
FACULTAD DE QUIMICA

**Transferencia de Calor en el Proceso de
Congelación y Descongelación de Pescado.
Cámara Frigorífica**

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

ZACARIAS TORRES HERNANDEZ





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.

CLAS. Tesis
ADQ. 1975
FECHA
PROC. PL-332 332



QUIMICA

Jurado asignado originalmente según el tema :

PRESIDENTE	<u>Ing. Enrique García Galeano.</u>
V O C A L	<u>Ing. Arturo López Torres.</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Victor Pérez Amador.</u>
1er. SUPLENTE	<u>Ing. José Guerra Recasens.</u>
2do. SUPLENTE	<u>Ing. Rubén Berra García C.</u>

Sitio donde se desarrolló el tema : Ciudad de México

Nombre completo y firma del
sustentante : Zacariás Torres Hernández.

Nombre completo y firma del asesor
del tema : Ing. Enrique García Galeano
Dr. Luis Miguel López Márquez

Nombre completo y firma del
supervisor técnico : _____

A MIS PADRES

Felipe Torres García

Paula Hernández de Torres

Por su don de padres y sencillez que los caracteriza.

A MIS HERMANOS

Odilo

Coti

Juanis

Conchis

Pipa

Por su espíritu de superación y apoyo que me brindaron.

A L e o

Que todo lo merece.

A la Dra. Ma. Teresa Chávez Campomanes

Por su extraordinaria calidad humana.

Al Lic. Miguel Palacios Beltrán

Por su ayuda y amistad sincera.

A todas las personas que de una manera directa o indirecta me ayudaron, y siguen ayudando.

I N D I C E

- INTRODUCCION
- I. - IMPORTANCIA DE LA CONGELACION,
EN ESPECIAL PARA PESCADO.
- II. - TRANSFERENCIA DE CALOR.
- III. - CONGELACION O DESCONGELACION
DE PESCADO.
- IV. - CONDUCCION DE CALOR CON CAMBIO
DE FASE.
- V. - TIEMPO DE CONGELACION Y DESCON-
GELACION.
- VI. - CONSTRUCCION DE UNA CAMARA FRI-
GORIFICA PARA CONGELACION RAPIDA
DE PESCADO " MERO " FILETEADO.
- VII. - DATOS Y CALCULOS DE LA CAMARA
- VIII. - PARTE ELECTRICA DE LA CAMARA.
- CONCLUSIONES.
- LITERATURA CONSULTADA.

I N T R O D U C C I O N

En la actualidad existe una variedad de estudios en lo -- que concierne a la transferencia de calor; así como en lo que se refiere a las Cámaras Frigoríficas. Mi propósito en la presente tesis, es efectuar un estudio completo del fenómeno de la transferencia de calor aplicado a un proceso industrial dentro del campo técnico de los alimentos.

Con esta investigación, desde el fenómeno básico y los -- principios que lo rigen, llegaré al cálculo de una cámara usada indus-- trialmente, comprobando que los conocimientos al parecer, teóricos y sin aplicación, aprendidos en la escuela, son la base sobre la cual des-- cansan los procesos que cada día cobran mayor interés, debido a la competencia entre las industrias y a la demanda de un producto de mejor calidad y más bajo costo.

El trabajo va encaminado a la congelación de pescado, ya

que éste es uno de los grandes recursos naturales ictiológicos de que -- dispone nuestro país y hasta fecha reciente no ha sido aprovechado; la - pesca costera es más abundante que la pesca de altura, esta última rea - lizada por embarcaciones de bandera extranjera, sobre todo Norteameri - canas; es por eso que la industrialización de los productos pesqueros - se realiza únicamente en baja escala. Al contribuir, aunque en forma - parcial, al desarrollo de esta industria, estamos colaborando a que el - ritmo con que se desarrolla la actividad pesquera corresponda a la mag - nitud de los recursos de que se dispone.

Desde un punto de vista personal, la política recomenda - ble para desarrollar dicha actividad, sería realizar estudios y practicar medidas y disposiciones que garanticen el racional aprovechamiento de los recursos, y sobre todo, poner en manos de mexicanos el usufructo - de tan importante riqueza.

Quiero hacer hincapié, una vez más, que este trabajo es - tá hecho con la finalidad de consolidar la idea de que así como la trans - ferencia de calor, todos los demás fenómenos tienen una aplicación --- práctica dentro del área industrial.

Por último aprovecho este espacio para hacer manifiesta mi gratitud al Sr. Ing. Enrique García Galeano por cederme desintere - sadamente parte de su tiempo que libremente le pertenece, con el único propósito de sentir la satisfacción del deber cumplido y su utilidad a la Comunidad Universitaria. También al Honorable Jurado por la acogida - que se sirvan prestar a este trabajo.

I. - IMPORTANCIA DE LA CONGELACION EN ESPECIAL PARA PESCADO.

En el curso de unas cuantas décadas a la fecha la refrigeración se ha incrementado gigantesca y rápidamente, esto obedece a que es un proceso que contribuye a elevar el nivel de vida de todos los países.

En la actualidad es difícil apreciar hasta que punto la sociedad depende de la refrigeración para su propia existencia; una de tantas aportaciones importantes para dicha sociedad es la conservación de los alimentos que en nuestro tiempo y el lo venidero se ha convertido y se convertirá en una apremiante necesidad, ya que de otra manera no sería posible, sin el auxilio de la refrigeración, la preservación de alimentos en cantidades suficientes para alimentar la creciente población urbana.

Nunca antes en la historia del hombre, la conservación-

de alimentos había sido tan importante como en el presente, las modernas poblaciones urbanas necesitan cantidades excesivas de alimentos, - que en su mayor parte son producidos y procesados en áreas distintas y que deben conservarse en condiciones de consumo durante el tiempo de traslado y almacenaje. Los métodos para la conservación de alimentos son numerosos y datan casi desde el principio de la existencia del hombre sobre la tierra. Cuando no se tenía conocimiento de la causa por la cual existía pérdida o deterioro de los alimentos, el hombre descubrió y desarrolló métodos de conservación primitivos tales como: secado, - ahumado, escabechado y salado; que hasta la fecha siguen usándose ampliamente, aunque tienen desventajas inherentes que limitan su utilidad - por ejemplo, producen cambios severos en la apariencia, sabor y olor, además de no adaptarse a la conservación de todos los tipos de alimentos. Las propiedades de los alimentos conservados por estos métodos - son limitados en lo que concierne a tiempo; por lo que cuando un alimento deba conservarse por un tiempo largo o indefinido debe recurrirse a otros métodos de conservación. Cuando se tuvo conocimiento de las causas de pérdida y deterioro de los alimentos surgieron los procesos de - enlatado y refrigeración. El enlatado es un proceso de conservar toda - clase de alimentos, por tiempo indefinido y en grandes cantidades, su - principal desventaja estriba en que los alimentos se deben esterilizar al calor, resultando con frecuencia una cocción excesiva, por eso aún cuando los productos enlatados tienen un sabor agradable difieren por lo general en forma notable del producto original.

La refrigeración es el único proceso que conserva los alimentos en su estado original, ésta es la principal e importante ventaja de la refrigeración sobre los demás métodos de conservación, aunque también presenta desventajas ya que la refrigeración es continua y debe iniciarse desde la cosecha o sacrificio hasta el consumo del producto, requiriendo para tal efecto equipo relativamente costoso y voluminoso que a veces resulta inconveniente y antieconómico.

No existe un método de conservación que sea el mejor de todos ya que en un caso determinado depende de muchos factores: tipo de producto, tiempo que debe conservarse, disponibilidad de transporte, equipo de almacenaje, etc., usándose con frecuencia una combinación si multánea de varios métodos para llegar a un resultado óptimo.

El fin que se persigue con la congelación al igual que con los otros métodos es la conservación y preservación del alimento, hasta donde sea posible en condiciones ingeribles y en la cúspide de calidad en cuanto a olor, apariencia, gusto y contenido vitamínico. En la mayor de las veces la descomposición de los alimentos se debe a una serie de cambios químicos complejos que se llevan a cabo en los alimentos después de la cosecha o sacrificio. Estos cambios químicos se producen por las enzimas naturales evidentes en todos los materiales orgánicos y a microorganismos que crecen en el interior y exterior del alimento. Generalmente ambos intervienen en el deterioro de los alimentos si bien cada uno por separado puede producir la descomposición del producto. -

Para conservar los alimentos se debe eliminar o controlar la actividad de estos agentes.

Las enzimas se destruyen por la acción de altas temperaturas, de aproximadamente 71°C para la mayor parte de éstas, es por eso que la cocción de un alimento elimina las enzimas que contiene.

Por otra parte se sabe que estas sustancias químicas complejas resisten las bajas temperaturas y su acción puede continuar aunque muy lenta a temperaturas inferiores a -18°C . En cinética química aprendimos que la velocidad de una reacción química disminuye al disminuir la temperatura por lo tanto, aún cuando las enzimas no se destruyen, su actividad se reduce bastante a bajas temperaturas, en especial las inferiores al punto de congelación del agua.

Los microorganismos son plantas y animales microscópicos y submicroscópicos, tres son de interés en el estudio de la conservación de alimentos: bacterias, hongos y levaduras. Estos son agentes de putrefacción, deterioro y fermentación; debido a que secretan enzimas sobre el material orgánico en el cual se desarrollan, aunque no sólo tienen funciones nocivas sino también útiles y necesarias. Las bacterias están formadas de una sola célula viva y son la forma más simple de vida vegetal, el ritmo con que se desarrollan y reproducen al igual que otros microorganismos depende de condiciones favorables ambientales como temperatura, acidez o alcalinidad, disponibilidad de alimento

soluble, O_2 y humedad, etc. Debido a que las bacterias no pueden digerir alimento insoluble, es por eso que la mayor parte secretan enzimas que son capaces de volver soluble algunas sustancias insolubles que les pueden servir de alimento. El deterioro de los alimentos por crecimiento bacterial es un resultado directo de la acción de estas enzimas bacterianas. Para cada especie existe una temperatura máxima y mínima para su desarrollo. A temperaturas superiores al máximo las bacterias se destruyen, a inferiores al mínimo las bacterias se vuelven inactivas y latentes. La temperatura óptima para la mayor parte de las saprófitas está entre $24^{\circ}C$ y $30^{\circ}C$ y para las parásitas entre $37^{\circ}C$ y $38^{\circ}C$; una se desarrollan mejor a temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua y otras a las cercanas al punto de congelación; sin embargo la mayor parte de las especies son destruidas o inhibidas a estos extremos de temperatura. En general el ritmo de desarrollo de las bacterias decrece considerablemente al reducir la temperatura. Las levaduras están casi en las mismas condiciones que las bacterias sólo que éstas prefieren temperaturas moderadas y una ligera acidez, no son tan resistentes a condiciones desfavorables, si bien pueden desarrollarse en medios ácidos. Las esporas de levaduras y bacterias son muy resistentes y pueden sobrevivir bajo condiciones adversas periodos largos. Los hongos son de estructura mas compleja que las levaduras o bacterias, están formadas por varias células, son menos resistentes a temperaturas elevadas, pero toleran más las temperaturas bajas. El crecimiento del hongo es in-

hibido por temperaturas inferiores a 0°C , más por falta de humedad libre que por efecto de la baja temperatura, todo crecimiento de hongo cesa a temperaturas menores a 12°C y se desarrolla en ambientes oscuros y húmedos, particularmente en el aire libre.

Para controlar estos agentes degenerativos existen muchos métodos como son: el enlatado, secado, escabeche, "curado", etc., el proceso que nos interesa en este trabajo es la refrigeración que involucra el uso de baja temperatura y en especial la congelación que utiliza temperaturas inferiores al punto de congelación del agua.

Aún cuando las bajas temperaturas no son tan efectivas para obtener la destrucción de los agentes degenerativos, si reduce casi en su mayoría la actividad tanto de enzimas como de microorganismos y por lo tanto, suministra una forma de conservar los alimentos en su estado fresco original por periodo de tiempo variable.

La congelación es un método apropiado para la conservación del pescado, su característica estriba en que el agua del producto se congela, y el consumo de frío es mucho mayor que si el producto se enfriase solamente y su contenido de agua no se convirtiese en hielo. Las sustancias alimenticias no vivientes como el pescado son mucho más susceptibles a la contaminación bacteriana y destrucción, y requieren métodos de conservación más estrictos, también se ven afectadas por la actividad de enzimas naturales. Las enzimas que causan las -

mayores dificultades son aquellas que catalizan hidrólisis y oxidación, - como en la disociación de las grasas. El factor principal que limita la buena conservación del pescado tanto en su estado de congelación como de descongelación es su rancidez; ésta es causada por la oxidación de - las grasas. Al congelar el pescado estamos reduciendo grandemente la actividad tanto de enzimas como de microorganismos.

Cuando congelamos pescado, que normalmente se almacena por largos periodos en esa condición, debe usarse un método median
te el cual la congelación se efectúe rápidamente. Esto se hace colocando el producto a baja temperatura y manteniéndolo por un periodo de -
tiempo tan corto como sea posible a las temperaturas a las que se for-
man los mayores cristales de hielo, ya que estos romperán las células
de los tejidos y dañarán las paredes de las mismas, con lo cual, des--
púes de la descongelación del pescado, se escapará el jugo, reduciendo
considerablemente su calidad.

La congelación es el método natural de preservación, es
decir, el método usado por la misma naturaleza; es sabido que las vita
minas se preservan mejor por este método que por cualquier otro.

O. K. Tressler resumió las ventajas principales de la --
congelación rápida sobre la lenta en tres puntos.

1. - Los cristales de hielo que se forman son mucho más
pequeños, causando por lo tanto menos daño a las células.

2. - El periodo de congelación más corto, permite menos tiempo para la difusión de las sales y la separación del agua en forma de hielo.

3. - El producto se enfría rápidamente abajo de la temperatura a la cual ocurre el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras, evitando así la descomposición durante la congelación.

Experimentos recientes indican que el pescado sufre poco daño celular cuando se enfría lentamente, o no sufre daño alguno; esto no significa que el pescado congelado rápidamente, no sea superior al que se congela lentamente.

La carne de pescado tiene la siguiente composición aproximada :

- Aceite y agua	80 %
- Proteínas	18 %
- Ceniza	1.3 %

El contenido de aceite varía más que ningún otro componente. Algunas especies contienen como promedio menos de 1 % de aceite y otras tiene hasta 20 %.

El pescado contiene muy cerca de 18 % de proteínas, y la composición de éstas está bien proporcionada en aminoácidos indispensables, sin que haya ninguna deficiencia de ninguno de los más importantes. Los minerales que se hallan en el pescado son: Ca, Cu, Fe, -

Mg, P, K, Na, Cl₂, y S. Contiene también proporción relativamente grande de yodo, fluor y arsénico, los dos últimos en combinaciones orgánicas, que no producen efecto tóxico.

La carne de pescado es buena fuente de la mayoría de las vitaminas del complejo B, y las vísceras contienen vitamina B₁₂, riboflavina y tiamina. La vitamina C se halla en regular proporción en las huevas. En muchos hígados de pescado hay gran cantidad de vitamina A, y contienen buena cantidad de vitamina D el de algunas especies.

Además de estas sustancias mencionadas se hallan muchas otras.

Los aceites de pescado se caracterizan por su proporción relativamente grande de ácidos grasos insaturados en forma de triglicéridos. Los ácidos saturados hacen aproximadamente 25% de los ácidos totales. La mayoría de los ácidos insaturados son: C₁₆ (principalmente el palmitoleico), C₁₈ (sobre todo oleico y algo de octadecatrienoico), C₂₀ y C₂₂. Dichos aceites contienen bastante cantidad de colesterol, lecitina y menor proporción de éteres de glicerol, como el alcohol batflico (α - éter de glicerol y alcohol-octadecílico). Un componente común de muchos aceites de pescado es el escualeno, C₃₀H₅₀, que contienen 6 enlaces dobles.

La harina de pescado y los solubles de pescado son artículos importantes de comercio, sobre todo en la rama de alimentos para -

aves de corral, y su composición tiene relación importante con su valor nutritivo.

En este breve bosquejo de la composición del pescado y su riqueza en contenido alimenticio, nos preguntamos, ¿ Porqué México, siendo un país que cuenta con este recurso natural ictiológico, en gran cantidad, no lo ha aprovechado, hasta la fecha, como una de las principales fuentes de alimentación ?

La causa se debe a que uno de los mayores obstáculos con que tropieza la pesca para su desarrollo, consiste en que se trata de un producto de fácil descomposición y que además los centros de consumo nacionales se encuentran muy distantes, por lo que es necesario empacar los productos o congelarlos, para que lleguen en buenas condiciones a su destino. Por ello se ha desarrollado la zona I, que comprende de las aguas frente a Baja California, Sonora, Sinaloa y Nayarit; canalizando su actividad a la exportación.

También no hay que olvidar que el desarrollo de una pesquería esta determinado no sólo por la abundancia de la población pesquera aprovechable sino también por el mercado que existe para los productores. Lamentablemente la pesca en México está orientada a la exportación, de suerte que la actividad es inestable y nuestros productos están en manos del comprador externo; además esta situación ha hecho que los precios del producto sean altos para el mercado interior, -

restringiendo aún más el consumo nacional.

Conociendo el completo valor alimenticio que tiene el pescado y que además México lo posee en gran cantidad, vemos la importancia que tiene este producto para que sea consumido por nuestro pueblo, desde luego para que esto se lleve a cabo se tienen que vencer muchos obstáculos de orden técnico, político y económico.

Lo primero es incrementar la pesca y lo segundo desarrollar técnicas para industrializar el producto. El objetivo de este trabajo es contribuir, aunque en forma mínima, a lo segundo.

II. - TRANSFERENCIA DE CALOR.

La transferencia de energía, en forma de calor, tiene lugar en casi todos los procesos industriales: los conceptos fundamentales y la teoría son aplicables a todos los problemas técnicos. En esta investigación me refiero específicamente, a la transferencia de calor aplicada en la congelación. Para poder comprender mejor este fenómeno comenzaré exponiendo los conceptos fundamentales y la teoría de la transferencia de calor en general, para después aplicarlos a la congelación y en especial al pescado.

