automáticos), más aún ciertos tipos de sistemas también mantienen automáticamente el pH en un rango apropiado. El dispensado automatizado de productos de cloro requiere frecuente medida de la concentración de cloro para verificar su adecuada operación.

El manejo del cloro puede ser vigilado con sistemas designados para dispensar cloro a una tasa uniforme porque la demanda de cloro puede cambiar abruptamente tal como con la adición de producto cosechado desde diferentes campos de cultivo, diferente crecimiento o diferente grupo de campos de cultivo. La adición manual de productos de cloro puede ser usada si el manejo es diligente en medición y ajustes de la concentración de cloro y pH.

Las mediciones deben ser tomadas al menos sobre una base horaria. En las empacadoras, la sanitización manual de agua es usualmente menor que lo adecuado debido al tiempo restringido encontrado durante una típica operación de empaque.

10.6 Mezclando soluciones de cloro

La tabla XIX es una guía rápida para mezclar soluciones de cloro. Para preparar una específica solución de cloro libre (ppm), usando hipoclorito de sodio (NaOCl), se utiliza la siguiente ecuación.

Tabla XIX. Guía rápida para cálculo de mezcla de soluciones de cloro.

| CÁLCULO DE VOLUMEN DE CLORO PARA AGREGAR A DEPÓSITOS (hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio) | | | | |
|---|--|---|---|---|
| ppm deseados de cloro libre | volumen de cloro para agregar (gal) | volumen de cloro para agregar (QT) | volumen de cloro para agregar (LT) | volumen de cloro para agregar (ML) |
| 50 | 0.392156863 | 1.568627451 | 1.484475209 | 1484.475209 |
| 75 | 0.588235294 | 2.352941176 | 2.226712814 | 2226.712814 |
| 100 | 0.784313725 | 3.137254902 | 2.968950419 | 2968.950419 |
| 125 | 0.980392157 | 3.921568627 | 3.711188024 | 3711.188024 |
| 150 | 1.176470588 | 4.705882353 | 4.453425628 | 4453.425628 |
| 175 | 1.37254902 | 5.490196078 | 5.195663233 | 5195.663233 |
| 200 | 1.568627451 | 6.274509804 | 5.937900838 | 5937.900838 |

| | |
|---|-------|
| PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN SOLUCIÓN DE CLORO: | 12.75 |
| VOLUMEN DEL RECIPIENTE: | |
| metros cúbicos: | 0 |
| litros | 0 |
| mililitros | 0 |
| cuartos de galón | 0 |
| galones: | 0 |
| VOLUMEN PARA CÁLCULO EXPRESADO EN GALONES: | 1000 |

Fuente: EDIS, Chlorine Use in Produce Packing Lines, University Of Florida, página 5.

$$\begin{array}{l} \text{Volumen de NaOCl} \\ \text{a agregar} \end{array} = \frac{\text{ppm deseado de cloro libre} * \text{Volumen total tanque}}{\% \text{ de concentración NaOCl} * 10,000}$$

Por ejemplo, para alcanzar una concentración de cloro libre de 150 ppm, en un tanque de descarga de 1000 galones usando una solución de hipoclorito de sodio al 12.75%.

$$\begin{array}{l} \text{Volumen de NaOCl a agregar} = \frac{150 \text{ ppm} * 1000 \text{ galones}}{12.75 \% * 10,000} \end{array}$$

Volumen de NaOCl a agregar = 1.176 galones, aproximadamente 1.18 galones de Hipoclorito de Sodio.

10.7 Recomendaciones.

- I. Mantener los niveles de cloro libre entre 100 a 150 ppm
- II. Mantener pH entre 6.5 y 7.5
- III. Revisar frecuentemente los niveles de cloro libre y pH, instalaciones de sistemas automatizados para monitorear y ajustar los niveles de pH y cloro, pueden ser muy efectivos pero requieren regular calibración y mantenimiento.
- IV. Drenar el tanque al final de cada día y llenarlo con agua limpia.
- V. Use todos los químicos de acuerdo a la etiqueta de instrucciones y hojas de seguridad (cloro, ácidos, lejía, etc)
- VI. Use películas auto limpiables en el tanque de descarga para remover grandes acumulaciones de sólidos.

VII. Consulte las regulaciones locales en materia de descargas de agua clorinada.

10.8 Filtros

Para prevenir el crecimiento microbiano dentro del sistema, el agua es circulada a través de químicos libres, es conveniente usar filtros anti-microbiales para desinfección, el sistema de filtro anti-microbial permanece efectivo a través de su vida.

El sistema de filtro anti-microbial no requiere de fuente de poder y provee un sistema de eliminación de bacterias por químicos libres, efectivo contra una variedad de bacterias incluyendo:

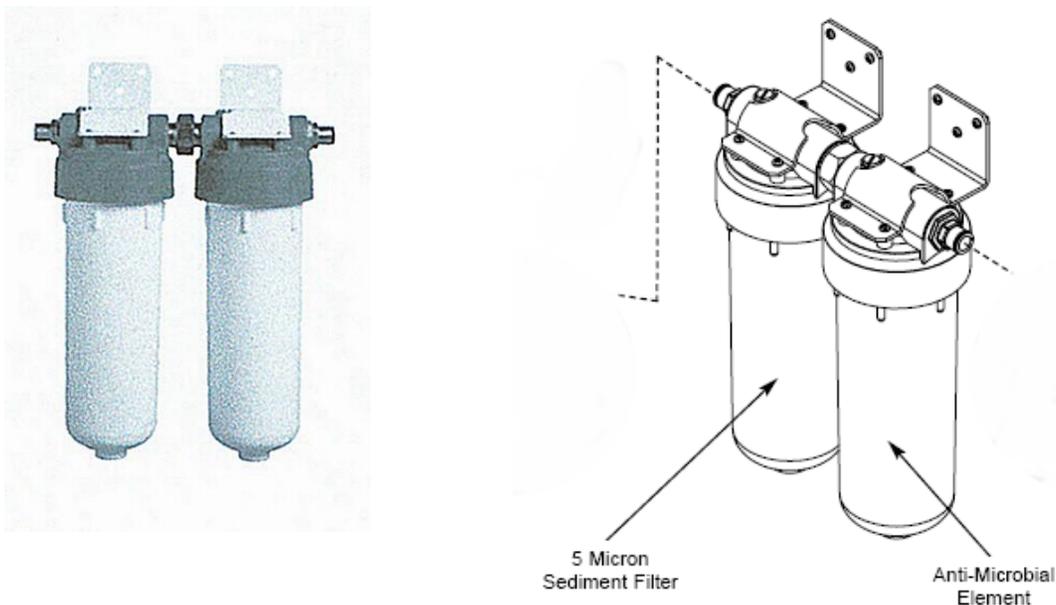
- Legionela
- Seudo-monas
- E. Coli.
- Coliforme
- Salmonela.
- Estafilococos

Para agregar higiene al medio evaporativo, también se impregna con un agente anti-microbial como medida secundaria de higiene, para prevenir estancamiento que contribuya a la formación de bacterias, el agua del reservorio debe ser drenada cada 24 horas como mínimo.

