



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

Elaboración de un programa de computación para el analisis de perfiles de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa en sistemas de almacenamiento en frio.

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**I N G E N I E R O   E N   A L I M E N T O S**

**P R E S E N T A N**

Malagón Reyes Elsa  
Malagón Reyes Oswaldo

Asesores:

Ing. Alfredo Alvarez Cardenas  
Fis. Carlos Curiel Garcia

Cuautitlan Izcalli. Edo de Mex. 1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

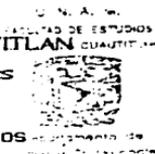
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Elaboración de un programa de actividades para el edificio de servicios de mantenimiento, ubicado en el que se encuentra el edificio de servicios de mantenimiento de la Universidad Nacional de México

que presenta la paunte: Valdón Reyes Flores  
con número de cuenta: 015625129 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero en Electricidad ; en colaboración con :  
Valdón Reyes Icaza

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 24 de Enero de 199 7

PRESIDENTE	<u>J. E. J. Jaime Flores Nuñez</u>
VOCAL	<u>I. A. Alfredo Alvarez Méndez</u>
SECRETARIO	<u>Dr. José Luis Torres Barrón</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Ricardo E. Hernández Peña</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I. C. Laura M. Contreras Viqueza</u>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Elaboración de un programa de computación para el análisis  
de señales de procesamiento, utilizando un lenguaje de programación  
relativa al sistema de almacenamiento de datos.

que presenta el pasante: Volando Torres Cevallos  
con número de cuenta: 3156230-2 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero en Electricidad ; en colaboración con :  
Volando Torres Cevallos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 14 de enero de 199 7

PRESIDENTE	<u>Dr. Jaime Flores Toranzo</u>	
VOCAL	<u>Ing. Alfredo Alvarez Arriaga</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. José Luis Torres Cevallos</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Ricardo E. Hernández Jarafo</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Laura A. Cortazar Jimenez</u>	



# *AGRADECIMIENTOS*



*A NUESTROS HERMANOS*

***Luis, Orlando, Erika y Adan.***

Por ser lo mejor de nuestra vida, gracias por caminar junto a nosotros en los momentos difíciles, y compartir todas nuestras alegrías

***A Luis y Orlando***

Porque siempre ha sido nuestro camino a seguir y han logrado ser el mejor de los ejemplos, Luis centrado, digno y recto, Orlando loco y soñador, pero entre los dos nos han mantenido justo en el balance

***A Erika y Adan***

Por ser los mas chicos y ser ustedes para quien preparamos el camino, obligandonos a comportarnos como hermanos mayores y por tanto intentar ser mejores cada día.

***Carmen***

Luis nos hizo el honor de incluirte a la familia, pero ese lugar siempre ha sido tuyo porque solo Dios podía unir a dos personas tan especiales  
PD Pañaloso (Luisito) porque nos traes locos de alegría incrementas este momento tan especial.

Chamacos la vida es vida porque ustedes están en ella  
Oswaldo y Elsa



*A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN  
UNAM*

Por la mas grande oportunidad que nos brindaste - **EL ESTUDIO**- que con esfuerzo y sacrificio hemos logrado concluir para poder representarte con orgullo y dignidad .

*A NUESTROS ASESORES*

Un muy especial agradecimiento

*Ing. Alfredo Alvarez Cárdenas*, por ser un profesionista admirable y todo un ejemplo a seguir.

*Fis. Carlos Curiel García*, por ser estricto cuando era necesario y ayudarnos cuando tanta falta nos hacia.

*Act. Guillermo Calderón Favela*, Profesor Gracias por brindarnos su amistad siempre incondicional y ese apoyo que nos levanto muchas veces

Gracias por el tiempo y dedicacion que nos han brindado ya que sin su apoyo y conocimiento no hubiesemos podido encaminar y concluir este trabajo de tesis.



*A TODOS NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE  
CARRERA*

Siempre fueron la parte divertida, y nos alentarnos cuando todo parecia difícil  
ademas con ustedes aprendimos que siempre podemos lograr lo que queremos al  
trabajar en equipo

En especial Gracias

Rox, Marco, Montse, Felipe, Anita, Lorenzo, Claudia, Totol, Paty, Edith, Juan y Julieta

**INDICE GENERAL.**

<b>Indice general.</b>	<b>1</b>
<b>Indice de tablas.</b>	<b>4</b>
<b>Indice de figuras.</b>	<b>5</b>
<b>Nomenclatura.</b>	<b>7</b>
<b>Objetivos.</b>	<b>10</b>
<b>Introducción.</b>	<b>11</b>

**Capítulo 1 Almacenamiento en frío**

1.1 Antecedentes	13
1.2 Importancia del almacenamiento en frío	14
1.3 Tipos de almacenamiento en frío	16
1.3.1 Almacenamiento en refrigeración	17
1.3.2 Almacenamiento en congelación	19
1.4 Factores que influyen la conservación del producto durante el almacenamiento en frío	21
1.4.1 Temperatura	22
1.4.1.1 Conservación por refrigeración	22
1.4.1.2 Conservación por congelación	25
1.4.2 Humedad relativa	30
1.4.3 Recirculación de aire	37
1.4.4 Descarche	38
1.4.5 Incompatibilidad entre productos	38
1.4.6 Olores	39
1.4.7 Cargas térmicas	40

**Capítulo 2 Perfiles de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa**

2.1 Factores que influyen en el acondicionamiento del almacén	43
2.2 Relacion entre temperatura, velocidad del aire, y humedad relativa en almacenamiento en frío	44
2.3 Control de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa en almacenamiento en frío	50
2.3.1 Temperatura	50
2.3.2 Control de temperatura	50
2.3.3 Velocidad del aire	63
2.3.4 Control de velocidad del aire	67
2.3.5 Humedad relativa	70
2.3.6 Control de humedad relativa	71
2.3.6.1 Humedad relativa recomendada	72
2.3.6.2 Control de Hr alta	73
2.3.6.3 Control de Hr baja	77

**Capítulo 3 Programación**

3.1 La computadora como herramienta en el área industrial	79
3.2 Analisis del sistema	80
3.2.1 Fenomenologia	80
3.2.2 Analisis para las coordenadas X, Y y Z del almacén	83
3.3 Algoritmo general	84
3.3.1 Desarrollo del algoritmo general	85
3.4 Diagrama de flujo	104

**Capítulo 4 Características y uso del programa Floustrl**

4.1 Especificaciones	108
4.2 operacion del programa	110

4 2 1	Presentación	110
4 2 2	Introduccion	111
4 2 3	Instrucciones	112
4 2 4	Creando o abriendo archivos de datos	113
4 2 5	Obtencion de datos del almacen	114
4 2 6	Seleccion de variables que se deseen analizar	119
4 2 7	Puntos monitores totales	120
4 2 8	Seleccion de puntos monitores	121
4 2 9	Puntos monitores elegidos	122
4 2 10	Introduccion de datos de T, Va y Hr en puntos monitores elegidos	123
4 2 11	Analisis de datos para las variables monitoreadas	126
4 2 12	Analisis de los resultados obtenidos en almacen frigorifico comercial	144
	<b>Conclusiones</b>	<b>146</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>147</b>

## *INDICE DE TABLAS.*

1.1. Contenido en agua y temperaturas de congelación de diversos alimentos.	26
1.2 Actividad de agua, aproximadas limitantes del desarrollo de varios tipos de microorganismos en diversos alimentos	36
2.1 Relación entre la temperatura del evaporador, temperatura de salida del aire y humedad relativa en un almacén frigorífico	46
2.2 Factor de velocidad para el cálculo de velocidades de aire a la descarga del difusor.	68
3.1. Factor de velocidad de aire a la descarga libre del evaporador	103

**INDICE DE FIGURAS.**

1.1. Capacidad de conservación de productos almacenados en refrigeración y congelación en función de la temperatura de almacenamiento	20
1.2. Velocidad de cambios bioquímicos Vs temperatura en °C	23
1.3. Movimiento de aire a través de una puerta abierta durante el almacenamiento en frío	25
1.4. Evolución de la temperatura durante la congelación	26
1.5. Formación de hielo a distintas temperaturas de congelación	27
1.6. Evolución de la temperatura en el alimento en la zona crítica	29
1.7. Diagrama de fases del agua	31
1.8. Curvas típicas de las isoterms de adsorción y desorción de los alimentos	34
2.1. Carta psicométrica, relación entre temperatura del evaporador, temperatura del almacén y humedad relativa	47
2.2. Esquematación del salto térmico en la carta psicométrica durante la carga del almacén frigorífico	49
2.3. Distribución de temperaturas en un almacén durante el período Primavera-Otoño	52
2.4. Distribución de temperaturas en un almacén frigorífico con el equipo funcionando durante en el período invernal	53
2.5. Estratificación del aire dentro de un almacén frigorífico con el equipo en paro en el período invernal	53
2.6. Temperaturas representativas dentro de un almacén frigorífico	55
2.7. Estibado de embalajes en un almacén frigorífico	65
2.8. Disposición de embalajes con respecto a los evaporadores	66
2.9. Acomodo de difusores dentro de un almacén	69
2.10. Patrón de distribución de aire dentro de un almacén frigorífico	70

3.1. Flujo variable con respecto a un sistema fijo de coordenadas	82
3.2. Flujo constante con respecto a un sistema de coordenadas en movimiento	82
3.3. Coordenadas en ejes X, Y y Z para un almacén frigorífico	86
3.4. Diámetro de salida de aire para un ventilador del difusor.	87
3.5. Número de difusores y ventiladores por difusor en un almacén frigorífico.	88
3.6. Longitud del piso al difusor	88
3.7. Altura para monitoreo entre productos	89
3.8. Formas de estibado	90
3.9. Zonas A, B y C de monitoreo	92
3.10. Localización de los puntos monitores en la zona A	94
3.11. Localización de los puntos monitores en la zona B	95
3.12. Puntos monitores en estibado vertical con respecto a Y.	97
3.13. Puntos monitores en estibado horizontal con respecto a Y.	98
3.14. Puntos monitores a lo ancho y largo del almacén	99
3.15. Representación de puntos de la zona A y B en los ejes X y Y	100

## ***NOMENCLATURA***

- **a<sub>s</sub>** Actividad de agua
- **A** No De espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacén.
- **AM** Altura de monitoreo entre productos
- **As** Area de salida de aire del difusor
- **C1** Distancia entre la pared y el ultimo punto monitor.
- **C2** Distancia entre puntos monitores ( 3m )
- **D** No De difusores en el almacen.
- **ds** Diametro de ventiladores de los difusores (m)
- **DPA** Distancia entre puntos a lo ancho del almacen.
- **DPL** Distancia entre puntos a lo largo del almacen.
- **F** Factor de velocidad para el aire a diferentes distancias del difusor.
- **H** Humedad absoluta
- **Hp** Porcentaje de humedad
- **Hs** Humedad de saturacion
- **Hr** Humedad relativa
- **Hra** Humedad relativa de aplicacion del producto almacenado.
- **Hre** Humedad relativa de equilibrio.
- **Hrm** Humedad relativa monitoreada.

- **L** No de espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacén
- **NPA** Número de puntos monitores a lo ancho del almacén
- **NPL** Número de puntos monitores a lo largo del almacén
- **Nv** Numero de ventiladores por difusor
- **P** Presion de vapor del agua del alimento a una T.
- **Pa** Presion parcial del vapor en el agua
- **Po** Presion de vapor del agua pura a una T
- **Pv** Presion de vapor
- **Q<sub>10</sub>** Cociente entre V2 y V1
- **T** Temperatura
- **Ta** Temperatura de aplicacion del producto almacenado
- **Te** Temperatura del aire de entrada al difusor
- **Tm** Temperatura monitoreada
- **Tp** Temperatura del aire en los pasillos, entre el producto
- **Ts** Temperatura del aire a la salida del difusor
- **T1** Temperatura 10°C menor que T2
- **T2** Temperatura del producto antes de la refrigeración
- **v** Velocidad promedio de salida de aire del difusor. (m/s).
- **V** Volumen o caudal de aire de salida del difusor (m<sup>3</sup>/s)
- **Vam** Velocidad del aire monitoreada
- **Vap** Velocidad del aire patron

- $V_v$  Caudal de aire por ventilador
- $V_1$  Velocidad de reaccion 10°C inferior a  $V_2$ .
- $V_2$  Velocidad de reaccion a una temperatura dada.
- $X_o$  Ancho interno del almacen (m)
- $Y_o$  Longitud interna del almacen (m)
- $Z$  Intervalo de T en la que  $V_2$  cubia por un factor de 10.
- $Z_o$  Altura interna del almacen (m)
- $Z_1$  Altura del piso a los difusores (m)
- $Z_2$  Altura promedio de monitoreo entre productos (m).

## ***OBJETIVOS***

### **OBJETIVO GENERAL:**

Estructurar un programa de computo, que auxilie en la obtencion y el analisis de perfiles de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa en almacenes frigorificos, para lograr una visualizacion mas amplia de los factores que afectan al producto y un mejor control de las condiciones de almacenamiento

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- 1.1 Mediante una recopilacion bibliografica, destacar la importancia del control de condiciones de almacenamiento en frio para productos alimenticios.
- 1.2 Relacionar la influencia de la temperatura, velocidad del aire y humedad relativa con los factores fisicos, quimicos y microbiologicos que afectan al producto almacenado
- 1.3 Elaborar la secuencia metodologica para un programa que apoye a la obtencion de perfiles de T, Va y Hr a traves de una base de datos
- 1.4 Desarrollo de un programa util en lenguaje C que sea legible, fácil de usar y de entender.

## INTRODUCCION

Durante el almacenamiento de productos alimenticios naturales y procesados, el objetivo mas importante es el de mantener sus propiedades y características lo mas inalteradas posibles por un mayor tiempo, ya que de esto depende la aceptación del producto por parte del consumidor y por tanto de su comercialización. A diferencia de otros procedimientos, la conservación por frío es capaz de conseguir que el sabor natural, el olor y el aspecto de los productos sometidos a la acción del frío se diferencien poco de los frescos.

El control de las condiciones de almacenamiento en frío para cada alimento (temperatura, humedad relativa y circulación del aire), y el tiempo que dura el almacenaje presupone la organización de la cadena del frío, de allí su importancia para evitar las principales causas de la descomposición en los alimentos (en donde se distinguen los procesos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos). Los fenómenos de descomposición dependen en gran parte de la temperatura y se hacen mas lentos según la disminución de la misma, del mismo modo se disminuye la pérdida de los componentes aromáticos volátiles. Con la temperatura, la humedad relativa ejerce una fuerte influencia sobre la conservación de los alimentos almacenados en frío. La pérdida de peso de los productos por evaporación disminuye con Hr creciente del aire en el almacén, evitando así las grandes pérdidas económicas que se presentan por desecación. El movimiento del aire igualmente ejerce su influencia en lo que se refiere a la pérdida de peso, la evaporación del agua tiene lugar mas rápidamente con una mayor circulación de aire.

De esta manera se establece la necesidad de tomar en cuenta el comportamiento de dichos parametros durante el almacenamiento en frío del producto, para lo cual se requiere de su respectivo estudio. Es lógico decir que al mantener un mejor control de condiciones de almacenamiento, el periodo que demorara el alimento en mostrar signos de descomposición sera mayor que en el caso contrario, por ende la necesidad de alcanzar condiciones de almacenamiento lo mas optimas posibles en los productos. El ingeniero en busca de mejorar

las condiciones ya mencionadas hace uso de herramientas que le auxilien en su objetivo y el hecho de procurar "ir a la par con su profesión" implica inevitablemente el uso de las

computadoras, las cuales han sido por años un aliado de la ingeniería al desempeñar millares de tareas

Por lo antes expuesto en la actualidad sería útil la elaboración de un programa que permita facilitar el análisis de condiciones en las que se lleva a cabo el almacenamiento en frío, logrando con esto la implementación de una herramienta tan útil como es la computación

Mediante la introducción de una base de datos al programa, se obtendrán una serie de gráficas y tablas que nos muestren las condiciones presentes de almacenamiento, posteriormente a través de un análisis de las diferencias que se hayan obtenido en dichas condiciones, se comparan con las condiciones de aplicación para cada producto en específico y en función de los resultados que se obtengan se auxiliara al usuario a través de una serie de mensajes que le permitan tomar algunas de las medidas de corrección necesarias

**ALMACENAMIENTO EN FRIO****1.1 ANTECEDENTES.**

Ante la necesidad de conservar los alimentos, el hombre ha desarrollado métodos usados desde nuestros antecesores. La deshidratación, la salazón, el ahumado y la congelación han sido aplicadas durante miles de años, donde los recursos naturales y las condiciones climáticas lo permitieron. Así que por el desconocimiento de las causas responsables de la alteración de sus alimentos, el hombre primitivo fue tomando medidas efectivas para controlarlas.<sup>(1)</sup>

Algunos de los primeros alimentos que se conservaron comercialmente por medio de la congelación, distaban mucho de ser apetitosos. Los primitivos procesos de congelación, conocidos como "congelación profunda", consistían en colocar los productos en almacenes fríos, usualmente con circulación natural de aire. De esta forma se congelaba la carne, el pescado, los pollos, los huevos y la fruta destinada a la elaboración de mermeladas. El prestigio de la calidad de los alimentos congelados se debe al Americano Clarence Birdseye.<sup>(2)</sup> Durante los años veinte, Birdseye probó pescado que había sido congelado por los tramperos con los que estaba trabajando. La calidad de este pescado era netamente superior a la de los que se vendían en los mercados de su país. En ese entonces era una práctica corriente envasar el pescado, con frecuencia sin atender a su calidad, en barriles de madera y ponerlos después en un almacén frío para que se congelaran, tardando dos o tres días en hacerlo. El pescado procedente de estos barriles no podría compararse con los filetes empaquetados individualmente y congelados rápidamente disponibles en los supermercados de hoy en día.

Clarence Birdseye estableció que la velocidad de congelación determinaba la calidad del producto una vez descongelado e introdujo el concepto de la "congelación rápida". Trabajos más recientes, han indicado que la calidad de los alimentos no siempre es la mejor al aumentar la velocidad de congelación, por el contrario, la congelación excesivamente rápida puede inducir tensiones destructivas en los productos congelados, dando lugar al resquebrajamiento. Sin embargo, la predicción y control del tiempo de congelación tiene un gran importancia no solo por motivos de calidad, sino porque este tiempo determina la capacidad de producción de algún equipo y, por tanto, la economía del proceso.

Con el paso del tiempo, la congelación de los alimentos ha dejado de ser meramente un método para proporcionar alimentos para la supervivencia, en lugar de esto, se ha transformado en un procedimiento para obtener alimentos de mejor calidad y, lo que es más importante, en un medio de distribuir alimentos a una población monotonamente creciente. Sin embargo, en los años recientes ha aparecido una nueva aplicación, en donde los alimentos congelados están contribuyendo significativamente al cambio del modelo social en los países más civilizados del mundo, tanto en el campo doméstico como en la distribución de alimentos.<sup>(14)</sup>

Si consideramos que el futuro depende de la regla de las 3S: Satisfacción, Salud y Seguridad, la aplicación del frío aventaja a otras técnicas de conservación, ya que se logra conservar los alimentos perecederos, refrigerados o congelados, con el máximo de calidad, tanto desde el punto de vista sanitario como organoléptico. En términos generales se puede afirmar que la sociedad desarrollada, se ha convertido en cliente habitual de esta técnica de conservación y que en un futuro, no muy lejano, será enteramente dependiente de la refrigeración y de la congelación para el suministro de alimentos, fundamentalmente en las áreas densamente pobladas.<sup>(15)</sup>

## **1.2 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO EN FRIO.**

Son diversos los factores que influyen en el desarrollo del consumo de productos sometidos a la acción del frío. Pudiéndose destacar los siguientes factores:

- 1) *Tendencia de la población:* Las tendencias en el grado de incremento muestran una cierta desaceleración del crecimiento de la población. La disminución del porcentaje de crecimiento anual es muy acusado en los países en vías de desarrollo y una cierta desaceleración en los países desarrollados, desde el punto de vista del consumo, no debe afectar al incremento que han experimentado los productos tratados con el frío en los últimos años.
- 2) *El grado de urbanización:* La tendencia que tiene la sociedad a aumentar el grado de urbanización también incide sobre el aumento de consumo de alimentos transformados y de mayor calidad.
- 3) *Desarrollo en determinados países:* En la actualidad solo se habla de excedentes en los países desarrollados y a pesar de ello, se estima que en el mundo varios millones de personas mueren al año por falta de alimentos.
- 4) *Disponibilidad de alimentos:* En los últimos años estamos asistiendo a una lenta y callada revolución en la producción de alimentos. La Biotecnología y la Ingeniería Genética permitirán la producción masiva de ciertos alimentos, que proporcionaran al agricultor especies más resistentes a las heladas, zonas áridas, etc., que permitan solventar las necesidades alimenticias, así como producir alimentos en países en vías de desarrollo, por tanto es inevitable introducir sistemas de conservación.
- 5) *Tráfico mundial de alimentos:* En el sector de la distribución, la refrigeración ocupa un lugar predominante. En los países desarrollados, alrededor de la mitad del valor de los productos es distribuido a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente y una parte considerable en estado congelado. Esta tendencia aumentará en lo futuro debido al incremento del grado de urbanización.
- 6) *Ayuda de los países industrializados al desarrollo económico de los subdesarrollados:* Cuanto mayor es la renta nacional bruta mayor es el consumo, por lo que se pronostica, que en cualquier zona se incrementará el consumo en función de su mejora económica.

Se puede afirmar que por el momento se tendrán excedentes en alimentos, el problema es, ¿cómo se podrá asegurar la disponibilidad de alimentos para todos en forma correcta? Tal vez una manera ideal de solucionar esta situación, es mediante la aplicación del frío

para el tratamiento de los productos excedentarios y su posterior distribución. Simultáneamente el desarrollo de la aplicación del frío en los países en desarrollo, permitirá a estos, el almacenamiento y la posterior venta del producto, cuando el precio en el mercado sea conveniente. Dicho de otra forma, la utilización de aplicaciones del frío puede ser también una vía para el desarrollo económico en determinados países <sup>(17)</sup>

### 1.3 TIPOS DE ALMACENAMIENTO EN FRIO.

Los actuales métodos de conservación de alimentos, pueden influir favorablemente en la actividad enzimática y en el curso de los procesos fisicoquímicos que alteran los productos, al limitar o anular por completo la actividad de los microorganismos. La inhibición de dichos procesos puede ser, por consiguiente, parcial (anabiosis) o total (abiosis). La conservación de los alimentos puede llevarse a efecto por procedimientos químicos (modificando la composición de los productos) o físicos (por la acción de determinados factores externos)

Entre los procedimientos de conservación, los métodos basados en la acción de bajas temperaturas desempeñan un importante papel, es decir, en almacenamientos refrigerados y la conservación por congelación. Estas técnicas, mejoran diversos campos de la comercialización de los alimentos, cuando son aplicadas racionalmente (mejor abastecimiento en el mercado, calidad superior en los artículos, disminución de las pérdidas, etc.). En el actual nivel de tecnificación, solo entre el 25% y el 30% de los alimentos perecederos son eficazmente protegidos en las respectivas etapas de aprovechamiento y venta, por medio de instalaciones frigoríficas. Las pérdidas siguen siendo muy elevadas: alrededor del 20% al 30% del volumen total de los alimentos perecederos <sup>(11)</sup>

Un producto pasa por diferentes fases antes de llegar al almacenamiento en frío, distinguiéndose dos etapas térmicas:

- 1) *Prerrefrigeración y o precongelación*: Prerrefrigeración es el proceso en el que la temperatura original del producto es reducida entre 0°C u 8°C. Cabe notar que la prerrefrigeración

ción es diferente de la pre congelación aun cuando se tienen similitudes en los procesos. La pre congelación es el lapso de tiempo entre el momento en que el producto a su temperatura original, es sometido a un proceso de congelación y el instante en que comienza la cristalización del agua (temperatura estrictamente)

- 2) **Congelación:** Periodo durante el cual la temperatura es casi constante en un punto dado, debido al calor extraído la mayor parte del agua se transforma en hielo

**Refrigeración:** Es el periodo en el que la temperatura se mantiene estable y no es menor a 0°C.

Posteriormente se ajusta la temperatura del producto a la temperatura de almacenamiento, que es la temperatura final deseada. La temperatura final puede ser la temperatura de almacenamiento alcanzada por todo el producto, incluso el "centro termico" (punto que requiere más tiempo para congelar), o bien la temperatura de equilibrio (cuando la temperatura de superficie es casi la misma que en el centro termico) "

Una vez expuestas las etapas termicas de los procesos de la aplicación del frío, es necesario exponer cuales son los tipos de almacenamiento así también como sus características, lo cual se hace a continuación

### **1.3.1 Almacenamiento en refrigeración.**

En el almacenamiento en refrigeración, la temperatura generalmente se mantiene entre 0 y 5°C (en algunas ocasiones se considera refrigeración hasta en -2°C), lo que frena el curso de los procesos que reducen la calidad en los productos, en otras palabras, reduce la velocidad de las transformaciones bioquímicas y microbianas que tienen lugar en el alimento, prolongando de esta forma la vida útil tanto de los alimentos frescos como elaborados

Las leyes de la cinética química indican, en términos generales, que se consiguen hacer entre dos y tres veces más lentas las alteraciones totales, que acontecen en el seno del producto al disminuir la temperatura alrededor de 10°C. Debido a la complejidad de los procesos que se realizan con coeficientes térmicos variables, el grado de inhibición de las respectivas modificaciones que se producen al descender la temperatura no es homogéneo. Las

condiciones para el almacenamiento refrigerado de alimentos, dependen de las características específicas de estos productos y están mucho más diferenciadas que en el caso de la conservación por congelación. Las temperaturas de almacenamiento de la mayoría de los productos almacenados en refrigeración están entre los límites de 2°C (principalmente para productos vegetales) y -2°C principalmente para productos de origen animal que contienen grandes cantidades de grasa. De acuerdo con su temperatura de almacenamiento, los alimentos se clasifican en tres grupos:

- 1) De -1°C a 1°C (filetes de pescado, carnes, embutidos y carnes picadas, carnes y pescados ahumados)
- 2) De 0°C a 5°C (carnes enlatadas o pasteurizadas, leche, nata, yoghurt, ensaladas, sandwiches, alimentos horneados, pasta, pizzas y masas para panadería y pastelería antes de su horneado),
- 3) De 0°C a 5°C (carnes cocinadas y pasteles de pescado, carnes curadas cocinadas o no cocinadas, mantequilla, margarina, quesos duros y fríos blandos) <sup>(11)</sup>

No todos los alimentos pueden refrigerarse, por ejemplo, las frutas tropicales, subtropicales y algunas procedentes de países templados se alteran cuando se mantienen a una temperatura superior en 3-10°C a la de su punto de congelación. Cuando la refrigeración se combina con el almacenamiento en atmósfera controlada (composición controlada), el efecto conservador que se consigue es mayor que el que se obtiene con cada una de estas operaciones unitarias por separado <sup>(11,12)</sup>.

Reduciendo la concentración de oxígeno y/o aumentando la del anhídrido carbónico en la atmósfera de almacenamiento, se reduce la velocidad de respiración de la fruta y verdura fresca, además se inhibe el crecimiento de insectos y microorganismos. La composición de la atmósfera de almacenamiento se da en tres formas:

- 1) *Almacenamiento en atmósfera controlada (CAS)* En este método, las concentraciones de oxígeno y de anhídrido carbónico, y a veces, también de etileno, se miden y regulan a valores predeterminados.

- 2) *Almacenamiento en atmósferas modificadas (MAS)*: En este sistema, la composición de la atmósfera de almacenamiento cambia como consecuencia de la actividad respiratoria normal del alimento y no se ejerce sobre ella un control apreciable
- 3) *Envasado en atmósferas modificadas (MAP) o arrastre con gases*: En este método la composición gaseosa de la atmósfera de almacenamiento en el envase (de permeabilidad conocida) se modifica una vez llenado este y antes de su cierre

En la actualidad la aplicación comercial del sistema CAS y MAS se limita a las manzanas y en menor proporción a coles y guisantes. El sistema MAP se utiliza ya en algunos alimentos frescos o ligeramente procesados como son, sandwiches, queso y carnes cocinadas.<sup>(26)</sup>

### 1.3.2 Almacenamiento en congelación.

La congelación es aquella operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, por lo que una proporción elevada del agua que contiene cambia de estado formando cristales de hielo. La misión principal de la congelación, en términos económicos, estriba en conservar la calidad de la materia prima y productos alimenticios durante los prolongados almacenamientos a bajas temperaturas. Pero éste no es el único empleo de las temperaturas muy bajas en la industria alimentaria. También se utilizan como importantes parámetros de procesos tecnológicos, en la criocentración de jugos, desecación-congelación, producción de helado, etc.

