

E. N. de M.

R 6946 ✓



PRODUCCION INDUSTRIAL DEL FRIO

A MIS PADRES.

Presidente de Tesis-
Dr. STUHLMANN
Presentada por JOSE
ORREGO R. para optar
el título de Inge-
niero Civil.
Diciembre 12.

ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200 - El Presidente de Tesis, el Consejo de
Jueces de Tesis y el Consejo Examinador NO serán
responsables de las ideas emitidas por el Candidato."

MEDELLIN

INDICE

CAP. I		
	Historia, consideraciones generales, y porvenir de esta industria.	
	Investigaciones de Leslie	1
	Máquinas de afinidad	2
	Primera máquina de compresión	3
	Labor de la Asociación Internacional del Frío	4
	Principales caminos seguidos por ésta.	4
	Aplicaciones de la industria del frío	5
	Importancia de ella en el comercio universal	5
	Observaciones generales	7
	Ventajas del uso del frío en los almacenes	9
CAP. II		
	Nociones sobre termodinámica, compresión, expansión, trabajo. Medios refrigerantes. Clasificación de las máquinas frigoríficas	
	Refrigeración, definición	11
	Calor, frío - diferencia entre ellos	11
	Formas de calor	11
	Transmisión del calor	12
	Concentración, Dilución	14
	Vaporización	15
	Calor latente	17
	Vapor sobrecalentado	20
	" húmedo	20
	Enfriamiento mediante la evaporación	20
	Calor específico de gases y líquidos	21
	Presión y temperatura de los gases	23
	Compresión	23
	Trabajo	25
	Medios refrigerantes	25
	- Clasificación de las máquinas frigoríficas	30
	Máquinas de vapor por el vacío	31
CAP. III		
	Máquinas frigoríficas modernas. Compresores, tipos y funcionamiento. Naturaleza del medio empleado en los compresores.	37
	Amoníaco	38
	Anhidrido sulfuroso	38
	Gas carbónico	39
	Energía frigorífica	41
	" consumida	41
	Comparación de potencia en las máquinas frigoríficas	42
	Rendimiento de un compresor	43
	Primer método determinado para determinarlo	45
	Segundo método empleado para determinarlo	45
	Variaciones del rendimiento en un compresor de amoníaco y en su motor	47
	Observaciones sobre un compresor de CO ₂	48
	" " " " Linde	49
	Características generales de las máquinas de gases licuables	50
	Cálculos sobre compresores	54
	- Tipos de máquinas frigoríficas. Descripción y funcionamiento	57
	Compresores compound	57
	" para bajas temperaturas	67
	" sencillos	69

Compresores de amoníaco	69
" " gas carbónico	70
" " anhídrido sulfuroso	72
" autorefrigerantes	73
Ventajas e inconvenientes de los diversos tipos analizados	74
Máquinas marinas	75
Funcionamiento y conservación de las máquinas	76
Reglas para arrancar y hacer funcionar las máquinas	76
CAP. IV	
La electricidad en la refrigeración	
Temperatura de refrigeración	83
Efecto de refrigeración	83
Cantidad de refrigeración necesaria por ton. de refrigeración	84
Desplazamiento actual del cilindro	84
Cuándo y por qué reemplazó la electricidad al motor de vapor	85
Cómo lo hizo	87
Costo del equipo	87
Cómputo del # de KW consumidos en diferentes tipos de motor	89
- Neveras	91
CAP. V	
Aparatos auxiliares.	
Cilindro y pistón	96
Válvulas	97
" accionadas	98
Prensaestopas	99
Dispositivos de seguridad	101
Engrase	101
Acoplamiento	103
Condensadores	104
Evaporadores	109
Salmueras	113
Protección de cubas contra la corrosión	115
CAP. VI	
Construcción de frigoríficos	
Aislamiento	116
Condiciones requeridas por un buen aislamiento	118
Construcción de frigoríficos	118
Manera de colocar el revestimiento	119
Distribución del frío	121
Ventiladores	124
Bombas	124
Enfriamiento por el sistema mixto	124
Renovación del aire	125
Bases para calcular un frigorífico	125
CAP. VII	
Fabricación del hielo	
Diferentes especies de hielo	127
Fabricación del hielo en moldes	127
Dispositivos de vaciado	128
" " avance	129
Moldes	130
Tiempo de congelación	130
Hielo transparente	130
Fabricación del hielo en placas	132
Frigorías necesarias para producir hielo	133
almacenes de hielo	133

PRODUCCION INDUSTRIAL DE FRIO

CAPITULO I

Historia, consideraciones generales y porvenir de esta industria.