La idea de calor está supeditada a la idea de su transmisión desde un cuerpo a otro de menor temperatura. Por lo tanto podemos definir el calor, como aquella energía que se transmite gracias a una diferencia de temperatura. La cantidad de calor que deba agregarse o retirarse de una masa dada de material, para obtener un cambio-

específico en su temperatura, puede calcularse por :

$$Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

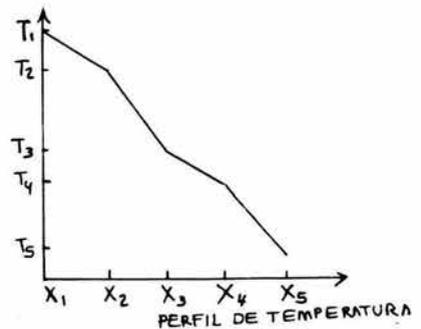
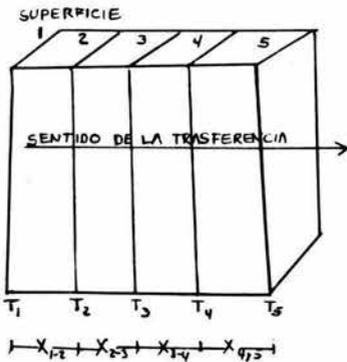
Tres son los mecanismos por los cuales puede efectuarse la transmisión de calor, aunque se han clasificado en estos tres conceptos, en realidad la naturaleza no admite este intento de simplificación; los problemas de conducción pueden incluir aspectos de radiación y convección y los de convección invariablemente implican conducción y radiación. En algunos casos es posible determinar como datos separados el calor transmitido por cada uno de los diferentes métodos: en muchos otros casos sólo es posible determinar transferencia de calor total. En todo caso, en la actualidad, la solución de los problemas de -- transmisión de calor requiere la aplicación de las leyes que rigen los -- fenómenos de conducción y radiación, leyes que han sido establecidas desde hace muchos años, y requieren también datos empíricos que han sido determinados con exactitud en años recientes.

Muchos investigadores trabajan actualmente para conocer muchas incógnitas que hasta la fecha han permanecido como tales.

Conducción. - Es el flujo de energía térmica a través de una sustancia desde una zona de temperatura superior a otra de temperatura más baja; el calor se transmite de una parte a otra en un mismo cuerpo, o bien por contacto físico entre dos cuerpos. Se efectúa me-- diante interacciones atómicas o moleculares. El flujo de energía es -

una consecuencia del movimiento al azar de las moléculas de alta temperatura a las zonas de temperatura inferior, y viceversa. Al chocar con moléculas de la zona de temperatura inferior, las moléculas de alta -- temperatura pierden parte de su energía. Lo contrario ocurre en la zo-- na de temperatura alta. Estos procesos tienen lugar casi instantánea-- mente en distancias infinitesimales, originando así un estado de cuasi-- equilibrio con transmisión de energía.

Representando este mecanismo esquemáticamente:



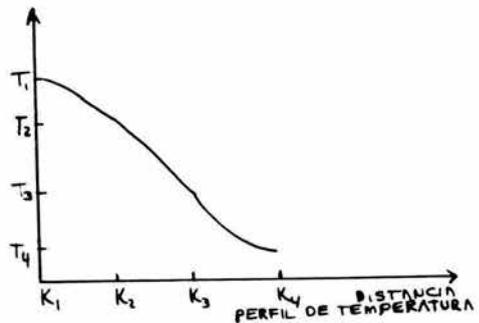
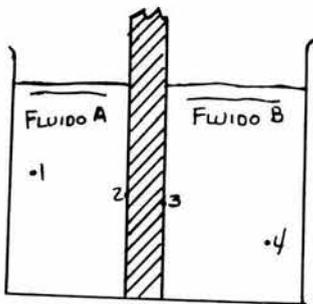
Convección. - Es la transmisión de calor por movimien-- to físico real desde un lugar a otro de una substancia, en la que está al-- macenado dicho calor. Esta transmisión puede efectuarse entre un pun-- to y otro de un fluido, entre un fluido y un sólido o entre dos fluidos, de-- bido al movimiento o mezclado de los fluidos que se consideran. Técni-- camente denota intercambio térmico no radiante entre una superficie y un fluido que se desplaza sobre ella. Aunque el flujo de calor por con-- ducción también se efectúa en este proceso, el hecho fundamental es la

transmisión de calor por flujo de fluido. Existen dos métodos de convección :

Convección {

- Natural. - Cuando el movimiento se debe solamente a - las diferencias de densidades producidas por las diferencias de temperaturas.
- Forzada. - Cuando el movimiento se favorece por proce- dimientos mecánicos.

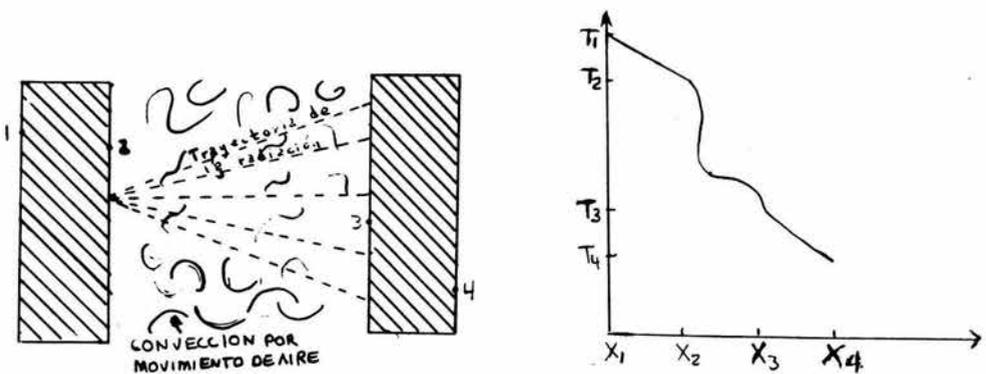
Representando este mecanismo esquemáticamente :



Radiación. - Es otra forma de transmisión de calor -- que se lleva a cabo por absorción de energía radiante. Esta energía - es radiada por sólidos, líquidos y gases ; se produce en forma de ondas electromagnéticas y cubre todo el espectro magnético, extendiéndose - desde la zona de onda de vacío del espectro a través de las zonas del - infrarrojo, radiación visible, ultravioleta, rayos X y rayos γ .

En la tierra la energía radiante de los cuerpos se encuentra en la región del infrarrojo. Los cuerpos emiten ondas electromagnéticas en todas direcciones y a todas las temperaturas, su propiedad más importante es transmitir energía, y cuando ésta incide sobre un cuerpo una parte se absorbe, otra se transmite y una tercera se refleja. Las ondas absorbidas generalmente se transforman en calor. La emisión de radiación se explica a base de átomos y núcleos excitados, esto se lleva a cabo cuando una sustancia externa suministra energía que se convierte en movimiento térmico y finalmente en excitación; poco tiempo después de la excitación, los electrones vuelven a sus órbitas normales y expulsan el excedente de energía ΔE en forma de radiación de frecuencia ν .

Un esquema que nos ilustra este fenómeno combinado con el de la convección sería;



Como mencioné en un principio, la transferencia de calor se efectúa por una o más de los mecanismos citados, pero su velocidad de transmisión se efectúa como:

$$\frac{d\theta}{dt} = \text{velocidad de flujo calorífico} = UA (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{UA}} \quad (1)$$

En donde $\frac{d\theta}{dt}$ = velocidad de transmisión de calor $\left(\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}\right)$

t = tiempo (hr)

U = coef. global medio de transmisión de calor $\left(\frac{\text{Kcal}}{\text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

A = superficie de transmisión (m^2)

T_1 = temperatura en el punto 1

T_2 = temperatura en el punto 2

En general el flujo de cualquier clase de energía está determinado por una fuerza impulsora y una resistencia.

En electricidad, por ejemplo será:

$$I = \frac{\Delta E}{R}$$

En termotecnia será:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta T}{1/UA} \frac{\Delta T}{R_{1-2} R_{2-3} + \dots} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{K_{1-2}} + \frac{1}{K_{2-3}} + \dots}$$

Aquí R = Resistencia a la transferencia de calor \neq resisti-
vidad.

K = Conducción \neq conductividad.

- C o n d u c c i ó n -

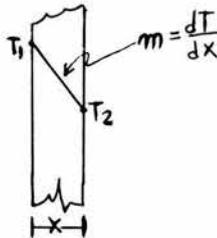
La transferencia de calor en un sólido es la parte más -
sencilla de este tema. El concepto de la ecuación (1) nos lleva a la ex-
presión conocida como ley de Fourier.

$$\frac{dQ}{dt} = -k A \frac{dT}{dx} \text{ ----- (2)}$$

Donde k = conductividad calorífica del sólido $\left(\frac{Kcal}{hr^{\circ}C/m \ m^2} \right)$

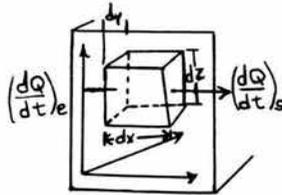
x = distancia

El signo (-) se incluye convencionalmente para hacer positiva
 $\frac{dT}{dx}$ cuando el calor fluye en la dirección en que crece x , ya que $\frac{dT}{dx}$
es entonces negativa.



Ecuación diferencial de la conducción. - El flujo de calor se co-
noce por la variación de la temperatura con la posición y el tiempo. Es-

ta es una expresión del 1er. Principio de la Termodinámica aplicado al flujo de calor, se deduce haciendo un balance de calor en un elemento de volumen del medio. Consideremos la siguiente figura .



Tomamos la dirección x, el flujo neto de calor será.

LO QUE ENTRA = LO QUE SALE

en un elemento de volumen en un tiempo dT aplicando la ec. (2)

$$(dQ)_x = -kdydz \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_x dt - \left[-kdydz \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x+dx} dt \right] \quad (3)$$

Puede hacerse imposible la solución analítica de esta ecuación - porque la variación de k con la temperatura es muy difícil de expresarse, por lo que se acostumbra usar un valor medio apropiado que se considera constante. La ecuación (3) puede entonces modificarse.

$$(dQ)_x = kdydzdx \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x+dx} - \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_x}{dx} dt \quad (4)$$

Cuando $dx \rightarrow 0$

$$(dQ)_x = kdydzdxdt \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (5)$$

Expresiones similares a (5) son válidas para las direcciones y , z .

Debe tomarse en cuenta también el calor producido dentro del elemento de volumen, a una velocidad uniforme B por unidad de volumen y tiempo, cuyo valor será: $B dx dy dz dt$.

Pero el flujo neto de calor que entra en el elemento debe manifestarse también como energía almacenada y ser igual a $dx dy dz \rho C_p dt$

Donde:

$$\rho = \text{densidad del medio } \frac{m}{v}$$

$$C_p = \text{Calor específico}$$

Igualando el flujo neto a la energía almacenada y haciendo tender a cero dx , dy , dz y dt tenemos:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulación}$$

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{Acumulación}$$

$$\text{Flujo Neto} + \text{calor producido} = \text{Acumulación}$$

Para una dimensión

$$\frac{dQ}{dt} = k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right] + B = \rho C_p dT$$

Para las tres dimensiones.

$$dQ = k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + B = \rho C_p \frac{dT}{dt} \text{ ----- (6)}$$

o También.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho C_p} \left[k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + B \right] \text{----- (6')}$$

Cuando no existe fuente de calor

$$\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] = \frac{1}{k/\rho C_p} \frac{dT}{dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{dT}{dt} \text{--- (7)}$$

La relación $\frac{k}{\rho C_p} = \alpha$ Se conoce como difusividad térmica y es la propiedad térmica de un material causante del flujo de calor momentáneo.

Conducción en régimen estacionario. - Esta situación ocurre -- cuando la temperatura en todos los puntos es constante con el tiempo o, - lo que es lo mismo en términos matemáticos: $\frac{dT}{dt} = 0$

Haciendo este análisis con la ec. de Fourier vemos que el segundo miembro es independiente del tiempo, por lo que podemos escribirla como:

$$\frac{dQ}{dt} \int \frac{dx}{A} = - \int k dT \text{----- (8)}$$

Cuando A varía con x, y k con T se necesita integrar (8). Cuando A es constante y k es independiente de T entonces (8) se transforma en:

$$\frac{q}{A} (x_2 - x_1) = -k (T_2 - T_1) \text{----- (9)}$$

donde $q = \frac{dQ}{dt}$

o sea $q = \frac{kA (T_1 - T_2)}{x_2 - x_1} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x / kA}$ ----- (9')

Si la conductividad, k , varía con T el gradiente de temperatura no permanece constante, y para resolver la integral (8) se recurre al procedimiento gráfico y al matemático si la relación entre k y T es lineal ($k = a + bT$), o, bien, se usa una k_m en lugar de k , siempre y cuando la variación dentro de los límites de temperatura fuese pequeña, escribiéndose la ecuación una vez integrada:

$$q = \frac{k_m A_m (T_1 - T_2)}{x_2 - x_1} = \frac{k_m A_m (-\Delta T)}{\Delta x} = \frac{-\Delta T}{\Delta x / k_m A_m} \text{ ----- (9'')}$$

Para transmisión de calor en figuras cilíndricas tenemos:

$$q = \frac{dQ}{dt} = -k (2\pi r \ell) \frac{dT}{dr} \text{ ----- (10)}$$

donde ℓ = longitud del cilindro

r = distancia radial

Ordenando:

$$\frac{dr}{r} = -\frac{k}{q} 2\pi \ell dT \text{ ----- (10')}$$

Integrando, suponiendo k constante e igual a k_m

$$\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) = \frac{-k_m 2\pi \ell (T_2 - T_1)}{q} \text{ ----- (11)}$$

$$q = \frac{2\pi \ell^k m (T_1 - T_2)}{\text{Ln} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \text{-----} (11')$$

esta ecuación se puede escribir

$$q = \frac{2\pi \ell^k m (T_1 - T_2) (r_2 - r_1)}{\text{Ln} \left(\frac{r_2}{r_1} \right) (r_2 - r_1)} \text{-----} (11'')$$

La ec. (9'') haciendo $A_m = 2\pi r_m \ell$ queda:

$$q = \frac{2\pi r_m k_m (T_1 - T_2)}{r_2 - r_1} \text{-----} (9''')$$

Iguando los segundos miembros de (11'') y (9''')

$$r_m = \frac{r_2 - r_1}{\text{Ln} (r_2 - r_1)}$$

Esta ec. puede escribirse

$$(2\pi \ell) r_m = \frac{(2\pi \ell) r_2 - (2\pi \ell) r_1}{\text{Ln} \frac{(2\pi \ell) r_2}{(2\pi \ell) r_1}}$$

Por lo tanto .

$$A_m = \frac{A_2 - A_1}{\text{Ln} \frac{A_2}{A_1}}$$

Conducción en régimen no estacionario. - Esta situación se presenta cuando la temperatura es función del tiempo. Una simple adición de cálculos propios del régimen estacionario puede ser un método aproximado para calcular el calor transmitido en este tipo de proceso.

El método riguroso no es más que una generalización de la ecuación fundamental de Fourier. Siendo la ec. diferencial general para la transmisión por conducción en régimen no estacionario.

$$\frac{1}{\rho C_p} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] = \frac{\partial T}{\partial t}$$

Si el material es homogéneo e isótropo, y si se desprecia la variación de k con la temperatura dentro del elemento de volumen, la ecuación resulta.

$$\frac{k}{\rho C_p} \left[\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \right] = \frac{\partial T}{\partial t}$$

Si la plancha es infinita, en la que la relación de superficie a espesor es grande, la corriente de calor es unidireccional a través del espesor x y la ecuación anterior se convierte en:

$$\frac{k}{\rho C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial t}$$

Todas estas ecuaciones, de régimen no estacionario, son de 2º orden, han sido integradas en distintas condiciones y límites y sus re-

sultados se encuentran representados gráficamente.

- Convección -

La velocidad de transmisión por convección entre la superficie de un sólido y un fluido, es decir, el flujo de calor a través de la película de fluido que se supone se adhiere a la superficie de cualquier sólido en contacto con un fluido se puede expresar como :

$$q = hA (t_1 - t_2) \text{ ----- (1)}$$

El calor puede transmitirse a la superficie por convección solamente y se simboliza por h_c , puede transmitirse por radiación y se simboliza por h_r . Cuando se presentan la convección y la radiación $h = h_c + h_r$

h_c para convección formada. - Cuando se supone que el fluido es turbulento se usan 3 métodos para desarrollar una expresión matemática : mediante representación de datos experimentales por fórmulas puramente empíricas ; por análisis matemático del flujo del fluido, convertido a unidades térmicas, mediante una analogía entre razonamiento de fluidos y transmisión de calor ; el tercero es por aplicación de los principios del análisis dimensional, juntamente con la introducción de constantes numéricas, derivadas de datos experimentales. Como hay poca exactitud en los dos primeros métodos además de su complejidad, el método de análisis dimensional será el utilizado para desa-

rollar una expresión.

Si la magnitud y forma de la corriente están expresados en función del diámetro, el coeficiente superficial de convección puede expresarse en forma de igualdad como sigue :

$$\frac{q}{A\Delta T} = h_c = f(D, v, \mu, \rho, C_p, k)$$

donde :

h_c = coef. superficial de convección

D = Diámetro de la corriente de fluido

v = velocidad

μ = Viscosidad absoluta

ρ = densidad

C_p = Calor específico a P constante

k Conductividad térmica.

De acuerdo con el teorema π tenemos :

$$\Pi = h_c^a D^b v^d \mu^e \rho^f C_p^g k^m$$

Utilizando el sistema absoluto

$$[D] = L$$

$$[v] = \frac{L}{T}$$

$$[\mu] = \frac{FT}{L^2} \quad \frac{M}{LT}$$

$$[\rho] = \frac{M}{L^3}$$

$$[C_p] = \frac{H}{M \theta} = \frac{FL}{M \theta} = \frac{L^2}{T^2 \theta}$$

$$[k] = \frac{H}{TL \theta} = \frac{FL}{TL \theta} = \frac{ML}{T^3 \theta}$$

$$[h_c] = \frac{H}{TL^2 \theta} = \frac{FL}{TL^2 \theta} = \frac{M}{T^3 \theta}$$

Expresado por dimensiones

$$\Pi = \left(\frac{M}{T^3 \theta} \right)^a L^b \left(\frac{L}{T} \right)^d \left(\frac{M}{L^3} \right)^e \left(\frac{M}{L^3} \right)^f \left(\frac{L^2}{T^2} \right)^g \left(\frac{ML}{T^3} \right)^m$$

$$\Pi = M^{a+e+f+m} L^{b+d-e-3f+2g+m} T^{-3a-d-e-2g-3m} \theta^{-a-g-m}$$

De donde se obtienen las siguientes ecuaciones simultáneas

$$a + e + f + m = 0$$

$$b + d - e - 3f + 2g + m = 0$$

$$-3a - d - e - 2g - 3m = 0$$

$$-a - g - m = 0$$

Tenemos 4 ecuaciones y 7 incógnitas, habrá en el resultado -- tres grupos adimensionales, ó 3 términos.