La congelación es mucho más compleja en los aspectos tecnológicos y termotécnicos que la refrigeración. La conservación mediante congelación se consigue aplicando temperaturas inferiores a la temperatura de congelación del producto en la zona o centro térmico, en la cual es posible la proliferación de los microorganismos y la actividad de la mayoría de las enzimas tisulares, a la vez que se deshidrata el producto mediante el paso paulatino del agua desde el estado líquido al estado de agregado sólido (hielo). La capacidad de conservación del producto congelado es, en muchas veces, superior a la del mismo producto mantenido en refrigeración, como podemos observar en la figura 1.1 en donde 1 corresponde a carne de pollo, 2 a pescado magro y 3 a carne de res.<sup>(11)</sup> La congelación y el almacenamiento por

congelación de los alimentos, origina en estos, determinadas mermas de calidad que dependen sobre todo del carácter del producto y de las condiciones en que se llevan a cabo los procesos industriales. En algunos casos, solo se logra una acción óptima de la conservación por congelación cuando esta se asocia con un tratamiento térmico previo (escaldado de las verduras) o una preparación mediante la adición de azúcar o jarabe a la fruta, así como acompañada del empleo de envases adecuados<sup>(11)</sup>

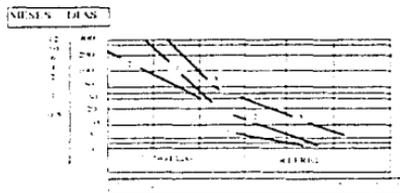


FIG 11.- Capacidad de conservación de productos almacenados en refrigeración y congelación en función de la temperatura de almacenamiento.<sup>(12)</sup>

Si se cumplen adecuadamente todas las prescripciones referentes al estado de la materia prima, al método de tratamiento y al tipo de congelación, los alimentos conservados presentarán en lo referente a características sensoriales y a la preservación de importantes nutrientes y vitaminas ostensibles, ventajas frente a otros métodos de conservación. Los principales grupos de alimentos congelados industrialmente son los siguientes

- 1) *Frutas enteras* (fresas, frambuesas, etc.) o en forma de pure o como zumos concentrados.
- 2) *Verduras*
- 3) *Filetes de pescado y mariscos*, también palitos de pescado, pastel de pescado y platos preparados con salsa
- 4) *Carnes* (ternera, cordero, aves) en canal, despiezadas y productos carnicos (embutidos, hamburguesas y filetes reconstituidos)
- 5) *Alimentos horneados* (pan, pasteles, fruta y pastel de carne)

6) *Platos preparados* (pizzas, postres, helados, menus completos y platos cocinados-congelados).<sup>(26)</sup>

El rapido incremento registrado en los ultimos tiempos en el consumo de alimentos congelados se halla intimamente asociado a la difusion de los congeladores domesticos y los hornos de microondas.<sup>(11)</sup>

#### 1.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONSERVACION DEL PRODUCTO DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN FRIO.

Disminuida la temperatura de un producto ya sea a temperatura de refrigeración o congelación, en funcion de las características de este, es imprescindible mantener la temperatura baja, esto aunado a otras condiciones de almacenamiento que son requeridas y que deben ser aplicadas adecuadamente como lo son la humedad relativa, velocidad del aire y composición de la atmósfera entre otras, permitiendo que el producto almacenado no sufra cambios significativos de su calidad.

Algunos factores pueden tener mayor significancia en el almacenamiento por refrigeración que en el de congelación y viceversa, por ejemplo, a diferencia de la conservación por congelación, en el almacenamiento refrigerado, junto con la temperatura, también revisten importancia esencial la humedad relativa ambiental y la velocidad del aire, para la mayoría de los alimentos almacenados en refrigeración la Hr óptima del ambiente está entre el 80 y 95%, relacionando esto generalmente con el contenido de humedad de los mismos alimentos y la facilidad con que se deshidratan, existiendo por tanto, pérdidas de peso. Una humedad excesivamente elevada, acompañada de una interrupción de la circulación del aire, pueden provocar un intenso desarrollo de la microflora, por el contrario, una Hr baja acentúa la desecación de los productos sin envasar o envueltos en materiales no impermeables, para contrarrestar esto, se utilizan sistemas de refrigeración que garantizan un suficiente movimiento del aire en todo el almacén. Por lo común es suficiente una velocidad de aire de 0.1-0.3 m/s sobre la superficie de los productos.<sup>(11)</sup>

Por otro lado, en cámaras de congelación, el contenido en vapor de agua del aire y en la superficie de los productos es muy pequeño, por lo que también las diferencias entre las presiones parciales toman valores muy bajos, y las pérdidas de peso por unidad de tiempo se mantienen pequeñas.<sup>18,19)</sup>

En general, son varios los factores principales del almacenamiento que influyen en la conservación de un determinado producto, la temperatura (cuya homogeneidad adecuada está en función de la distribución y recirculación del aire), humedad y la composición de la atmósfera. Además la conservabilidad puede reducirse si la manipulación del producto es defectuosa, debido a la falta de cuidado durante el envasado del producto o el empleo de envases inadecuados.<sup>20)</sup>

#### 1.4.1 Temperatura.

Globalmente, las temperaturas características de los tratamientos por el frío están definidas por diferentes niveles, los cuales se muestran a continuación

- T  $\geq$  3°C Correspondiente a interrupción del riesgo ocasionado por la presencia de bacterias patógenas
- T  $<$  0°C Cambio del estado físico del producto (rigidez, aumento de volumen)
- T  $\leq$  -10°C Interrupción de la multiplicación bacteriana
- T  $\leq$  -18°C Interrupción de la multiplicación microbiana
- T  $\leq$  -20°C Interrupción de los fenómenos bioquímicos.<sup>21)</sup>

La refrigeración o la congelación de requerirá en función de la temperatura a la que se conserva un producto

##### 1.4.1.1 Conservación por refrigeración.

La reducción de la temperatura por debajo de la temperatura mínima prolonga el tiempo de duplicación de los microorganismos y de hecho evita o retrasa su proliferación. De acuerdo con el rango de temperaturas en el que los microorganismos son capaces de crecer, se clasifican en

- 1) Termófilos ( 35 a 55°C)
- 2) Mesófilos ( 10 a 40°C)
- 3) Psicrófilos (-15 a 15 °C)

La refrigeración evita el crecimiento de los MO termófilos y de muchos mesófilos. Algunos psicrófilos son capaces de alterar los alimentos mantenidos en refrigeración, pero no hay MO psicrófilos que sean patógenos. La refrigeración a temperaturas inferiores a 5-7°C retrasa, por tanto la alteración microbiana, y evita el crecimiento de germen patógeno. La velocidad de los cambios bioquímicos provocados por MO o enzimas de los propios alimentos, cambia logarítmicamente al variar la temperatura, como podemos ver en la figura 1.2.<sup>(20)</sup>

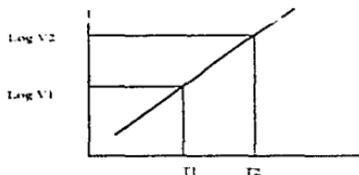


Fig 1.2.- Velocidad de cambios bioquímicos vs temperatura en °C

En la figura 1.2,  $V_2$  es la velocidad de reacción a una temperatura dada y  $V_1$  es la velocidad de reacción 10°C inferior a  $V_2$ .

La velocidad de las reacciones bioquímicas en los alimentos aumenta con la temperatura. El logaritmo de la velocidad de la reacción es una función lineal de la temperatura. Frecuentemente la modificación de la velocidad de reacción en términos de  $Q_{10}$  (es el cociente entre las velocidades de reacción a una temperatura dada, y otra 10°C inferior) en lugar de  $Z$  (el intervalo de temperatura en el que la velocidad de reacción cambia por un factor de 10). La pendiente de la línea que relaciona el logaritmo de la velocidad de la reacción con la temperatura, se puede definir en términos de ambas cantidades.

$$\text{Pendiente} = \frac{\log V_2 - \log V_1}{T_2 - T_1} = \frac{\log \frac{V_2}{V_1}}{10} = \frac{\log Q_{10}}{10} = \frac{1}{Z} \quad (2)$$

El concepto de  $Q_{10}$  fue introducido por Vant Hoff<sup>(3)</sup>, quien observó que el valor de  $Q_{10}$  de muchas reacciones químicas estaba cerca de 2, es decir, la velocidad de las reacciones se puede duplicar al elevarse la temperatura 10°C, o que por cada 10°C que disminuya la temperatura, la velocidad de un proceso se hace 2 o 3 veces menor. Como estas reacciones significan en la mayor parte de los casos disminuciones del valor de los alimentos, se tiene que la duración se duplica o triplica por cada 10°C de disminución en la temperatura. Por lo tanto, al reducir la temperatura de almacenamiento, puede decirse que se produce inevitablemente una prolongación de la conservabilidad, pues cuanto más reducida sea la temperatura de almacenamiento, más lentamente se alteran los alimentos a causa de acciones enzimáticas y microbiológicas, así como la respiración de los alimentos frescos.<sup>(3)(4)(5)</sup>

Cuando el almacenamiento es a bajas temperaturas, se debe de considerar el costo de tal almacenamiento. Al costo inicial de los alimentos almacenados se añade el costo de mantenerlos en las condiciones deseadas de temperatura. Así el costo de los alimentos conservados en frío aumenta con el tiempo. El almacenamiento a temperaturas inferiores a la temperatura ambiental es más caro que el almacenamiento sin refrigerar y cuanto más baja sea la temperatura, el costo es mayor. Aunque es lógico pensar, que las condiciones de almacenamiento no tienen que ser más elaboradas que las necesarias para mantener el producto en buenas condiciones, hasta el momento de su consumo, de lo contrario sería antieconómico.

Por lo tanto, la elección de la temperatura de almacenamiento de un producto determinado depende de tres factores principales: la dependencia de la velocidad de los procesos de alteración con respecto a la temperatura, el riesgo de alteración por el frío en el producto y el balance económico entre los costos de almacenamiento y el mantenimiento del producto, para garantizar la calidad del mismo.<sup>(3)</sup>

#### 1.4.1.2 Conservación por congelación.

Se ha demostrado que una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es un nivel adecuado y seguro para conservar los alimentos congelados. Ningun microorganismo puede crecer a esa temperatura y la acción de las enzimas es insignificante. Los congeladores domésticos están diseñados para mantener una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aunque es posible reducirla  $3^{\circ}\text{C}$  ó  $6^{\circ}\text{C}$ . Los almacenes comerciales de alimentos congelados se mantienen normalmente a  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$  <sup>(1)</sup>.

Los alimentos congelados bajo condiciones ideales no sufiran pérdida alguna de calidad. Las condiciones ideales consisten en un correcto empaquetado del alimento congelado y una temperatura uniforme de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Aunque con la amplia variedad de materiales de envasado disponibles se puede satisfacer la primera condición, en la práctica, es difícil prevenir fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento, las cuales pueden deberse a la apertura de las puertas del almacén durante el periodo de conservación, o a la introducción de productos con una temperatura mayor a la de los productos conservados en ese momento, por la temporada o estación del año, etc., provocando esto que existan gradientes de temperatura que harán que el calor fluya desde las zonas más calientes a las más frías, hasta que la temperatura sea uniforme en el almacén, como se muestra en la figura 1.3. <sup>(2)</sup>

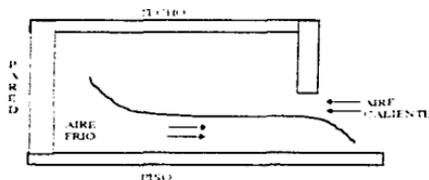


Fig 1.3 - Movimiento de aire a través de una puerta abierta durante el almacenamiento en frío <sup>(2)</sup>

Para comprender mejor la conservación por congelación de un determinado producto, es necesario recordar como se lleva a cabo la congelación de los mismos. En la congela-

ción, primero es preciso eliminar el calor sensible del alimento para bajar la temperatura hasta alcanzar la temperatura de congelación. En los alimentos frescos debe eliminarse también el calor generado por la respiración metabólica. Seguidamente se elimina el calor latente de congelación, lo que provoca la formación de cristales de hielo. Deberá también eliminarse el calor latente correspondiente a otros componentes de los alimentos, por ejemplo las grasas. Como la mayor parte de los alimentos, contienen una elevada proporción de agua, como se muestra en la tabla 1.1, el calor latente de congelación de otros componentes es comparativamente pequeño

ALIMENTO	CONTENIDO DE AGUA (%)	TEMPERATURA DE CONGELACIÓN (°C)
VERDURAS	78-92	-0.8 A -2.8
FRUTAS	87-95	-0.9 A -2.7
CARNE	58-70	-1.7 A -2.2
PESCADO	65-81	-0.6 A -2.0
LECHE	87	-0.5
HELADOS	74	-0.5

Tabla 1.1 - Contenido en agua y temperaturas de congelación de diversos alimentos.<sup>250</sup>

El calor específico del agua es elevado (4 200 J/ Kg K) y su calor latente de congelación también (335 kJ/ Kg), por lo que la cantidad de energía necesaria para congelarlos es grande

Si a lo largo de la congelación se registra la temperatura del alimento en su centro térmico se obtiene una gráfica que posee una forma característica (figura 1.4).

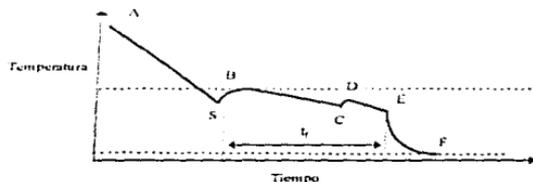


Figura 1.4. - Evolución de la temperatura durante la congelación.<sup>250</sup>

Esta curva posee seis porciones distintas:

- AS:** El alimento se enfría por debajo de su punto de congelación siempre inferior a  $0^{\circ}\text{C}$  (temperatura de congelación del agua= $0^{\circ}\text{C}$ ). En el punto S, en el que el agua se halla a una temperatura inferior al punto de la congelación, ésta se encuentra todavía en estado líquido. A este fenómeno se le conoce como "sobreenfriamiento". El sobreenfriamiento puede producirse hasta  $10^{\circ}\text{C}$  por debajo del punto de congelación.
- SB:** La temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, ya que al formarse los cristales de hielo se libera calor latente de congelación a una velocidad superior a la que este se extrae del alimento.
- BC:** El calor se elimina a la misma velocidad que en las fases anteriores. Se elimina el calor latente y se forma el hielo, pero la temperatura permanece casi constante. El incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provoca un descenso en el punto de congelación y la temperatura desciende ligeramente. Es en esta fase en la que se forma la mayor parte de hielo como se muestra a continuación (fig. 1.5).

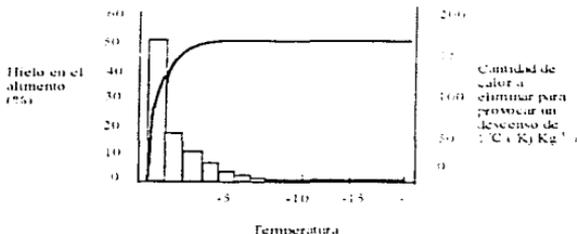


Figura 1.5 - Formación de hielo a distintas temperaturas de congelación.<sup>126</sup>

- CD:** Uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. La liberación del calor latente de cristalización provoca un aumento de la temperatura hasta la temperatura eutéctica del soluto.

**DE.** La cristalización de agua y solutos continua. El tiempo total  $t_T$  (meseta de congelación) se halla determinado por la velocidad a la que el calor se extrae

**EF.** La temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende hasta alcanzar la del congelador. La proporción de agua no congelada, a las temperaturas de congelación utilizadas comercialmente, depende de la composición del alimento y de la temperatura de almacenamiento (por ejemplo para una temperatura de almacenamiento de  $-20^{\circ}\text{C}$  el porcentaje de hielo en la carne de cordero es del 88%, en el pescado del 91% y en la albumina de huevo del 93%)

En cuanto a la formación de cristales de hielo, como ya se ha visto, el punto de congelación de un alimento es aquella temperatura en la que coexisten en equilibrio el agua y pequeños cristales de hielo. Sin embargo, para que un cristal de hielo pueda formarse debe primero existir un núcleo de moléculas de agua, es decir, debe producirse primero la nucleación. Existen dos tipos de nucleación: nucleación homogénea (la orientación al azar de moléculas de agua) y la heterogénea (la formación del núcleo sobre partículas en suspensión o sobre la red celular). La nucleación más común entre los alimentos es la heterogénea. Esta es la nucleación que se produce en el sobreenfriamiento.

La duración del período de sobreenfriamiento depende del tipo de alimento y la velocidad a la que el calor se disipa. La eliminación rápida del calor da lugar a la formación de un gran número de núcleos. Las moléculas de agua se desplazan preferentemente hacia los núcleos ya existentes, formando nuevos núcleos. La congelación rápida da lugar, por tanto, a la formación de un gran número de cristales de hielo. Sin embargo, en distintos tipos de alimentos, e incluso en alimentos semejantes que han recibido distintos tratamientos de congelación pueden encontrarse cristales de hielo de tamaños muy variables. Durante la mayor parte de la meseta de la congelación la formación de cristales de hielo se halla controlada por la velocidad de transferencia calorífica. La velocidad de transferencia de masa (de las moléculas de agua hacia los cristales de hielo en crecimiento y de los solutos, apartándose de ellas) no controla la velocidad de crecimiento de los cristales, excepto hacia el final del período de congelación, en el que los solutos se hallan más concentrados. Por tanto, el tiempo que tarda

un alimento en atravesar la zona crítica (figura 1.6) determina, tanto el número, como el tamaño de los cristales de hielo.<sup>120)</sup>

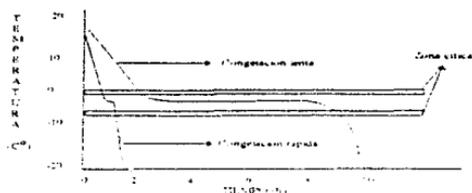


Figura 1.6 - Evolución de la temperatura en el alimento en la zona crítica.<sup>120)</sup>

El incremento en la concentración de solutos durante la congelación provoca cambios en la viscosidad, el pH y el potencial redox del líquido no congelado. A medida que la temperatura desciende, se va alcanzando la saturación de las distintas sustancias disueltas que, como consecuencia cristalizan. A la temperatura a la que un cristal de un determinado soluto de halla en equilibrio con el líquido no congelado y el hielo, se lo denomina "temperatura eutéctica". Sin embargo, como resulta difícil identificar las distintas temperaturas eutécticas individuales en la compleja mezcla de solutos que constituye los alimentos, se utiliza el término "temperatura eutéctica final", que es la temperatura eutéctica más baja de los solutos del alimento. La máxima formación de cristales de hielo no se consiguen hasta que no se alcanza esta temperatura. Como los alimentos nunca se congelan comercialmente a temperaturas tan bajas, siempre contienen cierta proporción de agua no congelada.

Ahora bien, como en la congelación, la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, una proporción elevada del agua que contiene cambia de estado formando cristales, la inmovilización del agua en forma de hielo y el aumento de la concentración de solutos en el agua no congelada reduce la actividad de agua del alimento. En los alimentos, al igual que en todos los sistemas biológicos, el agua es uno de los componentes más importantes. Como disolvente, el agua sirve para poner en contacto las diferentes moléculas que interactúan. Mas aun, la reactividad de muchas sustancias depende de la

disociación iónica y de la configuración molecular, y por consiguiente del grado de hidratación. El agua misma es a menudo uno de los reactivos o de los productos de la reacción

El agua no solo contribuye a las propiedades reológicas y de textura de un alimento a través de su estado físico, sino que sus interacciones con los diferentes componentes también determinan el tipo de reacciones químicas que se pueden suscitar en el alimento. El término "actividad del agua" determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos, y es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a las que están sujetos. Este factor se puede calcular por medio de la siguiente ecuación

$$a_w = P/P_0 \approx \%HR_e / 100 \quad (1)$$

donde:

$a_w$  = actividad de agua

$P$  = presión de vapor del agua del alimento a temperatura  $T$

$P_0$  = presión de vapor del agua pura a temperatura  $T$

$\%HR_e$  = humedad relativa de equilibrio del alimento a la cual no se gana ni se pierde agua

Ahora ya podemos obtener la relación entre la  $a_w$  y su efecto sobre los cambios que pueden ocurrir en el alimento, ya que si los alimentos fueran tan solo mezclas de agua con sustancias inertes, que no interactuaran en modo alguno con las moléculas de agua, la  $a_w$  siempre sería igual a la unidad, independientemente del contenido de agua <sup>(1)</sup>

Por lo tanto, la conservación por congelación se consigue por un efecto combinado de las bajas temperaturas y una actividad de agua más baja <sup>(1,2)</sup>

#### 1.4.2 Humedad relativa.

Para poder comprender mejor los términos aquí manejados, comenzaremos por re-tomar ciertos conceptos básicos referentes a la humedad, comenzando por la presión de vapor ( $P_v$ ). Si un líquido se introduce en un recipiente cerrado, las moléculas del líquido se evaporan y llenan por completo el espacio total del recipiente, y después de un tiempo se

establece un equilibrio, este vapor ejerce una presión al igual que un gas y a esta presión se le puede llamar presión de vapor del líquido. El valor de  $P_v$  es independiente de la cantidad del líquido en el recipiente.

Si un gas inerte como el aire también está presente en el espacio del vapor, su efecto sobre  $P_v$  es muy bajo, y se puede considerar como despreciable a presiones de unas cuantas atmósferas.

La  $P_v$  de un líquido aumenta notablemente al elevarse la temperatura de este, por ejemplo, si el agua tiene una temperatura de  $50\text{ }^\circ\text{C}$  su  $P_v$  es  $92.51\text{ mm de Hg}$ , a  $100\text{ }^\circ\text{C}$  su  $P_v$  es  $760\text{ mm de Hg}$  (la temperatura a la cual la  $P_v$  de un líquido es igual a la presión total se le conoce como punto de ebullición, por tanto, si la presión atmosférica total mide  $760\text{ mm de Hg}$  al igual que la  $P_v$ , el agua hierve a  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ).

En cuanto al agua y la presión de vapor del agua, esta puede existir en tres diferentes estados físicos: hielo sólido, líquido y vapor. El estado físico en el cual exista depende de la presión y de la temperatura.

La siguiente figura ilustra los diferentes estados físicos del agua y las relaciones presión-temperatura en equilibrio.

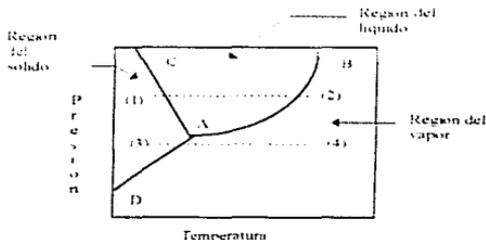


Figura 1.7 -Diagrama de fases del agua<sup>(6)</sup>

En la figura 1.7, se muestran las regiones de los estados sólido, líquido y vapor. A lo largo de la línea AB, coexisten las fases líquida y vapor. En la línea AC, las fases que coexisten son hielo y líquido. A lo largo de la línea AD, coexisten el hielo y el vapor.

Si el hielo en el punto (1) se calienta a presión constante, la temperatura se eleva y la condición física se desplaza horizontalmente. En cuanto la línea cruza AC, el sólido se funde, y al cruzar AB el líquido se vaporiza. Al desplazarse del punto (3) al punto (4), el hielo se sublima (se vaporiza) para formar vapor sin pasar por el estado líquido.<sup>(6)</sup>

Por otro lado, el aire atmosférico puede estar completamente seco o saturado de humedad, esta humedad se presenta en la forma de vapor y no es visible al ojo humano. La cantidad de humedad en el aire es medida en Kg de vapor de agua por Kg de aire seco, y a este contenido de humedad se le conoce como humedad absoluta (H)<sup>(12)</sup>. Esta definición de la humedad solo depende de la presión parcial del vapor en el agua ( $P_A$ ) y de la presión total o presión atmosférica ( $P$ ). Usando el peso molecular del agua de 18.0 y el del aire de 29.0, la H en Kg de agua/Kg de aire seco se obtiene de la siguiente fórmula

$$H = \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}} = \frac{P_A \text{ mol Kg H}_2\text{O}}{P - P_A \text{ mol Kg aire}} \cdot \frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{\text{mol Kg aire}} \cdot \frac{1}{29 \text{ Kg aire/mol Kg aire}} \quad (3)$$

$$H = \frac{18}{29} \frac{P_A}{P - P_A} \quad (4)$$

El aire saturado es aquel en el cual el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida en las condiciones prevalecientes de presión y temperatura. En esta mezcla, la presión parcial del vapor de agua en la mezcla aire-agua, es igual a la presión de vapor  $P_{AS}$  del agua pura a la temperatura establecida. Por consiguiente, la humedad de saturación  $H_s$  es

$$H_s = \frac{18}{29} \frac{P_{AS}}{P - P_{AS}} \quad (5)$$

Es importante recordar que el porcentaje de humedad Hp se define como 100 multiplicado por la humedad real H del aire, dividida entre la humedad Hs que tendría el aire si estuviera saturado a esas mismas temperatura y presión.

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s} \quad (6)$$

El porcentaje de humedad relativa. La cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua también puede expresarse como porcentaje de humedad relativa Hr usando presiones parciales

$$H_r = 100 \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (7)$$

Debemos notar que Hr = Hp puesto que Hp es expresada en presiones parciales.

Hp es:

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s} = \left[ (100) \frac{18}{29} \frac{P_v}{P - P_A} \right] + \left[ \frac{18}{29} \frac{P_{vs}}{P - P_{vs}} \right] = \frac{P_A}{P_{vs}} \frac{P - P_{vs}}{P - P_A} (100) \quad (8)$$

La cual es diferente a la ecuación de Hr

Ahora bien, retomando la definición de actividad de agua (a<sub>w</sub>) recordaremos la ecuación (1).

$$a_w = P/P_0 = \%Hr_e/100$$

Esta nos involucra la Hr del alimento (observe que es la misma ecuación para la Hr de una mezcla aire-vapor). A esta a<sub>w</sub> la conocemos como Humedad relativa de equilibrio (Hr<sub>e</sub>), la cual es el equilibrio que alcanza un producto cuando se mantiene en contacto con aire a temperatura y humedad constantes, adquiriendo un contenido de humedad definido. Este contenido de humedad definido o Hr<sub>e</sub> es la relación de la presión de vapor de agua del

alimento a una determinada temperatura y la Pv del agua para una misma temperatura, o bien es la actividad de agua expresada en porcentaje

Ahora bien, la actividad de agua se relaciona con el contenido de agua del alimento a través de sus correspondientes isotermas de adsorción y desorción (fig. 1.8).

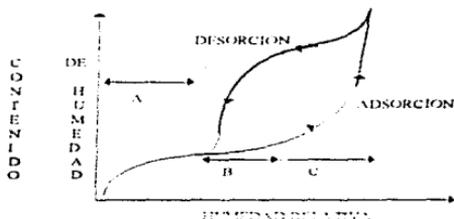


Figura 1.8.-Curvas típicas de las isotermas de adsorción y desorción de los alimentos.<sup>10</sup>

En general, un material orgánico almacenado a una temperatura constante en una cámara de vacío desarrolla una presión de vapor de agua propia y muy característica que depende del contenido original de humedad y de la temperatura. La relación entre la presión de vapor del agua desarrollada por el material orgánico y su contenido de humedad en el equilibrio se grafica en dichas isotermas.

En las isotermas de adsorción y desorción que se muestran en la figura anterior, se puede apreciar que la humedad relativa o actividad de agua es menor durante la desorción que durante la adsorción, para un contenido de humedad constante. Por otra parte, a una HR o  $a_w$  determinada, el contenido de humedad durante la desorción es mayor que durante la adsorción. Esto se debe a que durante la desorción existen interacciones de los constituyentes de los alimentos, de tal manera que los sitios físicos polares donde existe la adsorción se pierden. Una consecuencia de esto es que las reacciones de oxidación a una  $a_w$  constante se efectúan más rápidamente en productos que van en la etapa de desorción que en la de ad-

sorción, como se ha mostrado en la figura los procesos de adsorción y desorción no son reversibles a través de un camino común, a este fenómeno se le llama histeresis.

Se puede observar en la figura 1.8 que en las zonas A y B, los cambios pequeños de humedad producen grandes variaciones en la  $a_w$ . En la parte final de la curva (zona C) se requiere de modificaciones mayores en la humedad para cambiar ligeramente la actividad de agua del alimento. En la parte inferior de la curva de adsorción se encuentran los alimentos deshidratados y a medida que la humedad aumenta se localizan los alimentos de humedad intermedia y finalmente los húmedos. Estas curvas en forma de S son muy representativas para la adsorción de la mayoría de los alimentos y de muchos otros productos orgánicos.

Las curvas de adsorción no son estrictas para cada alimento ya que dependen directamente de la temperatura a la que se encuentre el sistema.<sup>(1)</sup>

Concluimos que si la humedad relativa de la atmósfera de un almacén se encuentra por debajo de la humedad relativa de equilibrio del producto almacenado, dicho producto perderá humedad cediéndola a la atmósfera. Por el contrario, si se encuentra por encima de la Hre del alimento, este último absorberá agua. Por tanto, en condiciones ideales, la humedad relativa de la atmósfera del almacén tiene que ser igual a la Hre del producto almacenado, y se debe recordar que el contenido de humedad de equilibrio varía notablemente con el tipo de alimento para cualquier porcentaje de humedad relativa.<sup>(2)</sup>

Los frutos secos se vuelven quebradizos y pueden deteriorarse al deshidratarse, si la humedad relativa del almacén es inferior al 70% de la humedad relativa óptima para esos productos y si su Hre es superior a este 70%, pueden crecer mohos y alterarlos.

Si la humedad de almacenamiento, en el caso de frutas y verduras frescas, no puede mantenerse lo suficientemente elevada como para poder evitar su arrugamiento y desecación (porque en tal caso crecerían los mohos rápidamente), hay que utilizar una humedad relativa constante y adecuada, para la cual haya cierto grado de desecación que se acepte, el cual queda compensado por la reducción en el ataque microbiano que se obtiene, como se muestra en la tabla 1.2.

La Hre tiene una importante relación con la vulnerabilidad al ataque microbiano a un producto. Como se mencionó anteriormente, si se expresa en forma de fracción, en lugar de un porcentaje, la Hre se conoce como actividad del agua ( $a_w$ ) de un producto.