Si el humidificador no está en operación por un período predeterminado de preferencia largo, la unidad será drenada completamente y permanecerá vacía. El sistema debe estar compuesto por un prefiltrado de 5 micrón en la línea de alimentación de agua, con calidad de turbidez de 0 a 2 NTU, el filtro debe ser reemplazado cada 3 meses.

Si la turbidez del suplemento del agua excede 2 NTU, un filtro adicional de 10 micrón debe ser siempre colocado antes del filtro estándar de 5 micrón. El sistema para tratar el agua recirculada consta de un filtro para sedimentos de 5 micrón y un filtro con elementos anti-microbiales como se muestra en la figura 125.

Figura 125. Filtro compuesto por dos elementos para agua recirculada.

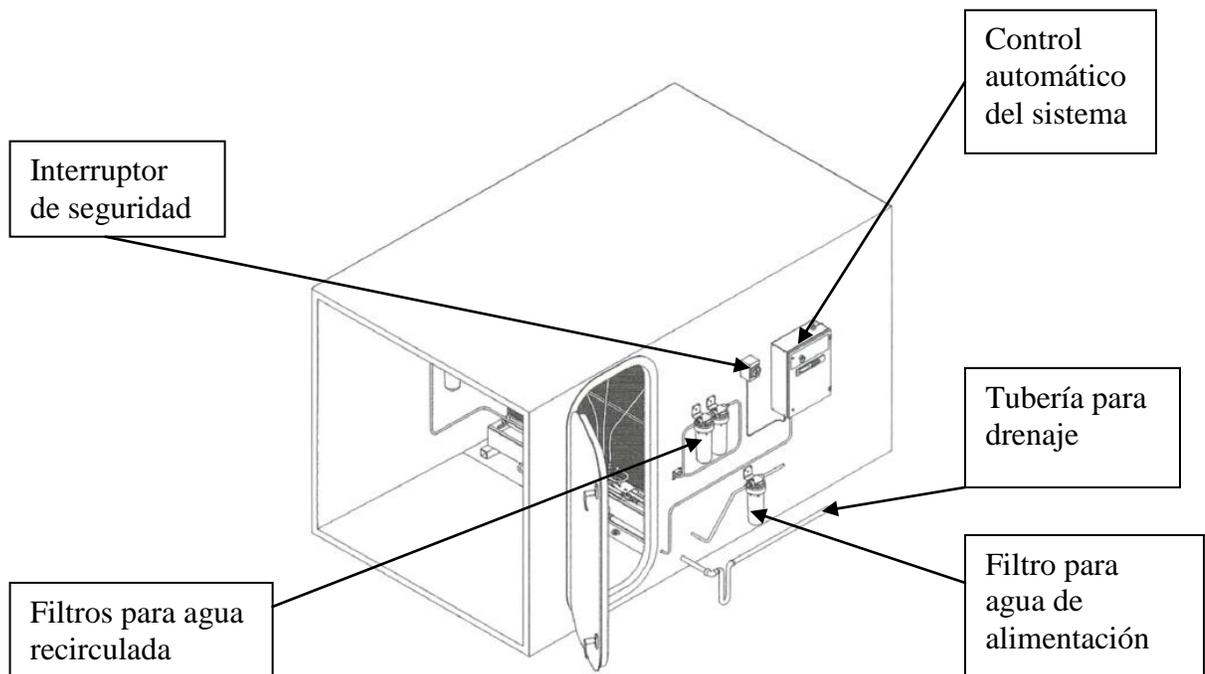


Fuente: HumEvap. Evaporative Humidifiers. General Information, páginas 2 y 18.

La instalación de los elementos filtrantes tanto para el agua de alimentación como para el agua recirculada debe hacerse lo más cercano posible a la unidad, en la figura 126 podemos ver una unidad de humidificación en un cuarto frío prefabricado, en la cual en la pared lateral exterior se encuentra la instalación del controlador del sistema, los elementos filtrantes para el agua recirculada y el filtro para el agua de alimentación.

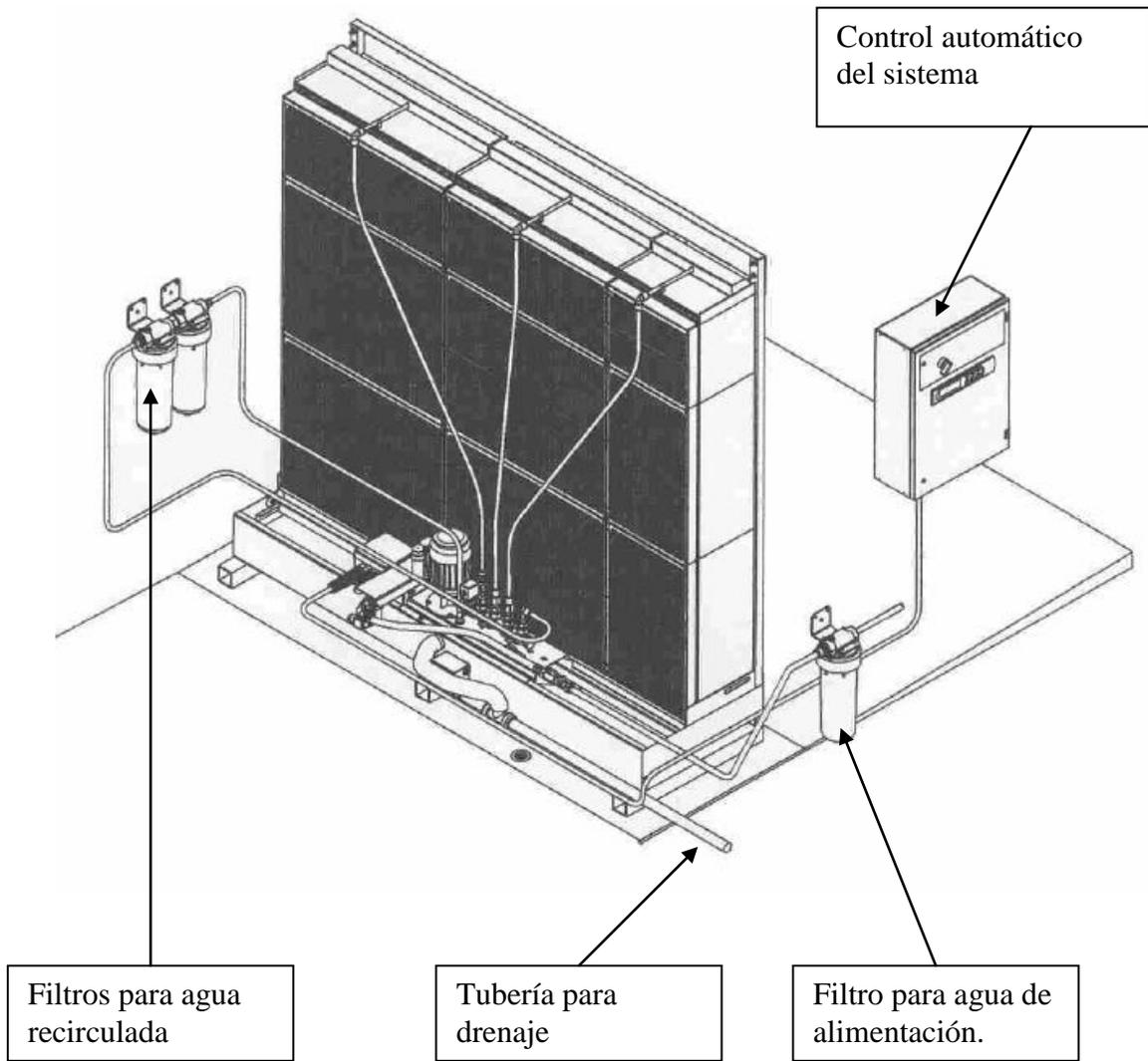
En la figura 127 se muestra la instalación del sistema de filtros de un humidificador acoplado a un cuarto ya existente o una cámara prefabricada para un determinado producto