Puesto que se busca una fórmula de h_c , se hace $a = 1$. Si se asignan los valores arbitrarios $d = 0$ y $e = 0$ se obtiene $b = 1$, $f = 0$ -

$g = 0$ y $m = -1$, por lo tanto !

$$\Pi_1 = \frac{h_c D}{k} \quad \text{Núm. de Nusselt}$$

Para obtener un Π_2 $a = 0$. Si se asignan los valores arbitrarios $b = 1$ y $g = 0$ se obtienen $d = 1$, $e = -1$, $f = 1$, y $m = 0$. Por lo tanto:

$$\Pi_2 = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad \text{Núm. de Reynolds}$$

Para encontrar Π_3 se hace la suposición de que $a = 0$. Si se asignan los valores arbitrarios $g = 1$ y $f = 0$; obtendremos $b = 0$, $d = 0$, $e = 1$ y $m = -1$. Por lo tanto

$$\Pi_3 = \frac{C_p \mu}{k} \quad \text{Núm. de Prandtl}$$

Según el teorema

$$f \left(\frac{h_c D}{k}, \frac{Dv\rho}{\mu}, \frac{C_p \mu}{k} \right) = 0$$

Una solución podría ser:

$$\frac{h_c D}{k} = f \left(\frac{Dv\rho}{\mu}, \frac{C_p \mu}{k} \right)$$

$$\frac{h_c D}{k} = f_1 \left(\frac{Dv\rho}{\mu} \right) f_2 \left(\frac{C_p \mu}{k} \right) \quad \text{Núm. de Nusselt}$$

f_1 y f_2 pueden representarse haciendo gráficas con los resultados de muchas pruebas. Para muchos casos pueden expresarse por la siguiente ecuación:

$$\frac{h_c D}{k} = C \left(\frac{D v \rho}{\mu} \right)^b \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^d$$

Para líquidos que se calientan en el interior de tubos se aplica:

$$\frac{h}{C_p} = .023 \left(\frac{\mu}{D v \rho} \right)^{-0.2} \left(\frac{\mu C_p}{k} \right)^{0.6}$$

Para líquidos que se enfrían en el interior de tubos:

$$\frac{h}{C_p v \rho} = .023 \left(\frac{\mu}{D \rho v} \right)^{.2} \left(\frac{k}{\mu C_p} \right)^{.7} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{.14}$$

Para cualquier fluido a condiciones isotérmicas.

$$h = .023 \left(\frac{v^{.8} \rho^{.8}}{D^{.2}} \right) \left(\frac{C_p^{.4} k^{.6}}{\mu^{.4}} \right) = b \left(\frac{v^{.8} \rho^{.8}}{D^{.2}} \right)$$

Convección forzada. - La fórmula que se emplea con más frecuencia y con mejores resultados para calcular la transmisión de calor desde o hacia un fluido que circula entre dos tubos concéntricos es:

$$\frac{h}{C_p v \rho} = .029 \left(\frac{\mu}{D_i G} \right)^{.2} \left(\frac{k}{\mu C_p} \right)^{2/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{.14} \left(\frac{D_o}{D_i} \right)^{.15}$$

Donde:

D_i = Diámetro interno

D_o = Diámetro exterior

G = velocidad másica

μ_s = viscosidad a la temperatura de la pared

Convección natural. - Una tubería de vapor no aislada térmicamente transmite calor al aire por convección natural y también por radiación, la transmisión de calor al aire por convección desde cilindros o láminas se expresa en Kcal/hrm² °C. Para cilindros

$$h = .358 \left(\frac{T_s - T_{aire}}{D} \right) .25$$

Para planchas verticales de más de 1 m de altura

$$h = .17 \left(\frac{T_s - T_{aire}}{D} \right) .25$$

T_s = temperatura de la superficie

D = diámetro exterior del cilindro

La ecuación para cilindros suele ser imprecisa para diámetros de más de .30m.

- R a d i a c i ó n -

La radiación es una forma de energía de naturaleza electromagnética, que se propaga en todas direcciones y en línea recta a una velocidad igual a la de la luz. A un cuerpo que es capaz de absorber la totalidad de la energía incidente se le llama cuerpo negro. Si el cuerpo no es selectivo para ninguna radiación se le llama cuerpo gris.

El cuerpo negro se caracteriza por radiar la máxima cantidad de energía por unidad de superficie, radiación que depende de la temperatura una vez que se alcanza el equilibrio.

$$Ia_1 = E_1 \quad \text{Donde:}$$

$$a_1 = \frac{E_1}{I} \quad \begin{array}{l} a_1 = \text{coef. de absorción} \\ I = \text{energía radiante que incide} \\ E_1 = \text{energía emitida} \end{array}$$

Cuando no se trata de cuerpo negro la intensidad depende también de la emisividad. La cantidad total de energía emitida por unidad de área se expresa por:

$$E = \frac{q}{A} = e \sigma T^4$$

e = relación entre energía emitida por un cuerpo y la que emitiría un cuerpo negro de las mismas dimensiones y a la misma temperatura.

$$\sigma = \text{Constante de Stefan - Boltzmann } (4.92 \times 10^{-8} \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{K}^4})$$

$$T = \text{temperatura absoluta del cuerpo } (^{\circ}\text{K})$$

Todos los cuerpos absorben y emiten energía; por lo tanto, la cantidad total de energía transmitida por radiación será la diferencia entre la emitida y la absorbida, así tendremos:

$$q_{1,2} = A_1 \sigma \left[e_1 T_1^4 - a_{1 \leftarrow 2} T_2^4 \right]$$

$$\frac{q_{1,2}}{A_1} = 4.92 \left[e_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - a_{1 \leftarrow 2} \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2}$$

Esta ecuación es válida para calcular la transmisión entre un objeto y las paredes del recinto que lo contienen, sobre todo cuando la superficie del cuerpo es pequeña comparada con la de las paredes del recinto. Admitiendo las condiciones de cuerpo gris.

$$q_{1,2} = 4.92 A e_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Coefficiente de transmisión de calor por radiación. - La mayor de las veces la convección y la radiación se presentan combinadas, para resolver este problema se calcula por separado el calor que se transmite por cada uno de los mecanismos y se suman los resultados.

Muchas veces resulta cómodo calcular el calor transmitido por radiación por la misma ecuación $q = hA (T_1 - T_2)$ que se emplea para la convección. Esto se hace combinando las ecuaciones ---- $q = hA (T_1 - T_2)$ y $q = 4.92 A e_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$ y despejando después el coeficiente de transmisión por radiación h_r .

$$h_r = \frac{4.92 e_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_2}$$

Transmisión de calor en la refrigeración. - La refrigeración se define como el proceso de remoción de calor que trata con la reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o substancia, - por debajo de la temperatura ambiente.

Para lograr lo anterior debe existir una transferencia de calor del cuerpo que se refrigera a otro cuerpo cuya temperatura se encuentra abajo de la del refrigerado.

La refrigeración comprende 2 aspectos: enfriamiento, - reducción de la temperatura pero sin llegar al punto de congelación; congelación, reducción de la temperatura por abajo del punto de congela---ción del agua.

De la misma manera que para el caso de la elevación de-
temperatura, la cantidad de frío (calor perdido por un cuerpo) neces-
aria para hacer descender la temperatura de un material de t_0 hasta t_1
viene dada por:

$$Q = mC_p (t_0 - t_1)$$

La producción de refrigeración se basa en los tres pun-
tos siguientes:

1. - Todos los líquidos al evaporarse absorben calor de cuan-
to los rodea.
2. - La temperatura a que hierve o se evapora un líquido de-
pende de la presión que se ejerce sobre dicho líquido.
3. - Todo vapor puede volver a condensarse, convirtiéndose -
en líquido, si se comprime y enfría debidamente.

Este proceso se completa con el empleo de líquidos, llamados refrigerantes y más comúnmente gases, cuyos puntos de ebullición - - sean muy bajos. Un sistema de refrigeración constituido por evaporador, expandidor, compresor y condensador es un sistema mecánico cuya función es producir el cambio de estado del fluido refrigerante absorbiendo calor en el evaporador y expulsándolo en el condensador. La - - transferencia la realiza el fluido refrigerante.

Para obtener una buena refrigeración, desde un punto de vista comercial, todo refrigerante debe reunir en el mayor grado posible las siguientes características :

- Calor latente de evaporación muy lenta
- Punto de ebullición, a la presión atmosférica, suficientemente bajo con respecto a las condiciones de funcionamiento deseadas.
- Temperaturas y presiones de condensación bajas.
- Volumen específico del vapor saturado pequeño para poder usar un compresor y tuberías con dimensiones reducidas.
- No afectar la naturaleza del lubricante.
- Composición química estable en las condiciones de funcionamiento de la máquina frigorífica.

- No afectar los metales empleados en las diversas piezas de la instalación.
- Ininflamable, no tóxicos, ni ofensivos, ni **explosivos** y fácil de localización en las fugas.
- No atacar a los alimentos que deben conservar.
- Inodoro o con un ligero olor no desagradable.
- Ser barato y de fácil obtención.

La refrigeración mecánica tiene por objeto, absorber el calor contenido en los cuerpos que se desea refrigerar y en el ambiente que los rodea para conservarlos dentro de unos límites de temperatura entre los cuales está la temperatura de conservación adecuada a dichos -- cuerpos.

Para obtener un rendimiento aceptable es necesario que los -- cuerpos que se desea refrigerar, estén almacenados en un recinto, (Cámaras frigoríficas) térmicamente aislada del exterior, a fin de reducir -- en lo posible la transmisión, a través de las paredes, del calor contenido en el aire exterior.

Con el uso de dichas cámaras podemos reducir la producción -- frigorífica, una vez obtenida la temperatura deseada en su interior a absorber simplemente el calor que se transmite a través de las paredes, -- techo, suelo y puertas.

El problema que se presenta, a la refrigeración mecánica, - es absorber el calor de los cuerpos y ambiente que los rodea a una temperatura baja y transmitirlo o disiparlo a otro ambiente que está a una temperatura más alta.

La refrigeración mecánica es ante todo una aplicación de la termodinámica en que el medio refrigerante sigue un ciclo de manera - que se puede recuperar, para volver a usarse.

Los sistemas de uso hoy día para producción de frío son: el de absorción y el de compresión mecánica; existiendo también el ciclo - de chorro de vapor o eyección de vapor y aire.

Sistema de compresión mecánica. - Los equipos frigoríficos a base de compresor son los que se emplean de modo casi general para - la producción de frío artificial. Su ciclo de funcionamiento es el siguiente:

1° Evaporación. - El calor entra en el refrigerador por radiación sobre las paredes del refrigerador, por conducción a través del aislamiento y por convección dentro del circuito de aire en el interior del refrigerador, por las entradas de género a temperaturas altas y por la - abertura de puertas.

Este calor sensible se dirige hacia las paredes del evaporador provocando la ebullición del refrigerante líquido y convirtiéndose en calor latente de evaporación.

2° Compresión. - Dicho refrigerante evaporado es succionado por el compresor, en el que al ser comprimido, en un espacio reducido aumenta la temperatura y, por consiguiente también la presión pasando al condensador.

3° Condensación. - La temperatura del refrigerante, en estado de vapor y comprimido, es superior a la del medio de enfriamiento (aire o agua) absorbiendo este el calor latente y dando lugar a la condensación del refrigerante que sale entonces a presión y en estado líquido - al depósito, de donde se dirige nuevamente al evaporador para repetir - el ciclo.

Ciclo de absorción. - El ciclo de absorción logra una com-presión, usando un fluido secundario para absorber el gas refrigerante, que deja el evaporador a baja presión y temperatura elevadas. El refrigerante más usado en el ciclo básico es el amoniaco; el fluido secundario en este caso es el agua. El condesador, el depósito, la válvula de - expansión y el evaporador son esencialmente los mismos que en cual- - quier ciclo de compresión de gas.

El trabajo del ciclo se basa en el principio de que la tensión de vapor en un refrigerante disminuye al añadírsele un absorbente que - tiene una tensión de vapor más alta; y cuanto más grande sea la canti- - dad de absorbente usada, mayor será la disminución de tensión de vapor del refrigerante. Manteniendo la solución en el absorbedor a temperatu

ra y concentración adecuadas, la tensión del vapor de la solución puede conservarse más baja que la del refrigerante en el evaporador. Rociando la solución diluida del absorbedor, se hará que el vapor refrigerante fluya del evaporador al absorbedor. La solución concentrada así lograda en el absorbedor circula mediante una bomba por un intercambiador de calor hacia el generador, donde se aplica calor para ceder el vapor refrigerante. Después viene la condensación, expansión y evaporación como en el ciclo normal de compresión.

Equipo utilizado en refrigeración

Compresores. - Los compresores de refrigeración pueden ser de desplazamiento positivo de tipo alternativo, rotatorio o de engranajes para presiones altas y medias, o centrífugos para baja presión. - Los compresores alternativos modernos son verticales, de efecto simple, multicilíndricos, de gran velocidad de émbolo y constituidos como los motores de automóvil. Los compresores de amoníaco y otros de tipo pesado requieren refrigeración por agua, mientras que la mayoría de los cilindros de compresores de freón son refrigerados por aire.

Condensadores. - Pueden ser refrigerados por aire para capacidades pequeñas y medias; o por agua en los tipos de cámara y tubo, haz tubular, de lluvia (o serpentín) o de tubos dobles. Debido a las grandes cantidades de agua condensada requeridas, se usan corrientemente torres de enfriamiento o rociadores a efecto de volver a enfriar -

el agua para su nuevo uso.

Evaporadores. - Son elementos enfriadores colocados en el lugar (o en el circuito del fluido) que se va a enfriar. Se usan muchos serpentines lisos o con aletas, con circulación forzada de fluido que se está enfriando o sin ellas. Los enfriadores de haz tubular en cuerpo cilíndrico o de lluvia, o serpentines sumergidos, se usan frecuentemente cuando se emplea agua o salmuera como medio de enfriamiento secundario.

Válvula de expansión. - La regulación de flujo principal en un sistema de compresión es la válvula de expansión. Permite que el líquido refrigerante se expanda desde la presión elevada del condensador hasta la baja presión del evaporador. La expansión hace que parte del líquido se evapore y, por lo tanto, se enfríe el resto a la temperatura del vaporizador. Se emplean a menudo válvulas de flotación con tobeta de paso en vez de válvulas de expansión, lográndose la regulación de caudal y el mantenimiento de un nivel de líquidos determinado en el evaporador. En los refrigeradores domésticos o neveras, un tubo capilar restringe el caudal desde el condensador al evaporador. Para el funcionamiento automático completo se requiere controles adicionales que -- mantengan la temperatura deseada en el evaporador, para regular el -- funcionamiento del compresor y el caudal del medio condensado, así como para lograr protección de seguridad.

Tratamiento del pescado. - Su tratamiento consiste en una

congelación rápida para conservar el sabor y el contenido vitamínico ; - se opera de esta forma porque cuando se congela con gran rapidez, los cristales de hielo resultantes son tan pequeños que no rompen las paredes de las células. La máquina congeladora es llevada generalmente, y sobre todo en pesca de altura, a la fuente de suministro, en este caso la fuente de suministro es el mar , por consiguiente el barco pesquero cuenta con una sección para unidades de congelación rápida, el mejor lugar - para este proceso es la cubierta del barco.

El pez atrapado se escama, laba y pasa por una banda de -- transmisión para ser almacenado. Todo el trabajo habitual de preparación de los peces para el mercado se realiza en el barco. También los filetes o rodajas, o quizá todo el pez son congelados rápidamente, en - vueltos y envasados, existe una " mesa de hígado " ya que los hígados -- son guardados separadamente, porque dan un valioso aceite medicinal. Todo este trabajo quedará hecho antes de que el barco llegue a puerto.

Nuestra pesca que no es de altura, sino costera, suele usar como medio de congelación del pescado el hielo, un inhibidor del desa-- rrollo bacterial ; para posteriormente, en la costa generalmente, congelarlo y mantenerlo a una temperatura adecuada.

III. - CONGELACION O DESCONGELACION DE PESCADO.

Los ingenieros de alimentos que tratan con la congelación o descongelación, se encuentran frecuentemente con la necesidad de predecir curvas de temperatura y tiempos de congelación o descongelación. Tales conocimientos pueden ayudarlos en el diseño y optimización de equipo, evaluación del almacenaje, prácticas manuales y predicción de la pérdida de calidad durante el almacenamiento.

Sin embargo, es práctica común, fiarse principalmente en experimentaciones empíricas para estas predicciones. Esto se debe a tres causas:

- 1° . - La disponibilidad limitada de fórmulas teóricas que pueden aplicarse apropiadamente a tales sistemas complicados como los productos alimenticios.

- 2° .- El hecho de que las fórmulas aprovechables son, a lo más, tomadas como aproximaciones, y deben emplearse factores de corrección.
- 3° .- La marcada variedad en las propiedades térmicas de los productos alimenticios individuales, resultando de diferentes variables tales como métodos de agricultura, variaciones estacionales, crecimiento local y semejantes. Puesto que estos parámetros aparecen en las fórmulas teóricas, su disponibilidad se vuelve de mejor importancia.

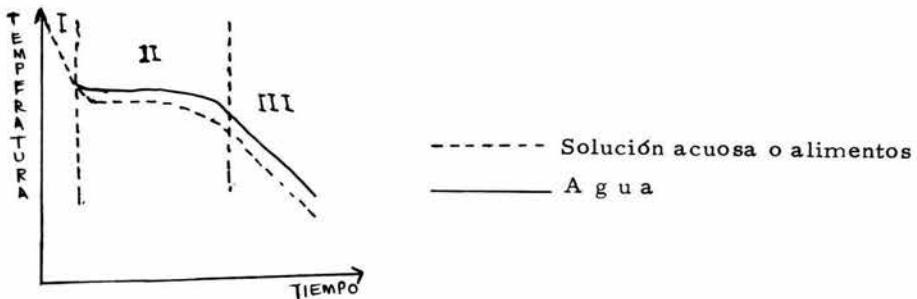
Durante la congelación o descongelación del pescado se llevan a cabo dos procesos: nucleación y cristalización, seguidos estos del crecimiento del cristal y la recrystalización. Esto se lleva a cabo durante el almacenaje congelado o descongelamiento y se refiere a una recrystalización migratoria. El lugar y tamaño de los cristales de hielo formados están asociados con la velocidad de congelación. En general de la congelación lenta resultan cristales de hielo grandes colocados extracelularmente, mientras que de la congelación rápida resultan cristales de hielo pequeños colocados intra y extracelularmente. Los cambios físicos ocurren durante la congelación del sistema acuoso.

a).- Curvas de congelación y descongelación.