- A la  $a_s$  indicada en la tabla , los microorganismos quedan inhibidos.
- A valores ligeramente mayores, a esta  $a_s$ , su crecimiento es muy lento

<i>Organismo</i>	$a_s$	<i>Alimentos</i>
La mayoría de los bacilos Gram -Negativos, esporas de Bacillaceae	0.95	Carnes curadas, jamones, la mayoría de los embutidos
La mayor parte de los cocos, lactobacilos y celulas vegetativas de Bacillaceae	0.90-0.95	
La mayoría de las levaduras	0.85	Harina, arroz frutas escarchadas
Staph. aureus	0.80-0.85	
La mayoría de los mohos	0.80	La mayor parte de las jaleas y mermeladas
Bacterias haloófilas	0.75	
Hongos xerófilos	0.65	Frutas desecadas , caramelos
Levaduras osmófilas	0.60	Alimentos deshidratados

*Tabla 1.2.- Actividades de agua aproximadas, limitantes del desarrollo de varios tipos de microorganismos en diversos alimentos.<sup>112</sup>*

En el caso del transporte de la carne, para largas distancias, hay que aceptar un cierto grado de desecación superficial para evitar el desarrollo del limo bacteriano. En estos casos, no hay un equilibrio entre el alimento y la humedad del almacén. La  $a_s$  efectiva de la superficie de los productos es inferior a la de la masa.

También puede hacerse uso del envasado para aislar los alimentos del entorno atmosférico del almacén, permitiendo que los productos puedan conservarse con su H<sub>r</sub>e en atmósferas de humedad relativa sin determinar.

En consecuencia, al igual que ocurre con la temperatura, para cada producto hay H<sub>r</sub> recomendadas de almacenamiento, la cual está en función de la pérdida o absorción de agua, así como la susceptibilidad al ataque microbiano (durante el período de almacenamiento en frío).<sup>11</sup>

#### 1.4.3 Recirculación de aire.

En un sentido, el aire atmosférico debería ser clasificado como un refrigerante secundario en almacenamiento en frío, porque este tiene contacto con una superficie refrigerante tal como el serpentín de un evaporador y es enfriado. El aire circula entonces, ya sea por gravedad o forzado por un ventilador a las diferentes partes de un almacén, donde este es calentado por absorción de calor y entonces retorna al serpentín para nuevamente ser enfriado. Esto es exactamente lo que sucede con un líquido usado como un refrigerante secundario (el aire atmosférico es el aire que respiramos y se encuentra constituido aproximadamente por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y un balance en gases tal como argón, hidrógeno, xenón y kriptón, para propósitos prácticos, solo al nitrógeno y el oxígeno en el aire se les da consideración). En aplicaciones de almacenamiento en frío, el aire atmosférico es el medio de transferencia entre la superficie del serpentín y el producto contenido dentro de un almacén.<sup>12</sup>

Si las corrientes de aire del almacén a determinada velocidad no se mueven entre los productos, predominan los mecanismos de difusión y de conducción del calor. Por tanto, para mantener condiciones uniformes en los almacenes es conveniente disponer de aire en movimiento. Los productos tienen que almacenarse de forma que facilite el flujo de aire, teniendo especial cuidado con productos contenidos en envases rectangulares de cartón, que pueden apilarse formando un bloque sólido. En tal caso pueden colocarse ensamblajes de madera en el suelo y a intervalos regulares entre las pilas, para crear canales por los que pueda pasar el aire. Los soportes de las pilas "paletizadas" pueden servir para crear conduc-

tos para la circulación del aire o incluso, puede disponerse de soportes permanentes en las paredes y suelos de los almacenes frigoríficos con la misma finalidad

A veces es ventajoso que los sistemas de conducción del aire y los ventiladores estén contruidos de tal forma, que permitan cambiar la dirección del flujo de aire. Cambiando periódicamente la dirección del flujo de aire, se pueden reducir las variaciones de temperatura espaciales durante el enfriamiento inicial de un almacén completamente lleno de fruta, por ejemplo, hasta la temperatura de conservación<sup>(1)</sup>.

#### **1.4.4 Descarche.**

El descarche es absolutamente indispensable, ya que si no se elimina el agua cristalizada o el exceso de escarcha sobre el evaporador, se bloquea la acción refrigerante de este, influyendo directamente en la temperatura del almacén, y por tanto en la Hr, de ahí que sea imprescindible realizar esta operación, que puede llevarse a cabo de cuatro formas diferentes:

- 1) *Mediante aire* Con el compresor parado y ventiladores en marcha, aunque existe dificultad de descarche cuando se trabaja con temperaturas muy bajas.
- 2) *Mediante agua* Se realiza mediante una lluvia de agua sobre el evaporador. Es un sistema muy empleado, con poca elevación de la temperatura de la cámara.
- 3) *Mediante resistencias eléctricas* Se produce una cierta elevación de la temperatura en el almacén.
- 4) *Mediante gas caliente* Es una inversión del ciclo frigorífico. El gas caliente es una porción del fluido frigorígeno descargado por el compresor<sup>(4)</sup>.

#### **1.4.5 Incompatibilidad entre productos.**

No es recomendable la mezcla de diferentes variedades de productos, y lo es todavía menos la mezcla entre diferentes especies como son frutos y verduras. Las condiciones de temperatura y humedad relativa óptimas de almacenamiento para cada variedad difieren marcadamente, y en algunos casos de manera sensible.

Se pueden mezclar aquellas variedades, en una misma especie, cuya temperatura y humedad óptimas de conservación sean prácticamente las mismas. La adecuada conservación frigorífica, y la duración de la misma, en este caso de la fruta, es una característica de cada variedad, cosa que es totalmente indispensable tomar en cuenta al planificar una instalación frigorífica.<sup>(1)</sup>

#### 1.4.6 Olores.

Los alimentos almacenados pueden adquirir olores extraños procedentes de otros productos que haya en el almacén, de materiales de envasado inadecuados, de la propia cámara de almacén y del ambiente. Los alimentos de olor fuerte como lo son carnes con especias, pescados alterados, etc., comunican fácilmente malos olores. Los materiales de envasado pueden tener malos olores propios o pueden contaminarse durante su producción. También pueden causar problemas los adhesivos y las tintas usadas en las impresiones de los envases. Por último, los materiales de construcción del almacén pueden contaminarse o absorber malos olores desde el exterior. Aunque tales olores no alteren el valor nutritivo de los alimentos, pueden modificar sensiblemente su valor comercial. Los alimentos grasos son particularmente sensibles a la absorción de olores. Los huevos también toman malos olores con bastante facilidad.

El método más satisfactorio para evitar problemas de comunicación de malos olores durante el almacenamiento, es no poner simultáneamente alimentos que absorban olores en presencia de materiales olorosos.

Los envases pueden servir para evitar la captación de olores anormales por parte de los alimentos envasados. Tanto el carbón activado como el ozono se han empleado para eliminar de los frigoríficos las sustancias volátiles responsables del olor. Desgraciadamente las concentraciones de ozono que son efectivas para tal fin son tóxicas y requieren un cuidado especial, tanto en su empleo para la purificación del aire como en su uso posterior. Para

que estos tratamientos sean eficaces, hay que acompañarlos con una limpieza a fondo de las superficies del refrigerador, tratandolas con un desinfectante <sup>(11\*)</sup>

En aplicaciones de congelación, la penetración de olores puede ocurrir en alguna zona, pero no es tan severa como en almacenamiento refrigerado. Hay diversos métodos usados para combatir los olores, aunque probablemente ninguno sea 100% satisfactorio. El carbón activado tiene la propiedad de ser capaz de absorber olores que se encuentren en el ambiente y es usado particularmente en refrigeración. Después de que la superficie del carbón llega a saturarse, puede reactivarse con calor, sin embargo frecuentemente tiene que sustituirse el que ya ha sido utilizado.

Varios lavados químicos están disponibles para la remoción de olores a la vez que destruyen algo de las fuentes de calor como compuestos volátiles, así mismo puede darse una renovación de aire del almacén por aire "fresco" para la disminución de olores, pero esto implica un considerable gasto de energía por parte del equipo frigorífico, asegurándose de que la temperatura del aire renovado no sea mayor a la capacidad de este por equipo <sup>(12)</sup>.

En general cuando se tiene en conservación especies que desprenden cantidades notables de compuestos volátiles o que necesitan de ambientes privados de los mismos, se puede proceder al lavado de aire mediante el cual son alejados, fijados u oxidados los compuestos gaseosos del ambiente. Para esto, se han propuesto métodos diversos como

- 1) *Erogación o distribución de ozono en el ambiente*
- 2) *Instalación de depuradores a base de carbón activado*
- 3) *Burbujeo del aire a través de soluciones alcalinas de permanganato de potasio.*
- 4) *Lavado de aire en contracorriente de agua en columnas empacadas con anillos "Rashing" <sup>(10)</sup>*

#### 1.4.7 Cargas térmicas.

La carga total de enfriamiento se divide en un determinado número de partes de acuerdo a las fuentes de calor que suministran la carga. La suma de estas cargas parciales será la carga de enfriamiento total del equipo.

En el almacenamiento en frío, la carga total de enfriamiento se divide en las siguientes cuatro cargas separadas:

- 1) *Ganancia de cargas por paredes*: A veces se le llama carga de fuga, es una medición de calor que fluye por conducción a través de las paredes del espacio exterior hacia el interior. Ya que no se dispone de algún aislamiento perfecto para el recubrimiento de las paredes de las cámaras, siempre se tendrá una cierta cantidad de calor que está pasando desde el exterior al interior, debido a que la temperatura en el interior es menor que la temperatura en el exterior. La carga así ganada es común a todas las aplicaciones del frío y ordinariamente representa una parte considerable de la carga total de enfriamiento. Cabe destacar que esta carga será más acentuada en los períodos cálidos (primavera-verano) que en el período invernal por sobradas razones.
- 2) *Carga por cambio de aire*: Los cambios de aire en muchos almacenes son debidos a la introducción de este por puertas, elevadores, ventanas y por infiltración a través de paredes. En algunos almacenes el aire fresco que se introduce reduce el porcentaje de CO<sub>2</sub> (afectando en este caso al almacenamiento por atmósferas controladas), introduce olores indeseables y gases extraños. Al abrirse la puerta de un almacén refrigerado, el aire caliente del exterior entra en el almacén para reemplazar al aire frío más denso, esto constituye una pérdida en el espacio refrigerado. El calor debe ser eliminado de este aire caliente del exterior, para reducirle su temperatura y contenido de humedad a las condiciones de diseño del espacio. Debido a que las puertas de los refrigeradores comerciales están equipadas con empaques muy bien ajustados, las hendiduras a través de las puertas están fuertemente selladas de modo que las fugas de aire que se tienen son muy pequeñas en aquellas unidades comerciales que están en buenas condiciones. Por lo tanto en refrigeradores comerciales los cambios de aire por lo general están limitados a la abertura y cierre de puertas.
- 3) *Carga del producto*: Esta carga varía con la aplicación específica. Aunque esta no tiene valor alguno, en otras representa prácticamente la carga total de enfriamiento. Con la pre-refrigeración se enfría el producto a la temperatura de almacenamiento y en este caso no es necesario considerar la carga del producto ya que el mismo se encuentra a la temperatura de almacenamiento. Sin embargo, en cualquier caso en el que el producto entra al

almacen a una temperatura superior a la temperatura de almacenaje, entonces debe considerarse como parte de la carga del equipo de enfriamiento a la cantidad de calor que debe eliminarse del producto para reducir su temperatura hasta su temperatura de almacenaje

- 4) *Cargas varias*: Las cargas varias llamadas a veces carga suplementaria, toman en cuenta a varias fuentes de calor. Las principales son producidas por las personas que trabajan u ocupan el espacio refrigerado junto con alumbrado y otros equipos eléctricos funcionando dentro del espacio refrigerado

Para casi todas las aplicaciones de refrigeración comercial las cargas varias son relativamente pequeñas, por lo general son obtenidas por alumbrado y por los motores de los ventiladores empleados dentro del espacio refrigerado

En los almacenes el efecto de la luz (alumbrado) sobre los productos usualmente no tiene importancia, ya que la luz del día no penetra en el interior de los mismos y solo se dispone de luz artificial de bajo nivel (alrededor de  $12 \text{ W/m}^2$  de la superficie del suelo). Donde han surgido problemas recientemente es en los supermercados, en los cuales se utiliza la iluminación con tubos fluorescentes de gran intensidad. En tales sistemas de iluminación, los rayos ultravioletas son más intensos que los de las luces de filamento de tungsteno y se ha comprobado que son suficientes para oxidar las grasas, decolorar productos o enverdecer las patatas. El envasado en láminas plásticas coloreadas o el empleo de filtros de color en las lámparas reduce estos efectos, pero estos sistemas no son necesariamente satisfactorios desde el punto de vista comercial.<sup>11, 12, 13</sup>

En este capítulo hemos podido observar que en el campo de las aplicaciones del frío, se presenta una tendencia clara hacia un funcionamiento más óptimo, económico y racional de los almacenes frigoríficos, con la finalidad de mantener las características deseables de un producto el mayor tiempo posible.

En el siguiente capítulo presentamos el objetivo de elaborar un programa que permita auxiliar en el control de las condiciones más importantes del almacenamiento en frío, como son la temperatura, la humedad relativa y velocidad del aire, ya que como sabemos se cuenta actualmente con múltiples innovaciones tecnológicas imprescindibles para la obtención de productos de alta calidad, entre los que destacan el empleo de la informática.

## Capítulo 2

### *PERFILES DE TEMPERATURA, VELOCIDAD DEL AIRE Y HUMEDAD RELATIVA*

#### **2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ACONDICIONAMIENTO DEL ALMACEN.**

En los almacenes frigoríficos, durante el almacenamiento de productos alimenticios pueden encontrarse variaciones en las condiciones espaciales y temporales. Las variaciones temporales pueden tener una naturaleza transiente como consecuencia, por ejemplo, de la introducción reciente de un producto que tiene que alcanzar el equilibrio de las condiciones del almacén, o periódica, es decir como una característica permanente de la situación de almacenamiento. Los efectos de tales variaciones son frecuentemente complejos, presentándose cambios interrelacionados con la temperatura, humedad y composición de la atmósfera del almacén.

La magnitud de las variaciones espaciales en las condiciones de almacenamiento depende en gran medida de la forma de transferir el calor y los gases entre los productos almacenados. Por tanto, para mantener condiciones uniformes en los almacenes frigoríficos es conveniente disponer de aire en movimiento, almacenándose los productos de forma que se facilite el flujo de aire.<sup>14</sup>

Los almacenes frigoríficos para frutas y hortalizas tienen mayores exigencias que los dedicados a conservar otros productos. Entre estas exigencias especiales se encuentran una gran capacidad de enfriamiento, un control preciso de la temperatura y de la humedad relativa del 90 al 95 %. También en los almacenes frigoríficos se precisa de algún sistema de

descarchado si las temperaturas de almacenamiento son bajas y los serpentines operan a temperaturas superficiales inferiores a 0°C <sup>(20)</sup>

Para un adecuado almacenamiento, es esencial tener la correcta instrumentación para medir las condiciones dentro del almacén frigorífico. Mas pérdidas de productos almacenados han ocurrido debido a una defectuosa medida de control que debido a cualquier otra causa <sup>(4)</sup>

## 2.2 RELACION ENTRE TEMPERATURA, VELOCIDAD DEL AIRE Y HUMEDAD RELATIVA EN ALMACENAMIENTO EN FRIO.

Como ya se menciono, el aire desplazado por ventilación mecánica es forzado a pasar a través del evaporador, donde disipa su calor. Seguidamente, es puesto en contacto con los productos expuestos, a los que extrae calor antes de retornar en circuito cerrado al evaporador. El aire es el medio (o vehículo) que transfiere calor del producto expuesto y almacenado al evaporador <sup>(21)</sup>

La circulación del aire, es una característica a exigir en un almacén frigorífico. Para evitar la estratificación del aire, con la consiguiente estratificación de la Hr y de la temperatura, es conveniente efectuar circulaciones (circulación del aire en el almacén mediante el accionamiento de los ventiladores), ayudando a que se aleje el calor de la proximidad de las superficies de los alimentos hacia los serpentines del evaporador <sup>(8)(13)(19)</sup>

La circulación del aire es necesaria en el almacenamiento refrigerado, por ejemplo, es importante para enfriar frutos a la temperatura deseada y mantener temperaturas uniformes en todo el almacén. Si muy poco aire circula este se calentara y las temperaturas serán mayores en una parte del almacén que en otra <sup>(22)</sup>

Por otro lado, la temperatura condiciona la Hr del almacén. El aire frío no absorberá tanta humedad como el aire caliente, por ejemplo, a 0°C un ft<sup>3</sup> de aire contendrá dos granos<sup>†</sup> de vapor de agua, a 10°C este aire contendrá cuatro granos de vapor de agua y a 38°C contendrá 19.5 granos de vapor de agua. Siendo estos valores conocidos como los

---

<sup>†</sup> Los granos, son medidas de masa 1g =15.43 granos

puntos de saturación de estas temperaturas, si un grano de vapor de agua esta presente en un ft<sup>3</sup> de aire debería estar 50% saturado, si el ft<sup>3</sup> de aire fuera calentado a 10°C este estaria 25% saturado y a 38°C debería de tener aproximadamente un 5% de saturación (este grado de saturación es llamado Humedad relativa). El aire saturado practicamente no tiene efecto desecante. Cuando la Hr disminuye, el aire tiene entonces la habilidad de "recoger" humedad. En aplicaciones de refrigeración si existe una diferencia alta entre la temperatura del aire y la temperatura de refrigeración, la baja temperatura del fluido frigorígeno tendera a condensar humedad del aire (cuya temperatura es mayor que la del refrigerante o evaporador), por lo que disminuye la humedad relativa del aire, que por tanto ahora tiene la capacidad de absorber humedad, la cual sera tomada de los productos almacenados, con el consecuente efecto desecante y deterioro de los mismos. Contrariamente, si la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura del evaporador es pequeña, mas humedad se mantendra en el aire, teniendo este una Hr alta y no sera capaz de absorber mas humedad de los productos almacenados.

Por lo tanto, si la temperatura del evaporador es inferior a la del aire tal que provoque la condensación del vapor de agua, se verifica una disminución de la Hr <sup>(1)</sup>.

Basandose en el principio de Watts, según el cual "la tensión de vapor de agua que se produce en un medio cerrado, en la que hay cuerpos a diferente temperatura, esta limitada a la tensión de vapor saturante correspondiente a la temperatura de aquel que esta mas frio", así por ejemplo, si en un almacén, la temperatura de expansión del fluido frigorígeno en el evaporador es de -3°C y la del aire del almacén es de 1°C, el máximo de presión de vapor de agua que se puede lograr es igual a la tensión de vapor saturante a -3°C, por tanto el punto mas frio del almacén (evaporador) es el que determina en gran manera, la tensión de vapor mínima que puede haber en el almacén.

Puede verse como en la humedad de un almacén ejerce una gran influencia el denominado "salto termico" o "decremento termico", que viene determinado por la diferencia de temperatura que hay entre la temperatura ambiental del almacén y la que se produce en el evaporador.

Así con la pretensión de lograr la Hr adecuada, las dificultades serán tanto mayores, cuanto mayor sea el salto termico. Este salto termico debe limitarse a un máximo de 4 a 5 °C

en la mayoría de los casos y, en forma ineludible, cuando se trabaja a una temperatura de régimen de 0°C o menos, en que la del evaporador sería de -4 a -5°C, de la que no debe bajar; con 5 grados de diferencia, la pérdida de humedad es considerable, siendo con esta diferencia y con diferencias superiores, muy difícil de lograr las humedades relativas deseables (según Gac -Cerafer<sup>14</sup> esta diferencia de 4-5°C para el amoníaco, puede ser de 5 a 7 para el freón 12)

No debe olvidarse que esta diferencia de temperatura entre la superficie del evaporador y la del aire ambiente del almacén puede pasar de 5 a 7°C, mientras se está cargando y hasta la puesta en régimen estable, a 2.5-3.5°C una vez lograda esta temperatura de régimen. Con esto se puede observar, además, el ambiente desecante que hay en un almacén hasta alcanzar en él, la temperatura de régimen.

No es difícil comprender la gran importancia que tiene la superficie del evaporador en la consecución de humedades relativas altas con las que luego es preciso operar. Es muy importante no confundir "temperatura a la que se enfría el aire" con la temperatura de evaporación del fluido frigorígeno (en el interior del evaporador). Es muy probable que a una temperatura de evaporación de -6°C le correspondiera un enfriamiento de aire de -3°C (en general, alrededor de la mitad o menos). Esto es muy fácil de comprender, por cuanto hay que tener en cuenta que, en el enfriamiento del aire, influye el tiempo que este contacta con la superficie fría del evaporador, y que, a su vez este tiempo dependerá de la velocidad del aire y volumen del mismo por unidad de tiempo.

Estos factores nos dan una clara idea del porqué la diferencia de temperatura entre la de evaporación y la de salida del aire del evaporador, en la tabla 2.1 podemos observarlo más claramente.

Temperatura del almacén	Temperatura del evaporador	Salto Térmico	Humedad Relativa
0°C	-1°C (-1.4 - 1)	1	78.80%
0°C	-2°C (-2.4 - 1)	2	81.45%
0°C	-3°C (-3.4 - 2)	3	86.00%
0°C	-4°C (-4.4 - 1)	4	91.05%

Tabla 2.1 - Relación entre la temperatura del evaporador, temperatura de salida del aire y humedad relativa en un almacén frigorífico.<sup>14</sup>

En la tabla 2.1, entre parentesis se encuentra la temperatura a la que se enfría el aire, en la practica, según las diferentes temperaturas del evaporador. En todo caso es muy importante observar que a cada °C de variación representa una variación notable de la humedad relativa del almacén

Esquematisando para refrigeración en la carta psicometrica, esta relación entre temperatura del evaporador y humedad relativa, asumiendo que el aire alcance el punto de rocío, conforme pasa sobre el evaporador y posteriormente no absorba humedad mientras su temperatura se ajusta (aumenta) a la temperatura del almacén de la siguiente manera

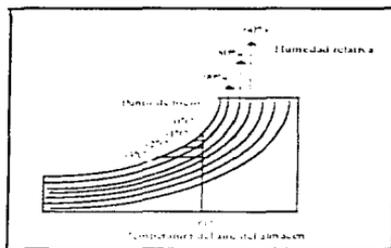


Figura 2.1.-Carta psicométrica, relación entre temperatura del evaporador, temperatura del almacén y humedad relativa

Como se puede observar en la figura 2.1, al aumentar la diferencia de temperatura entre el aire del almacén y la temperatura del evaporador, hay una notable disminución de la humedad relativa del aire a la salida del evaporador. Por tanto observamos que para tener humedades altas durante el almacenamiento refrigerado o congelado, es necesario que el evaporador opere con temperaturas cercanas lo más posible a la temperatura del almacén.

Así, son imprescindibles evaporadores de gran superficie, en la que se pueda regular una temperatura de evaporación lo mas proxima posible a la del almacen (salto termico tan pequeño como sea posible). Los almacen con evaporadores que tienen insuficiente superficie evaporante, tienen dificultad en alcanzar la Hr adecuada.

Puede indicarse como ejemplo, que en el caso de frutas y hortalizas las humedades adecuadas (humedades altas) son tanto mas dificiles de alcanzar cuanto mas vacio esta el almacen, es mas en un almacen con menos del 50% de carga es practicamente imposible tener la Hr adecuada sin operaciones correctivas.

Por otra parte, estando la superficie del evaporador por debajo de 0°C, en el mismo se condensa el vapor de agua en forma de hielo (escarcha) y, esta condensacion, es tanto mayor cuanto mas baja es la temperatura.

Para una potencia frigorifica determinada, el producto de los parametros temperatura y superficie de evaporacion es practicamente constante, ya que a mayor superficie de transmision le corresponde menor diferencia de temperatura entre la del ambiente y la de evaporacion, es decir le corresponde un menor salto o decremento termico.

Un reducido salto termico significa una menor diferencia de presion de vapor de agua entre el aire saturado a la temperatura de salida del evaporador y el aire ambiente del almacen y, por ende, una inferior condensacion de agua sobre aquel por cada unidad o caudal de aire en movimiento. Por contra como ya se ha mencionado un mayor salto termico representa una mayor condensacion de agua sobre el evaporador.

Para finalizar hay que comprender que para tener una humedad relativa alta en un almacen, debe tenerse la suficiente superficie del evaporador y no cometer el error frecuente de enfriar el almacen con evaporadores pequeños y potencia elevada en el compresor, de lo contrario se podria tener un salto termico elevado y por consiguiente se reduciria notablemente la Hr. Todo ello porque, para la obtencion de una temperatura determinada en el almacen, a menor superficie evaporante, mas potencia en el compresor y mas baja temperatura de evaporacion en el evaporador ( salto termico mas alto )

Para ejemplificar el salto termico podemos mencionar el caso de la humedad durante la carga del frigorifico (Figura 2.2)

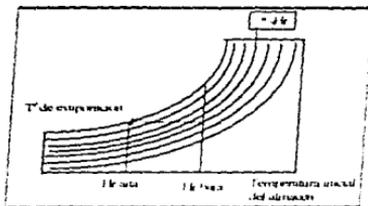


Figura 2.2.-Esquemática del salto térmico en la carta psicrométrica durante la carga del almacén frigorífico

Al cargar un almacén de fruta, esta tiene una temperatura que puede incluso superar al ambiente externo, y el calor de respiración en este momento es muy considerable y es cuando más debe trabajar el equipo frigorífico, esto junto con la elevada temperatura interior del almacén durante todo el proceso de carga hace que se establezca un salto térmico muy considerable (condensación de vapor de agua sobre la superficie del evaporador), esto muestra que con tales condiciones de trabajo y hasta que se establece el equilibrio térmico estas condiciones son desecantes para el producto, siendo este uno de los periodos en los que la humedad relativa del aire es más alta.

Las operaciones de control y correctivas son todos aquellos aspectos del funcionamiento de los diferentes factores que intervienen en la buena marcha de la conservación, tanto desde el punto de vista mecánico o físico (temperatura, Hr, circulación del aire, etc.), como el biológico (controles varios sobre frutas y hortalizas por ejemplo) y, si procede, su corrección.

Esencialmente, el control del interior de un almacén frigorífico se limita a la verificación y corrección de la temperatura, la humedad relativa, recirculación del aire y descarche, pudiéndose observar que todos estos se complementan y son total o parcialmente consecuencia el uno del otro.<sup>31</sup>

En el almacenamiento de refrigeración convencional, los tres factores que deberán ser controlados son la temperatura, humedad relativa y aire en movimiento.<sup>(22)</sup>

## 2.3 CONTROL DE TEMPERATURA, VELOCIDAD DEL AIRE Y HUMEDAD RELATIVA EN ALMACENAMIENTO EN FRIO.

### 2.3.1 Temperatura.

Los almacenes frigoríficos para conservación deben estar adecuadamente aislados y dotados de un circuito frigorífico, para poder controlar artificialmente la temperatura del interior del almacén, intentando buscar la temperatura óptima de conservación o de aplicación, temperatura en la cual el producto se conserva durante un periodo largo de tiempo sin que aparezcan alteraciones y las pérdidas de peso sean mínimas, y tenga sus cualidades sensoriales de color, olor, sabor y apariencia óptimas.<sup>(11)</sup>

### 2.3.2 Control de temperatura.

La temperatura de aplicación, corresponde sensiblemente con las temperaturas medias detectables en el aire del volumen útil de carga, o a la temperatura media de los productos almacenados. La elección de una temperatura de aplicación es función de la naturaleza del producto conservado por el frío.<sup>(12)</sup>

Como ya se mencionó, la calidad de los alimentos sometidos a la acción del frío es influenciada significativamente por las condiciones de almacenamiento, donde la influencia de los factores que causan pérdidas de calidad es reducida con bajas temperaturas. La temperatura de almacenamiento para estos alimentos congelados o refrigerados es muy importante. La mejor consideración deberá ser dada usando bajas temperaturas de almacenamiento factibles en términos de extender el periodo de almacenamiento sin usar energía ineficientemente.

El factor más importante que influye en la pérdida de calidad de los alimentos congelados y refrigerados es la fluctuación en las temperaturas de almacenamiento. Si los alimentos se exponen a diferentes ciclos de temperatura, se originan cambios en la

temperatura de los productos, y la vida útil de almacenamiento es reducida significativamente.<sup>(25)</sup>

Debe evitarse en lo posible la presencia de gradientes de temperatura ( diferencia de temperatura entre dos diferentes puntos ) en los almacenes, ya que la existencia de estos hará que el calor fluya desde las zonas mas calientes a las mas frias hasta que haya de nuevo una temperatura uniforme en el almacen. Varios factores influyen para que exista un gradiente de temperatura como ya se menciono, la apertura de las puertas para extraer productos, aunque reviste mayor importancia la introducción de alimentos no precongelados o refrigerados, y debe evitarse su contacto físico con los alimentos conservados a la temperatura de aplicacion. Sin embargo estas fluctuaciones se controlan por medio del funcionamiento de un termostato que hace funcionar el compresor cuando se alcanza el limite superior de temperatura y ciclicamente la desciende.

El efecto de un gradiente de temperatura es que, produce una elevacion de la libre circulacion de aire (si no existe accion de ventiladores). Cuando aumenta la temperatura del aire, se incrementa su capacidad de humedecerse y en un almacen la unica fuente disponible de humedad es el hielo contenido en los alimentos congelados, por tanto el aire caliente toma la humedad de los alimentos inadecuadamente protegidos y finalmente la deposita cuando se enfría por contacto con las superficies frias del almacen (principalmente en el evaporador). La perdida de humedad de esta forma, sin pasar por el estado liquido, se denomina sublimacion (ver diagrama de fases del agua en el Capitulo 1). Donde quiera que exista un gradiente de temperatura puede predecirse una perdida de humedad de los alimentos inadecuadamente empacados.<sup>(26)</sup>

En relacion a los gradientes de temperatura y a la instalacion frigorifica, es necesario comentar a cerca del equilibrio termico.

Por equilibrio termico se entiende cuando, para una determinada estacion, el ciclo de funcionamiento del almacen (tiempo de parada y funcionamiento de la instalacion frigorifica) es aproximadamente el mismo, no hace falta que el tiempo de parada sea igual que el de funcionamiento, sino que los tiempos de parada sean iguales entre si, o que ocurra igual para los de funcionamiento. Cuando esto ocurre, se dice que el almacen ha alcanzado el equilibrio térmico, este equilibrio se alcanza de unos dias a unas semanas dependiendo de la densidad y

del estibado. Luego, en forma constante, ir aumentando el tiempo de parada a medida que se acerca el invierno y durante este o disminuyendolo durante el periodo primaveral y con el avanzar del mismo.