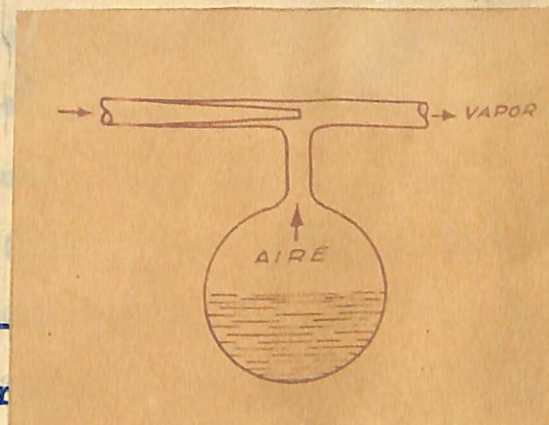
Entre los diversos datos históricos que he podido reunir llamó mi atención como más notorio por lo decisivo uno principalísimo: se remonta a 1662 y hace referencia al Señor Boyle. Luego se encuentran datos que nos expresan pasos más firmes dados por el Señor Leslie en 1811 colocando la investigación de los trabajos que originaron la germinación de las investigaciones sobre obtención de bajas temperaturas y su utilidad para la humanidad, en un terreno más favorable como quiera que tratándose de hechos cumplidos apenas el siglo pasado, hay más fuentes de información y éstas aparecen de una manera más completa; además los trabajos realizados son ya concretos y no se refieren a indicios o preliminares que si bien son la base sólida de la hoy poderosa industria, es preciso forzar, como sucede con los trabajos del Señor Boyle para encontrar su relación con la producción del frío.

La primera fecha mencionada ha sido motivo poderosamente llamativo de mi atención no sólo por lo remota y por las consideraciones más o menos desligadas de mi estudio sobre cuál es la importancia de las temperaturas bajas cuando hombres de la talla de Boyle la buscaron como guiados por presentimientos felices y cuál fue el móvil que los decidió a empezar sus investigaciones, sino porque en ese año se echaron por el sabio francés las bases de la gran industria, madre de la higiene y del comfort modernos cuando con sus experimentos sobre gases y después del estableci-

miento de la célebre ley sobre relaciones inversas entre volumen y presión, el eminente físico dió el primer paso encaminado a la licuación de los gases base, años después, de uno de los tres procedimientos típicos para obtener frío.

El Señor Leslie ejecutó trabajos más directamente relacionados con el frío industrial; sus investigaciones, que no pasaron de ensayos de laboratorio, se basaron en una bomba de aceite, de un solo cuerpo y doble efecto, con la cual hacía el vacío en recipientes que contenían agua, procurando obtener hielo por la evaporación directa de ella. Tocó a Mauricio Leblanc convertir este experimento de laboratorio, en una verdadera industria. Se valió de un tiro de vapor, que arrastraba aire a su paso, y así obtuvo el vacío ambicionado. El procedimiento se ilustra en la figura adjunta.