Figura 126. Posición de los elementos de filtrado respecto a los otros dispositivos del equipo.



Fuente: HumEvap. Evaporative Humidifiers. General Information, página 17.

Figura 127. Instalación de filtros en el sistema.



Fuente: HumEvap. Evaporative Humidifiers. General Information, página 7.

CONCLUSIONES

1. El enfriamiento por alta humedad no es un proceso nuevo, tiene muchos años en uso, pero no ha sido desarrollado tecnológicamente, la construcción del equipo y componentes es sencilla, sólo existen variantes en su instalación dentro del sistema de refrigeración.
2. El enfriamiento por aire forzado, no es el método más eficiente en el uso de energía, pero es el de más fácil aplicación y flexibilidad, es por ello que ha tenido gran auge en la industria de alimentos.
3. La localización de la unidad condensadora influye en la eficiencia del enfriador evaporativo, debido a esto, siempre, se le instala lo más cerca posible de éste.
4. La instalación eléctrica del Humifresh es sencilla, pero se necesita tener un alto nivel de seguridad para el equipo y principalmente, para las personas, y confiabilidad, debido al uso del equipo por muchas horas, las condiciones ambientales tanto externas como internas son extremas, como consecuencia, debe usarse material eléctrico adecuado.
5. El tiempo de enfriamiento del producto, depende principalmente de las variables de ingreso del producto al equipo, cuando estas variables son constantes en el

transcurso de la producción, entonces podemos tomar en consideración la forma de instalación, operación y administración de la máquina.

6. En cuanto al empaque, el porcentaje de perforado del área lateral influirá en el volumen de aire circulante, la velocidad del aire circulante y la magnitud de presión estática, el estibado correcto permite un direccionamiento adecuado del aire dentro y fuera del empaque.
7. Dentro de los parámetros que más afecta la eficiencia de la máquina, esta la separación física entre equipos y paredes, esto afecta la capacidad volumétrica de la máquina, así como la longitud de tiro y aspiración lateral del equipo.
8. El uso de tubería de diámetro correcto minimiza las pérdidas y mejora la transferencia de calor en el equipo dentro del recinto, el aislamiento de tuberías con material y espesor correcto minimiza la transferencia de calor exterior, todo ello redundando en la elevación de la eficiencia del sistema.
9. El sistema de enfriamiento por alta humedad, debe contar con instrumental adecuado, principalmente dentro del recinto en el humidificador evaporativo, debido a que para su correcta operación y administración, es necesario medir constantemente la humedad relativa, temperatura del recinto, presión estática, temperatura del flujo de aire y agua.

10. Para mantener una calidad óptima de producto para consumo humano es necesario que el equipo opere con inocuidad, esto quiere decir, que el agua debe tener un adecuado pH y un nivel de desinfección.

RECOMENDACIONES

1. Las unidades condensadoras deben ser instaladas bajo techo para protegerlas de la incidencia de rayos solares, el techo debe ser provisto de secciones móviles para la descarga de aire caliente.
2. Debe contarse, tanto interior como exteriormente, con un sistema de iluminación de emergencia.
3. Debe prestarse importancia a los puntos de corto-circuito del aire señalados en esta investigación, debido a que estos afectan grandemente la eficiencia del equipo y por ende el tiempo de enfriamiento.
4. Las lonas que cubren el producto, deben ser impermeables con elementos que le concedan rigidez y suficientemente largas, para llegar al piso al final de la carga de tarimas cerrando completamente el túnel.
5. En los corredores de ingreso de personas y montacargas eléctricos con productos a la sala de enfriamiento, pueden instalarse evaporadores pequeños para contrarrestar la transferencia de calor.

6. Cuando un equipo no tiene carga de producto por alguna razón, es recomendable apagar el ventilador, ya que éste influye en la elevación de temperatura del flujo de aire-agua que entra al equipo, esto también es utilizado como medida de seguridad para el personal.

7. La cajilla para estibar en el humifresh debe tener tapadera.

8. Las tarimas de madera utilizadas para formar el túnel de succión frente a la máquina, deben estar selladas en sus costados.

9. Cada modelo de máquina está diseñado para enfriar un volumen determinado de producto, proporcionar un volumen de aire dado (CFM), de acuerdo con su potencia (BTU), es por ello que aumentando los cfm solamente puede reducir el tiempo de enfriamiento en forma mínima.

10. Si se tiene el modelo para formar un sólo túnel no podemos ampliar su capacidad agregando un plenum, tenemos que utilizar el modelo adecuado con el plenum, esto implica una máquina de mayor potencia.

11. Debido al nivel de ruido producido, el movimiento de partículas sólidas en el aire, nivel de humedad elevado en el ambiente y el exceso de agua en suspensión que moja el piso y paredes, el personal debe utilizar equipo de protección personal adecuado a las condiciones del ambiente.

12. El tratamiento del agua que utiliza el humifresh debe hacerse en el exterior, debido al uso de compuestos químicos.

13. Instalar por cada equipo un banco de medición, en el cual sean tomadas lecturas de las siguientes variables: humedad relativa del ambiente, temperatura del ambiente, temperatura de la máquina, temperatura del producto, presión estática en el túnel y elaborar con ello una base de datos y curvas, que ayudarán a determinar el punto óptimo de operación.