En relacion a esto ultimo, es importante describir lo que ocurre en un almacén frigorífico que tiene los evaporadores en un extremo, y es necesario hacer las siguientes distinciones, que la instalacion este en marcha o en paro, que se trate de funcionamiento invernal o en periodo mas calido (primavera-verano).

Observado el almacén de forma lateral y dividido en tres secciones a lo alto y a lo largo, las diferencias de temperatura que se producen son las siguientes (en la generalidad de los casos y con la condicion que el estibado sea correcto)

- 1) *Periodo de primavera y otoño* (exterior relativamente calido) Con la instalacion en marcha, se dan temperaturas minimas y maximas en las siguientes posiciones, figura 2.3

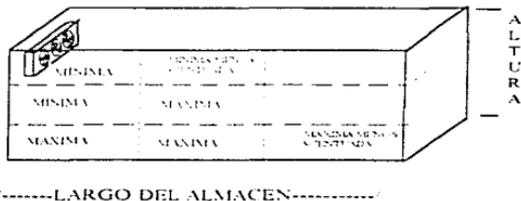
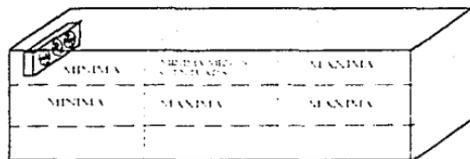


Figura 2.3. Distribucion de temperaturas en un almacén frigorífico durante el periodo primavera-otoño.

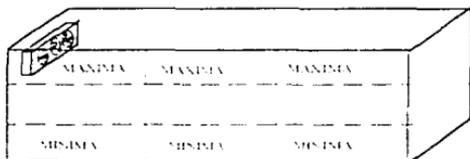
Debido a la mayor incidencia de calor sobre el almacén, los periodos de funcionamiento son muy frecuentes (ciclo corto) y, por consiguiente, el estancamiento o estratificación durante el tiempo de paro (cuando las temperaturas bajas descienden y las temperaturas altas ascienden en el almacén) es poco frecuente, por lo que en la parte alta y en la baja se producen variaciones de temperatura muy pequeñas.

2) *Periodo invernal* (exterior relativamente frío) Con la instalación en marcha las temperaturas se distribuyen como se muestra en la figura 2.4



*figura 2.4 Distribucion de temperaturas en un almacen frigorifico con el equipo funcionando durante el periodo invernal*

En general en este periodo invernal, el ciclo de paro es mayor que el de marcha, siendo evidente la estratificación del aire, ocupando el aire mas frío la parte baja y, el menos frío a las capas superiores, como se muestra en la figura 2.5



*figura 2.5 Estratificacion del aire dentro de un almacen frigorifico con el equipo en paro en el periodo invernal*

No debe olvidarse que una adecuada construcción (obra civil y, sobre todo aislamiento y barrera antivapor) influye sobre las horas de funcionamiento del equipo frigorífico y, por tanto, sobre la economía de funcionamiento

Las diferencias de temperatura que se producen entre la parte mas fría y la mas cálida del almacén, son tanto mayores cuanto mayor es el salto térmico que en ella se produce, por otra parte las temperaturas son tanto mas uniformes cuanto mayor o mas intensa es la circulación del aire y mejores son los aislamientos.<sup>(9)</sup>

En general las fluctuaciones de temperatura de productos almacenados en frío son de interés para los ingenieros y operadores de almacenes frigoríficos, porque tiene una importante influencia potencial en proporciones de desecación, crecimiento de cristales de hielo y cambios proteicos entre otras cosas.<sup>(11)</sup>

Es por eso que en la producción de alimentos congelados y refrigerados se requiere de un cuidadoso manejo de la temperatura de almacenamiento. En la operación de almacenes frigoríficos, es necesaria la medida o monitoreo de la temperatura, para asegurar la inalterabilidad del producto. En todo caso, hay un hecho al que es preciso atenderse, y es que, en el mejor de los casos, se produce una diferencia de temperatura entre los diferentes puntos de un almacén frigorífico durante el periodo de almacenamiento.<sup>(12)</sup>

Es por lo tanto importante en el curso del almacenamiento (y en general en la cadena del frío) medir la temperatura a la cual se conserva el producto, proponiéndose dos objetivos:

- 1) *obtener una temperatura precisa en el momento de la medida.*
- 2) *Medir temperaturas significativas y representativas.*<sup>(13)</sup>

La elección de los puntos en que debe medirse la temperatura en una instalación frigorífica, es un asunto de apreciación. Lo esencial es que las temperaturas indicadas nos den información sobre las condiciones medias o las más desfavorables acerca del producto. La mayor parte de los almacenes disponen de termómetros fijos sobre las paredes o los pilares, pero no indican la temperatura del aire en contacto con el producto.<sup>(14)</sup>

Idealmente el aire deberá ser dirigido a todas las partes del almacén, toda la superficie posible de cada contenedor deberá ser expuesta al aire influyendo esto en que las diferencias de temperatura de la cámara sean solo cerca de 1°C. El control de la temperatura exige que las variaciones de la misma entre las distintas zonas del almacén, no sobrepasen de  $\pm 1^\circ\text{C}$  y que las oscilaciones en el tiempo no superen  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .<sup>(15,16)</sup>

Estas observaciones hacen énfasis en la importancia de tomar temperaturas en todo el almacén frigorífico y no confiar en temperaturas del aire aisladas.<sup>(17)</sup>

Es importante que la temperatura dentro del almacén sea cuidadosamente monitoreada. Si la temperatura es demasiado baja pueden ocurrir daños por congelación, si es demasiado alta la vida de almacenamiento se ve reducida.<sup>(13)</sup>

A consecuencia de las diferentes temperaturas que se dan en el interior de un almacén frigorífico, es muy difícil determinar cual es la temperatura precisa de este. Para tener una visión general de la estratificación de las temperaturas se colocan diferentes registradores en lugares predeterminados, como podemos ver en la figura 2.6.<sup>(13)</sup>

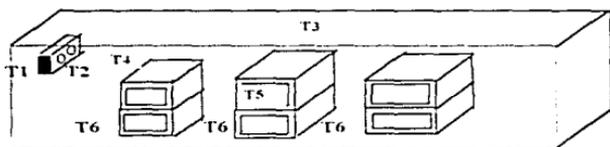


figura 2.6. Temperaturas representativas dentro de un almacén frigorífico.<sup>(13)</sup>

- Temperatura 1.** Entrada del aire al evaporador. Es la temperatura más alta del aire, cuando el equipo frigorífico funciona. Da información acerca de la temperatura media del almacén.<sup>(14)(15)</sup>
- Temperatura 2.** Salida del aire del evaporador. Es la temperatura más baja del aire, cuando el equipo frigorífico funciona.
- Temperatura 3.** Situado en el centro del almacén y cerca del techo. Es la temperatura más alta cuando el equipo frigorífico está parado.
- Temperatura 4.** Cerca del producto y donde el aire de los ventiladores choca contra la pared frontal. Indica la temperatura más fría del producto.
- Temperatura 5.** En el interior del producto, indica la temperatura más alta de este.<sup>(13)</sup> Las temperaturas de conservación impuestas por la reglamentación se miden siempre en el "corazón" del producto, es decir, en el centro geométrico del paquete o del producto. Deben ser mantenidas constantes a lo largo de la cadena del frío.<sup>(21)(22)</sup>

**Temperatura 6: Puntos extremos del almacén.** Considerando siempre que la circulación es correcta, los termómetros o registradores se colocaran en los puntos extremos, es decir, en los fríos y en los calidos (pudiendose colocar, como comprobación, alguno en los puntos considerados como intermedios)<sup>13)</sup>

Las temperaturas 1, 2, 3, 4 en la figura 2.6 se deben registrar en la línea de la sección normal de cada evaporador<sup>13)</sup>

La temperatura del aire puede medirse por diversos dispositivos, desde el simple termómetro indicador colocado en el almacén, hasta los registradores integradores, registradores a distancia, o a los sistemas informatizados con centenas de detectores a distancia. El indicador no puede suministrar mas que una información localizada en el espacio y el tiempo, mientras que los registradores informan sobre la historia termica completa del sistema, lo que es esencial para poner de manifiesto las modificaciones de las condiciones ambientales que han podido alterar la calidad del producto<sup>14)</sup>

Los instrumentos utilizados para las lecturas de temperatura deben ser comprobados por comparación con un instrumento de referencia, aunque tambien pueden ser contrastados sumergiendolos en un medio de temperatura conocida, por ejemplo hielo en agua destilada<sup>14)</sup>

Ha sido una practica comun en Inglaterra, en los últimos treinta años, el uso de un determinado número de registradores de temperatura operados electricamente en cada almacén para monitorear precisamente la temperatura del aire y del producto en varias posiciones en todo el almacén<sup>14)</sup>

Las interpretaciones de las lecturas de los diferentes registradores es la siguiente

#### T1-T2

(Temperatura del aire de entrada menos temperatura del aire de salida en el evaporador)

Es la disminución de temperatura del aire al pasar por el evaporador. Es la eficacia del equipo frigorífico. Un valor idoneo es que la disminución ha de ser menor que la mitad del salto termico. Sin embargo, como ya se menciona, esta disminución depende del tiempo

que contacta el aire con la superficie fría del evaporador, y este tiempo depende a su vez de la velocidad del aire y volumen del mismo por unidad de tiempo <sup>(13)</sup>

#### T4

Indica la temperatura más baja entre los productos y, consecuentemente, el peligro de helada del producto. Esta temperatura varía para cada tipo, especie y variedad de producto.

#### T3-T5

Como las temperaturas T3 y T5 se obtienen cuando el equipo frigorífico está parado, esta diferencia nos indica si se está llevando a cabo la estratificación del aire (cuando el aire con temperatura baja desciende y el aire con temperatura alta asciende en el almacén). Al llegar a un valor determinado ha de poner en marcha los ventiladores.

#### T5

Indica la temperatura más alta del producto, ha de poner en marcha el equipo frigorífico. <sup>(13)</sup>

#### T6-T1

Indica si la temperatura en entre los productos (T6) es superior, inferior o igual a la temperatura que nos da información sobre las condiciones medias del almacén T1.

También cuando la temperatura en algún punto del almacén es superior o inferior en más de 1 °C a la temperatura en que se debe conservar el producto (temperatura de aplicación) tenemos:

$$T_a - T_m$$

donde,

T<sub>a</sub>: Temperatura a la que se debe conservar el producto (temperatura de aplicación).

**Tm:** Temperatura en cualquier punto del almacén ( es T1, T2 y T6 )

Cuando el equipo frigorífico está funcionando, las diferencias de temperatura representativas son T1-T2, T6-T1 y Ta -Tm<sup>111</sup>

Dependiendo del valor obtenido por estas tres diferencias de temperatura y en base a información bibliográfica enumeraremos los comentarios (**Mensajes**) que correspondan a la posible causa que las origine, lo cual también se aplicará más adelante para velocidad del aire y humedad relativa, dichos comentarios serán incluidos en el programa de cómputo

$$T1 - T2 = \Delta T_1$$

Si  $\Delta T_1 \leq 0$ .

Mensaje 1<sup>\*\*</sup>

Si T1 es menor o igual a T2, el aire no se enfría a su paso por el evaporador. Entendiendo que el almacén tiene capacidad suficiente para enfriar un determinado volumen de producto, cuando la temperatura no baja o apenas lo hace, a pesar del funcionamiento continuo del compresor con las máximas posibilidades, debe atribuirse este hecho a una insuficiente carga de fluido frigorígeno, insuficiencia que con toda probabilidad proviene de alguna fuga en cualquier punto del circuito (evaporador, juntas, poros, roturas, eje del compresor, etc), mala condensación, válvula mal regulada, humedad en el circuito. Evidentemente, en tal caso, debe determinarse si falta fluido frigorígeno, la cantidad a adicionar y el lugar por donde este se pierde<sup>111</sup>

Si  $\Delta T_1 > 0$

Mensaje 2<sup>\*\*</sup>

Si T1 es mayor que T2, se da una disminución de temperatura del aire a su paso por el evaporador. Cuando se requiere Hr alta, esta diferencia debe ser menor que la mitad del salto térmico, que como ya se mencionó este debe limitarse a 4 o 5°C, ya que si este salto térmico es mayor, las condiciones del almacén son desecantes para el producto almacenado a consecuencia de una disminución de la humedad relativa en el aire. Por tanto esta

---

<sup>\*\*</sup> Mensajes usados posteriormente en el programa de cómputo.

disminución no debe ser mayor que 2 o 2.5 según el salto térmico que se tenga en el aire entre los evaporadores y el aire del almacén<sup>(13)</sup>

$$T_6 - T_1 = \Delta T_1$$

Si  $-1 \leq \Delta T_1 \leq 1$

Mensaje 3\*\*

La diferencia de temperatura que existe en este caso, puede aceptarse en general (entre los puntos fríos y calidos del almacén), es una diferencia igual a la que existe entre el paro y la puesta en marcha, y que viene regulada por el termostato, esta diferencia suele ser de 1°C<sup>(2)</sup> y, como máximo de 1.5°C, entre los citados puntos extremos. Lo ideal son 0.8°C, para cuya regulación hay adecuados termostatos<sup>(20)</sup>.

Sin embargo, como ya observamos anteriormente, una diferencia de temperatura de un grado centigrado a lo largo del periodo de almacenamiento tiene un efecto significativo sobre la mayoría de los productos frescos, especialmente en los que se almacenan a temperaturas inferiores a 5°C<sup>(20)</sup>.

Si  $\Delta T_1 < -1$

Mensaje 4\*\*

La temperatura del aire en esa posición ( T<sub>6</sub> ) es menor que la temperatura de entrada al evaporador T<sub>1</sub> ( T<sub>1</sub> - T<sub>6</sub> ) en más de 1°C

Este punto puede estar recibiendo corrientes de aire que provienen directamente del evaporador

El equipo frigorífico se debe detener cuando la temperatura de un punto frío sea igual a la temperatura a la que se desea conservar. Es deseable que el diferencial de temperatura de un termostato sea reducido ya que interesa que las temperaturas del almacén fluctúen lo menos posible<sup>(14)</sup>.

<sup>(2)</sup> Las condiciones de almacenamiento para productos frescos, especialmente los que aun tienen actividad metabólica como frutas y hortalizas, necesitan de un control muy preciso, por lo que los intervalos de temperatura de  $\pm 1^\circ\text{C}$  serán utilizados como base para los rangos empleados en el programa de cómputo

<sup>(14)</sup> Mensajes usados posteriormente en el programa de cómputo

Si  $\Delta T_1 > 1$ .

Mensaje 5\*\*

La temperatura del aire en esa posición  $T_0$  es mayor en más de  $1^\circ\text{C}$  que la de entrada al evaporador ( $T_6 > T_1$ ).

Si una diferencia de temperatura en un almacén es superior a los  $2^\circ\text{C}$ , cabe atribuir el hecho a una mala circulación del aire, o a que el salto térmico es excesivo, o a ambos conjuntamente, la mala circulación del aire puede ser debida a su vez a un mal estibado y disposición de los embalajes, a la utilización de protectores laterales sin perforar, en los embalajes, a un coeficiente de recirculación insuficiente, o también como es natural, a ambas a la vez.<sup>(8)</sup>

Si en algún punto del almacén (con un ciclo de funcionamiento correcto), la temperatura fuese considerablemente más alta que la que se da en un lugar próximo al evaporador, la causa de tal anomalía deberá buscarse, con casi toda seguridad en una carga incorrecta del almacén. La corrección puede consistir, esencialmente, en tres hechos:

- 1 ) *Estibar enfrente de los ventiladores del evaporador*, de manera tal que se evita la penetración del aire hacia la masa del producto, con lo que se favorece la formación de una corriente viciosa de aire, este, al no poder repartirse por todo el almacén, es aspirado por los propios ventiladores del evaporador sin haber realizado el recorrido completo o correcto, por lo que se enfría tan solo el producto, o parte de este, que está frente a los ventiladores y próxima al evaporador.

Ciclo o recorrido completo ventilador-masa de producto- evaporador-ventilador

Ciclo vicioso ventilador- evaporador (en este se enfría una parte muy reducida del producto, los descargos por aire son muy difíciles de realizar y la conservación, lógicamente, es muy deficiente)

- 2 ) *Estibar a muy fuerte densidad* y con protectores laterales sin orificios, con lo que se establece, sobre todo cuando no hay la suficiente paletización, un muro infranqueable a la corriente de aire, en tal situación se producen sectores o "bolsas", en el almacén, en que el producto se enfría en forma muy desigual, ya que el aire se canaliza preferentemente,

por los pocos espacios disponibles para ello, en perjuicio, de un reparto uniforme del mismo

- 3) *Anomalías mecánicas*, insuficiencia de ventiladores o coeficiente de recirculación bajo o conjuntamente entre esta, un estibado y/o densidad incorrectos<sup>18)</sup>

$$T_a - T_m = \Delta T_3$$

$\Delta T_3$  Es la diferencia de temperatura admisible en que se debe conservar el producto (no debe ser mayor o menor en 1°C que la temperatura de aplicación)

Si  $-1 \leq \Delta T_3 \leq 1$

Mensaje 6\*\*

Al estar sometida la temperatura de un almacén a constantes fluctuaciones, se tiene un intervalo de temperatura dentro del cual se debe trabajar, así es como opera un termostato. Este intervalo define la diferencia de temperatura admisible de la temperatura prescrita, en la que debe trabajar el equipo frigorífico. A este intervalo se le define como diferencial de temperatura. Si el diferencial es  $\pm 1^\circ\text{C}$ , quiere decir que cuando el ambiente de la cámara se encuentra en  $1^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura prescrita se pone en marcha el equipo frigorífico para enfriar el ambiente. Una vez que la temperatura del ambiente alcanza un grado inferior a la temperatura prescrita, es necesario parar la producción de frío<sup>19)</sup>.

Si  $\Delta T_3 > 1$

Mensaje 7\*\*

La temperatura  $T_m$  en esa posición se encuentra más de  $1^\circ\text{C}$  abajo de la temperatura de aplicación, lo que puede dañar al producto y hace necesario detener el equipo frigorífico.

Si  $\Delta T_3 < -1$

Mensaje 8\*\*

La temperatura  $T_m$  en esa posición se encuentra más de  $1^\circ\text{C}$  arriba de la temperatura de aplicación, lo que hace necesario poner en marcha el equipo frigorífico.

\*\* Mensajes usados posteriormente en el programa de cómputo.

La presencia de fluctuaciones de temperatura puede reducirse al mínimo

- 1) *Controlando la temperatura de almacenamiento ( $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  máximo)*
- 2) *Mediante puertas automaticas y cerrajas hermeticas en las rampas de carga de los camiones*
- 3) *Haciendo que el traslado de los alimentos de un almacen a otro sea rapido.*
- 4) *Controlando la correcta rotacion del stock almacenado.*

Estas tecnicas y las mejoras en las instalaciones de almacenamiento, manejo y exposici3n al publico del producto han mejorado sustancialmente la calidad de los alimentos congelados y refrigerados.<sup>(29)</sup>

Para que un producto se enfrie rapida y uniformemente es imprescindible que tanto el embalaje como el apilado permitan que el aire se mueva f3cilmente a traves de toda la estiba, en contacto con las diversas unidades que la compongan. La fluctuacion espacial de la temperatura en un buen almacen como ya se menciona no debe exceder de  $1^{\circ}\text{C}$  por encima o por debajo de la temperatura nominal. La mas importante de las exigencias para que el producto se enfrie uniformemente es el enfriamiento homog3neo de toda la superficie superior de la fila, condicion que es igualmente exigible a los sistemas de circulacion de aire forzada que aquellos otros en los que el aire se mueve por corrientes de conveccion natural, lo que obliga a colocar idoneamente los evaporadores, en el primer caso y distribuir uniformemente en el techo los serpentines o placas de expansion cuando la circulacion es natural. Tambien resulta necesario, para un enfriamiento homog3neo de los componentes de la pila, una regular distribucion en ella de las vias que faciliten la circulacion del aire, ya que este se mueve siempre siguiendo las rutas que ofrecen menos resistencia.

Finalmente, se necesita que las fugas de calor a traves de las paredes sean escasas, es decir, que el almacen se encuentre correctamente aislado y que los evaporadores tengan capacidad suficiente para asegurar pequenos saltos termicos entre la temperatura del aire y la de la superficie de los serpentines del evaporador.<sup>(29)</sup>

### 2.3.3 Velocidad del aire.

Recirculación se refiere a la circulación del aire, en circuito cerrado, por el interior del almacén, bajo la acción de los ventiladores (ventilación es la renovación del aire, recurriendo a los aportes de aire del exterior) y dependiendo de la intensidad de la recirculación se involucra el término de velocidad del aire

Por cuestiones prácticas, de aquí en adelante nos referiremos a la recirculación como circulación de aire, ya que los almacenes frigoríficos los consideramos como sistemas cerrados. La circulación de aire adecuada es necesaria, principalmente para lo siguiente

- 1) *Facilitar el rápido entricamiento del producto.* El aire actúa como vehículo a las calorías evacuadas del producto hacia el evaporador
- 2) *Mezclar y homogeneizar la temperatura y, por tanto la humedad del almacén,* eliminando o reduciendo zonas o sectores de la misma con microclimas particulares (fáciles de crear en cargas densas, mal estibadas, en las que el acceso del aire es muy difícil) con temperatura, humedad y concentración de gases diferentes a los deseados. Deben evitarse zonas de aire estancado o muerto
- 3) *Desplazar el aire del entorno de los productos.* Sobre todo en los microclimas antes citados<sup>1)</sup>

Para que todo esto se pueda cumplir, y es muy importante que se cumpla, es en principio indispensable que se den dos requisitos, el primero de ellos es que la carga (estibado, densidad y protectores laterales) cumpla con las normas correspondientes y, el segundo, que el coeficiente de recirculación sea suficiente (el coeficiente de recirculación es el número de volúmenes de aire, iguales al volumen de la cámara vacía, que impulsan los ventiladores del evaporador, durante una hora, y resultando suficiente un coeficiente del orden de 30 a 35 en un almacén debidamente cargado)<sup>2)</sup>

En lo que se refiere a la carga del almacén, los factores importantes son

- 1) *Densidad.* La densidad de carga debe ser tal que, por lo menos, el 10% del total del volumen del almacén quede libre, sin ello la circulación y penetración del aire se ven

enormemente dificultados y, por lo tanto, el enfriamiento no es el correcto, ni en distribución regular ni en cantidad adecuada (influyendo sobre la temperatura)

- 2) *Disposición y estibado* En lo que respecta a estas dos operaciones, no hay unas normas rígidas sin embargo se puede comentar lo siguiente, la altura de la carga no tiene otros límites que la altura del almacén, con la salvedad de que debe guardarse una separación libre entre la parte superior de la carga y el techo, que debe oscilar entre los 30 y 40 cm en el punto de mínima separación, en el caso más frecuente, en que los ventiladores están situados en el extremo del almacén

En cuanto a la disposición de la carga, esta variará según el tipo de almacén y especialmente, en función del lugar en que se encuentren emplazados los ventiladores, tanto la disposición como el estibado de los embalajes se realizan pensando, esencialmente, en la buena circulación y penetración del aire impulsado por los ventiladores y, al respecto cabe decir, además de las distancias a guardar, hay que tener presente la disposición de los embalajes con respecto a los ventiladores. En los almacenes con ventiladores en un extremo, es importante que los embalajes se encuentren colocados de tal forma que ofrezcan la menor resistencia posible al aire y faciliten la circulación del mismo

Dado que los frigoríficos suelen tener forma rectangular como se puede observar en la figura 2.7, los embalajes deben colocarse en su máxima dimensión (longitudinalmente) paralelos a la máxima longitud del almacén, así el número de separaciones o "pasillos" es muy superior a que se obtendría si los embalajes se dispusiesen en sentido transversal. No solo se derivan ventajas de esta disposición, sino que, por otra parte, los embalajes por la estructura de su base, si se sitúan transversalmente, impiden la circulación del aire en su punto de apoyo, ya sea sobre el suelo o colocados sobre otros embalajes

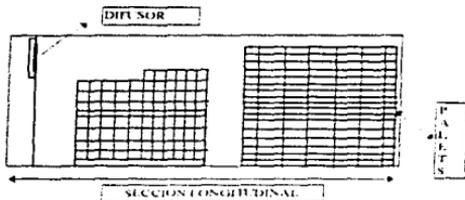


Figura 2.7 - Estibado de embalajes en un almacén frigorífico.<sup>12)</sup>

Cuando la citada disposición de embalajes se pretende llevar a cabo encima de los palets, estos deben ser del tipo de cuatro calles (en estos, sea cual fuere la disposición siempre hay dos calles en sentido paralelo a la corriente del aire), pues en los que tienen dos no coinciden el mayor número de pasillos de los embalajes con el paralelismo de las calles con respecto a la corriente de aire.

Los bloques compactos (aun más si los embalajes llevan protectores laterales sin orificios) favorecen la reducción de la circulación del aire, de lo que se deriva que, cada embalaje o grupo de embalaje tiene su propio microclima (Hr alta, acumulación de sustancias volátiles, ligero aumento de CO<sub>2</sub>, etc.).

Normalmente por razones de economía y aprovechamiento, en frigoríficos pequeños se comete el error de sobrecargarlos, sin la menor garantía de circulación de aire y espacio para el control del producto, lo correcto es dejar, por lo menos un pequeño pasillo longitudinal, en el centro, el cual es mejor no abrirlo hasta el fondo, para no facilitar pasillos preferenciales de retorno del aire.

Cuando los ventiladores están en un extremo, es importante que el estibado y disposición de los embalajes, así como el establecimiento de pasillos y corredores (que se pueden utilizar para la circulación del aire y para la inspección periódica del producto), se tengan dos medidas importantes, la primera indica que, no deben crearse pasillos

preferenciales (mas anchos que otros) para la circulación o retorno de aire, ya que este, en tal caso se canaliza por los citados pasillos, en detrimento de aquellos que estan mas estrechos, y la segunda es que en el extremo opuesto a los ventiladores, la altura de estibado debe ser la misma, formando una linea continua que obligue al aire impulsado por los ventiladores a girar por encima de ella de manera uniforme, en la parte prevista para pasillo (en la citada pared opuesta de los ventiladores) tambien debe cargarse, cerrando el final de dicho pasillo (en una longitud de uno o dos embalajes, o del equivalente de un palet), evitando asi que el aire, al iniciar su retorno y distribución por el frigorífico encuentre los citados pasillos preferenciales y, en consecuencia, se favorezca la distribución mas uniforme posible del mismo, como se observa en la figura 2 8



Figura 2 8 - Disposición de estibados con respecto a los evaporadores.

El movimiento del aire ejerce influencia sobre la calidad y tiempo de conservación en el almacenamiento refrigerado y congelado. Por lo que se refiere a las pérdidas de peso, la evaporación del agua tiene lugar mas rapidamente con la inadecuada circulación del aire. En los procesos de refrigeración y congelación la mayor pérdida de peso por unidad de tiempo, con circulación de aire, queda mas que suficientemente compensada por el tiempo mas corto requerido para alcanzar temperaturas de refrigeración o congelación, por ello, es útil el empleo de altas velocidades de circulación de aire. Rjutow<sup>181</sup> da resultados de medidas hechas durante 16 meses en diez diferentes almacenes frigoríficos, que indican que las pérdidas de peso experimentadas por pilas de carne congelada almacenadas con circulación

de aire fueron 70% mayores que sin circulacion, en ambos casos, las perdidas en Enero fueron solamente 1/4 a 1/3 de las sufridas en Julio, lo que depende sencillamente de la mayor incidencia de calor sobre la camara durante el verano

La circulacion de aire coadyuva a la mas rapida formacion de una superficie desecada que ofrece condiciones desfavorables a la multiplicacion de las bacterias<sup>(18)</sup>

### 2.3.4 Control de velocidad de aire.

Por lo tanto, en funcion de lo anterior, si en la instalacion (caudal y velocidad de aire) se da un suficiente numero de recirculaciones en almacen vacio y, a pesar de ello, en el almacen lleno se producen enfriamientos irregulares, con nucleos de masa de los productos recibiendo poca aportacion de aire, o con una exaltacion de los puntos frios y calidos e incluso, estableciendose corrientes viciosas de aire, etc., la causa de ello estara con muchas posibilidades en una densidad excesiva, en una mala disposicion y estibado de los embalajes, ya sea por no dejar espacios suficientes en techo, laterales y suelo, por una mala paletizacion, ya sea por un insuficiente espacio para circular el aire entre la carga, ya sea, en fin, por utilizar protectores laterales sin perforar<sup>(19)</sup>

Por tanto si tenemos suficiente caudal y velocidad del aire, pero tenemos diferencias de temperatura y Hr en el almacen, la causa estara seguramente en la disposicion y estibado de los productos. Por ello, es necesario saber si la velocidad de aire a la descarga del evaporador es la que se requiere durante el almacenamiento y si es homogenea entre los productos

Para el calculo de la velocidad del aire a la descarga libre del aire del difusor utilizamos la siguiente fórmula:<sup>(20)</sup>

$$Vad = (Caudal / As) \times F$$

Donde:

Vad= Velocidad del aire a la descarga libre del difusor a X distancia. [m]Ft/s o m/s

Caudal = Es el flujo de aire del difusor o gasto ( $\text{ft}^3/\text{s}$ ) [=]  $\text{m}^3/\text{s}$

$A_s$  = Area de salida de aire del ventilador ( $\text{ft}^2$ ) [=]  $\text{m}^2$

F = Factor de velocidad a diferentes distancias del ventilador

La velocidad de aire patron, se calcula con el caudal de aire del difusor y un factor de velocidad para cada distancia a partir del ventilador que se observa en la tabla 2.2. Esta velocidad de aire, se compara, con la que se da en el almacén a la descarga de los difusores (que contiene a los evaporadores)

Distancia del ventilador		Factor de velocidad F	
en pies	en metros		
10	3.04	0.85	
20	6.09	0.56	
30	9.14	0.4	
40	12.19	0.31	
50	15.24	0.26	
60	18.28	0.26	
70	21.33	0.19	
80	24.38	0.17	
90	27.043	0.15	
100	30.48	0.13	
150	45.72	0.09	
200	60.96	0.07	

TABLE 2.2-Factor de velocidad para el calculo de velocidades de aire a la descarga del difusor (vaid)<sup>10</sup>

El caudal de aire del difusor se divide por el numero de ventiladores de este, obteniendose el caudal para cada descarga de aire o ventilador, siendo este caudal con el que se procede al calculo de la velocidad de aire patron, por tanto, para cada difusor se calcula la velocidad de aire patron de un ventilador, comparandola con la velocidad de aire monitoreada del ventilador deseado

La localización de los difusores es a una altura máxima, cerca del techo con la **descarga horizontal** de aire y a una distancia de la pared trasera igual o mayor que la altura de la unidad. La descarga del aire no debe ser bloqueada por luces, componentes de la estructura o producto. El uso de direccionales (louvers) deberá ser considerado donde la distribución del aire sea crítica. Siempre que sea posible los difusores deberán ser localizados sobre la pared mas larga, esto aumentara el alcance necesario de aire y se incrementara la seccion de area disponible para el retorno del aire.<sup>29</sup>

Los difusores con la cara en la misma direccion son adecuados para almacenes que tengan mas de 15 metros para la descarga de aire. El aire fluye en un mismo patrón a través del almacén y sobre los productos como podemos ver en el acomodo B de la figura 2-9, otra aplicacion para almacenes con mas de 15 metros para la descarga del aire es el arreglo de difusores reverso a reverso como se muestra en el acomodo C de la figura 2-9.