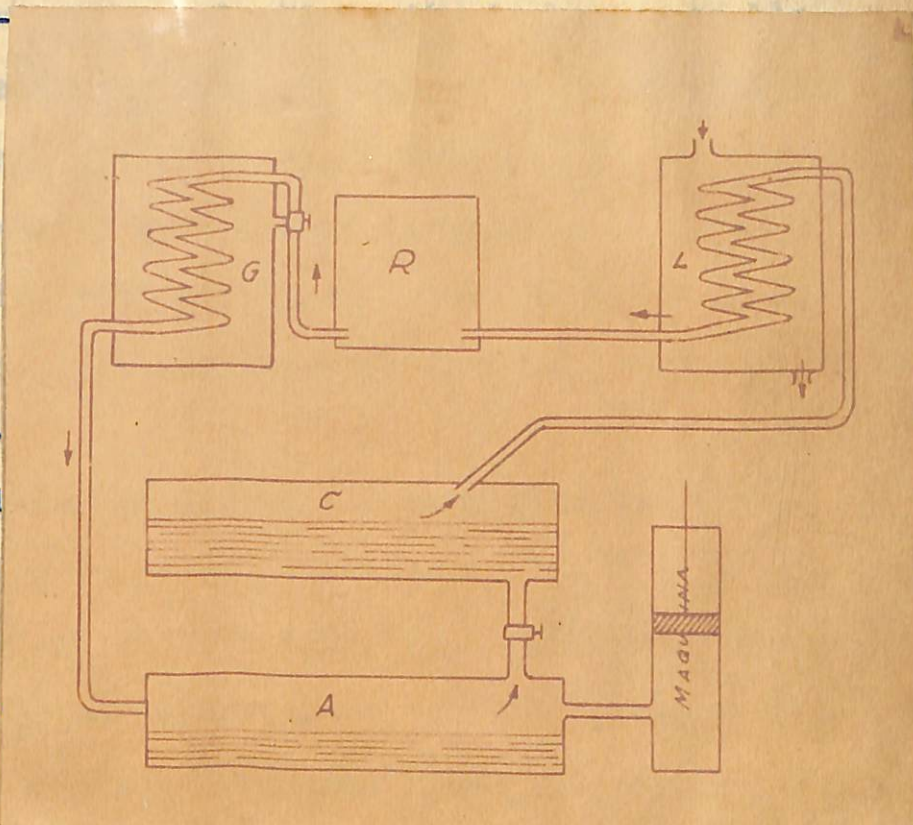
En 1860 entraron a ayudar la producción del frío industrialmente, las máquinas llamadas de "afinidad" que producen su efecto evaporando un gas previamente licuado y haciéndolo absorber luego por



el agua. En años anteriores al citado, el ilustre Faraday había buscado y obtenido en parte, la manera de licuar el amoníaco.

En 1860 los constructores Mignon y Rouart, hicieron industrial el procedimiento Faraday de laboratorio. La máquina construída es la representada en la figura adjunta en la página siguiente. Funciona así: bajo la acción del calor la caldera "C" que contiene la solución amoniaca se calienta y ese calor evapora el amoníaco al licuador "B", donde se licúa y es enfriado por agua corriente que circula en el exterior del serpentín; el amoníaco sigue entonces al recipiente "A" en el cual se almacena; por medio del grifo "a" se deja

entrar al recipiente "G" donde al expandirse se volatiliza produciendo frío. Sigue el gas su camino y encuentra el absorvedor "D", donde es diluido por el agua almacenada allí; del absorvedor "D" vuelve a la caldera "C" y continúa en esta forma un ciclo cerrado, empujada por la acción mecánica de la bomba "P".



Por último mencionaré las máquinas de "compresión" a cuyo tipo pertenece la casi totalidad de las usadas hoy por hoy y de las cuales existe una gran variedad diferenciándose esencialmente sólo en la naturaleza del gas volátil empleado; éste puede ser: amoníaco (NH_3); cloruro de metilo (CH_3Cl); ácido carbónico (CO_2); éter (C_2H_5) $_2\text{O}$ etc.

La primera máquina de este tipo fue construida por el Señor Carlos Tellier en 1868. Como es de suponerse, muy rudimentaria.

Las máquinas de este tipo más modernas son: la fabricada por Windhausen a base de ácido carbónico; la de C. Vicent a base de cloruro de metilo y la máquina del abate Audiffren, que es un caso especial de la máquina de compresión.