14. Tomar en consideración las distancias mínimas para la instalación entre equipos y entre equipos e infraestructura, ya que esto repercute en el tiro y succión lateral de la máquina.

15. La iluminación utilizada en la sala de enfriamiento, debe ser adecuada para ambientes húmedos y su aporte de calor debe ser mínimo.

16. Las rutinas de conservación de la máquina y mantenimiento del servicio que ésta presta, deben ser planificadas con recurso humano capacitado e insumos adecuados.

17. La altura de estiba del producto, no debe rebasar por mucho la altura de la abertura del túnel en la máquina, si se utiliza plenum, la altura de la abertura en el plenum no debe ser rebasada en forma excesiva, ya que esto tiende a disminuir el enfriamiento del producto que se encuentra en la parte alta

18. La altura de la tarima de madera, debe coincidir con la distancia del suelo a la parte baja de la abertura del túnel en la máquina o plenum, con el fin de optimizar la sección de retorno del aire.

BIBLIOGRAFÍA.

1. BHON The Cold Standard, **REFRIGERATION PRODUCTS Condensed Catalogue**, Stone Mountain, GA: 2002. 44pp.
2. Chandler Refrigeration. **REFRIGERATION PRODUCTS**, Stone Mountain, GA: 2002. 36pp.
3. Copeland Corporation. **MANUAL ELÉCTRICO**. Sidney, Ohio USA: 1993. 240pp.
4. Creus, José Alarcón. **TRATADO PRÁCTICO DE REFRIGERACIÓN AUTOMÁTICA**. Editorial Marcombo Boixareu Editores. 418 pp.
5. Heatcraft Refrigeration Product Division. **DIRECT DRIVE FLUID COOLERS, INTALLATION AND MAINTENANCE DATA**. Stone Mountain, GA: 2000. 12pp.
6. Heatcraft Refrigeration Product Division. **HEATCRAFT ENGINEERING MANUAL**. Stone Mountain, GA. Enero 2006. 45pp.
7. Heatcraft Refrigeration Product Division. **REFRIGERATION SYSTEM, INSTALLATION AND OPERATION MANUAL**. Stone Mountain, GA: 2003. 43pp.
8. Pita, Edward G. **PRINCIPIOS Y SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN**. México: Editorial Noriega Limusa, 1999. 481pp.
9. Pita, Edward G. **ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PRINCIPIOS Y SISTEMAS**. México: Editorial CECSA, 1998. 548pp
10. Mark W. Earley, Jeffrey S. Sargent, Joseph V Sheehan, John M Caloggero. **NATIONAL ELECTRICAL CODE. 2005**. National Fire Protection Association. Quincy Massachusetts. 1333 pp.
11. RAE Corporation. Century Refrigeration. **INSTALLATION AND OPERATION MANUAL**, Pryor, OK. 2000. 29pp.

12. James F. Thompson, F. Gordon Mitchell, Tom R. Rumsey, Robert F. Kasmire, Carlos H. Crisosto. **COMMERCIAL COOLING OF FRUITS, VEGETABLES, AND FLOWERS.** Agriculture and Natural Resources, University of California, Publication 21567. 61pp.
13. Palmer, Matthew. **FORCED AIR COOLING.** South Australian Research And development Institute. Information Kit No. 11. 8 pp.
14. H.W: Fraser. **TUNNEL FORCED-AIR COOLERS FOR FRESH FRUIT AND VEGETABLES.** Ministry of Agriculture and Food. Ontario, Canada. June 1998. 19 pp.
15. Karen L.B. Gast & Rolando Flores. **PRECOOLING PRODUCE FRUITS & VEGETABLES.** Cooperative Extensión Service, Kansas State University, Maniatan, Kansas. 1991. 8 pp.
16. S.A. Sargent. **HANDLING AND COOLING TECHNIQUES FOR MAINTAINING POSTHARVEST QUALITY.** Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. 1999. 13 pp.
17. S.A. Sargent, M.A. Ritenour and J.K. Brecht. **HANDLING, COOLING AND SANITATION TECHNIQUES FOR MAINTAINING POSTHARVEST QUALITY.** Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Capítulo 18. 10 pp.
18. Trevor V. Suslow, Marita Catwell and Jeffrey Mitchell. **RECOMMENDATIONS FOR MAINTAINING POSTHARVEST QUEALITY (CANTALOUPE).** Department of Vegetable Crops, University of California. Davis, CA 95616. 3pp.
19. M.A. Ritenour, S.A. Sargent and J.A. Bartz. **CHLORINE USE IN PRODUCE PACKING LINES.** Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. 2005. 5pp.
20. Michael T. Talbot and Direlle Baird. **PSYCHROMETRICS AND POSTHARVEST OPERATIONS.** Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. 2005. 11 pp.
21. Anclo Unicanal. **CATÁLOGO DE FIJACIONES Y MATERIALES ELÉCTRICOS.** México. 2003. 54 pp.

22. Legrand Electric Co. **MATERIAL ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES.** Catálogo 2003. 132pp.
23. ABB SACE. **CANALETAS, BANDEJAS Y FIJACIONES.** Catálogo técnico. 2005. 48 pp.
24. SQUARE D. GROUPE SCHNEIDER ELECTRIC. **COMPENDIADO No. 22 EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.** División de Servicios Técnicos. 1997. 164 pp.
25. Fischeribèrica. **CATÁLOGO DE FIJACIONES No. 26.** Cerdanyola del Valle, Barcelona. 1985. 70 pp.
26. Pressure Cool Co. **MASS TRANSFER EQUIPMET.** Fresh Produce Cooling and Storage Plants. Indio California 92202. 5pp.
27. Luis Hernández, Ildefonso Zuñiga R. **RECOMENDACIONES PARA EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE ALTA HUMEDAD.** Iima. San José, Costa Rica. 2002. 4pp.
28. HumEvap, Evaporative Humidifiers. **GENERAL INFORMATION, PRINCIPLE OF OPERATION.** JS Humidifiers plc. Artex Avenue, Rustington, Little Hampton, West Sussex. BN163LN, UK. 2006. 51 pp.
29. Dwyer Instruments, Inc. **GENERAL CATALOGUE 2006.** P.O. Box 373, Michigan City. IN 46361. www.dwyerinstruments.com.
30. Cooper-Atkins, Inc. **CATALOGUE 2003.** www.atkinstempotec.com/Products-Detail.asp.
31. Alnor instrumensts, Inc. **CATALOGUE 2004.** 500 Cardigan Road. Shoreview, MN 55126-3996. USA. www.alnor.com.
32. United States, Army Corps of Engineers. **LIQUID PROCESS PIPING, ENGINNERING AND DESIGN.** Mayo 1999.
33. Delta Track Inc. **GENERAL CATALOGUE 2007.** www.Deltatrackinstruments.com.