El arreglo de difusores opuestos es ideal para almacenes que tengan 15 metros para la descarga de aire o mucho mas. Las unidades deberán posicionarse en una forma escalonada para que el aire no "choque", alcanzando mas porciones del almacén y se tenga un maximo enfriamiento como vemos en el acomodo D de la figura 2-9.



FIGURA 2-9 - Acomodo de difusores dentro de un almacén.<sup>29</sup>

Con un frente de velocidades mayor de 11.6 ft/s o 3.55 m/s puede ocurrir que haya acarreo de agua cuando los serpentines esten operando a temperaturas arriba de la de congelación, o cuando la escarcha de estos se este eliminando con el aire. El frente de

velocidad en el cual comienza este acarreo de agua varía con el diseño del serpentín y el difusor. Un difusor con una profundidad plena de aire, facilita al aire el uso del frente completo del serpentín (evaporador), una velocidad uniforme de aire y una óptima transferencia de calor.

El alcance del aire variará grandemente con el diseño del almacén, carga del producto, obstrucciones y colocación del evaporador. El aire sale de la descarga de un ventilador de propeleta en la forma de un cono como podemos ver en la figura 2.10.<sup>(129)</sup>

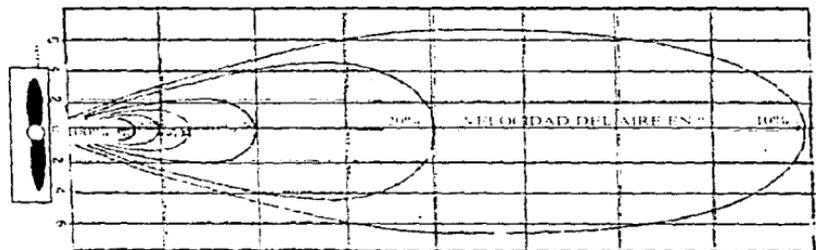


Figura 2.10 - Patrón de distribución de aire dentro de un almacén frigorífico.<sup>(129)</sup>

### 2.3.5 Humedad relativa.

La humedad relativa (Hr) es con la temperatura uno de los elementos esenciales de la frigoconservación y ejercen una fuerte influencia sobre la conservación en los alimentos. La pérdida de peso por evaporación disminuye con la humedad relativa creciente del aire en el almacén, siendo proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua en el aire y en la superficie del género almacenado (ya se mencionó que humedad relativa, es la relación entre la presión parcial de vapor de agua y su presión de saturación a una temperatura dada).<sup>(130)</sup>

La evaporación del agua del producto ( sin empaque ) es un fenómeno normal y en algunos casos necesario que suceda, lo esencial es que se produzca mínima y racionalmente. Las humedades relativas elevadas favorecen la multiplicación de microorganismos, especialmente a temperaturas altas de almacenamiento <sup>(13)</sup>.

Así por ejemplo, las bacterias se reproducen lentamente a Hr del 75%, pero las pérdidas de peso son indebidamente altas. Por el contrario, para humedades relativas del 90% al 95% se tienen muy pequeñas pérdidas de peso, pero la multiplicación de las bacterias solo puede mantenerse dentro de un límite soportable si se disminuye la temperatura de almacenaje hasta unos 0°C, aunque si bien, la mayoría de los industriales (en relación a frutos y hortalizas) se hallan más bien interesados por los defectos, en el caso de excesiva humedad

- 1) *Se incrementan considerablemente las pérdidas por podredumbre*
- 2) *Mayor sensibilidad al escaldado*
- 3) *Mayor fragilidad del fruto durante la comercialización a la salida del frigorífico*
- 4) *Desarrollo incompleto de los sabores y de los aromas*

En general, la humedad relativa puede ser tanto más elevada cuanto más baja es la temperatura. <sup>(11)(13)(18)</sup>

### **2.3.6 Control de humedad relativa (Hr).**

Los puntos de control de la Hr pueden ser los mismos que para la temperatura. Desde luego, tiene los mismos problemas de medición que la temperatura. El valor de la Hr varía según el lugar donde se mida. Lo fundamental es que la medición este bien tomada en todos los puntos críticos del almacén frigorífico y con aparatos perfectamente calibrados <sup>(13)</sup>.

Tomando como referencia a las frutas y hortalizas (ya que requieren un control más estricto que otros productos) la Hr es diferente, por ejemplo, en el interior de una caja de fruta de la que hay en el pasillo contiguo, hay que añadir que, también difiere según que la lectura del aparato se haga durante el funcionamiento de los ventiladores o que se lleve a

cabo durante el ciclo de parada de los mismos, la diferencia puede ser del orden de dos a tres puntos

No debe perderse de vista, a pesar de las mediciones que se puedan llevar a cabo (dada la variabilidad ya citada), que estas no definen ni mucho menos, con precisión la cantidad de humedad perdida por el producto y por tanto la que no es recuperada por los mismos. Tan solo el control de peso de los productos puede dar una medida mas precisa sobre la deshidratación de los mismos, causada por la instalación y su manejo

La humedad relativa en el interior de un almacén frigorífico no es regular en todos los puntos del mismo, por ejemplo para frutas u hortalizas, diferencias del orden del 2 al 4% no son raras, siendo siempre la humedad mas alta en el interior de los embalajes o bloques de embalajes y, naturalmente, la mas baja en los pasillos o zonas sin carga <sup>68</sup>

Por regla general, para frutos y hortalizas, la humedad relativa ha de ser como mínimo del 90%, siendo las variaciones máximas admitidas del  $\pm 2\%$  <sup>69</sup> <sup>(13)</sup>

#### 2.3.6.1 Humedad relativa recomendada.

##### Mensaje <sup>97</sup>

Generalmente, en almacenamiento por congelación, la diferencia de temperatura entre el aire del almacén y el evaporador debiera ser de 5.5 °C o menos, esto proveerá Hr aceptable en el almacén. Por lo general en el almacenamiento comercial de productos congelados, estos se encuentran empacados para prevenir la pérdida de peso por evaporación. No hay condiciones de almacenamiento que requieran Hr bajas en almacenamiento congelado <sup>64</sup>

En almacenamiento por refrigeración, pueden requerirse diversas Hr dependiendo del producto almacenado, en el rango de 1 a 4.5 °C <sup>65</sup>, generalmente la Hr puede controlarse variando la diferencia de temperatura entre el almacén y el evaporador, esto puede hacerse con controles de presión de succión, termostatos e higrometros. La presión de succión con sus temperaturas resultantes en el evaporador, puede variarse ascendentemente desde los

<sup>68</sup> Al igual que con la temperatura, como en el almacenamiento de frutas y hortalizas se necesita un control mas estricto de temperatura y Hr en comparación con otros alimentos, se manejará un intervalo de  $\pm 2\%$  de Hr para el control de esta

<sup>69</sup> Mensaje usado posteriormente en el programa de cómputo

compresores a cualquier valor deseado sin dificultad, y con controles propios, estos límites pueden mantenerse adecuadamente <sup>(6)</sup>

### 2.3.6.2 Control de Hr alta.

#### Mensaje 10<sup>77</sup>

La humedad relativa en los almacenes frigoríficos tiende a ser baja ya que el contenido de agua del aire es captado por el evaporador. Una parte del agua del alimento se incorpora a la atmósfera del frigorífico, por lo que se producen en aquellas zonas de deshidratación, aunque se pueden reducir considerablemente envasando el alimento en materiales impermeables al vapor de agua <sup>(76)</sup>

La conveniencia de intervenir sobre uno o varios de los factores que contribuyen en la variación de Hr se comentan a continuación

- 1) *Embalajes*: Los embalajes de madera absorben una cantidad importante de agua, agua que naturalmente proviene de la humedad ambiental, debido por ejemplo a productos desprotegidos (sin empaque). Para productos del campo lo ideal sería la utilización de embalajes de plástico, utilización que se ve extraordinariamente limitada por el elevado costo de los mismos, en su defecto, al utilizar los clásicos embalajes de madera, estos deberían humedecerse o mojarse antes de ir al campo, de manera que en trayecto de ida y vuelta, y durante la recolección y llenado, perderían el exceso de humedad pero, por otra parte, quedarían prácticamente saturados de la misma, con lo que ya no absorberían más agua del almacén
- 2) *Carga del almacén frigorífico*: En un almacén frigorífico es tanto más difícil alcanzar un buen grado de Hr cuanto menos lleno se encuentre, por esta causa, aquel producto más propenso a la deshidratación y todo aquel que este destinado a una larga conservación, es conveniente que se conserve en almacenes totalmente llenos
- 3) *Descarche*: Esta operación incide sobre la humedad y la temperatura del almacén
  - Mediante aire - Cuando el almacén frigorífico opera con temperaturas de evaporación muy bajas y se tiene un salto térmico alto, tiende a formarse hielo en el evaporador,

siendo necesario el descarche pero a costa de una larga duracion de la operacion, sin embargo ya eliminado el hielo del evaporador puede elevarse la temperatura del aire a causa del calor desprendido por los motores de los ventiladores, con la consecuente disminucion de la humedad relativa (el inconveniente mayor de esta operacion es el no poder descarchar en un breve periodo de tiempo)

- Mediante agua - Con una lluvia de agua sobre el evaporador, es un sistema rapido de descarche, aproximadamente 5 y 12 minutos, por lo que practicamente no hay elevacion de la temperatura, sin embargo no ayuda al mantenimiento de Hr propicia en el almacen
- Resistencias electricas - Se produce una cierta elevacion de la temperatura del aire, disminuyendo por tanto la Hr del almacen
- Gas caliente - Este sistema es el que eleva mas la temperatura del aire en el almacen, provocando tambien una disminucion en la Hr<sup>14)</sup>

4) *Ventilación:* En cuanto a la renovacion del aire y en lo concerniente al aumento de la humedad que ello implica, no hay duda, por una parte la humedad del aire se deposita sobre el cuerpo mas frio (evaporador, paredes), por otra, al margen de lo anterior, en muchas ocasiones, la humedad del aire exterior es superior a la del interior del almacen

5) *Temperatura de aplicacion:* Es mas facil lograr una Hr alta cuanto mas baja sea la temperatura (en un mismo volumen se precisa menos cantidad de agua, para tener una misma Hr cuanto mas baja sea la temperatura de conservacion)

6) *La barrera antivapor:* al construir un almacen frigorifico es imprescindible realizarla, aunque solo sea para conservar mejor el aislamiento tanto a los fines de duracion como la eficacia del mismo. Cuando el aislamiento no es de calidad, es mas facil que el calor del exterior se transmita hacia el interior y es bien sabido que a mayor temperatura es menor la humedad, debido sobre todo a que obliga a una mayor produccion de frio, lo que a su vez implica un funcionamiento mas prolongado del equipo<sup>14)</sup>

Dentro de la parte mecanica y que tiene incidencia sobre la Hr del almacen, esta la forma en que se consigue un suficiente numero de recirculacion (coeficiente de

recirculación) Este número se consigue partiendo de dos factores, caudal de aire y velocidad del aire; lo ideal es conseguir una recirculación suficiente, mediante un cierto equilibrio entre los dos factores citados, siendo importante que el factor más decisivo sea el caudal de aire y no la velocidad. Dentro de unos límites, a mayor velocidad de recirculación del aire, mayores son las pérdidas de peso de los productos. En todo caso debe de tenerse en cuenta estos factores que nunca deben considerarse solos o en forma independiente, así por ejemplo, al hablar de caudal de aire, no debe omitirse que este caudal debe estar proporcionado a las dimensiones del evaporador y mantener con el cierto equilibrio.

Conviene tener presente, por su trascendencia, a la hora de llevar a cabo una instalación frigorífica en la que se desee una Hr adecuada, los siguientes aspectos:

La velocidad de circulación del aire no influye en la pérdida de peso de los productos cuando el decremento térmico con que se trabaja es muy reducido. Esto se ha verificado ensayando a muy diferentes velocidades de aire y a diferentes decrementos térmicos.

El especialista suizo A. Schwartz<sup>11</sup>, del centro de Flogerates, después de trabajar largamente en estas cuestiones, dice que generalmente la marcha de los ventiladores es intermitente, sincronizada con el funcionamiento de los elementos refrigerantes. Así, a cada demanda de frío, los ventiladores se ponen en marcha para detenerse cuando se alcanza la temperatura regulada. Compruebo que este tipo de funcionamiento provoca una reducción de la Hr del orden de 10% en relación a la situación que se establece en el almacén en el que el movimiento del aire es permanente. Esto se explica por el echo de que en el régimen intermitente, llamado "automático", la humedad de la atmósfera del almacén se condensa o escarcha sobre el evaporador al enfriarse. Cuando el enfriamiento se ha producido los ventiladores se paran y la temperatura del almacén se basta para descarchar el hielo acumulado que, en forma de agua se pierde al exterior. Cuando el movimiento del aire es permanente, esta agua entra de nuevo en circulación y participa en la conservación de la humedad.<sup>12)</sup>

Donde se requieren Hr's (humedades relativas) muy altas, puede lograrse mediante la adición de humedad al aire, utilizando un muy fino atomizador de agua o por la introducción de vapor dentro de la corriente de aire. Esto es un proceso relativamente simple. Cuando se tienen Hr's altas, se debe tener cuidado en mantener la temperatura de evaporación

relativamente alta, tanto como sea posible para evitar que el exceso de humedad no sea removido por los evaporadores <sup>(12)</sup>

La forma de mantener Hr's altas en el almacenamiento en frío es el de operar la temperatura del evaporador lo más cercana posible a la temperatura del almacén, ya que a mayor diferencia de temperatura entre la superficie del evaporador y el aire del almacén (salto térmico alto) menor es la Hr

Un método de resolver el problema de baja humedad, en almacenamiento refrigerado es mediante la construcción de una doble pared o almacén JACKET. En esta clase de almacenamiento, el calor conducido a través de piso, paredes y techo es interceptado y removido por el sistema de refrigeración antes de que alcance el espacio almacenado. El único calor a ser contenido después de que el producto se ha enfriado es el calor de respiración en el caso de frutas y hortalizas y, muchas pequeñas cantidades de calor de grietas. Las paredes, techo y piso actúan como superficies enfriadoras. Humedades cercanas al 100% son mantenidas en cuartos de este tipo <sup>(13)</sup>

Para finalizar cuando tenemos menor Hr de la requerida en el almacén, podemos proceder a una Aportación de agua al almacén, como medida de emergencia y de utilización provisional, aunque de considerable eficacia, para aumentar la Hr del almacén están:

- 1) Aportación de agua mediante pulverización o nebulización, inyectándola a la corriente de aire, a la salida de los ventiladores. Con este sistema el reparto de humedad del almacén es poco regular y se puede helar el pulverizador cuando este próximo al evaporador y a temperatura oscilando los 0°C
- 2) El aporte de agua mediante vaporización, con el inconveniente de transformar el agua en vapor y eliminar el calor producido en la operación, además de que el sistema exige trabajar con agua libre de sales
- 3) Aspersión de agua en el suelo, con los lógicos inconvenientes para la circulación de máquinas y personal, aunque a diferencia de otros sistemas, la humedad aportada es bastante regular

### 2.3.6.3 Control de Hr baja

#### Mensaje 11\*\*

Donde son deseadas Hr s bajas, como por ejemplo en almacenamiento de dulces, es usualmente necesario un tipo de calentamiento. La temperatura del evaporador debe de mantenerse lo suficientemente baja como para remover la humedad requerida y entonces para prevenir el excesivo enfriamiento del aire del almacen puede calentarse para mantenerla a una temperatura deseada. Pueden emplearse tambien medios quimicos para disminuir la humedad por absorcion, la salmuera higroscopica puede ser usada aun cuando tiene un costo elevado pero algunas veces requiere menos energia que un recalentamiento.<sup>121</sup>

Cuando por diversas circunstancias, todas ellas favorables a la consecucion de una Hr alta, esta llegue a superar lo adecuado (algo muy poco frecuente debido a que la Hr en un climacen frigorifico tiende a disminuir) y resulte aconsejable bajarla, se puede recurrir a lo siguiente:

- 1) Elevacion de la temperatura del aire a la salida de los ventiladores, con la colocacion de resistencias electricas
- 2) Colocacion de una bateria de gas caliente
- 3) Reducir el coeficiente de recirculacion del aire

Finalmente y a modo de resumen cabe hacer las siguientes consideraciones sobre una Hr alta

#### Factores favorables

- Almacen lleno
- Eficaz barrera anti-vapor
- Buenos aislamientos
- Elevado caudal de aire (coeficiente de recirculación alto), cuando el decremento térmico es reducido
- Superficie de evaporacion elevada (salto termico reducido).
- Embalajes de plástico

---

\*\* Mensaje usado posteriormente en el programa de computo

- Embalajes de madera humedecidos
- Agua en el suelo y/o nebulización

**Factores desfavorables**

- Almacén insuficientemente cargado.
- Salto térmico excesivo (poca superficie de evaporación).
- Aislamiento defectuoso
- Elevación de temperatura
- Abundante formación de escarcha en evaporador.
- Velocidad excesiva de aire, sobre todo cuando el decremento térmico es elevado.
- Funcionamiento de ventiladores en régimen intermitente o automático (en muchas ocasiones)
- Coeficiente de recirculación bajo \*\*

Como se puede observar, tanto para refrigeración como para congelación, una pieza fundamental, la más importante en la obtención de una humedad adecuada, es el evaporador; ya se mencionó la importancia que tenía la superficie del evaporador y la relación de este con el "salto o decremento térmico". Este último, en el caso en que se desee una Hr alta debe ser lo más reducido posible y, para que ello suceda, la superficie de evaporación o de transmisión del evaporador debe ser calculada y dimensionada en forma correcta \*\*

Ya comprendidos los conceptos básicos para el análisis de condiciones de almacenamiento frigorífico, en el siguiente capítulo se introduce a la importancia de complementar dicho análisis por medio de la computación. Así mismo se muestra el desarrollo del programa para la elaboración de perfiles de T, Va y Hr

**PROGRAMACION****3.1 LA COMPUTADORA COMO HERRAMIENTA EN EL AREA INDUSTRIAL.**

El desarrollo de la computadora digital ha tenido un tremendo impacto en todos los aspectos de la sociedad moderna. En algo al respecto, la comunidad científica considera que esta es una de las mas significativas innovaciones tecnologicas de este siglo, porque los avances en las aplicaciones de la computacion han ayudado en la investigacion y en la optimizacion de sistemas complejos. Sin embargo la ventaja tomada de la capacidad de las computadoras digitales, los requerimientos fundamentales son la representacion matematica de los sistemas bajo consideracion.

El poder de calculo de las computadoras digitales y el calculo de graficos pueden jugar un papel importante en esquemas de optimizacion. Los calculos de graficos han sido sucesivamente aplicados a la ciencia (geografia, geologia, exploracion del espacio, etc ) e ingenieria, y han sido de gran valor a los tecnologos de alimentos.<sup>(12)</sup>

El uso de la computacion se extiende de gran manera dentro de la mayoria de los procesos industriales actuales, auxiliando desde un uso de oficina hasta programas mediante los cuales se tiene un mayor control en las operaciones unitarias. Dentro de los lenguajes de programacion que se han desarrollado, el lenguaje C ha destacado por sus multiples aplicaciones. Dennis Ritchie invento e implemento por primera vez C en un DEC PDP-11, usando el sistema operativo UNIX. C es el resultado del proceso de desarrollo que comenzo con un lenguaje mas viejo llamado BCPL, que se usa todavia en Europa, y fue desarrollado por Martin Richards. BCPL influenció un lenguaje llamado B, que fue inventado por Ken Thompson y sento el precedente del desarrollo del C.<sup>(13)</sup>

Durante años, el estandar para C fue proporcionado con el sistema operativo UNIX, conocido frecuentemente como "estandar K&R". Con la popularizacion de las computadoras personales, se crearon numerosas implementaciones de C, la mayoría altamente compatibles entre si en cuanto al codigo fuente.

El lenguaje C de programación se ha ido desarrollando hasta mejorar muchas de sus funciones originales en Turbo C, Turbo C + y Turbo C ++.<sup>(2)</sup>

### 3.2 ANALISIS DEL SISTEMA.

#### 3.2.1 Fenomenologia.

Para entender como es nuestro sistema en análisis (almacén frigorifico), como referencia, cabe destacar lo siguiente.

Hay tres leyes físicas fundamentales que se aplican a cada uno de los flujos, independientemente de la naturaleza del fluido que se este considerando. Estas leyes son las siguientes

Ley:	Representada por:
1. Ley de la conservación de la masa	Ecuacion de continuidad
2. Segunda ley de Newton del movimiento	Teorema del movimiento
3. Primera ley de la termodinamica	Ecuacion de la energia

Ademas de estas leyes citadas, se emplean ciertas relaciones auxiliares en la descripción de un fluido. Estas relaciones dependen de la naturaleza del fluido bajo estudio.

Para comenzar, el termino campo se refiere a una cantidad definida como función, tanto de la posición, como del tiempo, en una región dada. Existen dos formas diferentes de representar campos en la mecánica de fluidos: la representación de *Lagrange* y la de *Euler*. La diferencia entre ambos enfoques esta en la forma de identificar la posición en el campo.

En el enfoque Lagrangiano se describen las variables físicas para un elemento particular de dicho fluido al moverse a lo largo del flujo. En esta representación, las coordenadas  $(x, y, z)$  son variables dependientes. El elemento de fluido se identifica por medio de su posición en el campo en un tiempo arbitrario, usualmente  $t=0$ . El campo de velocidad en este caso, se describe en forma funcional, de la siguiente manera

$$v = v(a, b, c, t) \quad (1)^{(30)}$$

donde las coordenadas  $(a, b, c)$  se refieren a la posición inicial del elemento de fluido. Las otras variables de flujo de fluido, siendo función de las mismas coordenadas, se pueden representar de modo semejante. La notación Lagrangiana se utiliza rara vez en mecánica de fluidos ya que el tiempo de información deseado es usualmente el valor de una variable experimentado por un elemento de fluido a lo largo de su trayectoria. Por ejemplo. La determinación de la fuerza ejercida sobre un cuerpo estacionario en un campo de flujo, requiere del conocimiento de la presión y el esfuerzo cortante en todos los puntos del cuerpo. La representación Euleriana proporciona este tipo de información.

El enfoque Euleriano nos da el valor de la variable de un fluido en un punto  $y$  en un tiempo determinados. El campo de velocidad, en forma funcional, se escribe de la siguiente manera

$$v = v(x, y, z, t) \quad (2)$$

donde  $x, y, z, t$ , son todas variables independientes. En un punto particular  $(x_1, y_1, z_1)$  y en un tiempo  $t_1$ , la ecuación (2) nos proporciona la velocidad del fluido en ese lugar en el tiempo  $t_1$ .

En la notación Euleriana, en general, el flujo del fluido será una función de las cuatro variables independientes  $(x, y, z, t)$ .

Si el flujo en todos los puntos de un fluido es independiente del tiempo, se llama flujo *permanente*. Si el flujo en un punto varía con el tiempo se llama flujo *no permanente*. En algunos casos es posible reducir un flujo no permanente a flujo permanente cambiando el marco de referencia. Tómese como ejemplo un proyectil que vuela con una velocidad

constante  $V_0$ , como puede verse en la figura 3.1. Cuando se le observa desde el sistema fijo de coordenadas  $x, y, z$ , el patrón de flujo es no permanente, el flujo en el punto  $P$ , que se muestra, por ejemplo, variara al aproximarse un vehículo

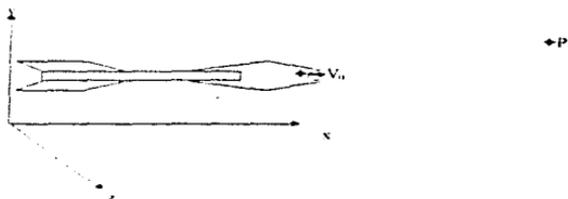


figura 3.1 Flujo variable con respecto a un sistema fijo de coordenadas<sup>(20)</sup>

Ahora considerando la misma situación cuando se le observa desde el sistema de coordenadas  $x', y', z'$ , el cual se mueve con una velocidad constante  $V_0$ , como se muestra en la figura 3.2.

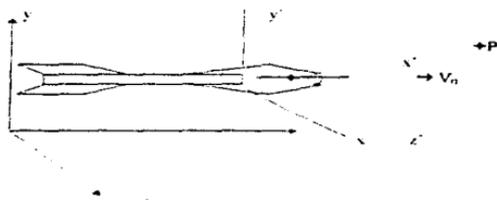


figura 3.2 Flujo constante con respecto a un sistema de coordenadas en movimiento<sup>(30)</sup>

Ahora las condiciones de flujo son independientes del tiempo en todos los puntos del campo de flujo y así, el flujo es permanente cuando se le observa desde el sistema de coordenadas en movimiento. Siempre que un cuerpo se mueva a través de un fluido con una velocidad constante, el campo de flujo, puede transformarse de flujo no permanente en flujo

permanente, seleccionando un sistema de coordenadas que se encuentre fijo con respecto al cuerpo en movimiento

En las pruebas de modelos que se realizan en tuneles de viento, se utiliza este concepto y los datos obtenidos en relacion con un modelo estatico de un fluido en movimiento seran los mismos que los de un modelo movil en un fluido estatico. De esta forma, utilizando el mismo concepto podemos considerar a un almacen frigorifico como un sistema en donde el analisis de la temperatura, velocidad del aire y humedad relativa tendra la notación euleriana, refiriendonos a que analizaremos un fluido en movimiento (velocidad de aire en este caso, conjuntamente con su  $T$ , y  $H_r$ ) en puntos fijos o coordenadas establecidas <sup>3m</sup>

### 3.2.2 Analisis para las coordenadas X, Y y Z del almacén .

Como se pudo observar en el capitulo anterior, es necesario conocer si las condiciones en las que se lleva a cabo el almacenamiento en frío ( $T$ ,  $V_a$  y  $H_r$ ) son la adecuadas para el producto, estas deben presentar la menor variabilidad posible durante el periodo de almacenamiento, si existe alguna variacion significativa en alguna de ellas puede llevar a la variacion de otra, pues ya que estas se complementan y son consecuencia la una de la otra. Siendo por tanto necesario identificar cual o cuales pueden ser las causas de tal anomalia.

Una variacion de las condiciones de almacenamiento en alguna zona o en todo el almacen, se presenta cuando los valores de estas variables son distintos de los valores prescritos ( $T^m$  y  $H_r$  de aplicacion para el producto y velocidad de aire por cuestiones de operacion del almacen)

Son muchos los factores que pueden influir en la modificacion de las condiciones de almacenamiento en frío, y que van en detrimento de la calidad del producto. Si establecemos los puntos de analisis en lugares predeterminados del almacen, se puede conocer la relación entre tales variables, refiriendose a como es su comportamiento, si hay o no variación y si esta es o no permisible, asi como las posibles causas de tal anomalia en caso de que las haya

Una forma auxiliar, que ayude en la visualización de las condiciones de almacenamiento es mediante la utilización de graficos, ya que nos pueden mostrar el estado de una variable en una posición cualquiera del almacén, tanto para el valor prescrito como el valor real de dicha variable. Sin embargo, siendo el almacén un sistema en análisis con tres ejes X, Z y Y (ancho, alto y largo), viendo a un almacén de forma lateral (Z,Y), dos puntos podrían ocupar la misma altura y longitud pero con diferente posición a lo ancho del almacén, siendo imposible observar estos dos puntos desde estos dos ejes, por tanto un gráfico de tres dimensiones nos podría proporcionar una visión mucho más amplia del sistema.

Para la utilización de graficas, es necesario establecer las escalas de estas en función de las dimensiones del almacén, así como la ubicación de los puntos de análisis dependiendo de la disposición de los embalajes, el estibado y el arreglo de los difusores. Todo con la finalidad de que los graficos nos den una visión más clara de la operación de un almacén frigorífico.