Las últimas palabras dichas en esta industria que, como ya dije, se circunscriben íntegramente al tipo que me ocupa, las veremos detalladamente en el capítulo III de este trabajo bajo el título "Estudio general de las máquinas frigoríficas; tipos y funcionamiento".

Réstame con respecto al pasado, muy brillante por cierto, de la industria que me ocupa, tocar ligeramente siquiera los nombres de los

sabios que obtuvieron por primera vez la licuación de los gases llamados "permanentes"; destacaremos entre las innumerables eminencias que intervinieron los señores: Luis Cailletet, Raúl Pictet, y Carlos Tellier de una parte; Olssewiski y Wroblewski, asombraron al mundo de 1885 y el profesor Linde, diez años más tarde obtuvo el éxito máximo con el resultado asombroso de sus experimentos sobre licuación del aire.

Hoy día, la extracción del oxígeno y del nitrógeno del aire, son la aplicación más importante de esta ciencia.

Las investigaciones de los grandes fríos en límites muy vecinos al cero absoluto, han permitido aseverar que la agitación molecular térmica de la materia se adormece, en la misma forma que la vida orgánica se adormece con el cero relativo.

Para que una industria pueda ser considerada como tal y obtenga un desarrollo en proporción con lo que de ella se espera, es preciso que se apoye no sólo en los hombres de ciencia y de gobierno, sino que es indispensable una cooperación de las grandes asociaciones sindicales y comerciales del mundo. La industria del frío cuenta para su desarrollo y mejoramiento, con instituciones de la talla de la "Asociación Internacional del Frío" fundada en París en 1909. Esta asociación que ha promovido los congresos mundiales de: Viena (1910); Tolosa (1912); Chicago (1913) y París (1919) en el cual se hicieron representar: Argentina, Bélgica, China, COLOMBIA, Cuba, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Canadá, Guatemala, Italia, Japón, Holanda, Polonia, Portugal, Rumania, Rusia, Servia, Yugoslavia, Suecia, Suiza, Checoslovaquia y Uruguay, ha apoyado toda iniciativa tendiente a mejorar la industria y trabaja actualmente, con oficina central en París por el adelanto y mejoramiento de sistemas. Sus principales caminos empleados se basan en la creación de

cursos destinados a la especialización de ingenieros en la técnica del frío, y la fundación de una revista mensual en la que cada interesado expone su problema particular, y todos se lo resuelven. Bajo semejantes auspicios, fácil es comprender por qué no hay razón para sorprendernos ante la marcha triunfal de la industria por excelencia nacida apenas hace setenta años, y que sin embargo ha producido transformaciones considerables en el orden económico del mundo. A quien dudare de mi última aseveración me permito insinuarle que reflexione en cuántas y cuáles son las industrias en las cuales el empleo de las bajas temperaturas les permite emplear totalmente sus sub-productos, mejorar sus artículos o sea, en una palabra, abaratar la producción. Díganlo si no las industrias de las materias grasas; las peffumerías; las confiterías; fábricas de cervezas; las lecherías; la industria del caucho; las fábricas de explosivos, de placas y demás artículos fotográficos; la horticultura y la industria química en general.

Mas no se detiene aquí la importancia de la industria frigorífica; su campo inmenso de acción es muy otro; el que acabamos de ver en vuelo es nada; su importancia llega a los límites cuando se considera la fabricación del hielo y su propiedad de adormecer la vida orgánica. Aquí, en la conservación de las materias alimenticias objeto hoy de un comercio cuya importancia se cuenta por millones de dólares, es donde la industria de producir bajas temperaturas merece el primer puesto en la categoría de las industrias indispensables.