ANEXOS

- Anexo 1. Propiedades y datos de almacenamiento para productos perecederos.
- Anexo 2. Tamaño de tuberías de cobre, para línea de succión con temperaturas de +40 °F, +20 °F, +10 °F y 0 °F, refrigerante R-22.
- Anexo 3. Tamaño de tuberías de cobre, para línea de succión con temperaturas de 0 °F, -10 °F, -20 °F y tamaño de línea de líquido, refrigerante R-22.
- Anexo 4. Diámetro recomendado de tubería de cobre, para las líneas de condensadores remotos.
- Anexo 5. Calor Específico o Calor de Respiración del Producto.

Anexo 1.

PROPIEDADES Y DATOS DE ALMACENAMIENTO PARA PRODUCTOS PERECEDEROS

| PRODUCT | Sp. Heat Btu/lb/°F | | LATENT HEAT OF FUSION BTU/LB | HIGHEST FREEZE POINT °F | WATER CONTENT % | SHORT STORAGE | | | LONG STORAGE | | | |
|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|-------------|----------------------|--------------|------------------|----------------------|------------------|
| | ABOVE FREEZE POINT | BELOW FREEZE POINT | | | | TEMP °F | RH% MIN-MAX | RESP HEAT Btu/lb/24h | TEMP °F | RH% MIN-MAX | RESP HEAT Btu/lb/24h | MAXIMUM LIFE |
| | | | | | | | | | | | | |
| DAIRY PRODUCTS | | | | | | | | | | | | |
| BUTTER | 0.64 | 0.34 | 15 | 30 | 15 | 40 | 75-80 | | | _5 to _10 | 80 - 85 | |
| CHEESE | | | | | | | | | | | | |
| American | 0.64 | 0.36 | 79 | 17 | 55 | 40 | 75-80 | | 32 | 75-80 | | |
| Limburger | 0.7 | 0.4 | 86 | 19 | 60 | 40 | 80-85 | | 32 | 80-85 | | |
| Roquefort | 0.65 | 0.32 | 79 | 3 | 55 | 45 | 75-80 | | 30 | 75-80 | | |
| Swiss | 0.64 | 0.36 | 79 | 15 | 55 | 40 | 75-80 | | 32 | 75-80 | | |
| CREAM | 0.85 | 0.4 | 90 | 28 | 55 | 35 | 75-80 | | | _5 to _10 | | |
| EGGS | | | | | | | | | | | | |
| Crated | 0.75 | 0.42 | 96 | 30 | 66 | 40 | 80-85 | | 31 | 85-88 | | |
| Frozen | | 0.42 | 96 | 30 | | | | | | _5 to _10 | | |
| Whole Solid | 0.22 | 0.21 | 4 | | 3 | 40 | 80 | | 40 | 80 | | |
| Ice Cream | 0.75 | 0.42 | 89 | 28 | 61 | -15 | | | | -15 | | |
| MILK | | | | | | | | | | | | |
| Fluid Whole | 0.92 | 0.48 | 125 | 31 | 88 | 35 | | | | | | |
| Condensed | 0.42 | | 40 | | 28 | 40 | | | | 40 Rm Temp | | |
| Evaporated | 0.72 | | 106 | | 74 | | | | | | | |
| Dried | 0.22 | | 4 | | 3 | | | | 50 | 80 | | |
| Oleo | 0.32 | 0.25 | 22 | | 15.5 | 45 | 60-70 | | 35 | 60-70 | | |
| FRUIT | | | | | | | | | | | | |
| Apples | 0.87 | 0.45 | 121 | 29.3 | 84.1 | 35 | 85-88 | 0.72 | 30 | 85-88 | 0.48 | 1 a 2 Weeks |
| Apricots | 0.88 | 0.46 | 122 | 30.1 | 85.4 | 35 | 80-85 | 0.96 | 31 | 80-85 | 0.48 | 1 a 3 Weeks |
| Avocados | 0.81 | 0.45 | 118 | 31.5 | 82 | 50 | 85-90 | | 45 | 85-90 | | 1 month |
| Bananas | | | | | | | | | | | | |
| Green | 0.8 | 0.42 | 108 | 30.6 | 74.8 | 56 | 90-95 | 0.17 | | | | 1 a 4 Weeks |
| Ripe | 0.8 | 0.42 | 108 | 30.6 | 74.8 | | | | 56 | 85-90 | 0.17 | 1 a 4 Weeks |
| Berries (Gen) | 0.88 | 0.45 | 120 | 30 | 84 | 35 | 80-85 | 2.9 | 31 | 80-85 | 2.9 | 10 a 18 Days |
| Cherries | 0.86 | 0.45 | 116 | 28.8 | 80.4 | 35 | 80-85 | 1.35 | 31 | 80-85 | 0.75 | 2 a 4 Weeks |
| Coconuts | 0.58 | 0.34 | 67 | 30.4 | 46.9 | 35 | 80-85 | | 32 | 80-85 | | 1 a 2 Months |
| Cranberries | 0.9 | 0.46 | 124 | 30.4 | 87.4 | 40 | 85-90 | 0.48 | 36 | 85-90 | 0.48 | 3 a 6 Days |
| Currants | 0.88 | 0.45 | 120 | 30.2 | 84.7 | 36 | 85-90 | | 32 | 85-90 | | 1 a 4 Weeks |
| Dates (Cured) | 0.36 | 0.26 | 29 | 3.7 | 20 | 35 | 65-75 | | 28 | 65-70 | | 6 a 12 Months |
| Dried fruit | 0.42 | 0.28 | 39 | | 28 | 35 | 50-60 | | 32 | 50-60 | | |
| Figs (Fresh) | 0.82 | 0.43 | 112 | 27.6 | 78 | 40 | 65-75 | | 32 | 65-75 | | 7 a 10 Days |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|-----|------|------|----|-------|------|----|-------|------|--------------|
| Grapefruit | 0.91 | 0.46 | 126 | 30 | 88.8 | 45 | 85-90 | 0.48 | 32 | 85-90 | 0.24 | 1 a 6 months |
| Grapes (calif) | 0.86 | 0.44 | 116 | 28.1 | 81.6 | 35 | 80-90 | 0.48 | 31 | 85-90 | 0.24 | |
| Lemons | 0.91 | 0.47 | 127 | 29.4 | 89.3 | 55 | 85-90 | 1.44 | 55 | 85-90 | 0.96 | |
| Limes | 0.86 | 0.45 | 118 | 29.7 | 82.9 | 45 | 85-90 | 1.44 | 45 | 85-90 | 0.96 | |
| Melons | 0.94 | 0.48 | 120 | 30 | 87.0 | 45 | 85-90 | 1.68 | 40 | 85-90 | 0.96 | 2 a 3 Weeks |
| Olives (Fresh) | 0.8 | 0.42 | 108 | 29.4 | 75.2 | 50 | 85-90 | | 45 | 85-90 | | 4 a 6 Weeks |
| Oranges | 0.9 | 0.46 | 124 | 30.6 | 87.2 | 40 | 85-90 | 0.72 | 32 | 85-90 | 0.48 | |
| Peaches | 0.9 | 0.46 | 124 | 30.3 | 89.1 | 35 | 80-85 | 0.96 | 32 | 80-85 | 0.48 | 2 a 4 Weeks |
| Pears | 0.86 | 0.45 | 118 | 29.2 | 82.7 | 35 | 90-95 | 0.72 | 30 | 90-95 | 0.48 | 2 a 7 Months |
| Pineapples | | | | | | | | | | | | |
| Green | 0.88 | 0.45 | 122 | 30.2 | 85.3 | 50 | 85-90 | | | | | 2 a 4 Weeks |
| Ripe | 0.88 | 0.45 | 122 | 30 | 85.3 | 40 | 85-90 | | | | | 2 a 4 Weeks |
| Plums | 0.88 | 0.45 | 118 | 30.5 | 82.3 | 40 | 80-85 | 1.44 | 31 | 80-85 | 0.72 | 2 a 5 Weeks |
| Prunes | 0.88 | 0.45 | 118 | 30.5 | 82.3 | 40 | 80-85 | 1.44 | 31 | 80-85 | 0.72 | 2 a 5 Weeks |
| Quinces | 0.88 | 0.45 | 122 | 28.4 | 85.3 | 35 | 80-85 | 0.72 | 31 | 80-85 | 0.48 | 2 a 3 Months |
| Raisins (Dried) | 0.47 | 0.33 | 45 | | | 45 | 85-90 | | 40 | 85-90 | | |
| Raspberries | 0.84 | 0.44 | 122 | 30 | 80.6 | 31 | 85-90 | 2.4 | | | | |
| Strawberries | 0.92 | 0.42 | 129 | 30.6 | 89.9 | 31 | 85-90 | 1.8 | | | | 3 a 6 Days |
| Tangerines | 0.9 | 0.46 | 125 | 30.1 | 87.3 | 40 | 85-90 | 1.63 | 32 | 85-90 | 1.14 | |
| MEAT | | | | | | | | | | | | |
| Bacon (Cured) | 0.43 | 0.29 | 39 | | 28 | 55 | 55-65 | | | | | |
| Beef | | | | | | | | | | | | |
| Dried | | | | | | | | | 55 | 65-70 | | |
| Fresh | 0.77 | 0.42 | 99 | 30 | 70 | 34 | 85-90 | | 32 | 85-90 | | |
| Brined | | | | | | 40 | 80-85 | | 32 | 80-85 | | |
| Liver / Tongue | | | | | | | | | | | | |
| Ham / Shoulder | 0.77 | 0.44 | 102 | | 72 | 34 | 85-90 | | 32 | 85-90 | | |
| Fresh | 0.61 | 0.35 | 80 | 30 | 54 | 34 | 85-88 | | 28 | 85-88 | | |
| Smoked | 0.56 | 0.33 | 64 | | | 55 | 55-65 | | 55 | 55-65 | | |
| Hides | | | | | | | | | 34 | 55-70 | | |