Los puntos en donde se realice el monitoreo de las variables son la base de los graficos para el almacén, para lo cual es necesario conocer detalladamente los datos que se requieren para su obtención, lo cual se logra mediante una secuencia de cálculo que forma parte del algoritmo del programa. Un algoritmo es un procedimiento definido para la solución de un problema y nos detalla la secuencia de programación que se propone seguir, así como la obtención de datos y su análisis, por lo cual es importante conocer e identificar cada uno de sus pasos para lograr entender la lógica del programa y obtener datos y graficos confiables.

### **3.3 ALGORITMO GENERAL.**

Los pasos básicos (explicados posteriormente) que debe contener el programa son los siguientes:

1. **Mostrar instrucciones.**
2. **Obtención de datos del almacén.**

3. Seleccionar las variables a monitorear (T, Va, Hr)
4. Calcular el conjunto de puntos monitores totales en las zonas de monitoreo A, B y C.
5. Mostrar el conjunto de puntos monitores en las zonas A, B y C
6. Elegir puntos monitores
7. Mostrar el conjunto de puntos monitores elegidos en las zonas A, B y C
8. Introducir datos de Temperatura, Velocidad del aire y Humedad relativa en puntos monitores elegidos
9. Calcular diferencias de temperatura y mostrar mensajes
10. Graficar temperatura de aplicacion (Ta) y temperatura monitoreada vs posición ( Xo, Yo)
11. Calcular velocidad de aire patron (Vap) a la descarga del difusor
12. Graficar Vap y velocidad de aire real (monitoreada) vs posición
13. Calcular diferencias de humedad relativa monitoreada y mostrar mensajes.
14. Graficar humedad relativa de aplicacion y monitoreada vs posición

### 3.3.1 DESARROLLO DEL ALGORITMO GENERAL.

#### 1 - Mostrar Instrucciones

Describir en forma breve los pasos del programa, mostrando indicaciones de uso y limitantes de este

#### 2.-Obtención de datos del almacén.

a) *-Temperatura de aplicacion del producto Ta.-* Se refiere a la T optima de almacenamiento, ya sea de refrigeracion o congelación para el producto (ver inciso 1.3.1 y 1.3.2 del capítulo 1)

- Los rangos de temperatura serán los siguientes : 8 a 0 °C Refrigeración  
-0.1 a -38 °C Congelación.

- b).-*Humedad relativa de aplicación del producto Ha.*- Hr recomendada de almacenamiento en frío para el producto
- c).-*Altura interna del almacén Zo.*- Corresponde a la altura interna del almacén en metros ( eje Z )
- La altura máxima de un almacén para el programa será de 20 m.<sup>44</sup>
- d).-*Ancho interno del almacén Xo.*- El ancho del almacén corresponde al eje X, tomando la dimensión interna del almacén en metros, como podemos observar en la figura 3.3
- El ancho máximo de un almacén para el programa será de 40m.<sup>44</sup>
- e).-*Largo interno del almacén Yo.*- El eje Y corresponde a la longitud interna del almacén en metros
- El largo máximo de un almacén considerado por el programa será de 60m.<sup>44</sup>

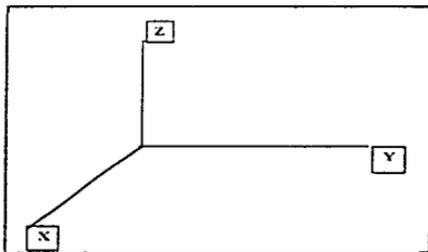


figura 3.3. Coordenadas en ejes X,Y,Z para un almacén frigorífico.

<sup>44</sup> Estas dimensiones se establecieron con la finalidad de que el programa pueda ser utilizado en la mayoría de los almacenes frigoríficos comerciales

- f).-**Diámetro de ventiladores de los difusores  $d_v$ .**- Es el diámetro de salida de aire del difusor. Este dato se puede obtener del manual del equipo empleado o bien midiendo directamente el diámetro de salida de aire de uno de los ventiladores del difusor.

El diámetro maximo de salida de aire del difusor sera de  $2m$ .<sup>(28)</sup>

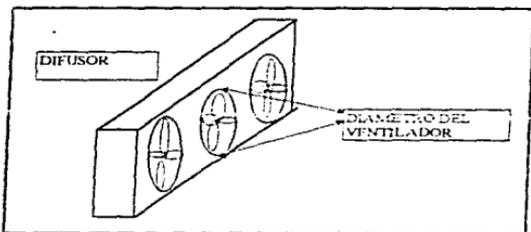


figura 3-4 Diámetro de salida de aire para un ventilador del difusor.

- g).-**Caudal de aire del difusor  $V$ .**- Este dato se puede obtener del manual de selección de equipo, es el flujo o gasto del difusor en  $m^3/s$

- El intervalo de caudal de aire para el programa es de  $1.5$  a  $39 m^3/s$ .<sup>(29)</sup>

- h).-**Número de difusores en el almacén  $D$ .**- Número de difusores con los que cuenta el almacén en un mismo lado de este y a una misma altura.

- Se trabajará con un maximo de 10 difusores.

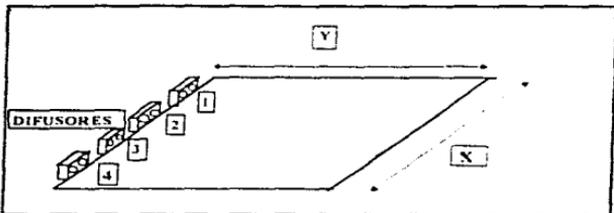


figura 3.5. Numero de difusores y ventiladores por difusor en un almacén frigorífico

- i).-Numero de ventiladores por difusor  $N_v$  - Es el numero de ventiladores con los que cuenta un difusor. Como podemos ver en la figura 3.5, tenemos 4 difusores con 2 ventiladores cada uno. El gasto o caudal de aire del difusor tiene que dividirse entre el numero de ventiladores de este para obtener el caudal de aire por ventilador.
- j) - Longitud del piso a los difusores,  $Z_1$  - Se refiere a la altura para monitoreo a la entrada y descarga de aire del difusor en metros.

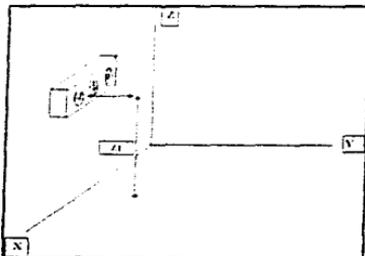


figura 3.6. Longitud del piso al difusor.

- k).-*Altura promedio de monitoreo entre productos Z2.*- Para el monitoreo entre productos, es la altura promedio en la cual se obtendran los valores de las variables monitoreadas, de T, Va y Hr, como podemos ver en la figura 3 7

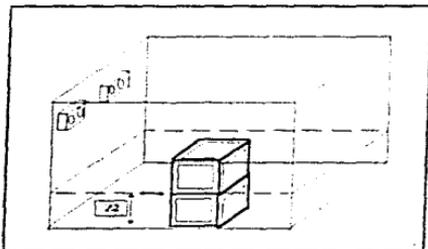


figura 3 7. *Altura para monitoreo entre productos*

- l).-*Número de espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacén, A.*

Los espacios o pasillos monitoreables se obtienen en función de la disposición de la carga dentro de un almacén con respecto a los ventiladores, en la figura 3 8 podemos observar las tres formas de estibado mas comunes

- Se considerara un maximo de 15 espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacén

El numero de espacios o pasillos monitoreables a lo ancho y a lo largo del almacén (15 y 20 respectivamente) se consideraron en función de las dimensiones maximas del almacén, ya que mas de 300 puntos (15 X 20) serian indistinguibles en los graficos que se mostraran en el monitor

- m).-*Numero de espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacén, L*

- Se considerara un maximo de 20 espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacén

Como ejemplo, para la figura 3 8 si se identifican con **letras** los pasillos a lo ancho y con **números** los pasillos a lo largo, tenemos (los espacios estiba pared no se consideran pasillos monitoreables):

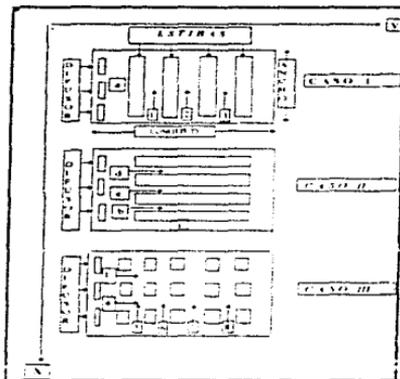


Figura 3.8. Formas de estibado <sup>(cm)</sup>

1) Para el caso I.

Pasillos monitoreables a lo ancho (a), lo que nos indica que no tenemos pasillos a lo ancho

Pasillos monitoreables a lo largo son 1, 2 y 3, tenemos tres pasillos a lo largo.

2) Para el caso II

Pasillos monitoreables a lo ancho son b, c y d, tenemos tres pasillos a lo ancho

Pasillos monitoreables a lo largo (4), podemos observar que no tenemos pasillos a lo largo

3) Para el caso III.

Pasillos monitoreables a lo ancho son e y f, Tenemos dos pasillos a lo ancho.

Pasillos monitoreables a lo largo son 5, 6, 7 y 8 Tenemos cuatro pasillos a lo largo.

**3.- Seleccionar las variables a monitorear (T, Va y Hr).**

Para las zonas de monitoreo se requiere establecer cual ó cuales son las variables que se desean analizar

Como se ha visto en el capítulo II, para el análisis de la temperatura en el almacén, cuando el equipo frigorífico funciona, consideramos la temperatura a la entrada y descarga de los difusores, así como entre los productos (figura 2.7) Para la Hr consideramos los mismos puntos que para la temperatura, excepto para la zona de entrada al difusor, esto debido a que nos interesa la Hr entre los productos y la Hr del aire a la temperatura más baja (para observar la variación de la Hr en relación al salto térmico) Por último, para la Va, nos interesa su valor a la descarga de los difusores y entre los productos para saber si su distribución es homogénea en el almacén.

Por tanto

En la zona A se analiza T, Va y Hr

En la zona B se analiza T

En la zona C se analiza T, Va y Hr

**4.- Calcular el conjunto de puntos monitores totales en las zonas A, B y C.**

Para el análisis de las variables en distintas partes del almacén, fue necesario establecer puntos ó zonas representativas, que proporcionen una información general de las condiciones en las que se lleva a cabo el almacenamiento Para esto dentro de un almacén se establecen por cuestión de representatividad (ver capítulo II) las tres zonas siguientes, como se muestra en la figura 3.9

Zona (A) a la descarga de aire de los difusores

Zona (B) a la entrada de aire de los difusores

Zona (C) entre los productos

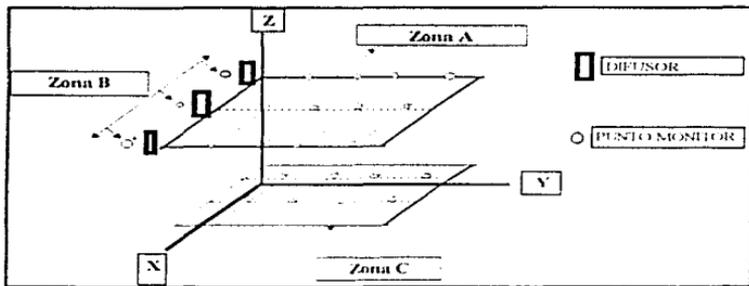


figura 3.9. Zonas A, B y C de monitoreo

El cálculo de los puntos monitores en las tres zonas mencionadas, se hará de forma que se puedan distribuir estos puntos a lo largo y a lo ancho del almacén considerando sus dimensiones, como se puede ver en la figura 3.9. Por tanto en función de estas dimensiones primero se calcula el número de puntos a lo ancho y a lo largo del almacén (NPA y NPL) y posteriormente la distancia que habrá entre estos puntos (DPA y DPL) para cada zona (A, B y C)

a) *Calcular el conjunto de puntos monitores en la zona A*

- NPA  $\Rightarrow$  Número de puntos a lo ancho  $\times$  No. De difusores  $= D$ .
- NPL  $\Rightarrow$  Número de puntos a lo largo
- Total de puntos en la zona A  $\Rightarrow$  NPA  $\times$  NPL.

$$NPL = \left[ \frac{Y_2 - (C_2 - 3)}{C_2} \right] \quad (3)$$

- Distancia entre puntos a lo ancho  $\Rightarrow$  DPA.
- Distancia entre puntos a lo largo  $\Rightarrow$  DPL  $= C_2 - 3m$

$$DPA = \frac{X_0}{D+1} \quad (4)$$

- Altura de monitoreo  $\Rightarrow AM=Z1$ .

Donde:

$X_0$  = Ancho interno del almacén

$Y_0$  = Longitud interna del almacén

$C_1$  = Este valor representa la distancia estiba-pared (1m) que puede manejar el programa, ya que los gráficos de C no manejan números fraccionarios.

$C_2$  = Este valor representa la distancia entre puntos monitores (3m) a lo largo del almacén a la descarga de los difusores<sup>16</sup>

Para la zona A se consideran 3 m ( $C_2$ ), porque esta es la distancia entre los puntos a lo largo del almacén que fue utilizada para el cálculo de la velocidad de aire patrón por Recold,<sup>(20)</sup> por lo tanto, para poder comparar con la velocidad de aire monitoreada se considera la misma distancia.

El valor de 5 que se observa en la ecuación (3) involucra 2m de la pared al difusor más 3m de la descarga de aire del difusor al primer punto monitor a lo largo del almacén en la zona A.

Para la zona A se tendrá un máximo de 200 puntos monitores, esto debido a que un almacén con una longitud de 60m de largo (longitud máxima) dividida entre 3m, se obtienen 20 puntos monitores, y multiplicando estos 20 puntos por un máximo de 10 difusores, se obtienen 200 puntos totales.

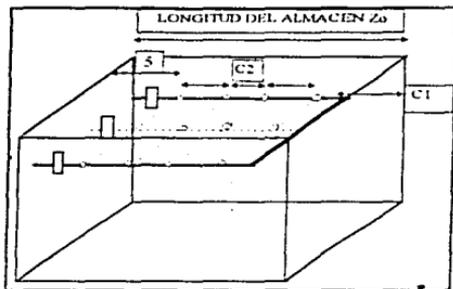


figura 3 10 Localizacion de puntos monitores en la zona A

**B) Calcular el conjunto de puntos monitores en la zona B**

La zona B se localiza detrás de los difusores, con el objetivo de obtener la temperatura del aire a la entrada de los mismos, ya que nos proporciona en condiciones normales de operación del almacén, la temperatura mas alta del aire cuando el equipo frigorífico funciona, como se muestra en la figura 3 11

Se tendrá un máximo de 10 puntos monitores para esta zona (10 difusores)

- NPA  $\Rightarrow$  No de difusores = D

NPL  $\Rightarrow$  No hay puntos monitores a lo largo, ya que solo es una línea a lo ancho del almacén, atrás de los difusores

- DPA = Distancia entre puntos a lo ancho

$$DPA = \frac{W}{D-1} \quad (4)$$

DPL = Distancia entre puntos a lo largo = 0

- $AM=Z1$

Donde

$Z1$ =Altura del piso a los difusores.

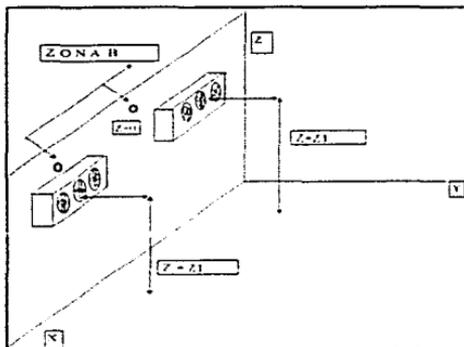


figura 3.11. Localización de puntos monitores en la zona B.

### C) Calcular el conjunto de puntos monitores en la zona C.

En esta zona se ubica el monitoreo entre productos, para obtener información de las condiciones en que se encuentran. Es importante considerar el acomodo del producto dentro del almacén

Para la zona C, en caso de que no haya espacios monitoreables a lo ancho o a lo largo del almacén (ver figura 3.8 para el caso I y II), también se consideran 3m (C2) Para estos casos, al igual que en la zona A (a la descarga de los difusores), como única

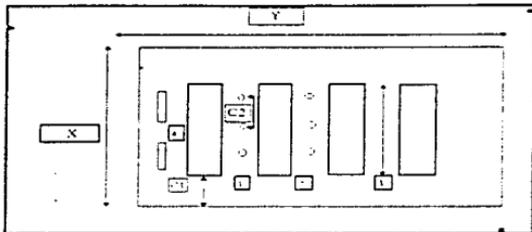


Figura 3.12. Puntos monitoreables en estante vertical con respecto a 1

**Caso II:**

- Si hay pasillos monitoreables a lo ancho del almacén y
- no hay pasillos monitoreables a lo largo del almacén

- Para  $NPA_{11} \Rightarrow$  Número de espacios o pasillos a lo ancho

Para  $NPL_{11}$

$$NPL_{11} = \frac{Y_0 - (C_1 \times 2)}{C_2} \quad (7)$$

- $DPL_{11} \Rightarrow C_2$

Para  $DPA_{11}$

$$DPA_{11} = \frac{X_0 - (C_1 \times 2)}{A + 1} \quad (8)$$

- Para  $AM_{11} \Rightarrow Z_2$

Donde:

$A =$  Pasillos monitoreables a lo ancho

$Z_2 =$  Altura promedio de monitoreo entre productos.

$C_2 =$  Distancia entre puntos monitoreables (3m)

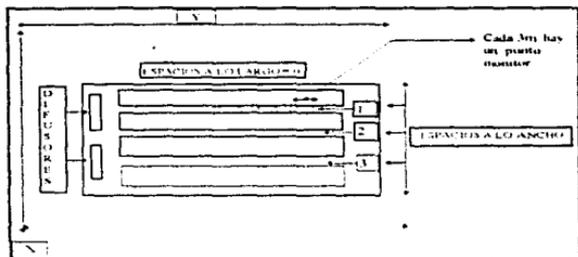


Figura 3.13. Puntos monitoreables en estibador horizontal con respecto a Y.

### Caso III:

- Si hay pasillos monitoreables a lo ancho del almacén y
  - hay pasillos monitoreables a lo largo del almacén
- Para  $NPA_{III} \Rightarrow$  Espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacén = A.
  - Para  $NPL_{III} \Rightarrow$  Espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacén = L.
- Para  $DPA_{III}$
- $$DPA_{III} = \frac{N_1 - (C_1 \times 2)}{A + 1} \quad (9)$$
- Para  $DPL_{III}$
- $$DPL_{III} = \frac{Y_0 - (C_1 \times 2)}{L + 1} \quad (10)$$
- Para  $AM_{III} = Z2$

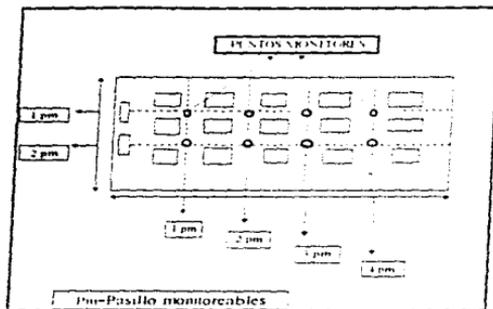


Figura 3-14. Puntos monitoreables a lo ancho y largo del almacén

Para la zona C se tendrá un máximo de 300 puntos monitores (15 espacios monitoreables a lo ancho por 20 a lo largo es igual a 300)

#### 5 - Mostrar el conjunto de puntos monitores totales.

Mostrar de forma gráfica el total de puntos calculados en el almacén. Los puntos se grafican en coordenadas X, Y, Z, representando estos ejes las dimensiones del almacén

Se tendrá un máximo de 510 puntos monitoreables (300-200-10=510)

#### 6 - Elegir puntos monitores para las zonas A, B y C

Como es probable que no se desee analizar en todos los puntos del almacén, se podrán seleccionar los puntos para cada zona en los que se procederá al monitoreo de las variables elegidas, los puntos se seleccionarán mediante intervalos a lo ancho y largo del almacén, como se muestra a continuación

Por ejemplo, utilizando como referencia la figura 3-9, viendo a las zonas A y B de forma superior (ejes X y Y)



- La zona B, los puntos a la entrada del difusor ( Solo si se ha elegido la T como variable a analizar )
- La zona C, los puntos monitores entre productos

8.- Introducir datos de T, Va y Hr en puntos monitores que se hayan elegido.

Introducir en el programa los datos de T, Va y Hr que se hayan obtenido del monitoreo en el almacen frigorifico para las zonas A, B y C en los puntos elegidos

9.- Calcular las diferencias de T y mostrar los respectivos mensajes.

a) Temperatura de aplicacion menos temperaturas de las zonas A, B y C (Ta-Tm).

(Ver capitulo 2)

Ta Temperatura de aplicacion del producto analizado

Tm<sub>A</sub> Temperatura monitoreada en la zona A

Tm<sub>B</sub> Temperatura monitoreada en la zona B

Tm<sub>C</sub> Temperatura monitoreada en la zona C

$$Ta - Tm_A = \Delta T_1$$

$$Ta - Tm_B = \Delta T_2$$

$$Ta - Tm_C = \Delta T_3$$

$$\text{Si } -1 \leq \Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3 \leq 1 \quad \text{Mensaje 6}$$

$$\text{Si } \Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3 > 1 \quad \text{Mensaje 7}$$

$$\text{Si } \Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3 < -1 \quad \text{Mensaje 8}$$

b) Temperatura de entrada menos temperatura de salida en el difusor (T1-T2).

$$Tm_B - Tm_A = \Delta T_4$$

Ts = Tm<sub>A</sub> = Temperatura del aire de salida del difusor (Zona A)

Te = Tm<sub>B</sub> = Temperatura del aire de entrada al difusor (zona B)

$$\text{Si } \Delta T_4 \leq 0 \quad \text{Mensaje 1}$$

$$\text{Si } \Delta T_4 > 0 \quad \text{Mensaje 2}$$

**c) Temperaturas de los pasillos (zona C) menos temperatura de entrada del aire al difusor (zona B)**

Si en un almacén frigorífico se analizan las temperaturas de entrada del aire de sus distintos difusores, es necesario definir cual de estas es la que analizaremos con las temperaturas entre los productos ( $T_0-T_1$ ). Lo ideal sería la utilización de cada una de las temperaturas de entrada del aire al difusor por separado, pero si estas llegasen a ser diferentes mostrarían diferentes resultados para un mismo punto, por lo que, por cuestiones prácticas del programa y para obtener una temperatura representativa del área a la entrada de los difusores, obtendremos una media con estas mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\sum T_{m_n}}{n \text{ puntos}} = \overline{T_{m_n}} = \overline{T_e} \quad (11)$$

$$T_p - \overline{T_e} = \Delta T$$

Si  $-1 \leq \Delta T \leq 1$  Mensaje 3

Si  $\Delta T < -1$  Mensaje 4

Si  $\Delta T > 1$  Mensaje 5

**10.- Graficar  $T_a$  Vs ( $X_o, Y_o$ ) y  $T^m$  monitoreada vs ( $X_o, Y_o$ ).**

Para visualizar diferencias de temperatura entre las zonas del almacén y la temperatura de aplicación se obtendrá una gráfica de los puntos monitores en coordenadas  $X_o, Y_o$  cambiando el eje  $Z_o$  por una escala de temperatura

**11.- Calcular velocidad de aire patrón a la descarga de aire del difusor.**

- a) Calcular el área de salida de aire del difusor ( $A_s$ ) con el diámetro de salida de aire del difusor ( $d_s$ )
- $d_s/2 = \text{radio} [=] \text{m}$
  - $A_s = \pi(\text{radio})^2 [=] \text{m}^2$
- b) Calcular el caudal de aire por ventilador ( $V_v$ ), dividiendo el caudal de aire del difusor ( $V$ ) entre el número de ventiladores de este ( $N_v$ )

$$V_v = \frac{V}{A_s} \quad (12)$$

- c) Dividir el caudal de aire de salida del ventilador ( $V_v$ ) entre  $A_s$  para obtener la velocidad promedio de salida del aire del difusor, cuyas unidades para  $V_v$  son  $m^3/s^{20}$

$$\text{Velocidad promedio de salida del aire} = \frac{V_v}{A_s} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = \frac{m^3}{s(m^2)} = \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (13)$$

- d) Multiplicar la velocidad promedio de salida del aire por un factor de velocidad a diferentes distancias del difusor, obteniéndose la velocidad de aire patrón ( $V_{ap}$ )<sup>(16)</sup>

$$V_{ap} = \frac{v}{A_s} f \quad (14)$$

Distancia del difusor $[=] m$	Factor ( F )
3 04	0 85
6 09	0 56
9 14	0 40
12 6	0 31
15 20	0 26
	.
	.
60 96	0 07

Tabla 3.1. Factor de velocidad de aire a la descarga libre del evaporador<sup>(20)</sup>

## 12.- Graficar de $V_{ap}$ Vs ( No. Yo ) Y $V_{am}$ Vs ( No. Yo ).

- Graficar Velocidad de aire patrón (  $V_{ap}$  ) v Velocidad de aire monitoreadas (  $V_{am}$  ) Vs posición
- Mostrar mensaje

**13.- Calcular Diferencias de Humedad Relativa y mostrar mensajes**

Como se menciona en el capítulo II, las variaciones de Hr dentro del almacén frigorífico que maneja el programa serán del  $\pm 2\%$ . Esta diferencia de Hr se obtendrá comparando la de cada uno de los puntos monitoreados con la Hr de aplicación, esto con la finalidad de poder observar la variación entre la Hr real en el almacén y a la que se debe conservar el producto

a) Humedad relativa monitoreada zona A ( $H_{r,mA}$ )

Humedad relativa de aplicación ( $H_r$ )

$$H_r - H_{r,mA} = \Delta H_{r,mA}$$

Si $-2 \leq \Delta H_{r,mA} \leq 2$	mensaje 9
Si $\Delta H_{r,mA} > 2$	mensaje 10
Si $\Delta H_{r,mA} < -2$	mensaje 11

b) Humedad relativa monitoreada zona C ( $H_{r,mC}$ )

$$H_r - H_{r,mC} = \Delta H_{r,mC}$$

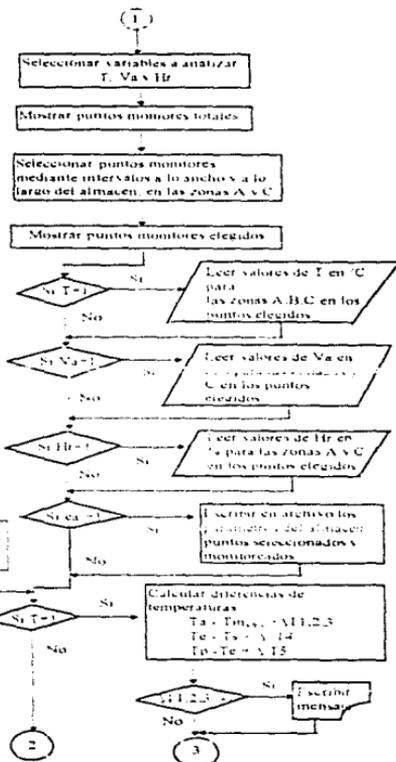
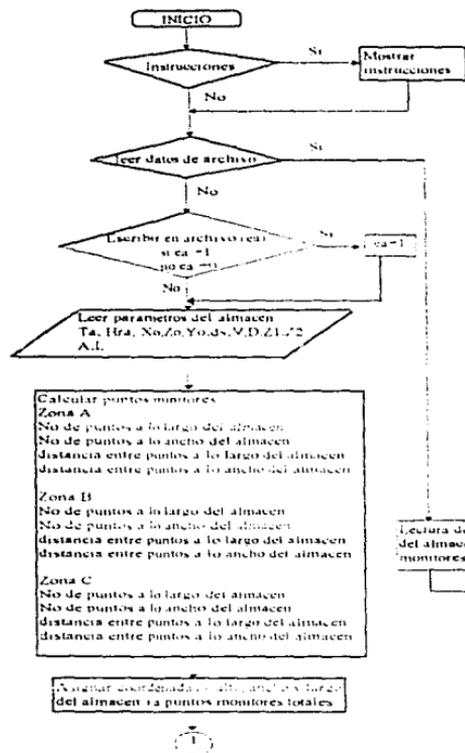
Si $-2 \leq \Delta H_{r,mC} \leq 2$ ,	mensaje 9
Si $\Delta H_{r,mC} > 2$ ,	mensaje 10
Si $\Delta H_{r,mC} < -2$ ,	mensaje 11

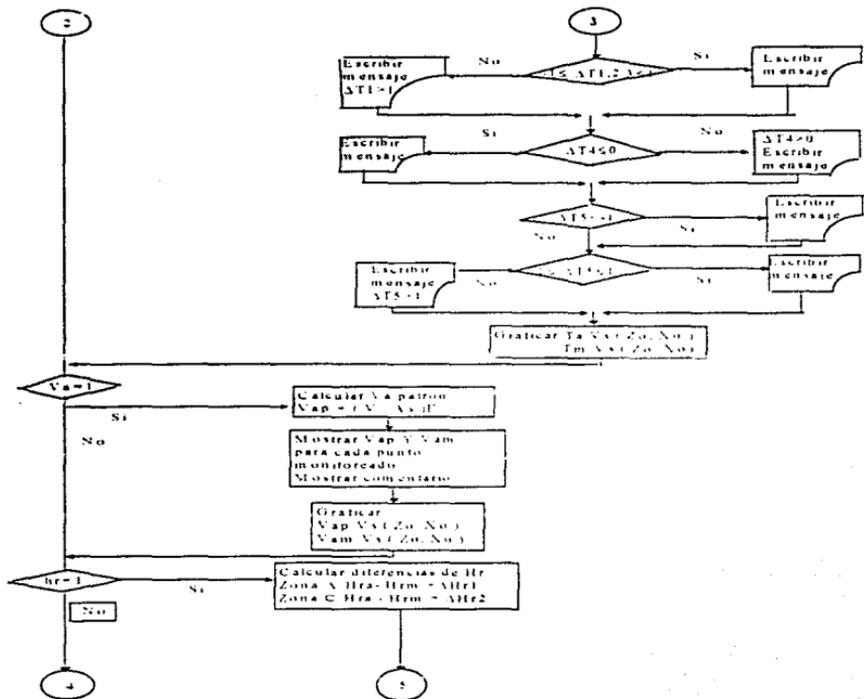
**14.- Graficar  $H_{ra}$  Vs (  $X_o, Y_o$  ) y Hr monitoreada Vs (  $X_o, Y_o$  ).**

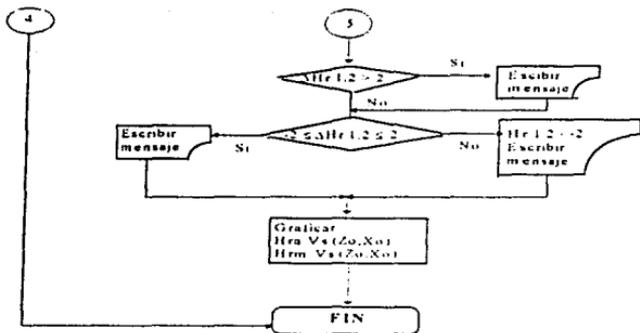
Se obtienen las gráficas de Hr monitoreadas en las diferentes posiciones dentro del almacén.