Casi pudiéramos decir que esta industria puede servir hoy para marcar el grado de adelanto en un pueblo; y si hacemos una ligera comparación, qué mal queda la pobre Colombia. Veamos algunos datos numéricos:

Nos dice la revista de la "Asociación Internacional del Frío"

que en los Estados Unidos la industrialización del frío ha producido como resultado una baja del 25% en el precio de la carne, rebaja fácilmente explicable si se tiene en cuenta que con carros refrigeradores el transporte de los lugares de producción a los centros de consumo se reduce a la parte "consumible" del novillo ya que éstos pueden ser degollados en las mismas haciendas o por lo menos en los centros de las comarcas productoras, cargando en los ferrocarriles únicamente la parte que se necesita. Esta rebaja, informa la misma revista, supone una economía diaria para el pueblo yankee de nueve millones cien mil US dólares (\$9.100.000).

En la Gran Bretaña, que apenas produce el 60% de las materias alimenticias necesarias a su población y que por consiguiente tiene forzosamente que importar el 40% necesario de sus colonias y aún de otros países tales como Francia, Argentina, Rusia etc., encontramos otros datos interesante que es el siguiente:

Hasta fines del siglo pasado Inglaterra tenía que pagar, en los países a los cuales compró el excedente de su consumo, a precios corrientes la cantidad necesaria; después y causado por las pérdidas originadas en el transporte por alteración, fermentaciones etc., esos artículos fueron vendidos no sólo al precio de compra más el de transporte, sino que se tenía que aumentar el valor a fin de obtener en las unidades que quedaron buenas una compensación por las pérdidas. Con el desarrollo alcanzado por la industria del frío que permite evitar toda clase de alteraciones en carnes, huevos, legumbres etc. ese gran país economiza hoy mensualmente una cantidad aproximada de cien mil libras (100.000£) y su pueblo consume los artículos comprados muy lejos, únicamente con el recargo natural del transporte, recargo que va a engrosar los mismos capitales ingleses, pues bien universalmente conocido es el tonelaje de su marina mercante. Insisto en este

ejemplo para hacer resaltar lo que verdaderamente es economía para Inglaterra. Los artículos que se perdían a nadie beneficiaban, pero sí tenían que ser comprados al país productor; mas claramente: si Gran Bretaña necesitaba un millón de huevos diarios en Londres, debía comprar a Bélgica u Holanda no sólo ese millón, sino uno y medio o cosa así. Con el hielo hoy sólo necesita comprar al productor la cantidad precisa que necesita. Gana así Inglaterra la riqueza que antes se desperdició por falta de medios adecuados para el transporte.

Otro caso notabilísimo es el que ofrece Francia durante la gran guerra: al comenzar las operaciones militares en 1914, ese país sólo disponía en sus ferrocarriles de vagones-refrigeradores capaces para transportar diez mil toneladas de carne por año; al terminar la hecatombe, forzados por la necesidad, el poder transportador contaba seis veces más capacidad.

Como un último ejemplo, más llamativo que todos, sepamos que el F.C. de A., único en Colombia que por lo menos ha iniciado la adaptación de algunos carros como carros-refrigeradores, posee seis de éstos con una capacidad de diez toneladas cada uno. En resumen pues, la República de Colombia puede movilizar con los actuales elementos refrigeradores de sus ferrocarriles la fantástica cantidad de veintidós mil novecientas toneladas de carne por año! Y esto suponiendo que los seis carros del F.C. de A. viajan diariamente, y ni un sólo día se encuentra ninguno de ellos fuera de servicio.

Para poner fin a este capítulo haré algunas consideraciones generales y por tanto de aplicación directa al país.

La vida intensa de las ciudades que entre nosotros empieza a esbozarse con la industrialización de ellas y que es de esperar alcanzará una mayor rata de desarrollo en los próximos años, sobre

todo en Medellín gracias al caudal de energía eléctrica que le derrama a diario el Guadalupe, provoca en el individuo un gasto tal de energía que resultan en él nuevas necesidades, imperiosas, tanto en alimentación como en la higiene general de la colectividad. Esto explica el consumo indefinido de productos alimenticios y nuevos provenientes de países lejanos, de los más variados climas y de suelos propicios a los cultivos más diversos; productos ricos en elementos minerales y orgánicos que no se encuentran en los productos naturales vecinos.