Anexo 2.

| Capacidad del sistema BTU/H | TAMAÑO DE LÍNEA DE SUCCIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| | TEMPERATURA DE SUCCIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | +40 °F | | | | | | +20 °F | | | | | | +10 °F | | | | | | 0°F | | |
| | Longitudes Equivalentes | | | | | | Longitudes Equivalentes | | | | | | Longitudes Equivalentes | | | | | | Longitud E. | | |
| | 25' | 50' | 75' | 100' | 150' | 200' | 25' | 50' | 75' | 100' | 150' | 200' | 25' | 50' | 75' | 100' | 150' | 200' | 25' | 50' | 75' |
| 1,000 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 3,000 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| 4,000 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 |
| 6,000 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 |
| 9,000 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 |
| 12,000 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 |
| 15,000 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 |
| 18,000 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 |
| 24,000 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 |
| 30,000 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 |
| 36,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 |
| 42,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 |
| 48,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 |
| 54,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 |
| 60,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 |
| 66,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 |
| 72,000 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 |
| 78,000 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 |
| 84,000 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 |
| 90,000 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 |
| 120,000 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 |
| 150,000 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 |
| 180,000 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 |
| 210,000 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 |
| 240,000 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 |
| 300,000 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 |
| 360,000 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 |
| 480,000 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 |
| 600,000 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 5/8 | 3 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 |

Anexo 3.