**3.4 DIAGRAMA DE FLUJO.**

En la siguiente página se muestra el diagrama de flujo sobre la secuencia del algoritmo para la elaboración del programa.







En base al algoritmo y al diagrama de flujo presentados se procede a la elaboración del programa. En el siguiente capítulo se presentan las indicaciones para su uso y las explicaciones necesarias para un mejor manejo del mismo, auxiliado con la presentación de las imágenes que se verán al momento de correr el programa

## Capítulo 4

### *CARACTERISTICAS Y USO DEL PROGRAMA FLOUSTL.*

#### 4.1. ESPECIFICACIONES.

En la actualidad, se observa que las computadoras intervienen cada día más en diversos aspectos de nuestra vida, mejorando y facilitando gran cantidad de labores, así mismo, representa una reducción general de costos a largo plazo, en cualquier empresa o institución. Por estas razones, la sociedad tiende a una computarización que optimice los diferentes recursos. Gracias a lo anterior, se observa que cada vez el campo de trabajo es más automatizado, implicando con ello conocimientos en el área de cómputo como es la programación.

Floustl es el nombre del programa desarrollado en lenguaje C (Turbo C versión 2.0), el cual a través de una serie de datos obtenidos del monitoreo de T, Hr y Va en un almacén frigorífico (que se introducen manualmente), se obtienen los gráficos y tablas que muestran el estado de las condiciones mencionadas.

Las características de operación del programa son las siguientes:

#### Hardware:

- Adaptadores gráficos: EGA, VGA, HERCULES, IBM8514, ATT, CGA, PC 3270.
- CPU Procesador 8086 en adelante.
- Memoria RAM mínimo 540 KB.
- Velocidad: 512 KB.

**Software:**

- Archivos que componen el código del programa.

Main obj	Almacén obj
Mostrar obj	Leer obj
Result obj	Grafó obj
Grafó obj	grah obj
Compleme obj	Mensaje obj

- Memoria ocupada en disco 493,879 bytes
- Capacidad de puntos a graficar 510
- Introducción de datos manual
- Disco flexible o duro
- Impresión de resultados mediante la función "Imprime pantalla"
- Monitor Monocromático y a color

Floustl solamente corre en el sistema operativo MS-DOS ( Micro Soft Disk Operating System ) version 6.20 en adelante, no obstante del origen de C en Unix.

Para tener acceso al programa utilice el comando **gft** ( abreviación de **Gemag Floustl**, "viento helado" en Nahuatl)

Si el programa se tiene en disco flexible

```
o a:\>gft -  
o b:\>gft -
```

Si el programa se tiene en disco duro.

```
o c:\>gft -  
o d:\>gft -
```

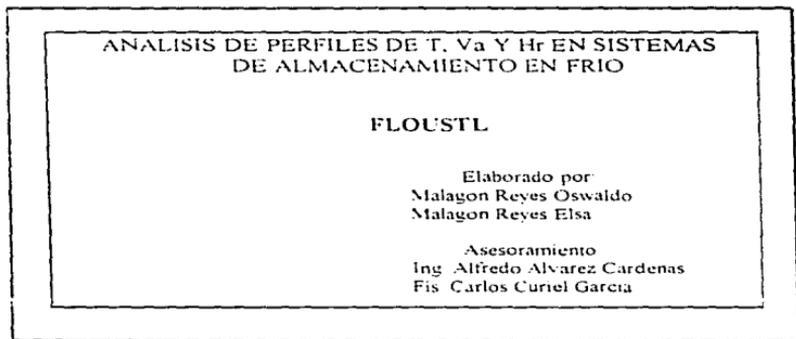
Al correr el programa, posteriormente a cada indicación de "s/n" presione la tecla de ↵

## 4.2. OPERACION DEL PROGRAMA.

El programa Floustl cuenta con un serie de opciones que el usuario debe considerar, para lo cual se muestran a continuacion las imagenes que al correr el programa se observaran en la pantalla del monitor

### 4.2.1 Presentación.

Al tener acceso al programa ( mediante el comando `grt` ), aparece una ventana de presentacion, la cual muestra el nombre del programa y los nombres de quienes intervinieron en la elaboracion de este



La ventana tiene una duraci3n de aproximadamente 2 segundos, esto en funci3n del modelo del CPU utilizado, transcurrido este tiempo la ventana desaparece para inmediatamente mostrar una ventana de introducci3n

#### 4.2.2 Introducción

En la ventana de introduccion se muestra un breve comentario a cerca de la finalidad general del programa. En la parte inferior de la pantalla se puede observar una opcion que nos indica si deseamos ver las instruccines del programa.

S= Indica que ha decidido leer las instrucciones que describen el uso programa

Si esta es la primera vez que entra al programa es recomendable que lea las instrucciones para un adecuado manejo del mismo.

N= Elija esta opcion para iniciar el programa sin mostrarle instrucciones de uso

#### FLOUSTL

Debido a la importancia que tiene el control de condiciones durante el almacenamiento en frio de productos alimenticios, es necesario conocer como influyen estas condiciones en tales productos

Esencialmente el control de condiciones en un almacen frigorifico se limita a la verificacion y correccion de la temperatura, la Humedad relativa y la recirculacion del aire, observandose que estos factores se complementan y son total o parcialmente consecuencia el uno del otro

Conocer e identificar algunos de los problemas durante el almacenamiento de productos alimenticios, determinara en gran medida la vida util de tales productos. Por tanto el objetivo del este programa es la de proveer una vision amplia de las condiciones en las que se lleva a cabo el almacenamiento en frio de los productos alimenticios

Desea ver instrucciones (S/N)

Si desea ver las instrucciones, una parte de lo que usted observara en la pantalla es lo siguiente:

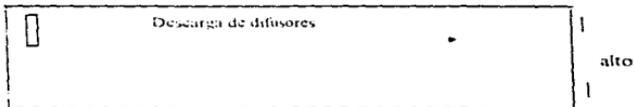
4.2.3 Instrucciones.

**INSTRUCCIONES**

**ANÁLISIS DE PERFILES DE TEMPERATURA, VELOCIDAD DEL AIRE Y HUMEDAD RELATIVA EN SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN FRÍO**

Este programa es para almacenes frigoríficos con las siguientes características:

- De tipo rectangular
- Difusores de techo y con descarga horizontal de aire a lo largo
- Almacenes en periodo de conservación y difusores operando



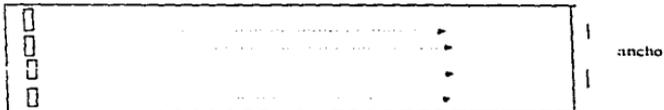
-largo-

presione cualquier tecla para continuar

1/15

**INSTRUCCIONES**

- Máximo 60 m de largo
- 40 m de ancho
- 20 m de alto
- Máximo 10 difusores



-Largo-

presione cualquier tecla para continuar

2/15

#### 4.2.4 Creando o abriendo archivos de datos.

Si su opción fué no ver instrucciones del programa, estas son las 2 opciones que se observarán en la pantalla posteriormente a la introducción

Desea leer datos de archivo (s/n)

S = Elija esta opción cuando haya realizado corridas previas del programa y cuente con datos guardados en archivos en su disco flexible o disco duro

En este caso el programa pide drive ( A, B o C ) y el nombre del archivo con lo cual procesa los datos guardados en archivos, mostrando graficas y resultados de tales datos

Si los datos estan almacenados en un directorio con archivos, especifique el drive, nombre del directorio, archivo y extension. Ejemplo

a - directorio : almacen.dat

N = El programa inicia desde la introduccion de datos y se mostrara la siguiente opcion para el caso en que desee guardar los datos que introdujera al programa, creando asi un archivo

Desea guardar datos en archivo (s/n)

Esta opción aparece si elige no leer datos de archivo.

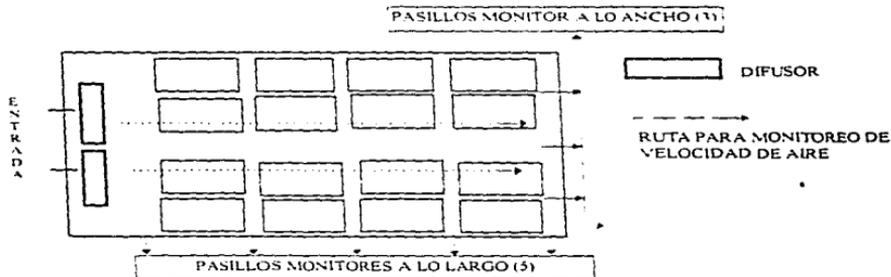
S ⇒ Elija esta opción si desea crear un archivo para escritura de datos en modo binario, en donde se guardaran los datos del programa al finalizar el proceso de introducción de datos.

Π ⇒ El programa comenzara y finalizara sin guardar los datos introducidos en un archivo.

#### 4.2.5 Obtención de datos del almacén

Para la utilización del programa Floutl con fines prácticos, se realizó un monitoreo de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa en una cámara de refrigeración de un almacén frigorífico público industrial (Frigoríficos "AMERIBEN", central de abastos).

- Características de operación del almacén frigorífico monitoreado
- Se almacenaba manzana Starking en cajas de 20 Kg cada una
- El almacén no se encontraba lleno en su totalidad, ya que aproximadamente un 20% de los palets se encontraban desocupados
- El acomodo del producto constaba de dos pilas de palets con un pasillo central para la descarga y descarga de producto dentro del almacén, como se muestra a continuación.



- El dispositivo para alimentar fluido frigorígeno a los evaporadores no se encontraba operando debido a que la temperatura del aire en el almacén estaba dentro del rango de la temperatura de aplicación, o temperatura de régimen para el producto almacenado
- El almacén cuenta con dos difusores de tres ventiladores cada uno, con un caudal de aire de salida de 19.27 m<sup>3</sup>/s para cada difusor, dato que se obtuvo de la siguiente manera

- Se monitorea una velocidad promedio de salida del aire de un ventilador igual a 12.69 m/s
- El diámetro del ventilador del difusor es 8025 m y el área de salida es 0.5058 m<sup>2</sup>
- Mediante la fórmula No. 13 del capítulo 3 despejamos V<sub>v</sub> (caudal de aire por ventilador)

$$\text{Velocidad promedio de salida del aire} = \frac{V_v}{A_s} [=] \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2} [=] \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_v = (12.69)(0.5058) = 6.45 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ para cada difusor}$$

$$\text{si } V_v = \frac{V}{N_v} \text{ despejando } V$$

$$V = (6.45)(3) = 19.27 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Los ventiladores de los difusores se accionaron para realizar el monitoreo de la velocidad de aire, sin alimentar fluido frigorígeno

La temperatura recomendada bibliográficamente para la conservación de la manzana es de 1 a 2°C y de 86 a 90% de Hr<sup>rel</sup>. Para la corrida del programa se consideró de 1.5°C como T<sub>a</sub> y 88% Hr para H<sub>ra</sub>

Se emplearon instrumentos digitales para la medición de las variables (T, V<sub>a</sub> y Hr), y los parámetros del almacén para la corrida del programa son los siguientes:

INTRODUZCA LOS SIGUIENTES PARAMETROS DEL ALMACÉN

- 1 - Temperatura de aplicación del producto en °C  
(0 a 8 °C) refrigeración  
(-38 a -0 °C) congelación  
Ta: >=1.5
- 2 - Humedad relativa de aplicación del producto en (%)  
Hra >=88
- 3 - Altura interna del almacén en metros (m)  
(máximo 20 metros) >=8
- 4 - Ancho interno del almacén en metros (m)  
(máximo 40 metros) >=11
- 5 - Largo interno del almacén en metros (m)  
(máximo 60 metros) >=16
- 6 - Diámetro de ventiladores de los difusores en metros (m)  
(no mayor de 2 metros) >= 8025
- 7 - Caudal de aire de salida del difusor en m<sup>3</sup>/s  
(entre 1.5 y 39 m<sup>3</sup>/s) >=19.27
- 8 - No de difusores en el almacén  
(máximo 10) >=2
- 9 - No de ventiladores por difusor  
(máximo 8) >=3
- 10 - Altura del piso a los difusores en metros (m)  
(no más de 8 metros) >=6.5
- 11 - Altura promedio de monitoreo entre productos en metros (m)  
(no más de 6.5 metros) >=2
- 12 - No de espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacén  
(máximo 15) >=3
- 13 - No de espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacén  
(Máximo 20) >=5

Es necesario introducir todos los datos que se piden en el recuadro anterior, y usted puede llegar a encontrarse en alguno de los siguientes casos, por tanto proceda según se indica:

- Si usted no desea analizar la Temperatura, considere un valor X para Ta
- Si no desea analizar la velocidad del aire, considere un valor X para el diámetro de ventiladores, número de ventiladores por difusor y también para el caudal de aire de salida de los difusores
- Si no desea analizar la Humedad relativa, considere un valor X para la Hra

Al introducir cualquier valor (valor X) para la Ta, Hr y/o los datos de los difusores (para velocidad del aire), el programa no los tomara en cuenta para los posteriores calculos ya que mas adelante se hace la seleccion de variables que desean analizar

A continuacion se observaran los datos del almacen que se han introducido, en caso que alguno de los datos sea incorrecto se tiene la opcion de modificarlo en esta parte

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS SON LOS SIGUIENTES

1.-Temperatura de aplicacion del producto (°C)-----	1.50
2.-Humedad relativa de aplicacion del producto (%)-----	88.00
3.-Altura interna del almacen en metros (m)-----	9.50
4.-Ancho interno del almacen en metros (m)-----	11.00
5.-Largo interno del almacen en metros (m)-----	16.60
6.-Diámetro de ventiladores de los difusores en metros (m)-----	0.80
7.-Caudal de aire de salida del difusor en (m <sup>3</sup> /s)-----	10.27
8.-No de difusores en el almacen-----	2.00
9.-No de ventiladores por difusor-----	3.00
10.-Altura del piso a los difusores en metros (m)-----	6.50
11.-Altura promedio de monitoreo entre productos en metros (m)-----	2.90
12.-No de espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacen-----	3.00
13.-No de espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacen-----	5.00

Desear corregir algun parametro (s-n)

S = Indica que desea corregir algunot(s) de los parametros que ha introducido

En este caso usted visualizará lo siguiente

Introduzca el no. del parametro que desea corregir 3  
 3 - Altura interna del almacen en (m) 8.0

Ejemplo para un caso en que se quiera corregir el parametro No. 3 y el dato correcto sea 8m

Podra observar en la pantalla que el dato que corrigio ya se encuentra incluido en el lugar correspondiente

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS SON LOS SIGUIENTES

1 -Temperatura de aplicacion del producto (°C) -----	1 50
2 -Humedad relativa de aplicacion del producto (%) -----	88 0
3 -Altura interna del almacen en metros (m) -----	8.00
4 -Ancho interno del almacen en metros (m) -----	11 0
5 -Largo interno del almacen en metros (m) -----	16 0
6 -Diámetro de ventiladores de los difusores en metros (m) -----	0 80
7 -Caudal de aire de salida del difusor en (m <sup>3</sup> /s) -----	19 27
8 -No de difusores en el almacen -----	2
9 -No de ventiladores por difusor -----	3
10 -Altura del piso a los difusores en metros (m) -----	0 5
11 -Altura promedio de monitoreo entre productos en metros (m) -----	2 00
12 -No de espacios o pasillos monitoreables a lo ancho del almacen -----	3
13 -No de espacios o pasillos monitoreables a lo largo del almacen -----	5

Desea corregir algun otro parametro (s/n)

**Π** ⇒ Indica que sus datos se encuentran correctos y por tanto no desea corregir algún otro.

#### 4.2.6 Selección de variables que se deseen analizar

Se procede a indicar que variables se desean analizar en el almacén frigorífico.

Desea analizar T° en °C (s/n) s

**S** ⇒ Desea analizar la temperatura en el almacén frigorífico, por tanto el programa incluirá puntos monitores y análisis para la temperatura

**Π** ⇒ No se realizará análisis de temperatura en el almacén

Desea analizar Velocidad del aire en m/s (s/n) s

**S** ⇒ Se analizará la velocidad del aire dentro del almacén

**Π** ⇒ No se realizará análisis de la velocidad del aire en el almacén

Desea analizar Humedad Relativa en porcentaje (s/n) s

**S** ⇒ Se procederá al análisis de la humedad relativa

**Π** ⇒ No se desea analizar la humedad relativa del almacén.

#### 4.2.7 Puntos monitores totales.

El programa calcula el total de puntos monitores y los muestra mediante una gráfica, con la cual se elegirán los puntos en los que se deseen monitorear las variables elegidas.

Los puntos monitores se distribuyen en tres zonas

Zona A => A la descarga de aire de los difusores (  $T^{\circ}$ ,  $V_a$  y  $H_r$  )

Zona B => A la entrada de aire de los difusores (  $T^{\circ}$  )

Zona C => Entre los productos (  $T^{\circ}$ ,  $V_a$  y  $H_r$  )

VARIABLES POR ZONA  
 ZONA A  $T^{\circ}$ ,  $V_a$  y  $H_r$   
 ZONA B  $T^{\circ}$   
 ZONA C  $T^{\circ}$ ,  $V_a$  y  $H_r$

INTERVALOS POR ZONA

ZONA A  
 No. Puntos= 6  
 Largo 1-3  
 Ancho 1-2

ZONA B  
 No. Puntos=2  
 Ancho 1-2

ZONA C  
 No. Puntos=15  
 Largo 1-5  
 Ancho 1-3

Puntos monitores en este caso de dos difusores

SELECCIÓN DE PUNTOS A MONITOREAR  
 Seleccione los puntos a monitorear mediante intervalos a lo largo y a lo ancho del almacén en las zonas A y C. Como se desea analizar la temperatura, al seleccionar su intervalo a lo ancho del almacén en la zona A, se selecciona automáticamente el mismo intervalo para la zona B.

Presione cualquier tecla para continuar

En esta parte se debe de tomar nota de los intervalos que sean de interés, ya que más adelante se pedira la introduccion de dichos intervalos para abarcar solamente los puntos que se deseen monitorear (delimitacion de la zona de monitoreo) y que varian de un almacén a otro.

#### 4.2.8 Selección de puntos monitores.

La eleccion de puntos monitores se hace mediante intervalos a lo ancho y a lo largo del almacén

Como los puntos a monitorear se mostraron en modo grafico y este modo no permite la introducción de datos, los intervalos para la eleccion de puntos se introducen en el siguiente recuadro

SELECCIONAR PUNTOS MONITORES DE T, V<sub>a</sub> Y Hr

Elija los puntos en donde desea monitorear mediante intervalos a lo largo y a lo ancho del almacén en sus respectivas zonas

Zona A    
 De 1 a 3 a lo largo  
 De 1 a 2 a lo ancho

Zona C    
 De 1 a 5 a lo largo  
 De 1 a 3 a lo ancho

Introduzca el intervalo de puntos en que desea monitorear en las zonas A y C del almacén a lo largo y a lo ancho - el intervalo de menor a mayor

Zona A    
 A lo largo del almacén 1-3

A lo ancho del almacén 1-1

El intervalo se introduce 1-1 porque solo se monitoreo en un difusor

Igualmente se muestra para la zona C

Intervalos calculados por el programa, en funcion de los puntos monitores a lo ancho y a lo largo

#### 4.2.9 Puntos monitores elegidos

Una grafica mostrara los puntos elegidos por zonas, en los que posteriormente se procederá a la introduccion de datos de la o las variables elegidas para cada punto

En este paso se muestra la opcion de si desea o no salir del programa. Esto se debe a que puede ser necesario proceder al monitoreo de las variables en los puntos elegidos y posteriormente introducir estos datos al programa

Es  muy importante  indicar que es necesario que tome nota de la numeracion de los puntos monitores y de su posicion dentro del almacen, para cuando se realice la introduccion de datos estos correspondan al punto monitoreado

El puntos " " se ubica a la entrada de aire del difusor

#### ESTOS SON LOS PUNTOS PARA MONITOREO

Observe la distribucion de los puntos en sus respectivas zonas

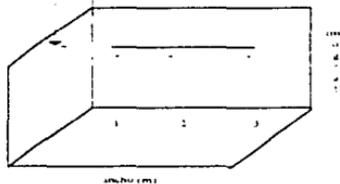
		Variable a monitorear
Grafica 1	Zona A	T- Va -Hr
	Zona B	T
Grafica 2	Zona C	T- Va -Hr.

Si desea salir del programa para el monitoreo de T, Va o Hr, y posteriormente retornar a este, conserve los parametros del almacen y los intervalos de la seleccion de puntos

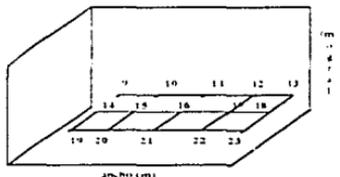
Si ya tiene el monitoreo en los puntos seleccionados continúe con el proceso de introduccion de datos.

Presione cualquier tecla para continuar  
Presione X para salir

grafica 1



grafica 2



Al realizar el monitoreo en los puntos mostrados por la grafica los resultados obtenidos fueron los siguientes:

PUNTO MONITOR	T (°C)	Va (m/s)	Hr (%)
1	5 40	3 30	64 60
2	4 90	1 30	69 50
3	5 10	0 30	65 20
7	2 70		
9	3 40	0 70	84 80
10	3 00	0 00	86 00
11	2 70	0 40	85 00
12	2 60	0 10	84 20
13	2 70	0 20	88 20
14	2 70	5 00	83 80
15	2 60	4 30	85 20
16	2 60	1 40	86 30
17	2 90	0 40	84 00
18	2 70	0 10	87 20
19	3 70	3 80	85 20
20	3 40	0 20	86 70
21	2 90	0 10	84 20
22	2 70	0 10	86 50
23	2 90	0 10	88 20

#### 4.2.10 Introducción de datos de T, Va y Hr en puntos monitores elegidos.

Antes de comenzar a introducir los datos obtenidos del monitoreo, se le pide el numero de valores desea introducir por punto ( $n$  no mas de tres), en el caso de que se haya monitoreado la variable elegida mas de una vez en los mismos puntos, el programa obtendrá una media de los valores cuando sean dos o tres, con los cuales el programa trabajara para los posteriores resultados

El proceso de introduccion de datos se auxilia con una ventana que le muestra la distribucion de los puntos en cada zona, como se muestra a continuacion.

INTRODUCIR VALORES DE TEMPERATURA EN °C EN LAS ZONAS A,B Y C

cuantos valores desea introducir por punto - no más de tres- 1

Para este caso de Ameriben, se  
monitoreo una vez en cada punto

TEMPERATURA EN °C

Introduzca 1 valor(es) de T° por punto

Punto 1  
1- 5 40  
punto 2  
1- 4 00  
punto 3  
1- 5 10

ZONA A

1-2-3

Para el caso de un valor  
por cada punto monitor.

( Ejemplo )  
Posicion y numeracion de los  
puntos monitores en el Imacen

Igualmente se muestra la numeracion y posición de los puntos monitores para las zonas B y C.

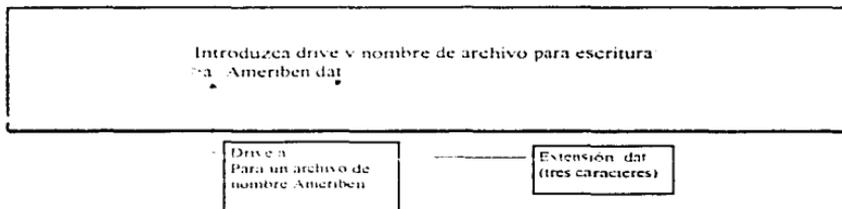
TEMPERATURA EN °C	
Introduzca 1 valor-es- de T° por punto	
Punto 7 1- 2.7	ZONA B 7

TEMPERATURA EN °C	
Introduzca 1 valor-es- de T° por punto	
Punto 9 1- 3.4	ZONA C
punto 10 1- 3.0	9-10-11-12-13
punto 11 1- 2.7	14-15-16-17-18
punto 12 1- 2.6	19-20-21-22-23
punto 13 1- 2.7	
punto 14 1- 2.7	
punto 15 1- 2.6	
Punto 16 1- 2.6	
punto 17 1- 2.9	

→ Se continua con la introduccion de datos hasta el punto 23

La introducción de datos para la velocidad de aire y humedad relativa se hace de la misma manera que para la temperatura, con lo que se finaliza la introducción de datos.

Si al comienzo del programa eligo guardar los datos en archivo, es en este punto en donde se le pide unidad de disco y nombre de archivo, en el cual se escriben o se guardan los datos introducidos al programa hasta el paso anterior, que son los parámetros del almacén y los valores de las variables monitoreadas para cada punto



La unidad puede ser para disco flexible o disco duro. El nombre del archivo no debe exceder los 8 caracteres y la extensión no debe exceder de tres.

Si el proceso de apertura para escritura en un archivo falla, este se repetirá tres veces, si aun no se puede abrir el archivo, el programa termina sin guardar datos.

Pueden guardarse datos del programa en directorios que contengan archivos, especificando simplemente el nombre del directorio y archivo a crear.

Ejemplo Pa directorio Ameriben dat

#### 4.2.11 Análisis de datos para las variables monitoreadas.

- Para la temperatura (T)

Se observan tres tablas de resultados

La primera muestra para las zonas A, B y C la diferencia de temperatura para cada punto entre la T de estas zonas y la T de aplicación del producto

$$T_a - T_m = DT1$$

Se muestra un mensaje comentando a cerca de los siguientes casos:

$$DT1 > 1 \text{ (Diferencia positiva)}$$

Ta mayor en mas de 1°C que la T monitoreada

$$DT1 < -1 \text{ (Diferencia negativa)}$$

Ta menor mas de 1°C que la T monitoreada

$$-1 \leq DT1 \leq 1 \text{ (No hay diferencia)}$$

No hay diferencias de T que difieran en mas de 1°C de la Ta

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA				
Ta = 1.5 °C		T aplicacion - T monitoreada = DT		Zonas A-B-C
Tm	DT	NO DIFERENCIA	DIF NEGATIVA	DIF POSITIVA
<b>ZONA A</b>				
5.40	-3.90		1	
4.90	-3.40		2	
5.10	-3.60		3	
<b>ZONA B</b>				
2.70	-1.20		7	
<b>ZONA C</b>				
3.40	-1.90		9	
3.00	-1.50		10	
2.70	-1.20		11	
2.60	-1.10		12	
2.70	-1.20		13	
2.70	-1.20		14	
2.60	-1.10		15	

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA				
Ta= 1.5°C		T aplicacion- T monitoreada = DT		Zonas A-B-C
Tm	DT	NO DIFERENCIA	DIF NEGATIVA	DIF POSITIVA
2.60	-1.10		16	
2.90	-1.40		17	
2.70	-1.20		18	
3.70	-2.20		19	
3.40	-1.90		20	
2.90	-1.40		21	
2.70	-1.20		22	
2.90	-1.40		23	

Diferencias de temperatura que se han tenido en los puntos del almacén

Numero de puntos monitor

Se muestra un mensaje comentando acerca del tipo de diferencia que se haya presentado

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA				
Ta= 1.50°C		T aplicacion- T monitoreada = DT1		Zonas A-B-C
Tm	DT1	NO DIFERENCIA	DIF NEGATIVA	DIF POSITIVA
DT < -1 Hay diferencias de temperatura ( T ) negativas La T monitoreada en esa posición se encuentra mas de 1°C arriba de la temperatura de aplicación. La vida de almacenamiento del producto puede verse reducida				

La segunda tabla muestra, la diferencia de T que existe entre la temperatura de entrada del aire y la temperatura de salida para cada difusor elegido

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA EN DIFUSORES				
T entrada - T salida = DT2			Zonas B-A	
Te	Ts	DT2	DT2 = 0	DT2 > 0
2.70	5.40	-2.70	7.1	

Se muestra un mensaje comentando a cerca de los siguientes casos

$$T_e - T_s = DT2$$

Si  $DT2 = 0$  ( no hay enfriamiento de aire )

La temperatura de entrada al difusor es menor o igual que la temperatura de salida.