Las curvas que describen la relación tiempo-temperatura de

un producto sujeto a un tratamiento de congelación o descongelación dado se refieren a curvas de congelación o descongelación. Estas curvas son importantes en el congelamiento del pescado. A continuación veremos las curvas aplicadas a un sistema de alimentos y posteriormente estudiaremos su aplicación al pescado.

La siguiente figura es un esquema de la curva de congelación del agua y una solución acuosa.



Según Holdsworth el proceso de congelación puede dividirse en los tres siguientes periodos principales:

I. - Periodo de Preenfriamiento. - En este periodo la temperatura del producto desciende a un valor donde puede ocurrir el cambio de fase. En otras palabras, el calor removido del alimento en este tiempo se considera sólo para bajar la temperatura del alimento. El calor transferido a o de un cuerpo sin cambio efectivo de fase se considera como calor sensible. La duración de este periodo depende del gradiente

de temperatura, las propiedades térmicas del producto incongelado, y el coeficiente superficial de la transferencia de calor.

II. - Periodo de cambio de fase. - Este es el periodo en el que se lleva a cabo la cristalización del agua a hielo. En sustancias puras, este periodo se caracteriza por una meseta en el punto de congelación, puesto que el calor removido se caracteriza solo o principalmente para el cambio de fase. Este tipo de calor se considera como calor latente. En el caso de soluciones o alimentos, existe un decrecimiento gradual en la temperatura de tal manera que, en adición a la contribución del calor latente, existe una contribución de calor sensible. Esto se explica por el efecto de concentración.

III. - Periodo de templadura. - Este periodo principia cuando la contribución del calor latente es despreciable comparado al calor sensible. Se caracteriza por un incremento en la velocidad de cambio de temperatura.

Se observa otro periodo después del preenfriamiento, el de superenfriamiento, generalmente este periodo no se considera debido a que su duración es muy corta y en muchos casos no aparece.

Las curvas de descongelación siguen un patrón similar a las curvas de congelación. Sin embargo tienen una meseta distinguible que corresponde a un periodo más largo de cambio de fase. Esto es porque la difusividad térmica del hielo es aproximadamente nueve veces más --

que el agua. En otras palabras, el proceso de descongelación es mucho más lento que el proceso de congelación.

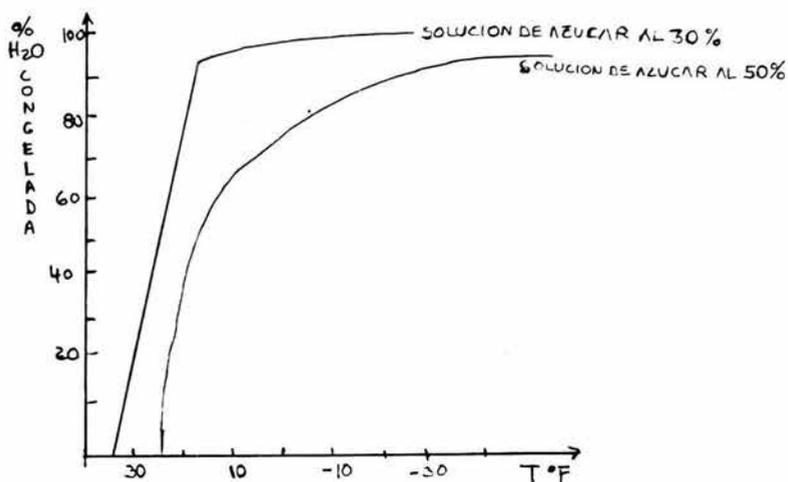
La congelación y descongelación del pescado siguen los mismos lineamientos descritos anteriormente. Por consiguiente con la figura anterior explicamos que se puede obtener un mismo cambio de fase en un tiempo mayor o menor dependiendo de la rapidez con que se aplique el descenso de temperatura, con la ventaja de que con la congela-ción rápida obtenemos un tamaño de cristal pequeño que favorece la calidad de nuestro producto.

b). - Puntos de congelación o fusión.

Muchos alimentos no se congelan en un valor distintivo de temperatura; bastantes cambios de fase ocurren sobre un rango de temperaturas.

Nuevamente, primero explicaremos estos puntos de un modo general y a continuación haremos un análisis para nuestro producto en cuestión.

En la figura siguiente se compara el % de agua congelada como una función de la temperatura para una solución de azúcar al 30% y 50%.



La figura muestra que para la solución de azúcar al 30% la relación entre el % de agua congelada y la temperatura pueden aproximarse a una línea recta en la etapa inicial del congelamiento. Cuando el agua congelada alcanza aproximadamente 90% del agua total contenida, existe un cambio abrupto en la curva, y una reducción bastante de temperatura tiene un efecto mínimo sobre la cantidad de agua congelada. El punto donde existe el cambio abrupto se suele tomar como la temperatura a la que el congelamiento es completo.

Por el contrario, la solución del 50% muestra que el % de agua congelada aumenta gradualmente conforme disminuye la temperatura y en 0 °F solamente se congela el 85% del agua total contenida. Esto indica que la liberación o absorción del calor latente de fusión ocurre so

bre un rango amplio de temperaturas. Así es difícil escoger un punto de congelamiento para este sistema.

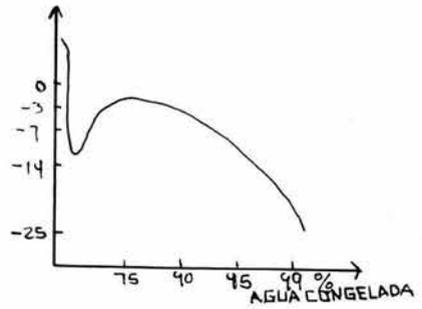
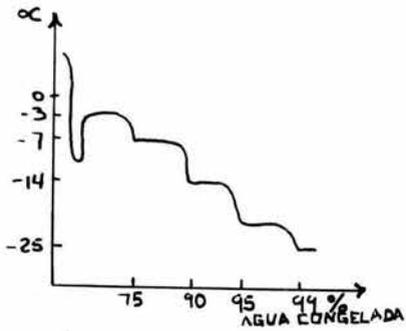
El pescado es un sistema de alimento para el cual se cumple lo segundo, es decir, que el cambio de fase ocurre sobre un rango de temperaturas y no a una temperatura determinada pero se puede alcanzar rápidamente ese cambio de fase aplicado al proceso de congelación rápida, con las ventajas ya mencionadas.

El rango de temperatura para alcanzar la congelación completa está entre -2°C y -25°C aproximadamente. Como podemos observar es un rango bastante amplio y la figura de la curva es parabólica.

Para congelar el pescado y en general los alimentos, todas las propiedades termodinámicas y químicas las da el agua. El proceso de congelación del pescado se hace a base del agua que este contiene -- aproximadamente 83%, y ésta se clasifica como :

- agua en exceso
- agua metabólica
- agua ligada
- agua vital
- residuo incongelable

Y se va congelando de acuerdo a la figura siguiente :



Agua vital. Es la que se encuentra en la parte interna de -
la molécula y le da consistencia.

Residuo incongelable. - Es la porción de agua que permane_
ce sin congelar, esto se debe probablemente a impurezas.

IV. - CONDUCCION DE CALOR CON CAMBIO DE FASE.

La congelación y descongelación del pescado, es un proceso de conducción de calor con cambio de fase, las fórmulas para la solución de este fenómeno son matemáticamente complicadas, porque requieren la contribución de un término adicional para el calor latente en la ecuación de conducción de calor.

Dos problemas separados, son importantes en la conducción de calor con cambio de fase. Uno se aplica a las substancias que tienen un punto distinto de congelación o fusión.

El segundo se aplica a substancias en que el cambio de fase ocurre sobre un rango de temperaturas. En nuestro estudio, el segundo caso es el que nos interesa ya que éste es el aplicable a nuestro producto pescado.

Cabe señalar, sobre el primer problema, que sus soluciones se obtuvieron suponiendo un cambio de fase frontal que avanza por todo el cuerpo durante la congelación o fusión. La localización de este frente es función de la temperatura inicial del alimento, la temperatura ambiente y el punto de congelación o fusión. En otras palabras, el frente es la línea de separación o interfase entre las fases sólida y líquida. -- Las soluciones más conocidas a este problema son la de Newman, Luikov Kreith y Romie, Westphal.

Cambio de fase en un rango de temperatura. - Como ya vimos el pescado se congela en un rango bastante amplio de temperatura (-2°C - -25°C). A continuación describiré las soluciones para estos problemas de transferencia de calor y que son aplicables a nuestro caso.

1. - Método gráfico. - Keller y Ballard desarrollaron un método gráfico para la predicción de cambios de temperatura en un líquido congelado. Su técnica fue demostrada para forma cilíndrica, usando cítricos concentrados así como alimentos y suponiendo que solamente tenía lugar la transferencia de calor en dirección radial.

En esta técnica, el cilindro se divide en incrementos radiales, y para cada incremento se obtiene un balance de calor. Cada incremento de volumen se escoge de tal manera que los incrementos radiales y de tiempo satisfagan la siguiente ecuación.

$$\frac{\Delta r^2}{\Delta t} = 2$$

Donde :

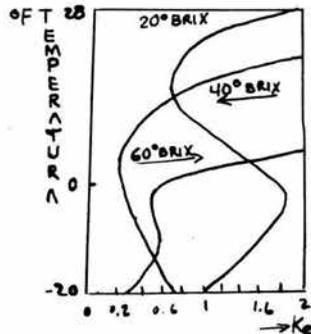
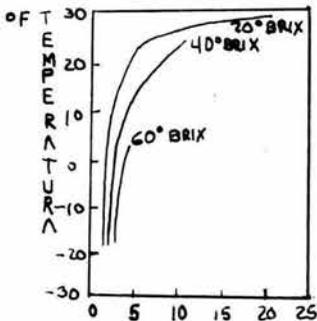
r = radio

t = tiempo

α = difusividad térmica

Para solucionar esta ecuación, definieron una conductividad - térmica efectiva, K_e , y un calor específico, C_e , los cuales incluyen la contribución del calor latente de fusión.

C_e y K_e , se dan como una función de la temperatura. Ballar y Keller han checado su técnica experimentalmente y sus resultados muestran una gran semejanza con los resultados calculados. Los autores, - sin embargo, mencionan que la congelación lenta o la congelación y descongelación repetida de grandes cantidades pueden causar estratificación radial de la porción hielo y líquido del concentrado congelado en el cilindro. Esto causaría que el hielo estuviera más concentrado en la su periferia y el centro prácticamente libre de hielo. En general, el método es una aproximación y es extremadamente tedioso. Por esta razón es raramente utilizado.



2. - Método de Tien y Geiger. - Estos señores continuando con la solidificación de mezclas desarrollaron un modelo basado en el cambio de concepto límite. En su modelo surgieron el reemplazamiento de frente de congelación por una " Zona de congelación " o " Zona mezclada " separando la fase líquida de la fase sólida. Así, el sistema consistiría de material incongelado separado de la fase congelada por una zona que consistía de un material parcialmente congelado. Esta " Zona de congelación " está rodeada por dos planos isotérmicos a las temperaturas inicial y final de congelación.

El punto inicial de congelación (T_L) se define como la temperatura a la que empieza la solidificación. El punto final de congelación (T_S) es la temperatura a la cual termina la solidificación, o la temperatura a la cual la contribución del calor latente de fusión es insignificante comparada a la contribución del calor sensible.

En una primera publicación Tien y Geiger trataron el caso de una plancha semi-infinita a la temperatura uniforme en el punto inicial de congelación. La superficie se mantenía a temperatura constante abajo del punto final de congelación. Esta condición, entonces, supone que existe una formación instantánea de las tres zonas descritas anteriormente, o sea, la zona sólida, la zona de " congelación " o " mixta " y la zona líquida. Usando el balance integral de calor de Goodman, los autores obtuvieron la distribución de temperatura en el sólido, líquido y

zonas mixtas, así como la localización de esta zona como una función - del tiempo.

Tien y Geiger extendieron su solución a incluir el caso donde la temperatura en la superficie es dependiente del tiempo. Han modificado también la función que describe la velocidad de cambio la fracción sólida dentro de la zona de congelación.

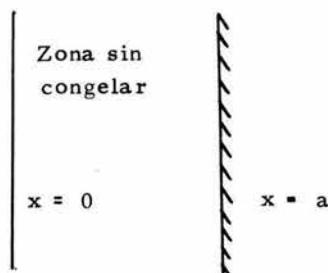
Tien y Koump, utilizando la misma aproximación, abordaron el problema de una plancha infinita que tiene una temperatura superficial variable. Han considerado dos casos específicos, velocidades de congelación rápida y lenta. La temperatura en la superficie se supone decrece linealmente del valor del punto inicial de congelación. Los autores resolvieron la ecuación diferencial de la conducción de calor utilizando el método integral de Goodman y obtuvieron una cantidad de ecuación que describen las varias etapas que se encuentran en velocidades - de congelación lenta y rápida.

3. - Aproximación de Bakal y Hayakawa. - Estos autores obtuvieron una serie de soluciones para el caso de una lámina infinita con la condición límite lineal de la transferencia de calor. Su aproximación se basó sobre el modelo descrito por Tien y Geiger y Tien y Koump. - Desarrollaron un modelo teóricamente comprensible que describe todas las posibles situaciones que pueden encontrarse en cada caso.

Para desarrollar este modelo se considera un material ini-

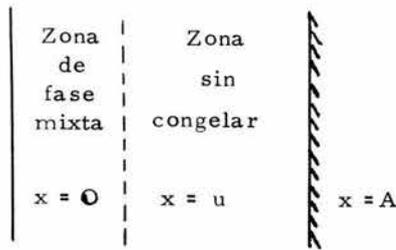
cialmente incongelado a una temperatura uniforme, y se supone que el flujo de calor ocurre sólo en una dirección. La transferencia de calor ocurre cuando el producto está expuesto al medio ambiente a una temperatura uniforme y constante. Si la temperatura ambiente está abajo del punto inicial de congelación y la temperatura inicial del producto está arriba de su punto inicial de congelación, se observa un decremento en la temperatura del producto y tiene lugar el cambio de fase.

Inicialmente, baja la temperatura en todo el producto sin cambio de fase.



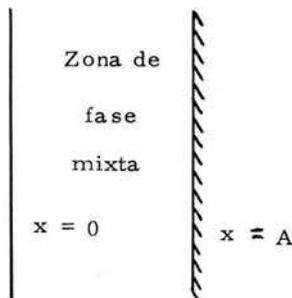
Periodo de preenfriamiento

Este periodo corresponde al periodo de preenfriamiento mencionado anteriormente. Cuando la temperatura superficial alcanza el punto inicial de congelación (T_L), se inicia el congelamiento en la superficie, y un frente de fase mixta, producto congelado, se mueve a lo largo en la dirección de la transferencia de calor.



Primer periodo de cambio de fase

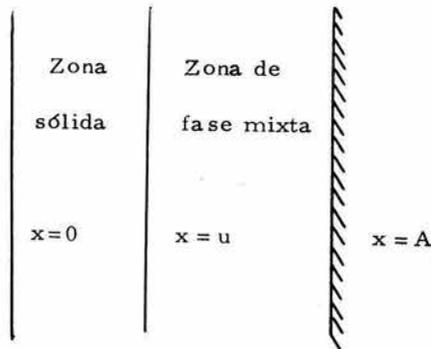
La temperatura en la interfase entre la zona mixta y la zona incongelada es constante a T_L , y la cantidad de producto congelado en esta interfase es nulo. Este periodo se refiere al primer periodo de cambio de fase. Teóricamente la duración de este periodo dependerá de las propiedades térmicas, el espesor del cuerpo y el gradiente de temperatura. Este periodo termina cuando la temperatura superficial alcanza el punto final de congelación T_S o cuando el frente inicial de congelación, alcanza la superficie aislada, cualquiera ocurre primero. Cuando esto ocurra existirá una fase mixta a través de todo el cuerpo, es decir, una zona de material congelado e incongelado.



Segundo periodo de cambio de fase

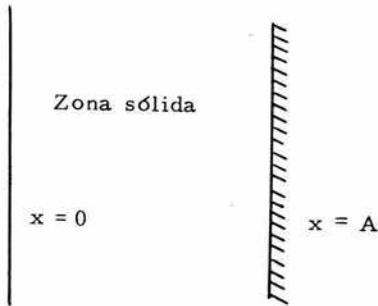
Este periodo es el periodo intermedio de cambio de fase, y termina cuando la temperatura superficial alcanza el punto final de congelación.

Cuando la temperatura superficial alcanza el punto final de congelación, se forma una capa de material congelado en la superficie, su espesor aumenta con el tiempo. Este frente final de congelación se caracteriza por una temperatura constante T_S y por una cantidad máxima de material congelado para todo propósito práctico.



Segundo periodo de cambio de fase

Cuando el frente final de congelación alcanza la superficie aislada, existe una sola fase de material congelado a través de todo el cuerpo. Este tiempo marca el comienzo del periodo de templamiento.



Periodo de templamiento

Se ha considerado otro periodo en el enfriamiento rápido o para cuerpos gruesos. Bajo tales circunstancias la temperatura superficial alcanza el punto final de congelamiento antes que el frente inicial de congelamiento alcance la superficie aislada del cuerpo. Así que existen dos frentes de movimiento en el cuerpo: La línea de separación entre la fase incongelada y la fase mezclada, y la línea de separación entre la fase "congelada" y la fase "mixta".



Periodo de tres zonas

Este periodo de tres zonas tiene la siguiente secuencia : Primer periodo de cambio de fase que termina cuando el frente inicial de - congelación alcanza la superficie aislada seguido por el segundo periodo de cambio de fase.