| Capacidad del sistema BTU/H | TAMAÑO PARA LÍNEA DE SUCCIÓN | | | | | | | | | | | | | | | TAMAÑO LÍNEA DE LÍQUIDO | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------------------------|-----|------|-------|-------|-------|---|-----|------|-------|-------|-------|
| | TEMPERATURA DE SUCCIÓN | | | | | | | | | | | | | | | Reservado para Válvula de Expansión Longitudes Equivalentes | | | | | |
| | 0°F | | | -10 °F | | | | | | -20 °F | | | | | | | | | | | |
| | Longitud | | | Longitudes Equivalentes | | | | | | Longitudes Equivalentes | | | | | | | | | | | |
| 100' | 150' | 200' | 25' | 50' | 75' | 100' | 150' | 200' | 25' | 50' | 75' | 100' | 150' | 200' | 25' | 50' | 75' | 100' | 150' | 200' | |
| 1,000 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 3,000 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 4,000 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 6,000 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 9,000 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 12,000 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 |
| 15,000 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 1 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 |
| 18,000 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 7/8 | 1 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 7/8 | 1 | 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 |
| 24,000 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 | 1 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 | 1 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| 30,000 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 7/8 | 1 | 1 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1/8 | 1 | 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 3/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| 36,000 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 | 1 | 1 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1/8 | 1 | 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| 42,000 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 | 1 | 1 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1/8 | 1 | 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 3/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 |
| 48,000 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 | 1 | 1 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1/8 | 1 | 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 |
| 54,000 | 1 3/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 | 1 | 1 | 1 5/8 | 1 5/8 | 1 5/8 | 3/8 | 3/8 | 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 |
| 60,000 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 1 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 3/8 | 3/8 | 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 |
| 66,000 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 1 | 1 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 3/8 | 5/8 | 5/8 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 |
| 72,000 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 1 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 3/8 | 5/8 | 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 |
| 78,000 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 1 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 3/8 | 5/8 | 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 |
| 84,000 | 1 5/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 1 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 3/8 | 5/8 | 2 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 |
| 90,000 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 1 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 3/8 | 5/8 | 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1/2 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 |
| 120,000 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 1/8 | 1 | 1 | 2 | 2 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 5/8 | 5/8 | 1/8 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 |
| 150,000 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 1 | 2 | 2 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 | 2 | 2 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 |
| 180,000 | 2 1/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 1 | 2 | 2 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 1/8 | 1/8 | 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 5/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 |
| 210,000 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 | 2 | 2 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 5/8 | 2 | 2 | 2 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 |
| 240,000 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 2 | 2 | 2 | 2 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 1/8 | 5/8 | 5/8 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 7/8 | 1 1/8 | 1 1/8 |
| 300,000 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 2 | 2 | 2 | 2 5/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 2 | 2 | 3 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 5/8 | 7/8 | 7/8 | 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 |
| 360,000 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 1/8 | 2 | 2 | 2 | 3 1/8 | 3 1/8 | 3 5/8 | 2 | 2 | 3 | 3 1/8 | 3 5/8 | 3 5/8 | 7/8 | 7/8 | 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 | 1 1/8 |
| 480,000 | 3 1/8 | 3 5/8 | 3 5/8 | 2 | 3 | 3 | 3 1/8 | 3 5/8 | 3 5/8 | 2 | 3 | 3 | 3 5/8 | 3 5/8 | 4 1/8 | 1 | 1 | 1 | 1 1/8 | 1 3/8 | 1 3/8 |
| 600,000 | 3 5/8 | 3 5/8 | 4 1/8 | 2 | 3 | 3 | 3 5/8 | 3 5/8 | 4 1/8 | 3 | 3 | 3 | 3 5/8 | 4 1/8 | 4 1/8 | 1 | 1 | 1 | 1 3/8 | 1 3/8 | 1 3/8 |

Anexo 4

| Line Size O.D. in Inches | Refrigerant | Liquid Line | Hot Gas Line | Suction Line at Suction Temperature | | | | |
|--------------------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-------|------|-------|-------|
| | | | | -40°F | -20°F | 0°F | +20°F | +40°F |
| 3/8 | 134a | 4.0 | .15 | .01 | .01 | .02 | .04 | .06 |
| | 22 | 3.9 | .22 | .02 | .03 | .04 | .06 | .08 |
| | R507, 404A | 3.4 | .31 | .03 | .04 | .06 | .09 | .13 |
| 1/2 | 134a | 7.4 | .30 | .01 | .03 | .04 | .07 | .11 |
| | 22 | 7.4 | .41 | .03 | .05 | .07 | .11 | .15 |
| | R507, 404A | 6.4 | .58 | .04 | .07 | .13 | .16 | .24 |
| 5/8 | 134a | 11.9 | .47 | .02 | .05 | .07 | .12 | .17 |
| | 22 | 11.8 | .65 | .05 | .08 | .12 | .17 | .25 |
| | R507, 404A | 10.3 | .93 | .07 | .11 | .17 | .25 | .35 |
| 7/8 | 134a | 24.7 | .99 | .05 | .10 | .15 | .24 | .36 |
| | 22 | 24.4 | 1.35 | .10 | .16 | .24 | .36 | .51 |
| | R507, 404A | 21.2 | 1.92 | .15 | .23 | .37 | .51 | .72 |
| 1 1/8 | 134a | 42.2 | 1.70 | .08 | .17 | .26 | .41 | .60 |
| | 22 | 41.6 | 2.30 | .17 | .28 | .42 | .61 | .87 |
| | R507, 404A | 36.1 | 3.27 | .26 | .39 | .63 | .86 | 1.24 |
| 1 3/8 | 134a | 64.2 | 2.57 | .14 | .26 | .40 | .61 | 1.91 |
| | 22 | 63.5 | 3.50 | .27 | .42 | .64 | .93 | 1.33 |
| | R507, 404A | 55.0 | 4.98 | .40 | .58 | .95 | 1.32 | 1.87 |
| 1 5/8 | 134a | 90.9 | 3.65 | .20 | .37 | .57 | .87 | 1.30 |
| | 22 | 90.0 | 4.96 | .37 | .59 | .90 | 1.33 | 1.88 |
| | R507, 404A | 78.0 | 7.07 | .56 | .82 | 1.35 | 1.86 | 2.64 |
| 2 1/8 | 134a | 158 | 6.34 | .34 | .64 | .98 | 1.51 | 2.24 |
| | 22 | 156 | 8.61 | .65 | 1.03 | 1.57 | 2.30 | 3.26 |
| | R507, 404A | 134 | 12.25 | .98 | 1.43 | 2.35 | 3.23 | 4.58 |
| 2 5/8 | 134a | 244 | 9.78 | .52 | .99 | 1.51 | 2.32 | 3.47 |
| | 22 | 241 | 13.70 | 1.01 | 1.59 | 2.42 | 3.54 | 5.03 |
| | R507, 404A | 209 | 18.92 | 1.51 | 2.21 | 3.62 | 5.00 | 7.07 |
| 3 1/8 | 134a | 348 | 13.97 | .75 | 1.41 | 2.16 | 3.31 | 4.96 |
| | 22 | 344 | 18.95 | 1.44 | 2.28 | 3.45 | 5.05 | 7.18 |
| | R507, 404A | 298 | 27.05 | 2.16 | 3.15 | 5.17 | 7.14 | 9.95 |
| 3 5/8 | 134a | 471 | 18.90 | .99 | 1.91 | 2.92 | 4.48 | 6.69 |
| | 22 | 465 | 25.60 | 1.94 | 3.08 | 4.67 | 6.83 | 9.74 |
| | R507, 404A | 403 | 36.50 | 2.92 | 4.25 | 6.97 | 19.65 | 13.67 |
| 4 1/8 | 134a | 612 | 24.56 | 1.29 | 2.49 | 3.81 | 5.84 | 8.75 |
| | 22 | 605 | 33.40 | 2.53 | 4.01 | 6.08 | 8.90 | 12.70 |
| | R507, 404A | 526 | 47.57 | 3.80 | 5.55 | 9.09 | 12.58 | 17.80 |

Fuente: Heatcraft Refrigeration Product Division. HEATCRAFT ENGINEERING MANUAL. Stone Mountain, GA. Enero 2006. 45pp. Página 35.