Si  $DT2 > 0$  ( hay enfriamiento de aire )

La temperatura de entrada al difusor es mayor que la temperatura de salida, por lo tanto el mensaje que muestra el programa es el siguiente

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA EN DIFUSORES				
T entrada - T salida = DT2			Zonas B-A	
Te	Ts	DT2	DT2 = 0	DT2 > 0

DISMINUCION DE LA TEMPERATURA ( T ) DEL AIRE AL PASAR POR EL EVAPORADOR

$$DT2 = 0$$

Si la T de entrada del aire es menor o igual a la T de salida, el aire no se enfría a su paso por el evaporador, entendiéndose que el almacén tiene capacidad suficiente para enfriar un determinado volumen de producto, cuando la T no baja o apenas lo hace, a pesar del funcionamiento continuo del compresor con las máximas posibilidades, debe arribarse este hecho a una insuficiente carga de fluido frigorígeno, insuficiencia que con toda posibilidad proviene de alguna fuga en cualquier punto del circuito ( evaporador, juntas, poros, roturas, eje del compresor, etc ), mala condensación, válvula mal regulada, humedad en el circuito. En tal caso, debe determinarse si falta fluido frigorígeno, la cantidad a adicionar y el lugar por donde este se pierde

La tercera tabla muestra la diferencia de temperatura que existe entre la temperatura de cada punto entre los productos o zona C y la temperatura promedio de entrada al difusor.

$$T_m - T_e = DT3$$

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA				
$T_e = 2.70^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{pasillos}} - T_{\text{prom}} \text{ en dif} = DT3$		Zona C
$T_m$	$DT3$	NO DIFERENCIA	DIF. NEGATIVA	DIF. POSITIVA
<b>ZONA C</b>				
3.00	0.30		10	
2.70	0.00		11	
2.60	-0.10		12	
2.70	0.00		13	
2.70	0.00		14	
2.60	-0.10		15	
2.60	-0.10		16	
2.60	0.20		17	
2.60	0.00		18	
3.70	1.00		19	
3.40	0.70		20	
2.90	0.20		21	
2.70	0.00		22	
2.90	0.20		23	

Valores de la temperatura monitoreada en la zona C, para cada punto

Se muestra un mensaje comentando a cerca de los siguientes casos

$DT3 > 1$  ( Diferencia positiva )

La temperatura entre productos en ese punto es mayor en mas de  $1^{\circ}\text{C}$  que la temperatura promedio de entrada al difusor

$DT3 < -1$  ( Diferencia negativa )

La temperatura entre productos en ese punto es menor más de  $1^{\circ}\text{C}$  que la temperatura promedio de entrada al difusor

$-1 \leq DT3 \leq 1$  ( No hay diferencia )

La diferencia de temperatura entre los productos y la temperatura promedio de entrada al difusor no difiere en mas de  $1^{\circ}\text{C}$ .

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA

$T_c = \text{---}^{\circ}\text{C}$

$T \text{ pasillos} - T \text{ prom en dif} = DT$

Zona C

$T_m$

DT

NO DIFERENCIA

DIF NEGATIVA

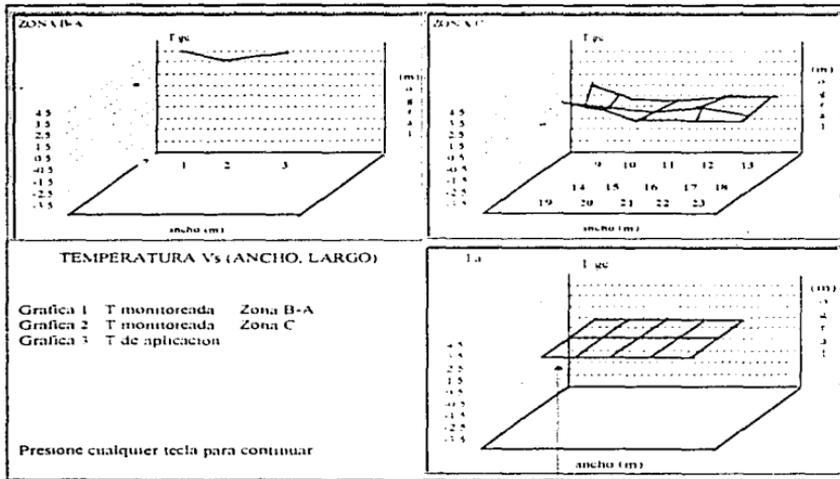
DIF. POSITIVA

$-1 \leq DT3 \leq 1$  No hay diferencias de temperatura ( T )

La diferencia de T puede aceptarse en general (entre los puntos frios y calidos del almacen) es una diferencia igual a la que existe entre el paro y la puesta en marcha y que viene regulada por el termostato, esta diferencia suele ser de  $1^{\circ}\text{C}$ , y como maximo de  $1.5^{\circ}\text{C}$  entre los citados puntos extremos. Lo ideal son  $0.8^{\circ}\text{C}$ , para cuya regulacion hay adecuados termostatos

Una diferencia de  $1^{\circ}\text{C}$  a lo largo del periodo de almacenamiento tiene un efecto significativo sobre la mayoria de los productos, especialmente en los que se almacenan a temperaturas inferiores a  $5^{\circ}\text{C}$

A continuacion observara los graficos para la temperatura, que le mostraran como se encuentran las condiciones de almacenamiento para las zonas A, B y C



- Para velocidad del aire se observa una tabla que muestra.

La velocidad de aire promedio patron a la salida de los difusores ( calculada en base al diámetro de salida de aire de los difusores y el caudal de aire de estos ) en la zona A.

Para cada difusor mostrarán los valores de la velocidad de aire patron y las velocidades de aire monitoreadas en cada punto monitor elegido

Esta tabla es para comparar la velocidad de aire real o monitoreada con la velocidad de aire patron en cada punto a la descarga libre de los difusores

Zona a la descarga de los difusores  
(sobre el producto almacenado)

VELOCIDAD DE AIRE mvs				Zona A
Velocidad de aire promedio de salida = 12.70 mvs				
Difusor	Vap	Vam	punto	
DIFUSOR-1	10.79	3.30	1	
	7.11	1.30	2	
	5.08	0.30	3	

Valores de velocidad de aire patron y velocidad de aire monitoreada para cada punto del difusor correspondiente

Para la velocidad del aire se observa un mensaje que le muestra las posibles causas de alguna anomalía.

VELOCIDAD DE AIRE m/s				Zona A
Velocidad de aire promedio de salida = 12.70				
Difusor	Vap	Vam	punto	

Si en la instalacion (caudal y velocidad de aire) se da un suficiente numero de recirculaciones en almacen vacio, y a pesar de ello, en el almacen lleno se producen enfriamientos irregulares, con nucleos de masa de los productos recibiendo poca aportacion de aire, o con una existencia de puntos frios y calidos, e incluso estableciendose corrientes viciosas de aire, etc., la causa de ello estara con muchas posibilidades en una densidad excesiva, en una mala disposicion y estibado de los embalajes, ya sea por no dejar espacios suficientes en el techo, laterales y suelo, por una mala paletizacion, ya sea por un insuficiente espacio para circular el aire, entre la carga, ya sea en fin por utilizar protectores laterales sin perforar.

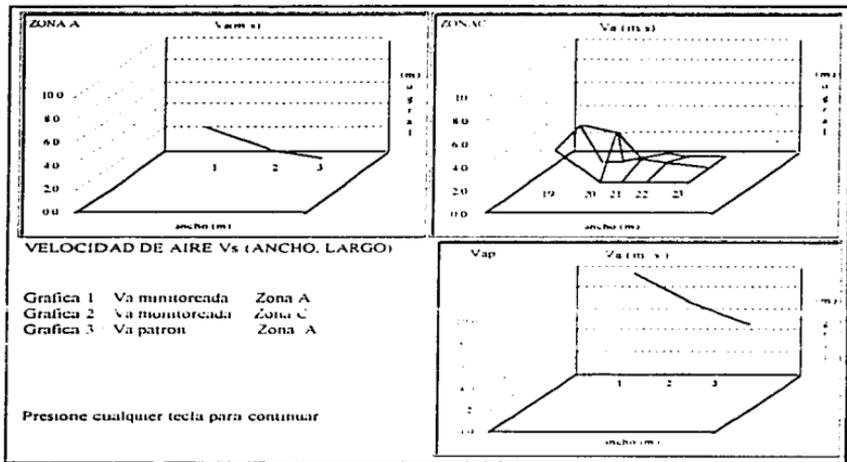
Por lo tanto, si tenemos suficiente caudal y velocidad de aire, pero tenemos diferencias de temperatura y de humedad relativa en el almacen, la causa estara seguramente en la disposicion y estibado de los productos.

La descarga del aire no debe ser bloqueada por luces, componentes de la construccion o producto. El uso de direccionales o louvers, debe ser considerado donde la distribucion del aire sea critica. Siempre que sea posible, los difusores deben ser localizados sobre la pared mas larga, esto disminuira la necesidad de un mayor alcance, y mas importante, incrementara la seccion de area disponible para el retorno del aire.

Con un frente de velocidades mayor de 11 o ft/s o 3.5 m/s puede ocurrir que haya acarreo de agua cuando los serpentines esten operando a T's arriba de la de congelacion, o cuando la escarcha de estos se elimina con el aire. El frente de velocidad en el cual comienza este acarreo de agua varia con el diseño del serpentín y el difusor. Un difusor con una profundidad plena de aire, facilita al aire el uso del frente completo del serpentín (evaporador), una velocidad uniforme y optima transferencia de calor.

El alcance del aire variara grandemente con el diseño del almacen, carga del producto, obstrucciones y localizacion del evaporador. El aire sale de la descarga de un ventilador en forma de cono y el uso de direccionales incrementa el alcance del aire.

Despues de los mensajes, podra observar los graficos obtenidos para la velocidad del aire, para la zona A y C, asi como la grafica de la velocidad de aire patron a la descarga libre de los difusores.



- Para la Humedad relativa.

Se observan dos tablas, que muestran la diferencia que existe entre la Hr de aplicación del producto almacenado (Hra) y la Hr monitoreada en cada punto elegido, una para la zona A y la otra para la zona C.

Valor en porcentaje  
Pc = "%

DIFERENCIAS DE HUMEDAD RELATIVA				
Hra =88 00 pc.		Hr aplicación- Hr monitoreada = DH		Zona A
Hrm	DH	NO DIFERENCIA	DIF NEGATIVA	DIF POSITIVA
64.60	23.40			1
69.50	18.50			2
65.2	22.80			3

Se observaran los mensajes para los siguientes casos de Hr en la zona A.

-2<= DH <=2 Humedad relativa adecuada

DH>2 Humedad relativa baja ( Hr menor que la Hr de aplicacion en mas de 2% )

DH<-2 Humedad relativa alta ( Hr mayor que la Hr de aplicacion en mas de 2% )

Como la diferencia de Hr fue positiva, el programa muestra el siguiente mensaje

DIFERENCIAS DE HUMEDAD RELATIVA				
Hra =88 pc.		Hr aplicación- Hr monitoreada = DH2		Zona A
Hrm	DH2	NO DIFERENCIA	DIF NEGATIVA	DIF POSITIVA

**HUMEDAD RELATIVA BAJA (Hr)**

DH>2

La Hr en los almacenes frigoríficos tiende a ser baja ya que el contenido de agua del aire es captado por el evaporador. Una parte del agua del alimento se incorpora a la atmósfera del frigorífico, por lo que se producen en aquellas zonas de deshidratación, aunque se pueden reducir considerablemente envasando el alimento en materiales impermeables al vapor de agua.

DIFERENCIAS DE HUMEDAD RELATIVA

Hra = 88 pc.	Hr aplicación- Hr monitoreada = DH2	Zona A
Hrm	DH2	NO DIFERENCIA    DIF NEGATIVA    DIF POSITIVA

Algunos de los factores que contribuyen en la variación de la Hr se comentan a continuación.

- **Embalajes** Los embalajes de madera absorben una cantidad importante de agua, agua que naturalmente proviene de la humedad ambiente, debido por ejemplo a productos desprotegidos o sin empaque

- **Carga del almacén** En un almacén frigorífico es tanto más difícil alcanzar un buen grado de Hr cuanto menos lleno se encuentre, por esta causa, aquel producto más propenso a la deshidratación y todo aquel que este destinado a una larga conservación, es necesario que se conserve en almacenes totalmente llenos

- **Descarche** Este sistema incide sobre la humedad y la temperatura del almacén, como podemos ver a continuación

• Mediante aire

Cuando el almacén frigorífico opera con T's de evaporación muy bajas y se tiene un salto térmico alto (diferencia de T entre la superficie del evaporador y el aire del almacén muy alta), tiende a formarse hielo en el evaporador, siendo necesario el descarche pero a costa de una larga duración de la operación, sin embargo ya eliminado el hielo del evaporador puede elevarse la temperatura del aire a causa del calor desprendido por los motores de los ventiladores, con la consecuente disminución de la humedad relativa

• Mediante agua

La lluvia de agua sobre el evaporador, es un sistema rápido de descarche, aproximadamente 5 y 12 minutos, por lo que prácticamente no hay elevación de la T del aire, sin embargo no ayuda al mantenimiento de Hr propicia en el almacén

• Resistencias eléctricas

Se produce una cierta elevación de la temperatura del aire, disminuyendo por tanto la Hr del almacén

• Gas caliente

Este sistema es el que eleva más la temperatura del aire en el almacén, provocando también una disminución en la Hr de este

- **Ventilación:** En cuanto a la renovación del aire y en lo concerniente al aumento de la humedad que ello implica, no hay duda, por una parte la humedad del aire se deposita sobre el cuerpo más frío (evaporador, paredes), por otra, al margen de lo anterior, en muchas ocasiones, la humedad del aire exterior es superior a la del interior del almacén

- **Temperatura de aplicación** Es más fácil lograr una Hr alta cuanto más baja sea la temperatura (en un mismo volumen se precisa menos cantidad de agua, para tener una misma Hr cuanto más baja sea la temperatura de conservación)

## DIFERENCIAS DE HUMEDAD RELATIVA

Hra =88 pc

Hr aplicacion- Hr monitoreada = DH2

Zona A

Hrm

DH2

NO DIFERENCIA

DIF NEGATIVA

DIF POSITIVA

-La barrera antivapor al construir un almacen frigorifico es imprescindible realizarla, aunque solo sea para conservar mejor el aislamiento tanto a los fines de duracion como la eficacia del mismo. Cuando el aislamiento no es de calidad, es mas facil que el calor del exterior se transmita hacia el interior y es bien sabido que a mayor temperatura es menor la humedad, debido sobre todo a que obliga a una mayor produccion de frio, lo que a su vez implica un funcionamiento mas prolongado del equipo.

Donde se requieren Hr's altas, puede lograrse mediante la adición de humedad al aire, utilizando un muy fino atomizador de agua o por la introducción de vapor dentro de la corriente de aire. Esto es un proceso relativamente simple. Cuando se tienen Hr's altas, se debe tener cuidado en mantener la temperatura de evaporación relativamente alta, tanto como sea posible para evitar que el exceso de humedad no sea removido por los evaporadores.

El secreto de mantener Hr's altas en el almacenamiento en frio es el de operar la temperatura del evaporador lo mas cercana posible a la temperatura del almacen, ya que a mayor diferencia de temperatura entre la superficie del evaporador y el aire del almacen (salto termico alto) menor es la Hr en este.

Aportacion de agua al almacen. Como medida de emergencia y de utilizacion provisional, aunque de considerable eficacia, para aumentar la Hr del almacen estan:

-Aportacion de agua mediante pulverizacion o nebulizacion, inyectandola a la corriente de aire, a la salida de los ventiladores. Con este sistema el reparto de humedad del almacen es poco regular y se puede hielar el pulverizador cuando este proximo al evaporador y a T oscilando los 0°C.

-El aporte de agua mediante vaporizacion, con el inconveniente de transformar el agua en vapor y eliminar el calor producido en la operacion.

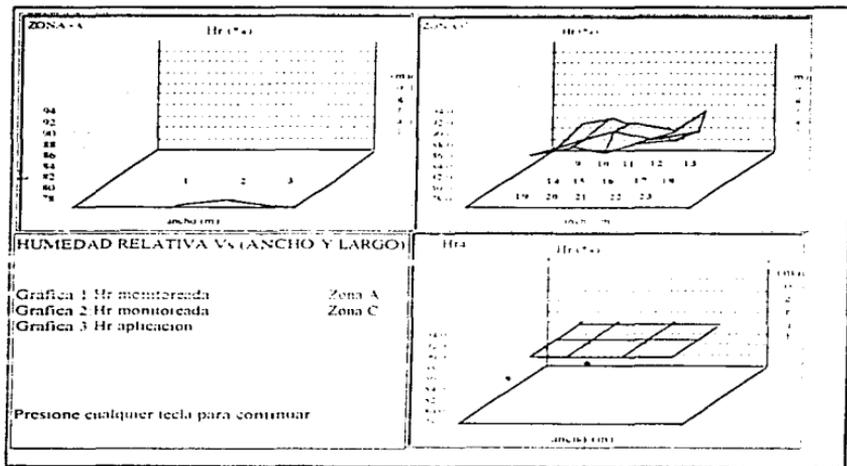
-Aspersión de agua en el suelo, con los logicos inconvenientes para la circulacion de maquinas y personal, aunque a diferencia de otros sistemas, la humedad aportada es bastante regular.

Se muestra a continuacion la tabla de diferencias de Hr para la zona C

DIFERENCIAS DE HUMEDAD RELATIVA				
Hra =88.00 pc.		Hr aplicacion- Hr monitoreada = DH		Zona C
Hrm	DH	NO DIFERENCIA	DIF. NEGATIVA	DIF. POSITIVA
84.80	3.20			9
86.60	1.40	10		
85.60	2.40			11
84.20	5.80			12
88.20		13		
83.80	4.20			14
85.20	2.80			15
86.30	1.70	16		
84.90	3.10			17
87.20	0.80	18		
85.20	2.80			19
86.70	1.30	20		
84.20	3.80			21
86.50	1.50	22		
88.20	-0.20	23		

Se muestra el mensaje correspondiente para la diferencia de Hr en la zona C, que para este caso es el mismo que para la zona A, ya que la diferencia de humedad que se tiene es positiva.

Posteriormente se visualizan los graficos de Hr en las tres zonas.



Comportamiento que se esperaria obtener, ya que esta grafica es la Humedad relativa de aplicacion

Finalmente una tabla le mostrara los valores monitoreados de las variables que se hayan analizado para cada punto monitor elegido.

VARIABLES MONITOREADAS				
Ta = 1.50 Vasp = 12.70 m/s Hra = 88.00 pc.		zonas A-B-C		
Punto	Tm	Hrm	Vam	Vap
Zona A				
1	5.40	64.60	3.30	10.79
2	4.90	69.50	1.30	7.11
3	5.10	65.20	0.30	5.08
Zona B				
7	2.70			
Zona C				
9	3.40	84.80	0.70	
10	3.60	86.60	0.60	
11	2.70	85.60	0.40	
12	2.60	84.20	0.10	
13	2.70	88.20	0.20	
14	2.70	83.80	5.00	
15	2.60	85.20	4.30	
16	2.60	86.30	1.40	
17	2.90	84.90	0.40	
18	2.70	87.20	0.10	
19	3.70	85.20	3.80	
20	3.40	86.70	0.20	
21	2.90	84.20	0.10	
22	2.70	86.50	0.10	
23	2.90	88.20	0.10	

Comentar sobre como reducir fluctuaciones de T<sup>m</sup> durante el almacenamiento frigorífico y factores que influyen en la Hr del almacen

Ta =1.50 °C  
 Vasp =12.70 mvs  
 Hra88.00Pe

VARIABLES MONITOREADAS

zonas A-B-C

Punto	Tm	Hrm	Vam	Vap
-------	----	-----	-----	-----

La presencia de fluctuaciones de temperatura puede reducirse al mínimo

- 1-Controllando la T de almacenamiento(1.5°C)
- 2-Mediante puertas automaticas y cortinas hermeticas en las rampas de carga de camiones
- 3-Haciendo que el traslado de productos de un almacen a otro sea rapido,controlando la correcta rotacion del stock almacenado

Estas tecnicas y las mejoras en las instalaciones de almacenamiento manejo y exposicion al publico de producto han mejorado sustancialmente la calidad de alimentos refrigerados y congelados

Para que un producto se enfrie rapida y uniformemente es imprescindible que tanto el embalaje como el apilado permitan que el aire se mueva facilmente a traves de toda la pila, en contacto con las diversas unidades que la compongan. La fluctuacion espacial de la T en un buen almacen no debe exceder de 1°C por encima o por debajo de la T nominal. Lo mas im-

portante de las exigencias para que el producto se enfrie uniformemente es el enfriamiento homogeneo de toda la superficie superior de la fila, condicion que es igualmente exigible a los sistemas de circulacion de aire forzada que aquellos otros en los que el aire se mueve por corrientes de conveccion natural. Tambien resulta necesario para un enfriamiento homogeneo de los componentes de la pila, una regular distribucion de ella en las vias que faciliten la circulacion del aire, ya que este se mueve siempre siguiendo las rutas que ofrecen menos resistencia

Finalmente se necesita que las fugas de calor a traves de las paredes sean escasas, es decir que el almacen se encuentre correctamente y que los evaporadores tengan capacidad suficiente para asegurar pequeños saltos termicos entre la T del aire y la de la superficie de los serpentines del evaporador

VARIABLES MONITOREADAS					
Ta =					zonas A-B-C
Vasp =					
Hra =					
	Punto	Tm	Hm	Vam	Vap

UN COMENTARIO SOBRE HUMEDAD RELATIVA

**REFRIGERACION**

Si la diferencia de temperatura (T) entre el aire y el evaporador en el almacén es baja (salto termico pequeño), mas humedad permanecerá en el aire y este tendrá una mayor Hr, por lo que este aire no será capaz de recoger mucha humedad de los productos almacenados. Esta condición es deseable en la mayoría de los almacenamientos por refrigeración. Pueden tenerse Hr's entre el 65 y 90 %, variando la T del evaporador y el aire del almacén durante la operación de este.

**CONGELACION**

La humedad es también importante en el almacenamiento por congelación donde el aire a T de congelación contiene humedad. Una Hr baja durante el almacenamiento puede provocar severa deterioración del producto a través de la pérdida de humedad. El aire saturado a T's de congelación contiene solo unos pocos granos de humedad, por lo que las diferencias de T en el almacén necesitan mantenerse tan bajas como sea posible para prevenir la desecación de los productos almacenados. Si durante el periodo de almacenamiento por congelación se tienen muy pocas diferencias de T, el contenido de vapor de agua del aire y en la superficie de los productos se mantendrá muy pequeño, por lo que las diferencias entre las presiones parciales toman valores muy bajos y las pérdidas de peso por unidad de tiempo se mantendrán pequeñas.

#### **4.2.12 Análisis de los resultados obtenidos en el almacén frigorífico comercial**

Como se ha podido observar para la zona A, la temperatura del aire a la entrada de los difusores es menor que la temperatura a la salida, esto puede deberse a un cierto calentamiento del aire a su paso por el difusor debido a la acción de los motores de los ventiladores, ya que no circulaba fluido frigorífico por el evaporador.

Para la zona C, en general la temperatura del aire del almacén es mayor en más de 1°C que la temperatura a la que se debe conservar la manzana Starking (temperatura de aplicación) lo que puede provocar un incremento en la actividad metabólica y enzimática de la manzana. Por otro lado las diferencias de temperatura del aire entre la temperatura promedio de entrada al difusor y la temperatura entre el producto no son mayores de 1°C lo que indica efectivamente que la temperatura del aire en el almacén es homogénea pero superior a la temperatura de aplicación, por lo que el equipo frigorífico debía ponerse en funcionamiento.

En los gráficos que se obtuvieron para la temperatura podemos observar como en la zona A existe un aumento de la temperatura a la descarga de los difusores y en la primera mitad del almacén, es posible atribuirlo a la apertura de la puerta de entrada con la consecuente entrada de aire caliente al almacén y sin una adecuada distribución de aire existe un incremento de temperatura.

En lo que respecta a la velocidad del aire, para la zona A se presentaba una disminución considerable de la velocidad que se tenía a la descarga de los difusores, hasta un valor aproximadamente de cero en la parte media del almacén, esto puede explicarse si recordamos que el aire sale en forma de cono del difusor y a lo largo de la descarga del aire éste no debe bloquearse con lámparas, producto o componentes de la construcción, en este caso, se presentaba una interrupción al flujo del aire en la parte superior del techo debido a la presencia de travesaños. Al verse disminuido el flujo de aire en la primera mitad del almacén, para la parte trasera solo llegaban ligeras corrientes, lo que puede dar lugar a enfriamientos irregulares del producto con formación de puntos fríos y calidos.

La humedad relativa en el almacén se presentaba menor a la humedad relativa de aplicación, una explicación a esto es debido a que la temperatura del aire es mayor que la de aplicación y a mayor temperatura tenemos un descenso de humedad relativa

## *CONCLUSIONES*

- En el almacenamiento frigorífico el control de la temperatura, circulación de aire y humedad relativa influyen de manera directa con la prolongación o disminución de las características sensoriales de los productos alimenticios
  - Existe una estrecha interrelación en la variación de los parámetros de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa que afectan directamente en las condiciones del almacén
  - Dentro de un almacén es posible realizar un monitoreo de condiciones de almacenamiento en puntos que establece un programa de cómputo, a través de una alimentación de datos referentes al acomodo del producto, dimensiones del almacén y equipo frigorífico
  - El programa Floust, auxiliado con la visualización de gráficos permite realizar el análisis de las condiciones de almacenamiento, a través del monitoreo de temperatura, velocidad del aire y humedad relativa dentro del almacén
  - Floust es un programa versátil ya que es aplicable a cualquier sistema de almacenamiento en frío
- El programa es de sencilla utilización y permite una fácil interpretación de los factores que influyen en la variación de las condiciones de almacenamiento
- Floust es factible a modificaciones que permitan mejorarlo conforme se gane experiencia en la aplicación del programa con fines prácticos.

## ***BIBLIOGRAFIA***

- 1) Badui Dergal Salvador  
Química de los alimentos  
Alhambra Mexicana, Mexico 1982
  
- 2) Braverman J B S  
Introducción a la bioquímica de los alimentos  
Ed. El manual moderno S A Mexico D.F. 1980
  
- 3) Brennan, J G  
Las operaciones de la Ing. de los alimentos  
Ed. Acribia, España 1980
  
- 4) Clive V J Dellino  
Cold and chilled storage technology  
1a ed.  
Ed. Van Nostrand Reinhold, N Y. U.S.A. 1990
  
- 5) Cox, Pat  
Ultracongelación de alimentos  
Ed. Acribia S. A. Zaragoza España 1990
  
- 6) Chistie J. Geankoplis  
Procesos de transporte y operaciones unitarias  
5a ed.  
Ed. CECSA, México 1991

- 7) Dossat, Roy J  
Principios de refrigeracion  
2a ed.  
Ed. Compañía editorial continental, México 1980
- 8) Duran, T Sebastian  
Frigoconservacion de la fruta  
1a ed  
Ed. AEDOS, Barcelona España 1983
- 9) E R Hallowell, P E  
Cold And Freezer Storage Manual  
2a ed  
Ed. AVI, United States of America, Westport, conecticut 1980
- 10) Gorni, Fausto  
La Frigoconservazione dei Prodotti Ortofrutticoli  
1a ed  
Ed. Manuale Reda, Italia 1979
- 11) Gruda, Zbigniew Postolski, Jacek  
Tecnologia de la congelacion de alimentos  
Ed. Acirbia, Zaragoza España
- 12) Hallowell, E R  
Cold and Freezer storage manual  
2a ed.  
Ed. AVI Publishing Company, U.S.A. 1980

BIBLIOGRAFIA

---

- 13) Herrero, Alfonso Guardia, Jorge  
Conservación de frutos. (Manual técnico)  
Ed. Mundi-Prensa, España 1992
- 14) Instituto Internacional del Frio  
Alimentos Congelados (procesado y distribución)  
Ed. Acribia S.A. Zaragoza España 1990
- 15) Jeri, R. Hanly  
Problem solving and Program Design in C  
Addison-Wesley, Publishing Company, Massachusetts 1993
- 16) Nabayoni Barkakati  
The wife Group's Turbo C++ bible  
1ª ed  
Ed. SAMS, Indiana USA 1990
- 17) Nuevo Congreso de Ingeniería del Frio  
Colegio oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia  
2a. ed  
Ed. Madrid Vicente, Madrid 1993
- 18) Plank, Rudolf  
El empleo del frio en la industria de la alimentación  
Ed. Reverte S.A., Barcelona España 1984
- 19) Potter, Norman  
La ciencia de los alimentos  
Ed. Edutex S.A., México 1978

20) Recold Corporation

SPREAD AND THROW OF FREE FAN DISCHARGE

21) Rigot, Georges

Vitrinas y muebles frigoríficos

Ed. Ediciones A. Madrid Vicente, Madrid España 1991

22) Ryall, A. Lloyd Pentzer, W T

Handling transportation and storage of fruits and vegetables

2a ed Vol 1-2

Ed. AVI Publishing Company, U S A. 1982

23) Schildt Herbert

Programacion en turbo C

2a ed

Ed. Osborne Mc Graw-Hill, Madrid España 1990

24) Schildt Herbert

Using turbo C

Ed. Osborne Mc Graw-Hill, 1990

25) Sing, r Paul Heldman, Dennis R.

Introduction to food engineering

Ed. Academic Press, U S A. 1894

26) Tecnologia del procesado de alimentos

Principios y practicas

Ed. Acetria, Zaragoza España, 1994

- 27) Tressler, Donald Van Arsdel, Wallace B  
The freezing preservation of foods  
3a ed  
Ed. AVI Publishing Company, Londres 1982
- 28) Vilter air units guide  
Air Unit Selection  
Vilter Manufacturing Corporation 1990
- 29) Wills, R H McGlasson, W B  
Fisiologia y manipulacion de frutas y hortalizas  
Ed. Acribia, Zaragoza España 1984
- 30) Welty, James R  
Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer  
3a. Ed.  
J. Wiley, New York 1984

*ARTICULOS*

- 31) Edward Kolbe & Robert Schnekenburger  
Temperature monitor for freezers and cold stores  
Department of Agricultural Engineering Oregon State University.  
USA. May 1990
- 32) John D Floros and Manjeet S Chinnan  
Computer Graphics-Assisted Optimization for Product and Process Development.  
Food Technology, February 1988 No 2 Vol 42