Este modelo propuesto, comparado con otros, es más comprensible, porque cubre todas las posibles etapas y toma en cuenta el - cambio de fase que ocurre dentro de una etapa y sobre un rango de temperatura. El problema con este modelo, cuando se trata alimentos, es la identificación del valor del punto final de congelación. En productos tales como carne, pescado, el punto final de congelación puede identificarse de una gráfica de cantidad de agua congelada contra temperatura. En sistemas más concentrados, tales como los cítricos concentrados, - es difícil distinguir el punto final de congelación.

Los autores derivaron fórmulas para cada uno de los seis- periodos mencionados en su modelo resolviendo la ecuación diferencial de la conducción de calor utilizando el método de Goodman.

Usando una celda aislada para simular una plancha geomé-- trica infinita, han checado la correlación de las distribuciones de temperatura entre la teórica y experimental usando varios sistemas de alimentos. Carne picada, zanahoria cortada, habas verdes, concentrado de naranja y toronja, fueron probados entre los sistemas de alimentos, esto también se cumple para pescado.

Lo que sigue describe las suposiciones hechas en sus derivaciones y en la correlación entre las distribuciones de temperatura experimental y teórica :

a). - Periodo de preenfriamiento. - Este es un problema de transferencia de calor por conducción sin cambio de fase. Los resultados muestran que el acuerdo entre los valores experimental y predicho es muy bueno tomando en cuenta el error en la medición de temperatura.

b). - Primer periodo de cambio de fase. - La solución de las ecuaciones diferenciales para este periodo es un problema muy complicado; se requirieron suposiciones adicionales para obtener una solución aproximada.

Observaron que los datos experimentales muestran una relación lineal entre el logaritmo de la temperatura en la superficie aislada y el tiempo. Sobre las bases de esta observación han supuesto que la temperatura en la superficie aislada o en el centro de la plancha es como sigue :

$$T_c - T_a = (T_c^\circ - T_a) \left(\frac{T_L - T_a}{T_c^\circ - T_a} \right) t/t_{\text{máx}}$$

Donde :

T_c = Temperatura en la superficie aislada, o en el centro de la plancha

T_a = Temperatura del medio enfriante

T_c° = Temperatura en la superficie aislada de la plancha al principio del primer período de cambio de fase

T_L = Punto inicial de congelación

t = tiempo

Supusieron que la localización del frente isotérmico como una función del tiempo puede aproximarse por

$$X_u = \lambda t^2$$

Donde :

X_u = Localización de la superficie de separación entre la zona líquida y zona de congelación

λ = Constante en función del tiempo.

Esta suposición se indica de datos experimentales.

Los puntos que salen de la correlación entre las temperaturas teórica y experimental varían dependiendo del producto. Se obtuvo buena concordancia para carne picada, mientras que se obtuvieron grandes variaciones para jugo de naranja concentrado.

Las diferencias entre lo predicho y lo medido se atribuye a las siguientes posibles causas :

- Suposiciones hechas en las derivaciones.
- Ocurre convección o estratificación en el caso de líquidos.

- Variaciones debidas a los valores tomados para las propiedades térmicas.

- Error introducido en la selección de los valores de los puntos inicial y final de congelación.

c). - Periodo intermedio de cambio de fase. - No se pudo obtener una solución satisfactoria para este periodo. Los resultados experimentales muestran muy pobre correlación con los valores teóricos.

d). - Segundo periodo de cambio de fase. - Para este periodo se obtuvieron fórmulas teóricas usando la misma aproximación. - El acuerdo entre los valores de temperatura teórica y experimental fue bueno; la diferencia más grande observada fue 3.0 °F.

e). - Periodo de templamiento. - En este periodo, como en el periodo de preenfriamiento no hay cambio de fase; así las fórmulas desarrolladas se basan sobre ecuaciones ya existentes. Los resultados muestran que en la mayoría de los productos la correlación entre los valores de las temperaturas teóricas y experimental es mayor para procesos de descongelación que para procesos de congelación. Este hecho se atribuye a las dificultades encontradas en la identificación del punto final de congelación.

4. - Métodos numéricos. - Se ha usado un método numérico para obtener una solución a las ecuaciones de transferencia de calor --

por conducción. Las fórmulas son aplicables a un cilindro infinito o a una plancha sometida a congelación o descongelación. Se encuentran tablas para la estimación de los tiempos de congelación o descongelación bajo varias condiciones así como un programa calculado que puede usarse para este propósito.

V. - TIEMPO DE CONGELACION Y DESCONGELACION.

La velocidad de congelación o descongelación es uno de los factores más importantes que intervienen en la calidad del alimento. Sin embargo, frecuentemente se requiere estimar el tiempo de congelación o descongelación para determinar los procedimientos adecuados - aplicables a la producción o distribución de alimentos congelados. Pues to que muchas de las fórmulas se aplican al tiempo de congelación y des congelación, el término " tiempo de congelación " lo usaremos en lugar de tiempo de congelación y descongelación en lo que sigue .

La definición de tiempo de congelación es causa de confu sión en la literatura. Esta confusión se origina de las siguientes dificul tades :

1. - Debido a la distribución de temperatura dentro de la muestra, el tiempo de congelación se define en térmi

nos de un lugar dado. El "centro térmico" o lugar que enfría más lentamente se usa comúnmente como lugar de referencia.

2. - Los alimentos no tienen un punto distintivo de congelación como los materiales puros. Una definición de tiempo de congelación requiere una definición de punto de congelación.

De las definiciones anteriores se ve claramente que la duración del periodo de cambio de fase algunos autores lo llaman tiempo de enfriamiento, mientras que otros lo definen como; la duración del proceso completo de congelación, incluyendo preenfriamiento, cambio de fase y periodo de templamiento.

A causa de esta ambigüedad, es más importante definir claramente las temperaturas inicial y final del alimento particular para calcular el tiempo de congelación. Aquí tiempo de congelación se define como el tiempo requerido para reducir la temperatura del alimento de una temperatura inicial a una temperatura focal en el centro térmico del alimento. Existen varios artículos publicados para calcular tiempo de congelación. Brennan y colaboradores, Charm y Slavin dan excelentes presentaciones de varios procedimientos accesibles de una cantidad de ellos. Estos procedimientos para calcular el tiempo de congelación pueden clasificarse en los siguientes tres grupos.

1. - Transferencia de calor experimental: evaluación contnua de la medición instantánea del tiempo de congelación y de la temperatura del alimento durante la operación de congelación.

2. - Fórmulas teóricas. - Cálculo usando fórmulas que se han obtenido para resolver ecuaciones de la transferencia de calor.

3. - Fórmulas semiteóricas. - Cálculo usando fórmulas que se han obtenido a través de una combinación matemática de fórmulas -- teóricas y datos experimentales.

Procedimientos y características, se discuten separadamente en las secciones que siguen.

a). - Transferencia de calor experimental.

Los procedimientos de este grupo son todavía simples, dan la estimación más exacta del tiempo de congelación, los datos de tiempo de congelación no siempre se pueden usar para estimar los tiempos de congelación de varios procesos, puesto que los datos se aplican solamente al conjunto específico de condiciones usadas. No obstante, las determinaciones experimentales de tiempo de congelación frecuentemente se reportan en artículos porque son simples y exactos.

b). - Fórmulas Teóricas. -

Aquí se tratan un poco más a fondo las fórmulas teóricas - que se pueden utilizar para evaluar el tiempo de congelación. Estas --

fórmulas se obtuvieron resolviendo las ecuaciones de balance de calor o resolviendo la ecuación de Fourier de la conducción de calor a estado no estable. Se establecieron varias suposiciones para resolver estas ecuaciones. Sin embargo, estas suposiciones se deben examinar cuidadosamente antes de aplicarse. Muchas de estas fórmulas teóricas se obtuvieron suponiendo las siguientes condiciones.

1. - El alimento tiene un punto distintivo de congelación
2. - El material muestra tiene propiedades termofísicas -- constantes, aunque las propiedades del alimento en su estado congelado son diferentes.
3. - La densidad del alimento en su estado congelado es idéntica a la de su estado incongelado.

Las fórmulas teóricas contienen varios parámetros físicos que cuando se expresan matemáticamente, influyen en la velocidad de transferencia de calor en la muestra. Sin embargo, relaciones entre el tiempo de congelación y estos parámetros físicos pueden obtenerse fácilmente de estas soluciones.

En general, el tiempo de congelación que se obtiene resolviendo fórmulas aprovechables es menos exacto comparado con determinaciones experimentales, ya que raramente se satisfacen todas las suposiciones hechas en la derivación de las fórmulas durante los tratamien-

tos actuales de congelación. A continuación se presentan varias teorías.

1. - Fórmula de Plank. - Esta fórmula es una de las que más se usan frecuentemente por su simplicidad. Se obtiene resolviendo una ecuación de balance de calor. Las suposiciones impuestas son:

- a). - La muestra está inicialmente en su punto de congelación pero incongelada.
- b). - La transferencia de calor del frente de congelación en la muestra al medio enfriante es a estado estable.
- c). - La configuración geométrica de la muestra es un cilindro infinito, o una esfera. Su fórmula está dada por la ecuación siguiente:

$$t_f = \frac{L \rho}{|T_f - T_a|} \left(\frac{PD}{h} + \frac{R^1 D^2}{K_1} \right)$$

Donde:

t_f = Tiempo de congelación

L = Calor latente de fusión

ρ = Densidad

T_f = Punto de congelación

T_a = Temperatura del medio enfriante

P = Constante

h = Coeficiente superficial de transferencia de calor

R^1 = Constante

K_1 = conductividad térmica

D = Diámetro del cilindro circular

Plank también derivó fórmulas para calcular los tiempos de congelación de muestras en forma de barra rectangular y en forma de ladrillo. Para calcular el tiempo de descongelación por la ecuación de arriba, K_1 deberá reemplazarse por la conductividad térmica del alimento congelado, K_2 . Esto se requiere, puesto que el calor se aplica por el frente de descongelación del alimento a través de una capa incongelada de alimento.

Se había coincidido generalmente que con la fórmula de Plank no se estima exactamente el tiempo de congelación del alimento. Sin embargo, Earle Fleming reportaron que esta fórmula dio estimaciones bastante exactas de los tiempos de congelación para plancha y usando la fórmula para un cilindro infinito, ejemplo de aplicación de esta fórmula a descongelación de pescado.

2. - Fórmulas de Tanaka y Nishimoto. - Tanaka y Nishimoto derivaron fórmulas para la estimación de los tiempos de congelación para alimentos de varias formas geométricas. Para esta derivación se usó una ecuación del balance de calor. Se hicieron las siguientes suposiciones:

1. - Las configuraciones geométricas de los alimentos se supone que son: paralelepipedo, cilindro circular finito, esfera, cono --

circular recto, o combinación de dos conos rectangulares rectos.

2. - El frente de congelación avanza uniformemente de la superficie del alimento, y la configuración geométrica de esta superficie es siempre paralela a la superficie del alimento. Por ejemplo si la forma geométrica de la superficie frontal de congelación en el alimento es de forma de ladrillo será también una forma de ladrillo durante cualquier tiempo de congelación.

3. - La congelación procede seccionalmente. En otras pala-bras, la temperatura en un minuto en una capa localizada incongelada - por el frente de congelación cambia de la temperatura inicial del alimento, t_o , a la temperatura focal del alimento, T_b , durante un incremento de tiempo de un minuto t .

4. - La transferencia de calor de un frente de congelación de la muestra al medio de enfriamiento es en estado estable.

De estas cuatro suposiciones, la segunda y tercera son físicamente inválidas. La validez de las fórmulas de Tanaka es discutible. A continuación se dan sus fórmulas para dos formas geométricas, puesto que no existen fórmulas aprovechables para estas formas: Cono circular recto y combinación de dos conos circulares rectos, que se obtienen uniendo dos conos en sus bases planas.

$$t_f = \frac{\rho}{24K_1} S \left(S + \frac{4K_2}{L} \right) \frac{Q}{T_f - T_a}$$

$$Q = C_2 (T_o - T_b) - (C_2 - C_1) r (T_s - T_b) + Lr$$

Donde :

$$S = d \cos \frac{\theta}{2} (1 + \sin \frac{\theta}{2}) \quad (\text{Para un cono})$$

$$= d \cos \frac{\theta}{2} \quad (\text{Para dos conos})$$

$$S = A \left(\frac{W}{V} \right) \quad A = \text{Area}$$

W = espesor congelado medido de
la superficie

V = Volumen del alimento

Q = Calor removido o
adicionado

C = Calor específico

La validez de estas fórmulas debe comprobarse por experimentos de transferencia de calor antes de aplicarse, puesto que no han sido totalmente investigadas por los autores.

3. - Soluciones para la ecuación de Fourier de la conducción de calor.

Como se mencionó antes, la validez de la ecuación de Fourier de la conducción de calor ha sido, probada y esta ecuación ha sido ampliamente utilizada en el área de las ciencias ingenieriles. Las fórmulas obtenidas de esta ecuación estiman el tiempo de congelación más adecuadamente que las fórmulas de Plank o de Tanaka y Nishimoto. -- Puesto que la derivación de las soluciones es bastante difícil, no se en encuentran muchas soluciones que sean aprovechables en la literatura. Co

mo se mencionó anteriormente muchos autores como Garshaw, Jeager, - Mushlbaner y otros han hecho excelentes revisiones sobre las fórmulas para estimar la conducción de calor en un sólido cuando hay un cambio de fase en la muestra.

Se presentan varias fórmulas aprovechables para estimar el tiempo de congelación, empleándose las tres suposiciones que se mencionaron al iniciar este inciso " Fórmulas Teóricas".

a). - Soluciones de Newmann. - Charm y Slavin usaron esta solución para calcular el tiempo de congelación de filetes de Bacalao. - Es completamente desafortunado, pues, existen algunos errores matemáticos en los cálculos. Utilizaron una tabla matemática incorrecta para obtener los valores numéricos de una función matemática. Los presentes autores recalcularon los tiempos de congelación usando la tabla numérica correcta. De acuerdo a este cálculo, existen diferencias de 40 a 80% entre los tiempos de congelación estimados y los determinados por experimentaciones de transferencia de calor. Usando la solución de Newmann y Charm y Slavin determinaron el tiempo de congelación para una plancha infinita, con ambas superficies expuestas al medio de enfriamiento. Este tiempo de congelación se obtiene calculando el tiempo en que el frente de congelación alcanza el espesor medio de la plancha. El espesor medio modificado se obtuvo como:

Espesor medio de la plancha + conductividad térmica de la -

muestra incongelada / coeficiente de transferencia de calor superficial. Según Cowell al usar este espesor modificado resulta un tiempo de congelación exagerado cuando el número de Biot es menor que 1.

b). - Diagramas de Tao. - L. C. Tao desarrolló diagramas para estimar los tiempos de congelación de tres formas geométricas diferentes resolviendo numéricamente la ecuación de Fourier de la conducción de calor. Las suposiciones impuestas para resolver esta ecuación fueron :

- a). - La forma geométrica de la muestra es una plancha infinita, un cilindro infinito, o una esfera.
- b). - La muestra esta expuesta a temperatura ambiente constante.
- c). - La muestra esta inicialmente en su punto de congelación pero sin congelar. En las figuras se usan los siguientes grupos adimensionales.

$$t_f^* = t_f K_1 (T_f - T_a) / a^2 \rho L$$

$$\beta = k_1 / ha$$

$$\gamma = C_1 (T_f - T_a) / L$$

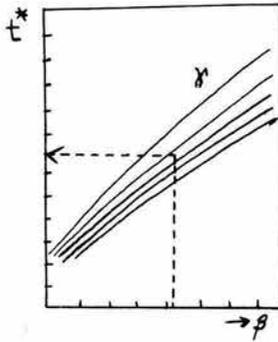
Otros autores desarrollaron sus procedimientos para estimar el tiempo de congelación resolviendo numéricamente las ecuaciones de la transferencia de calor. Estos procedimientos son similares -

al de Tao.

Mecanismo general para encontrar el tiempo de congelación por este método :

1° .- Se obtienen los valores de $t_f^* = (\text{constante})(t_f)$, β y γ .

2° .- Con β y γ en la fig. se obtiene t_f^*



(Existen figuras de este tipo para lámina infinita, cilindro in finito y esfera)

3° .- Con t_f^* se obtiene t_f de $t_f^* = \text{constante } t_f$

c). - Soluciones de Tien y sus colaboradores. - Las fórmulas teóricas discutidas arriba se derivaron suponiendo que no hay diferencia en densidad entre las muestras congeladas y descongeladas y -- también que la congelación se termina a una temperatura. Como ya se ha discutido, Tien y sus colaboradores obtuvieron varias soluciones sin estas dos suposiciones. Una de las soluciones se da en seguida. Esta solución se obtiene suponiendo lo siguiente :

- (1) La forma geométrica de la muestra es semi-infinita.
- (2) La congelación ocurre en un rango específico de temperaturas.
- (3) La muestra está inicialmente a una temperatura más alta.
- (4) Existe una diferencia en densidad entre la muestra congelada.
- (5) La superficie de la muestra se mantiene a una temperatura constante durante la congelación.