Anexo 5

| BTU / LB. / 24 Hrs. | | | | |
|------------------------|---|--------------|---------------|-----------------|
| Product | Storage Temperature Degree F. | | | |
| | 32°F. | 40°F. | 60°F. | °F. Other |
| FRUITS | | | | |
| Apples | 0.25 - 0.45 | 0.55 - 0.80 | 1.50 - 3.40 | |
| Apricots | 0.55 - 0.63 | 0.70 - 1.00 | 2.33 - 3.74 | |
| Avocados | — | — | 6.60 - 15.35 | |
| Bananas | — | — | 2.30 - 2.75 | ⑥ 68° 4.2 - 4.6 |
| Blackberries | 1.70 - 2.52 | 5.91 - 5.00 | 7.71 - 15.97 | |
| Blueberries | 0.65 - 1.10 | 1.00 - 1.35 | 3.75 - 6.50 | ⑥ 70° 5.7 - 7.5 |
| Cherries | 0.65 - 0.90 | 1.40 - 1.45 | 5.50 - 6.60 | |
| Cherries, Sour | 0.63 - 1.44 | 1.41 - 1.45 | 3.00 - 5.49 | |
| Cranberries | 0.30 - 0.35 | 0.45 - 0.50 | — | |
| Figs, Mission | — | 1.18 - 1.45 | 2.37 - 3.52 | |
| Gooseberries | 0.74 - 0.96 | 1.33 - 1.48 | 2.37 - 3.52 | |
| Grapefruit | 0.20 - 0.50 | 0.35 - 0.65 | 1.10 - 2.00 | |
| Grapes - American | 0.30 | 0.60 | 1.75 | |
| Grapes - European | 0.15 - 0.20 | 0.35 - 0.65 | 1.10 - 1.30 | |
| Lemons | 0.25 - 0.45 | 0.30 - 0.95 | 1.15 - 2.50 | |
| Limes | — | 0.45 | 1.485 | |
| Melons - Cantaloupe | 0.55 - 0.63 | 0.96 - 1.11 | 3.70 - 4.22 | |
| Melons - Honey Dew | — | 0.45 - 0.55 | 1.20 - 1.65 | |
| Oranges | 0.22 - 0.50 | 0.65 - 0.80 | 1.85 - 2.60 | |
| Peaches | 0.45 - 0.70 | 0.70 - 1.00 | 3.65 - 4.65 | |
| Pears | 0.35 - 0.45 | 2.20 | 4.40 - 6.60 | |
| Plums | 0.20 - 0.35 | 0.45 - 0.75 | 1.20 - 1.40 | |
| Raspberries | 1.95 - 2.75 | 3.40 - 4.25 | 9.05 - 11.15 | |
| Strawberries | 1.35 - 1.90 | 1.80 - 3.40 | 7.80 - 10.15 | |
| Tangerines | 1.63 | 2.93 | — | |
| VEGETABLES | | | | |
| Artichokes (Globe) | 2.48 - 4.93 | 3.48 - 6.56 | 8.49 - 15.90 | |
| Asparagus | 2.95 - 6.60 | 5.85 - 11.55 | 11.00 - 25.75 | |
| Beans, Green or Snap | — | 4.60 - 5.70 | 16.05 - 22.05 | |
| Beans, Lima | 1.15 - 1.60 | 2.15 - 3.05 | 11.00 - 13.70 | |
| Beets, Topped | 1.35 | 2.05 | 3.60 | |
| Broccoli | 3.75 | 5.50 - 8.80 | 16.90 - 25.00 | |
| Brussels Sprouts | 1.65 - 4.15 | 3.30 - 5.50 | 6.60 - 13.75 | |
| Cabbage | 0.60 | 0.85 | 2.05 | |
| Carrots, Topped | 1.05 | 1.75 | 4.05 | |
| Cauliflower | 1.80 - 2.10 | 2.10 - 2.40 | 4.70 - 5.40 | |
| Celery | 0.80 | 1.20 | 4.10 | |
| Corn, Sweet | 3.60 - 5.65 | 5.30 - 6.60 | 19.20 | |
| Cucumber | — | — | 1.68 - 3.65 | |
| Garlic | 0.33 - 1.19 | 0.63 - 1.08 | 1.18 - 3.00 | |
| Horseradish | 0.89 | 1.19 | 3.59 | |
| Kohlrabi | 1.11 | 1.78 | 5.37 | |
| Leeks | 1.04 - 1.78 | 2.15 - 3.19 | 9.08 - 12.82 | |
| Lettuce, Head | 1.15 | 1.35 | 3.95 | |
| Lettuce, Leaf | 2.25 | 3.20 | 7.20 | |
| Mushrooms | 3.10 | 7.80 | — | ⑥ 50° 11.0 |
| Okra | — | 6.05 | 15.8 | |
| Olives | — | — | 2.37 - 4.26 | |
| Onions, Dry | 0.35 - 0.55 | 0.90 | 1.20 | |
| Onions, Green | 1.15 - 2.45 | 3.00 - 7.50 | 7.25 - 10.70 | |
| Peas, Green | 4.10 - 4.20 | 6.60 - 8.00 | 19.65 - 22.25 | |
| Peppers, Sweet | 1.35 | 2.35 | 4.25 | |
| Potatoes, Immature | — | 1.30 | 1.45 - 3.40 | |
| Potatoes, Mature | — | 0.65 - 0.90 | 0.75 - 1.30 | |
| Potatoes, Sweet | — | 0.85 | 2.15 - 3.15 | |
| Radishes with Top | 1.59 - 1.89 | 2.11 - 2.30 | 7.67 - 8.50 | |
| Radishes, Topped | 0.59 - 0.63 | 0.85 - 0.89 | 3.04 - 3.59 | |
| Rhubarb, Topped | 0.89 - 1.44 | 1.19 - 2.00 | 3.41 - 4.97 | |
| Spinach | 2.10 - 2.45 | 3.95 - 5.60 | 18.45 - 19.00 | |
| Squash Yellow | 1.30 - 1.41 | 1.55 - 2.04 | 8.23 - 9.97 | |
| Tomatoes, Mature Green | — | 0.55 | 3.10 | |
| Tomatoes, Ripe | 0.50 | 0.65 | 2.80 | |
| Turnips | 0.95 | 1.10 | 2.65 | |
| Vegetables, Mixed | 2.00 | 4.00 | — | |
| MISCELLANEOUS | | | | |
| Caviar, Tub | — | — | 1.91 | |
| Cheese, American | — | — | 2.34 | |
| Camembert | — | — | 2.46 | |
| Limburger | — | — | 2.46 | |
| Roquefort | — | — | — | ⑥ 45° 2.0 |
| Swiss | — | — | 2.33 | |
| Flowers, Cut | 0.24 BTU / 24 Hrs. / Sq. Ft. Floor Area | | | |

Fuente: Heatcraft Refrigeration Product Division. HEATCRAFT ENGINEERING MANUAL. Stone Mountain, GA. Enero 2006. 45pp. Página 24.