Por la segunda suposición existe una capa de congelación en lugar de un plano de congelación o frente. El porcentaje de agua congelada cambia con el lugar y se distribuye de 0 a 100% en esta zona de " congelación ".

$$T_1 = (T_s - T_c) \left\{ \frac{\text{erf} \left[\frac{x/2 (\lambda_1 / \alpha_1)^{1/2}}{\text{erf} (\lambda_1 / \alpha_1)^{1/2}} \right] - 1 \right\} + T_s \text{ ----- (1)}$$

$$T_{12} = (T_L - T_s) \left\{ \frac{2 (x - \epsilon)}{\Delta \epsilon - [(x - \epsilon) / \Delta \epsilon]^2} \right\} + T_s \text{ ----- (2)}$$

$$\epsilon = 2 \lambda_1 t^{1/2} \text{ ----- (3)}$$

$$\Delta \epsilon = 2 \lambda_2 t^{1/2} \text{ ----- (4)}$$

$$B_1 + \frac{\lambda_1}{\alpha_1^{1/2}} + B_2 \left(\frac{T_L - T_s}{T_s - T_c} \right) \frac{K_{12}}{K_1} (\pi)^{1/2} \frac{\text{erf} (\lambda_1 / \alpha_1^{1/2})}{\exp (- \lambda_1^2 / \alpha_1)}$$

$$\frac{(T_s - T_c)}{(T_L - T_s)} \frac{K_1}{\rho_2 C_{12}} \frac{1}{\alpha_1(\pi)^{1/2}} \frac{\exp(\lambda_1^2 / \alpha_1)}{\operatorname{erf}(\lambda_1 / \alpha_1^{1/2})} \dots (5)$$

$$B_1 \lambda_1 + B_2 \lambda_2 = \frac{B_3}{2\lambda_2} \dots (6)$$

$$B_1 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \left[\frac{L}{(T_L - T_s) C_{12}} + 1 \right] \frac{-5}{6} \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_2} \dots (7)$$

$$B_2 = \frac{2\rho_1}{3\rho_2} \left[\frac{L}{C_{12}(T_L - T_s)} - 1 \right] \frac{47(\rho_2 - \rho_1)}{30\rho_2} + 1 \dots (8)$$

$$B_3 = \frac{2}{\rho_2} \frac{K_{12}}{C_{12}} \dots (9)$$

Las ecuaciones (7) a la (9) se obtienen de las fórmulas de Tien y sus colaboradores, suponiendo que la distribución de fracciones congeladas en la capa de congelamiento se aproxima a una ecuación cuadrática. Porque la densidad de la muestra cambia durante la congelación, existe movimiento de agua incongelada en la capa de congelación. La velocidad lineal de este movimiento se estima por la siguiente ecuación.

$$v = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \left[\frac{d\epsilon}{dt} + \frac{(x - \epsilon)}{2(\Delta\epsilon)} \frac{d(\Delta\epsilon)}{dt} \right] \dots (10)$$

En esta ecuación, la dirección positiva del movimiento es en dirección opuesta a la superficie de la muestra. En otras palabras, si

un valor de v se calcula por (10) es negativa, la masa de la muestra se mueve hacia la superficie durante la congelación. Las unidades de la velocidad son: longitud / tiempo

c). - Fórmulas semiteóricas. -

Las fórmulas teóricas se obtuvieron por combinación matemática de datos experimentales con fórmulas teóricas. Estas fórmulas pueden usarse para estimar el tiempo de congelación sin una gran restricción causada por las suposiciones que se imponen para derivar fórmulas teóricas. A continuación se presentan las fórmulas desarrolladas por Nagaoka y colaboradores, así como también la desarrollada por Mott.

1. - Fórmulas de Nagaoka y colaboradores. - Desarrollaron esta fórmula para congelar pescado fresco en un refrigerador de chorro de aire. Puesto que no existen grandes diferencias en las propiedades físicas del pescado fresco y otros alimentos frescos, es útil investigar la aplicación de esta ecuación a varios alimentos. La fórmula está dada por :

$$t_f = (1 + 0.00445 |T_o - T_f|) \left(\frac{Q \rho_1}{|T_f - T_a|} \right) \left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{K_1} \right)$$

$$\text{Donde: } Q = C_2 |T_o - T_f| + L + C_1 |T_f - T_b|$$

Al usar esta ecuación para calcular el tiempo de descongelación

ción, se deben hacer las siguientes substituciones : $C_2 \longrightarrow C_1$;

$$C_1 \longrightarrow C_2 ; K_1 \longrightarrow K_2 \quad \text{y} \quad \rho_1 \longrightarrow \rho_2.$$

2.- Procedimiento de Mott.- Mott desarrolló su procedimiento por el análisis dimensional de los datos experimentales sobre tiempo de congelación. En este procedimiento, se utiliza una relación funcional entre tres grupos adimensionales para calcular el tiempo de congelación. Esta relación se da a continuación, juntamente con las definiciones de los grupos dimensionales.

$$S = (B + 1) / G \text{ ----- (1)}$$

$$S = A (W / V) \text{ ----- (2)}$$

$$B = hw / 2K_1 \text{ ----- (3)}$$

$$G = t_f h (T_A - T_a) / (\rho_1 Q_w) \text{ ----- (4)}$$

Donde: T_A Temperatura a la cual el 60% del agua se congela.

El grupo dimensional definido por (2), S, se llama factor forma. El factor forma para varios productos se da en la tabla II del artículo " Heat transfer During freezing and Thawing of foods" publicado por Abraham Bakal y Kan-Ichi Hayakawa. Datos de las propiedades termofísicas de varios alimentos, que se requieren para calcular los valores de B y G, se dan en la tabla III a través de la tabla IV del artículo anterior. El calor removido del alimento, Q, puede obtenerse de la tabla IV tomando una diferencia entre las entalpías a las tempera



turas inicial y final del alimento.

Cuando las ecuaciones (2), (3) y (4) se substituyen en la (1), tenemos la ecuación (5)

$$t_f = \frac{\rho_1 QV}{h(T_A - T_a) A} \left(\frac{h w}{2 k_1} + 1 \right) \text{----- (5)}$$

Esta ecuación indica claramente una simple relación lineal entre el tiempo de congelación, t_f y espesor congelado, w . Sin embargo el análisis que existe de las fórmulas teóricas para la conducción de calor con cambio de fase revela que la relación entre las dos variables no es lineal. Sin embargo, parece que el procedimiento de Mott se aplica sólo para un rango limitado de valores de w .

VI. - CONSTRUCCION DE UNA CAMARA
FRIGORIFICA PARA CONGELACION
RAPIDA DE PESCADO " MERO " -
FILETEADO .

En este capítulo describiré a grandes rasgos la construcción en general, de una cámara frigorífica, en el capítulo siguiente, especificaré las características de la misma.

La cámara de congelación rápida, pertenece a una planta -- congeladora cuya construcción y operación están supeditados a esta segunda; es muy importante que al construir los edificios industriales se proyecte el tamaño y se haga el pronóstico relativo a su operación. Si la provisión anual de mercancía para almacenar en estado congelado se juzga insegura respecto a su incremento, es necesario proyectar la -- planta con base a la provisión actual y una sobrecapacidad (se propone un 10%). El proyecto debe elaborarse en tal forma, que en el futuro se pueda realizar una ampliación de media o una unidad de la planta ya existente, según las necesidades.

Con el fin de no proyectar una planta congeladora para la carga más alta de almacenaje durante un periodo variable pero a menudo de poca duración, se requiere un buen conocimiento de las variaciones de temporada, de una cooperación con plantas cercanas y de una colaboración con productores de alimentos delicados de temporada.

Una congeladora puede construirse y operarse de tal forma que cuando los abastecimientos de mercancía sean bajos, las secciones no ocupadas pueden cerrarse para que de esta manera se elimine una parte de los gastos de operación, sin embargo, algunos de estos siempre quedan por lo que considerando los grandes gastos de inversión y mantenimiento de una planta congeladora es mejor proyectar la planta sin demasiada sobrecarga.

El proceso de congelación rápida se basa, como su nombre lo indica en obtener una caída de temperatura en un tiempo corto. Generalmente se usa aire frío como agente congelante, siendo la temperatura recomendada para tal operación de menos 40°C a -50°C . Para el caso del pescado se puede considerar como temperatura aceptable para la congelación de -20°C a -25°C .

Cabe mencionar que durante la congelación, almacenamiento y descongelación se producen cambios en la composición química del producto, cambios de color y apariencia, cambios en el sabor y cambios en la textura. Sin embargo se ha observado que el valor nutricio

nal es generalmente bueno durante el proceso de congelación.

Existen dos técnicas de congelación rápida :

1° .- Por contacto directo con el medio refrigerante.

2° .- Sometiendo la mercancía a la acción de una fuerte corriente de aire, esto hace en los llamados túneles de congelación rápida.

En este trabajo se emplea la segunda técnica aplicada al filete de pescado MERO, que se captura principalmente en el estado de Yucatán y se procesa en el Puerto " Progreso " del mismo estado.

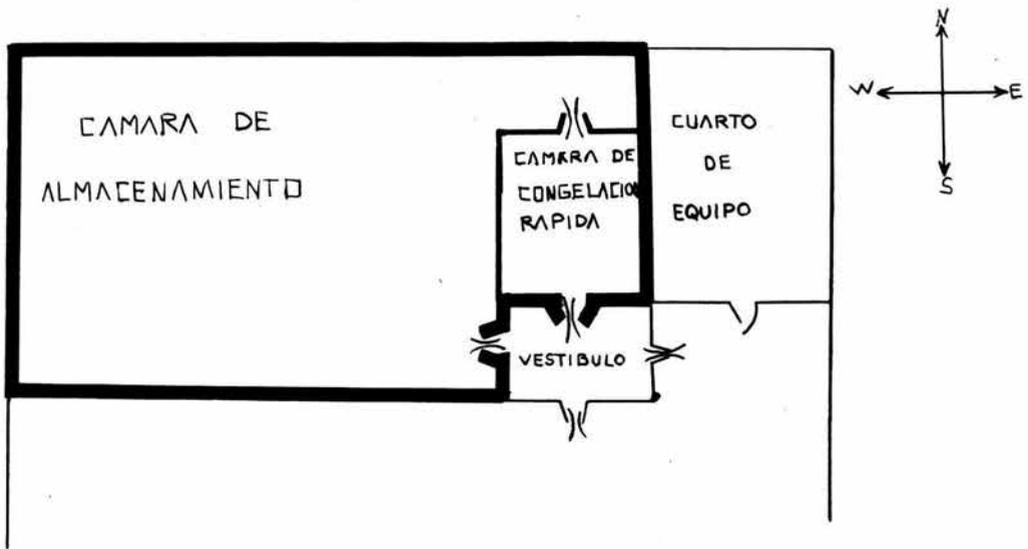
En el procedimiento de congelación rápida en túneles se insufla aire a la temperatura deseada sobre la mercancía. Este aire se enfría previamente en un serpentín frigorífico, bien sea de expansión directa o atravesado por una salmuera refrigerada.

El aire circula a través del túnel a una velocidad aproximada a los $4 \frac{m}{seg}$. (puede ser menor $1.5 - 2 \frac{m}{seg}$), como en este caso el producto fileteado (su tamaño es relativamente pequeño), esta mercancía es delicada y por lo tanto es necesario empaquetarlo para que no acuce el efecto deshidratante del aire seco y frío.

Después de la congelación, las piezas deben ser inmediatamente guardadas en cámaras a una temperatura adecuada ($-18^{\circ}C$).

La duración de la congelación depende de varios factores variables, entre ellos: Cp, Calor latente, forma, composición interna, dimensiones, coeficiente de transferencia de calor, colocación en el congelador, temperatura a la que se congela, procedimiento utilizado, temperatura en la cámara, etc.

A la situación de la cámara de congelación rápida debe dársele la debida consideración. No deben disponerse en sitios bajos si no hay un basamento debajo, ya que de otra forma existe el riesgo de que el suelo se levante si se congela la humedad de los subyacentes estratos de tierra. Además estas cámaras, si es posible, deben disponerse en el lado norte del edificio, preferentemente con corredores o antecámaras en todos lados para dar a la cámara la mejor protección posible. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la cámara de congelación rápida tendrá la siguiente situación que se muestra en la figura, a su vez, la planta con geladora debe estar situada a un lugar cercano a donde atraque el barco, para que el pescado sea congelado lo antes posible.



La cámara de congelación rápida tendrá forma de un paralelepípedo, construida de obra y el aislamiento empleado es de capas de bidamente superpuestas de corcho. En la construcción de las cámaras existe poca diferencia en el procedimiento.

El producto se enfriará por chorro de aire con carros de mano en un túnel de enfriamiento de 3.00 x 2.50 m x 3 m. El pescado se enfría a 3 °C aproximadamente antes de entrar al congelador, en donde es congelado y luego reducida su temperatura a -17 °C para almacenaje. La carga de alumbrado es de 100 watts. Los carros de mano destinados para el pescado totalizan 500 kgr y tienen un calor específico de 0.25 kcal/kg/°C.

Los tabiques adyacentes al cuarto de equipo y vestíbulo -
están contruidos de mosaicos de arcilla de 15 cm, aislados con 20 cm.
de plancha de corcho.

Las paredes adyacentes al enfriador de almacenaje son -
de 10 cm. de mosaico de arcilla con aislamiento de corcho de 5 cm. El
techo es una losa de concreto de 15 cm., aislada con 20 cm. de plancha
de corcho y cubierta con alquitrán fieltro y grava, acabada con 10 cm.
de concreto. El piso se encuentra sobre un hueco ventilado. El techo -
está expuesto al sol. El equipo se encuentra en un local bien ventilado,
de manera que la temperatura inferior es aproximadamente la tempera-
tura de diseño exterior para la región que será puerto " Progreso " si-
tuado en el Golfo de México perteneciente al estado de Yucatán, lugar -
donde se captura casi el 100 % de la producción nacional de MERO. Aun
que el valor de la producción estatal expresada en porcentaje es para la
pesca y minería sólo el 0.3 %.

El cuarto de almacenaje se mantiene a -17°C y la tempe-
ratura del congelador es de -15°F (-26°C).

NOTA. - El mero es un pez de gran tamaño que alcanza - - más de 2m. de longitud con un peso de hasta 250 kilos, aunque el peso medio oscila entre 20 y 30 kilos.

Cuerpo ligeramente elevado y poco comprimido, 3 veces en la longitud patrón, preopérculo ligeramente aserrado, ojo muy pequeño boca grande y oblicua, dientes biliformes, en las mandíbulas vómer y palatinos, escamas pequeñas, 115 en una serie longitudinal, con escamas en las mejillas y en los opérculos, aleta dorsal muy escotada, a veces se puede tomar como dos dorsales, primera porción con 12 espinas rígidas, la segunda porción con 10 radios, los anteriores muy elevados y los posteriores paulatinamente más cortos, aleta anal con tres espinas y con 8 radios, aleta caudal ligeramente lunada, los radios medios más cortos que los de los extremos, aletas pélvicas en posición torácica, su origen por debajo de las aletas pectorales.

COLOR. - Café oscuro con manchas negras en el dorso, -- viene un poco más pálido, los ejemplares jóvenes son muy diferentes en color y en forma a los adultos, pues son de color rojo con manchas negras muy aparentes.

DISTRIBUCION. - Habita en el Atlántico en las aguas de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en el Pacífico se le encuentra de Sonora a Oaxaca, especialmente cerca de Guaymas, Topolobampo, Mazatlán, Escuinapa, San Blas, Puerto Vallarta, Manzanillo y

Salina Cruz.

IMPORTANCIA. - Los MEROS son comestibles, abundantes y tienen gran demanda en los mercados nacionales y extranjeros.

Los pescadores estadounidenses, que bajan a las aguas mexicanas de Baja California, obtienen importantes cantidades de mero.

Parte de las capturas de mero efectuadas por los pescadores nacionales, se dedica a surtir los mercados del país.

PESCA DEL MERO AL ARRASTRE. - Se necesita un sedal - de potencia mínima 15/20 kilos y de alrededor de 120 m. de longitud. - Parte central de alambre retorcido inoxidable o pavonado de 10 m. en - dos partes; todos los empalmes asegurados por torniquetes adecuados. El plomo, de peso variable (150 a 500 gramos) según sean los fondos y la velocidad de pesca, va colocado entre el sedal y el alambre. Una vez que el pez ha picado, la táctica es hacer que la embarcación describa un movimiento giratorio continuo, a fin de amortiguar las reacciones de la presa y poder jalar en forma dominante.

El mero, pez de roca y habitante de las cavernas submarinas, una vez que se siente en peligro, pretende solamente poder alcanzar el primer agujero que se le ofrezca, del que ya no saldría más. Este sistema, de pesca es válido para el dentón, pero de manera menos - absoluta.

PUESTOS DE BUSCA. - Los grandes fondos costeros, los --
accesos a los islotes, islas, balizas.

TEMPORADA. - De junio a últimos de septiembre.

PRECIO EN EL MERCADO (Comparación con algunos). - -
La mayor parte del mero en filete congelado es para exportación.

En el mercado nacional encontramos los siguientes precios
(en México, D. F.).

PEZ	PRECIO \$ / Kg.
Carpa	14.00
Cazón	15.00
Guachinango	Golfo 45.00
	Pacífico 20.00
MERO	28.00
Mojarra	25.00
Pargo	18.00

Como podemos observar en esta brevísima comparación, el mero es un pez que se encuentra en un término superior al medio en - cuanto a precio, lo mismo podemos aplicar a su valor nutritivo.

VII. - DATOS Y CALCULOS DE LA CAMARA

- Cálculo de la carga de enfriamiento de la cámara. - La -
carga total de enfriamiento se divide en cuatro cargas separadas :

- a). - Carga de ganancia de pared.
- b). - Carga de cambio de aire.
- c). - Carga del producto.
- d). - Carga miscelánea o suplementaria.

Datos para seleccionar el peso del producto. - Se dispone de
la siguiente información :

A ñ o	1969	1970	1971	1972
Producción Nacional de MERO (en Ton.)	7753	8718	10407	13937
Producción en Yucatán de MERO (en Ton.)	7428	8494	10113	13598

Como podemos observar el Estado de Yucatán tiene casi el 100% de producción de MERO, por lo que tomaré su producción como el 100%. Existen 14 plantas congeladoras controladas por YUCALPE-TEN con las capacidades siguientes:

Capacidad máxima : 10 Ton.

Capacidad mínima : 1.5 Ton.

Promedio de 8 plantas : 2 Ton.

Tomando en cuenta la producción total, para sacar una producción promedio por planta tendríamos:

$$\frac{13937 \text{ Toneladas}}{14 \text{ plantas}} = 995.5 \frac{\text{Ton}}{\text{Plant.}} \approx 1,000 \frac{\text{Ton}}{\text{Plant.}}$$

Normalmente de los 365 días del año se trabajan 250 días, por lo que:

$$\frac{1000 \text{ Ton/Plant.}}{250 \text{ días}} = 4 \frac{\text{Ton}}{\text{día Plant.}}$$

$4 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$ Corresponden a cada planta, pero como el pescado va a estar fileteado, la eficiencia en el fileteo es del 40% por lo que de las 4 toneladas sólo se congelan:

$$x = \frac{4000(40)}{100} = \frac{1600\cancel{00}}{1\cancel{00}} = 1600 \text{ Kg. de pescado}$$

Para los cálculos no tomaré esta producción promedio sino la máxima de 10 Ton. por lo que:

$$x = \frac{10,000 (40)}{100} = \frac{4\,000\cancel{00}}{1\cancel{00}} = 4\,000 \text{ kg de pescado fileteado, se congelarán en el túnel.}$$

∴

Peso 4 000 Kg

Volumen de la cámara. - Depende de diversos factores, entre los que deben tomarse en cuenta están: naturaleza del producto, -- cantidades a congelar, embalajes utilizados, forma y disposición de soportes y estantería, y especialmente los pasillos destinados al cómodo-manaje de género en el interior de la cámara.

Se acostumbra tomar como norma para :

- Cámaras de conservación (hasta 0°C) 350/400 Kg. de pescado por m³
- Cámaras de conservación (bajo 0°C) 400/500 Kg. de pescado por m³

Disponemos de 4 000 Kg si consideramos que para la cámara de congelación rápida 500 Kg de pescado ocupan 1 m³, entonces -- 4 000 Kg ocuparán 8 m³. Como norma general el volumen aparente \approx Al doble del volumen real, por lo que 4 000 Kg ocuparan aproximadamente 20 m³ unas dimensiones que cumplen estas características son 2.5m de ancho, por 3 m de largo, por 3 m de alto.

∴

Dimensiones interiores = 2.5 m x 3 m x 3 m
--

Cálculo de la carga de ganancia de pared. Esta carga se calcula aplicando $Q = UA\Delta T$, por lo tanto, lo primero que se tiene que hacer es sacar los factores que determinan la carga de ganancia de pared.

$$\begin{aligned} \text{Techo} &= 3\text{m altura} + .20\text{ m plancha de corcho} + .15\text{ m --} \\ &\text{concreto} = 3.35\text{ m. Superficie externa del techo} = \\ &3.5 \times 3.0\text{ m} = 10.5\text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Piso} &= .15\text{ m losa de concreto} + .20\text{ m placa de corcho} \\ &+ .10\text{ m concreto} = .45\text{ m.} \end{aligned}$$

$$\text{Superficie del piso} = 3.5 \times 3.0\text{ m} = 10.5\text{ m}^2$$

Dimensiones exteriores = 3.50 x 3.00 x 3.35 m

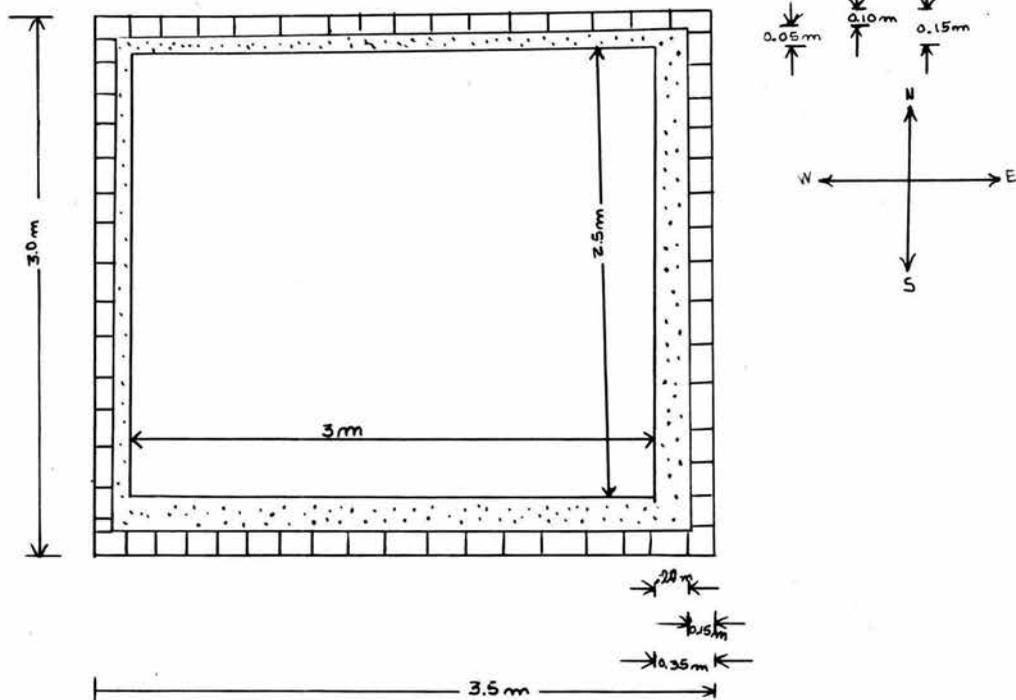
$$\text{Divisiones Norte y Oeste} = (3.5 + 3.0) 3.0 = (6.5) (3.0) = 19.5\text{ m}^2$$

$$\text{Divisiones Sur y Este} = (3.5 + 3.0) 3.0 = (6.5) (3.0) = 19.5\text{ m}^2$$

$$\text{Volumen interior} = 3.0 \times 2.5 \times 3.0\text{ m} = 22.5\text{ m}^3$$

$$\text{Temperatura de diseño exterior en verano} = 92\text{ }^\circ\text{F} = 33.3\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura ambiente máxima} = 105\text{ }^\circ\text{F} = 41\text{ }^\circ\text{C}$$



Factores U. -

$$\text{Techo} = 0.175 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Tabla 10 - 3 Dossat

$$\text{Piso} = 0.171 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Divisiones Norte y Oeste} = 0.585 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Tabla 10-2 Dossat

$$\text{Divisiones Sur y Este} = 0.170 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Como el techo está expuesto al sol debe existir un factor de corrección por radiación. Las características del techo son: Techo plano y superficie de color oscuro, por lo tanto, los grados centígrados que deberán agregarse a la diferencia normal de temperatura para cálculos de fuga de calor, para compensar por efecto del sol son 11.1°C (Tabla 10 - 7 Dossat).

$$C_2 = \text{Calor específico arriba de la congelación} = .80 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^{\circ}\text{F}} = .80 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$C_1 = \text{Calor específico abajo de la congelación} = .40 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^{\circ}\text{F}} = .40 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$.8 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^{\circ}\text{F}} \times \frac{.252 \text{ Kcal}}{\text{BTU}} \times \frac{\text{Lb}}{.454 \text{ Kg}} \times \frac{^{\circ}\text{F}}{.5556 \text{ }^{\circ}\text{C}} = .80 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$.4 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^{\circ}\text{F}} \times \frac{.252 \text{ Kcal}}{\text{BTU}} \times \frac{\text{Lb}}{.454 \text{ Kg}} \times \frac{^{\circ}\text{F}}{.5556 \text{ }^{\circ}\text{C}} = .40 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$L = \text{Calor latente de fusión} = 115 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 63.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$115 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}} \times \frac{.252 \text{ Kcal}}{\text{BTU}} \times \frac{\text{Lb}}{.454 \text{ Kg}} = 63.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Temperatura de congelación} = 28^{\circ}\text{F} = -2.2^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Carga de ganancia de pared} = Q \quad UA\Delta T \times 24 \text{ hrs.}$$

$$\text{Piso} = 0.171 \frac{\text{Kcal}}{\text{hrm}^2\text{ }^{\circ}\text{C}} \times 10.5 \text{ m}^2 \left[33.3^{\circ}\text{C} - (-26^{\circ}\text{C}) \right] \times 24 = 2556 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$\text{Techo} = 0.175 \frac{\text{Kcal}}{\text{hrm}^2\text{ }^{\circ}\text{C}} \times 10.5 \text{ m}^2 \left[33.3^{\circ}\text{C} - (-26^{\circ}\text{C}) + 11.1^{\circ}\text{C} \right] \times 24 = 3041.3 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$\text{Divisiones Norte y Oest e} = .585 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}} \times 19.5 \text{ m}^2 \left[-17^{\circ}\text{C} - (-26) \right] \times 24 = 2464 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$\text{División Sur} = 0.17 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} (3.5 \times 3 \text{ m}) [3^\circ\text{C} - (-26^\circ\text{C})] \times 24 = 1264.8 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$\text{División Este} = 0.17 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} (3 \times 3 \text{ m}) [33^\circ\text{C} - (-26^\circ\text{C})] \times 24 = 2166.5 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

Carga de ganancia de pared total. -

$$\begin{array}{r} 2556.0 \\ 3041.3 \\ 2464.0 \\ 1264.8 \\ \hline 2166.5 \\ \hline 11492.6 \end{array}$$

Carga de ganancia de Pared total = 11,492.6 $\frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$

Cálculo de la carga de cambio de aire.- La ganancia de calor por m^3 de aire externo que entra al espacio, se señala en las tablas -- 10 - 8A y 10 - 8B del Dossat para varias condiciones de aire interior y exterior.

Cambios de aire	antesala = 7.2 por 24 hrs. (Tabla 10-9B Dossat) -27.5 vol. = 22.5 m^3
-----------------	---

Ganancia de calor por m^3	Temp. aire entrada 4.4 C = 13.61 $\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}$ (Tabla 10-8B) Dossat Hum. relat. 80%
------------------------------------	--

$$\begin{aligned} \text{Carga de cambio de aire} &= \text{Vol. int.} \times \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} \times \text{Cambios de aire} \\ &= 22.5 \times 13.61 \times 7.2 = 2,205.4 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}} \end{aligned}$$

Carga de cambio de aire = 2,205.4 $\frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$

Cálculo de la carga del producto. - Como el producto se esta enfriando y pasando a una temperatura inferior a la de congelación, la carga del producto se calcula en tres partes :

- 1.- El calor entregado por el producto al enfriarse de la temperatura inicial a la temperatura de congelación.
- 2.- Calor entregado por el producto al congelarse.
- 3.- Calor entregado por el producto al enfriarse de la temperatura de congelación a la temperatura final.

Para calcular (1) y (3) se utiliza :

$$Q = \frac{mC_p (T_2 - T_1)}{\text{Factor de ritmo de enfriamiento}}$$

El factor de ritmo de enfriamiento se introduce porque durante la etapa inicial del periodo de enfriamiento, la carga en, Kcal/hr sobre el equipo, es considerablemente mayor que la carga horaria del producto. Estos factores se dan en tablas y se basan en pruebas reales y en cálculos, varían con la relación del tiempo de carga al tiempo total de enfriamiento.

Para calcular (2) se utiliza: $Q = mL$

$$Q_1 = \frac{4,000 \text{ Kg} \cdot 0.80 \cdot \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \left[3 \text{ }^\circ\text{C} - (-2.2) \right]}{0.70} = 23,771.43 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$Q_{\text{carros}} = \frac{500 \text{ Kg} \cdot 0.25 \cdot \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \left[3 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C}) \right]}{0.70} = 5,178.56 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$Q_2 = 4,000 \text{ Kg} \cdot 63.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 255,480 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$Q_3 = 4,000 \text{ Kg} \cdot 0.40 \cdot \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \left[-2.2 \text{ }^\circ\text{C} - (-26 \text{ }^\circ\text{C}) \right] = 38,080 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

Carga total del producto. -

23,771.43
5,178.56
255,480.00
38,080.00
<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
322,509.99

Carga total del producto = 322,510 $\frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$
--

Cálculo de la carga miscelánea o suplementaria. - La carga miscelánea consiste principalmente de calor desarrollado por luces, motores eléctricos y personas que trabajan en la cámara; para este caso:

- Existe una carga de alumbrado de 100 Watts
- El motor eléctrico del ventilador
- Durante la congelación ninguna persona trabaja dentro de la cámara.

$$- \text{ Alumbrado} = 100 \text{ Watts} \times 0.86 \frac{\text{Kcal}}{\text{Watt/hr}} \times 24 \text{ hrs.} = 2,064 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$- \text{ Motor eléctrico} = 743.46 \frac{\text{Kcal}}{\text{HP-hr}} \times 3 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs} = 53,529 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

Carga miscelanea Total. -

$$\begin{array}{r} 2,064 \\ \underline{53,529} \\ 55,593 \end{array}$$

$\text{Carga total miscelanea} = 55,593 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$
--

Cálculo de la carga de enfriamiento de la cámara :

$$\begin{array}{r} 11,492.6 \\ 2,205.4 \\ 322,510.0 \\ 55,593.0 \\ \hline 391,801.0 \end{array}$$

$$\text{Factor de seguridad (10\%)} = 39,180.1 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$$

$$\begin{array}{r} \text{Suma total:} \\ 391,801.1 \\ \underline{39,180.1} \\ 430,981.1 \end{array}$$

$\text{Carga de enfriamiento} = 430,981.1 \frac{\text{Kcal}}{24 \text{ hrs.}}$
--

Tiempo que dura la congelación. - Para calcular esta incógnita utilizará la fórmula de Nagaoka y colaboradores, que es una fórmula semiteórica para calcular el tiempo de congelación para pescado fresco.

$$t_r = (1 + 0.00445 |T_o - T_f|) \left(\frac{Q \int_1^{\rho}}{|T_f - T_a|} \right) \left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{K_1} \right)$$

$$Q = C_2 |T_o - T_f| + L + C_1 |T_f - T_b|$$

Disponemos de los siguientes datos :

D = espesor del filete = 1 in = 0.0833 f t

T_o = temp. inicial = 37.4 °F = 3 °C

T_f = Punto de congelación = 28 °F

T_b = Temp. al final de la congelación = 13 °F

T_a = Temp. del medio de enfriamiento = -15 °F = -25 °C

C₁ = Calor específico abajo de la congelación = 0.40 $\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}}$

C₂ = Calor específico arriba de la congelación = 0.80 $\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}}$

K₁ = Conductividad térmica abajo de la congelación = 0.81 $\frac{\text{BTU}}{\text{hrft}^\circ\text{F}}$

h = Coeficiente superficial de trans. de calor = 3.20 $\frac{\text{BTU}}{\text{hr/f t}^2\text{ }^\circ\text{F}}$

ρ_1 = Densidad abajo de la congelación = 61.8 $\frac{\text{Lb}}{\text{ft}^3}$

L = Calor latente de fusión = 115 $\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$

t_f = tiempo de congelación = ?

$$Q = .80 |37.4 - 28| + 115 + .40 |28 - 13| = 128.52 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$$

$$t_f = (1 + 0.00445 |37.4 - 28|) \left(\frac{128.52 \times 61.8}{|28 - (-15)|} + \frac{1}{2} \left(\frac{.0833}{3.2} \right) + \frac{1}{8} \left(\frac{.0833^2}{0.81} \right) \right)$$

$$\dots \quad t_f = 2.5 \text{ hrs}$$

$$P \quad \left| \begin{array}{l} \text{ambas superf. exp.} \\ \\ \text{Lámina infinita} \end{array} \right. = \frac{1}{2}$$

$$R \quad \left| \begin{array}{l} \text{ambas superf. exp.} \\ \\ \text{Lámina infinita} \end{array} \right. = \frac{1}{8}$$

Por lo tanto, la carga horaria promedio será = $\frac{430\,981 \text{ Kcal}/24 \text{ hrs.}}{2.5 \text{ hrs.}}$

$$\dots \quad \text{Carga horaria promedio} = 172,392.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

VIII. - PARTE ELECTRICA DE LA CAMARA.

En la actualidad la energía eléctrica se emplea exclusivamente como fuerza motriz para el funcionamiento de las instalaciones de refrigeración; por lo que creí conveniente incluir este capítulo en el cual se mencione brevemente lo más importante de lo que concierne a la parte eléctrica de una cámara de refrigeración.

Motores Eléctricos. -

En la industria de refrigeración se emplean motores monofásicos y trifásicos de C. A., de varios tipos como impulsores para compresores, bombas y ventiladores. Ocasionalmente se encuentran algunos motores de dos fases y de C. C.

Los motores monofásicos varían en capacidad, aproximadamente de 1/20 HP, hasta unos 10 HP; los motores trifásicos pueden obtenerse en tamaños que varían aproximadamente, 1/3 HP en adelante, -

si bien estos últimos rara vez se emplean en tamaños inferiores a 1 HP. Cuando se dispone de potencia trifásica se prefiere, generalmente, el motor trifásico al motor monofásico en tamaño de caballos enteros, debido a su mayor sencillez y menor costo.

Además del tipo de potencia disponible, algunos de los factores más importantes que deben tenerse en cuenta para seleccionar el tipo apropiado de motor son :

1. - Las condiciones prevalecientes en el punto de instalación, con respecto a la temperatura ambiente y a la presencia de polvo, humedad o materiales explosivos.
2. - Requisitos de par de arranque (arranque con o sin carga).
3. - Limitaciones de la corriente de arranque.
4. - Operación en una velocidad o velocidades múltiples.
5. - Operación continua o intermitente.
6. - Eficiencia de factor de potencia.

Todos los motores generan una cierta cantidad de calor debido a la pérdida de potencia en los devanados. Si este calor no se disipa al medio circulante, la temperatura del motor será excesiva y resultará en falla del aislamiento del devanado.

Los motores pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de cubierta como :

a). - Abierto. -

Se usa bajo condiciones de aire relativamente libre de polvo y humedad y en donde no existe peligro de explosión o fuego.

b). - Totalmente cerrado. -

Se usa bajo condiciones severas de polvo y humedad.

c). - A prueba de explosión. -

Se usa bajo condiciones peligrosas como las que se presentan cuando se tienen polvos o gases explosivos en el aire.

d). - A prueba de salpicadura. -

Se instalan en el exterior o en cualquier localización en que el motor puede estar sujeto a la acción de alarma.

Los motores de corriente alterna se pueden clasificar según su principio de operación como motores de inducción o motores síncronos. Un motor de inducción es aquel en el que el campo magnético del rotor se encuentra inducido por corrientes que circulan en los devanados del estator. Un motor síncrono es aquél en el que el campo magnético del rotor se produce por magnetización del rotor, directamente de una fuente externa.

Arrancador magnético. - Es esencialmente un relevador --

eléctrico que, en su forma más simple, consiste en una bobina de alambre aislado, llamada bobina de retén, y una armadura a la cual se encuentran conectados los controles. La operación del arrancador magnético es similar a la válvula de solenoide. Cuando la bobina de retención se magnetiza, la armadura entra al campo magnético de la bobina, cerrando los contactos eléctricos y conectando al motor con la fuente. Cuando la bobina de retención se desmagnetiza, la armadura sale del campo, haciendo que se abran los contactos y que se desconecte el motor de la fuente. Cuando se emplea algún arrancador magnético, el motor se controla directamente, controlando la bobina de presión del arrancador. Por lo tanto, el control de operación se instala en serie con la bobina de retención en el circuito de la bobina de retención, en lugar de directamente en el circuito del motor.

Las ventajas que se obtienen empleando arrandadores magnéticos, al conectar motores en la fuente de potencia son varias. Primero puesto que la corriente requerida para magnetizar la bobina de retención es pequeña, los contactos de los controles de operación de seguridad pueden ser de construcción relativamente ligera, lo que resulta en una reducción de tamaño y de costo de los controles. En segundo lugar, puesto que el circuito de la bobina es independiente eléctricamente, del circuito del motor, el montaje del circuito de la bobina de retención puede ser diferente al del motor. Esto permite emplear un voltaje menor en los circuitos del control, que sean más seguros y generalmente

menos caros para comprar e instalar.

Las bobinas de retención para arrancadores magnéticos se fabrican en todos los voltajes normales y frecuencias comerciales pueden intercambiarse en el campo.

Fusibles. - Todas las instalaciones eléctricas de cualquier tipo que sean, deben tener fusibles adecuados. Este es un requisito -- exigido rigurosamente por los reglamentos nacionales y es un detalle - absolutamente necesario para proteger la instalación, la maquinaria y - los aparatos conectados a los circuitos, al mismo tiempo que a las per-
sonas que los manejan.

Los fusibles desempeñan en los circuitos una función análoga a la de las válvulas de seguridad en las calderas de vapor. En éstas, cuando la presión del vapor sube demasiado, hasta el punto de presentar un peligro por ser superior a la que la caldera debe resistir, se -- abre la válvula de seguridad y deja escapar el vapor para que baje la - presión. En los circuitos eléctricos, siempre que la corriente es mayor de la que los conductores pueden soportar sin calentarse excesivamente y quemar su aislamiento, saltan o se funden los fusibles y abren el circuito. Es fácil ver la enorme importancia de que en todos los sis-
temas se instalen fusibles del tipo y tamaño apropiados.

Los fusibles se hacen de muchos tamaños y estilos diferentes, para distintos voltajes y distintas cargas de corrientes, pero todos

ellos funcionan basándose en el mismo principio general, esto es, abriendo el circuito por la fusión de un trozo de metal que se recalienta cuando circula por él una corriente excesiva.

La elevación de temperatura necesaria para que se funda un fusible depende de la importancia del exceso de corriente, de la duración del exceso de intensidad, y de la facilidad con que el fusible pierde el calor desarrollado en él.

Interruptores. - Hay numerosos tipos de interruptores empleados en las instalaciones eléctricas. Es muy importante elegir los tipos apropiados para las diferentes aplicaciones y comprender bien su uso, funcionamiento y su entretenimiento.

El objeto de cualquier interruptor es cerrar y abrir en forma cómoda y segura un circuito eléctrico y dejar pasar o interrumpir la corriente, controlando así el funcionamiento de todo el equipo conectado en ese circuito.

Interruptores de cuchilla. - Son de los tipos más comunes y se usan para abrir y cerrar los circuitos más cargados, como los conductores principales de toma en las instalaciones de alumbrado y fuerza, y también los circuitos secundarios o derivados que alimentan motores y aparatos con corrientes intensas.

Los interruptores de cuchilla se componen sencillamente de

una o varias láminas de cobre, o cuchillas, articuladas en un extremo, y de pinzas en el otro, con terminales apropiados para conectar a ellos los conductores. Los empleados en los circuitos de motores deben tener una capacidad de corriente en servicio continuo igual al 125 % de la corriente nominal del motor.

Interruptores de resorte o puerta. - Para controlar las luces y los circuitos derivados se emplean por lo general los interruptores de resorte. Se fabrican varios tipos y se llaman también de ruptura brusca porque abren todo ellos el circuito casi instantaneamente.

Termostatos. - Son controles de acción por temperatura, - sensibles y actúan por cambios de temperatura. Se usan para controlar el nivel de la temperatura de un espacio o producto refrigerado, operando sobre el ciclo de trabajo del compresor (arrancando y deteniendo el motor de impulso del compresor) en la misma forma que los controles de flotadores se usan para controlar el nivel de líquido, controlando el ciclo de la bomba (arrancando y parando el motor de la bomba).

Termostato con bulbo. - Comúnmente se usan dos tipos de - elementos en los termostatos, para percibir y transmitir cambios de - temperatura a los contactos eléctricos u otro mecanismo actuante. Uno de ellos es un tubo o bulbo lleno de fluido, conectado a un fuelle o diafragma, y lleno por un gas, líquido o mezcla saturada de ambos. El aumento en la temperatura del bulbo o tubo, aumenta la presión del flui

do combinado, que acciona el fuelle o diafragma y por medio de un sistema de palancas cierra los contactos eléctricos o bien opera otros mecanismos compensantes. La disminución de la temperatura del tubo o bulbo tendrá el efecto opuesto.

Lo expuesto en este capítulo, es mínimo comparado con la extensión de la parte eléctrica, pero si me extendiendo más en el tema tendría materia suficiente para efectuar un tratado, lo cual no entra en el propósito de esta tesis.

PLANO DE COLOCACION DE EQUIPO. -

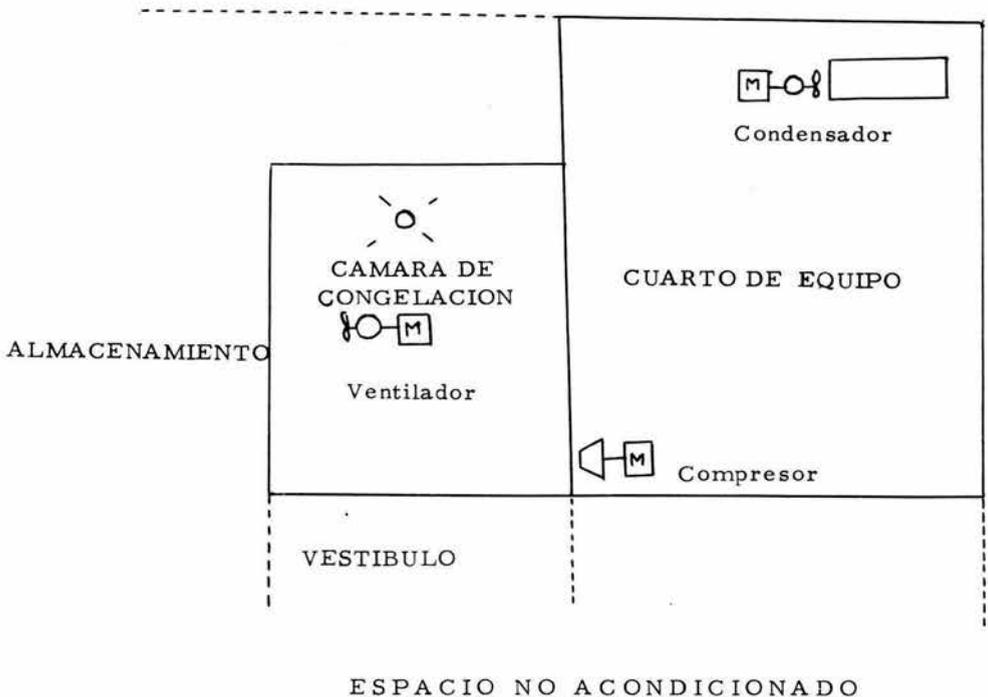
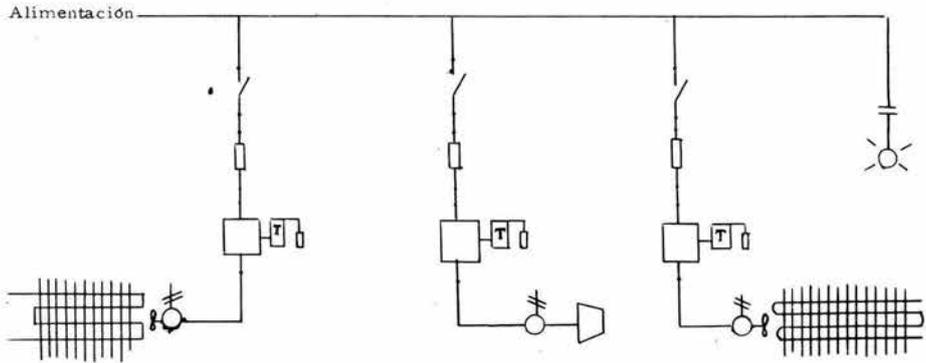
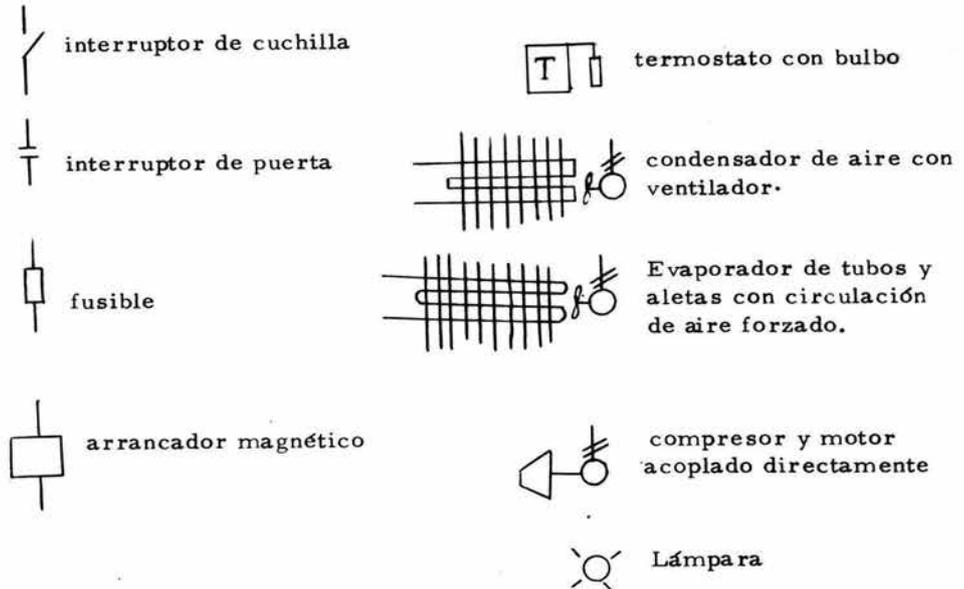


DIAGRAMA UNIFILAR. -

SIMBOLOGIA. -

C O N C L U S I O N E S .

Los conceptos fundamentales y la teoría de la transferencia de calor son los mismos, sólo difieren en su aplicación a determinado proceso: refrigeración, acondicionamiento de aire, evaporación etc. Es por eso que en la primera parte se expuso una parte mínima del amplio campo de la transferencia de calor de una manera general.

Por otra parte, se presentaron varias fórmulas con sus características para la transferencia de calor en la congelación de alimentos. Es importante notar que muchas de estas fórmulas no han sido probadas con exactitud a través de las experimentaciones.

Muchas de las fórmulas presentadas, se desarrollaron supo-- niendo que el alimento está sujeto a la temperatura ambiente constante. Puesto que durante muchas operaciones industriales de congelación o - descongelación de alimentos están sujetas a tiempos y temperaturas ambiente variables, los autores desarrollaron las fórmulas para auxiliar -

CONCLUSIONES

la determinación de procedimientos adecuados para estas operaciones.

Es muy conocido que la densidad del alimento es considerablemente menor en su estado congelado que en su estado no congelado. Todas las fórmulas expuestas excepto las desarrolladas por Tien y Koump se obtuvieron suponiendo que no existe cambio en la densidad durante la congelación o descongelación. Pero las fórmulas de Tien se obtuvieron suponiendo que la forma geométrica de la muestra es semi-infinita y -- también suponiendo temperatura superficial constante durante la congelación, estas suposiciones limitan su exactitud. Fórmulas aplicadas a formas geométricas y situaciones reales son escasas en la literatura - debido a las dificultades encontradas en la solución de la ecuación diferencial involucrada.

Las fórmulas teóricas tienen limitaciones severas debido a las suposiciones involucradas. Las semiteóricas tienen menos limitaciones. Es por eso que se debe incrementar más la investigación hacia el desarrollo de fórmulas semiteóricas; que ayudarán grandemente a la solución de problemas prácticos encontrados por los ingenieros de alimentos.

Ahora pasando a nuestra situación pesquera, podemos afirmar que una muy importante proporción de nuestros recursos naturales se encuentran en el mar, y su adecuada explotación puede proporcionar los medios necesarios para elevar el nivel de vida y acelerar el progreso.

Sin embargo, la extensa gama de recursos alimenticios y minerales que ofrece el mar ha sido aprovechado únicamente por aquellos Estados que disponen de la tecnología necesaria.

Basta reflexionar en el hecho de que más del 70% de superficie del globo está cubierta por agua para entender la importancia que los recursos marinos tiene para el progreso de los países en vías de desarrollo.

Por la dimensión de sus litorales y de su plataforma continental México debería ser un país pesquero, pero no lo es; en un mapa mundi pesquero en 1972, no figura porque su producción es inferior al 1% del total mundial. Sólo tienen posibilidad de contar con gran riqueza pesquera los países con una extensa plataforma continental. México la tiene calculada en 431,051 Km², y un litoral inmenso, pues el 71.3% de su perímetro corresponde a costas que en números absolutos representan 9,219 Km y son las más grandes de la América Latina o sea, -- que por cada Km. de litoral posee el país 246 Km² de superficie.

El aprovechamiento de los productos marinos puede constituir para nuestro país una de las más importantes industrias de la alimentación, pues las diferentes especies de peces, moluscos, crustáceos y algas que albergan nuestras aguas, son fuente poderosa de proteínas, vitaminas y sales minerales.

Los productos del mar pueden compensar la baja en la pro-

ducción de alimentos de nuestras tierras agotadas y erosionadas, a la vez que permitirán acostumbrar a los mexicanos a un régimen alimenticio bien equilibrado y a tomar conciencia de que en un futuro próximo la humanidad dependerá, cada vez en mayor grado, de la riqueza del mar. Desde sus enormes posibilidades de explotación de las riquezas del mar, México puede ver el porvenir con toda confianza. Sin embargo, es evidente que el camino es largo y numerosas dificultades que habrán de vencerse.

Para explotar mejor nuestros recursos pesqueros; se deben reformar las leyes respectivas para dinamizar la actividad pesquera, educar los técnicos que se requieren, multiplicar los créditos para impulsar este renglón tan importante de nuestra economía, fortalecer el sistema cooperativo, evitar el desperdicio de los recursos, proteger las especies, industrializar el producto, alentar la investigación científica, etc. Con esto efectuado México ocupará un lugar decoroso dentro de la producción pesquera a nivel mundial.

LITERATURA CONSULTADA

- Alarcon Creus, José.
Tratado práctico de refrigeración automática; 5a. ed., Barcelona Marcombo, S.A. 1969.

- Bakal Abraham and Hayakawa Kan-Ichi
Heat Transfer During Freezing and Thawing of -- foods. Presented at the annual meeting of the Institute of Food Technologists, San Francisco. 1970.

- Brown, Audrey Ingerson, 1888.
Transmision de calor, trad. de la 3a. ed. en inglés por el Prof. Gabriel Aguirre Carrasco. México, D.F., Cía. Ed. Continental, S.A. 1963.

- Brown, George Granger, 1896.
Operaciones básicas de la ingeniería química. trad. y rev. de los Profs. Calvet J.M. Fernández Ladreda. Barcelona, Manuel Marín & Cia. Ed. 19.

- Coyne Electrical School. Educational Book Publishing Division Chicago, E.A.U.
Electricidad práctica aplicada. trad. del inglés - por Teodoro Ortiz R. México, U.T.E.H.A. 1950-1951. Vol. I.

- Dahl, Olle, Gallardo Yoja.
La utilización del espacio en plantas congeladoras. Tecnología de alimentos. Año 6 Núm. 2 Marzo--Abril 1971. Págs. 8-15.

- Dossat, Roy J.
Principios de refrigeración. Trad. por Ing. Lionel Dignowity. México, D.F. Cía. Ed. Continental, S.A. -c 1963 -.

- Enciclopedia Salvat de la Ciencia y Tecnología.
Barcelona, Salvat [c1964] Vols. 3 y 15.

- González del Tánayo, José.
Transmisión del calor e instalaciones de intercambio térmico empleadas en la ingeniería química. - Madrid, ed. Dossat, S.A. 1955.

- Isachenko, V.
Transmisión de calor, trad. de Angel Igelmo Ganzo. Barcelona, Marcombo S.A. 1973.

- Kern, Donald Quentin, 1914.
Procesos de transferencia de calor . Trad. por -
Ing. Nicolás Marino Ambrosi. México, D.F. Cía.
Ed. Continental, S.A. 1953.

- Kirk, Raymond Eller, 1890.
Enciclopedia de la Tecnología Química. Trad. del
inglés por Oscar G. Carrera. México, D.F. ---
U.T.E.H.A. 1961-1966. V. 12.

- Marsh. R. Warren.
Principios de refrigeración. Trad. por Ing. Lio-
nel Dignowity. México, Ed. Reverté, S.A., 1962.

- Mc. Cabe, Warren Leo, 1899.
Operaciones básicas de ingeniería química. Trad.
por Fidel Mato Vázquez. Barcelona, Ed. Rever-
té, S.A. 1968. 2 v.

- Naintre, Loïc.
La pesca en el mar ; peces, aparejos, métodos y
tácticas. Barcelona, Ed. Hispano Europea. 1972.

- Ramos Guerrero Homero y Viterbo Z. Ana Teresa.
Preservación de alimentos por congelación rápida.
Tecnología de Alimentos. Vol. II No. 1. Enero--
Febrero 1967. Pág. 7-8.

- Rapín P. J.
Prontuario del frío. Vers. española de Carlos -
Barnils Deulonder. Barcelona, Ed. Técnicos --
Asociados, S.A. 1972.

- Sociedad Danesa de Fabricantes de Máquinas.
Manual del técnico frigorista. Trad. por Antonio
Pino Salgado. Zaragoza, Ed. Acriba, 1963.

- Tamayo, Jorge L.
Geografía General de México; 2a. ed. México, -
Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas,
1962. Tomo IV.

- Tressler, Donald K. Ph. D. & Evers Clifford F.B.S., -
M.S. The Freezing Preservation of Foods. Vol. I.
Westport, Connecticut. The Avi Publishing Compa
ny, Inc. 1957 .

- Tressler, Donald K. Ph. D. Van Arsdel, Wallace B., B.S.
and Copley Michael J. Ph. D.
The Freezing Preservation of Foods. Vol. I West-
port, Connecticut. The Avi Publishing Company, -
Inc. 1968.

- Vives Escuder, José.
Instalaciones frigoríficas; 3a. e.l. México, Ed. --
Reverté, S.A. 1956.