Para asegurar la nueva organización de estas colectividades y prevenir los peligros de la escasez de víveres, es preciso un entendimiento entre comarcas distintas para poder equilibrar la balanza de la alimentación. En concepto del Señor Pacoret, emiante ingeniero francés, sería muy deseable la adopción de las siguientes medidas:

- a). Promulgación de una ley que prevea y ordene la manera higiénica de mantener e inspeccionar las carnes en los mataderos públicos bien sean éstos municipales o internacionales (entre nosotros el de "Coveñas");
- b). Construcción de mataderos modernos que den plena garantía acerca del manejo y preparación de las carnes;
- c). Revisión de las leyes existentes sobre impuestos de degüello e inspección de mataderos a fin de crear servicios de higiene que funcionen con el máximo de eficiencia posible;
- d). Limitación de una zona de prohibición para el establecimiento de mataderos particulares en las vecindades de los públicos;
- e). Incorporación de los mataderos particulares a los de servicio público ya que éstos pueden ser mejor controlados y organizados;
- f). Autorización de vender los productos frigeríficos en cualquier tiempo, sea cual fuere la naturaleza de los productos deposita-

dos en los almacenes de depósito, mercados, mataderos etc.;

g). Desarrollo de los servicios de transporte frigorífico tanto en los ferrocarriles como en los barcos; y

h). Creación en los mataderos públicos de plantas de pasteurización destinadas al saneamiento de los productos alimenticios.

Las ventajas de emplear frío artificial en el almacenaje de productos poco durables pueden resumirse así: prevención del deterioro prematuro de esos productos (ya di el caso de Inglaterra); prolongación del período de consumo y aumento, por consiguiente, de la producción; oferta a los productores de poder exportar sus cultivos a otros mercados, por lejanos que sean en busca de mejores precios; facilidad del transporte en condiciones ventajosas, de los productos en cuestión, desde el punto de producción hasta el de consumo; facilidades en los centros de consumo de disponer en cualquier época de la variedad más grande posible de alimentos; regulación del mercado de esos productos y finalmente un medio eficaz contra la carestía de la vida.

Con respecto a este último renglón, la lucha contra la carestía de la vida, quiero agregar unas palabras: a cualquiera se le ocurre objetar que bien puede ser la conservación en frigorífico un medio útil a los especuladores con las necesidades de la plaza en que viven; yo le pregunto: y si nuestros barcos y ferrocarriles se proveen de buenas cámaras frigoríficas, no son éstas precisamente la espada de Damocles sobre la cabeza de los hasta hoy especuladores?

Si el gobierno nacional se dignara dar la mano a la compañía propietaria del "Packing House" en "Coveñas" y esta empresa pudiera seguir sin más interrupciones sus trabajos, no proporcionaría la exportación de carnes un nuevo renglón favorable a nuestra balanza de pagos a la vez que consumiendo el excedente de ganados en el Departa-

mento de Bolívar salvaría la industria pecuaria en los Departamentos centrales en los cuales se encuentra amenazada de muerte merced a sus jornales más caros y al difícil abasto de sal puntos que la impiden competir con el ganado ayapeleño?

Creo que los puntos propuestos por el Señor Pacoret y transcritos por mí en este trabajo como convenientes para ser recopilados en una ley, las observaciones hechas acerca de las ventajas del empleo del frío, tales como abaratamiento de la vida, lucha contra acaparadores y manera de que el gobierno central apoye la industria pecuaria, serán algún día útiles a mi país. Si esto sucediere, me considerare superabundantemente recompensado por mi trabajo, pues no otra es y será mi mayor ilusión: servir mis conciudadanos

-----oOo-----

CAPITULO II

Nociones sobre termodinámica, compresión, expansión, trabajo. Medios refrigerantes, clasificación de las máquinas frigoríficas.

Consiste la refrigeración, en términos generales, en la expulsión del calor. Los métodos y máquinas más modernos recopilados de la manera más clara y somera es el objeto de este mi trabajo.

Cuando a una sustancia se le añade calor, su temperatura, generalmente sube; cuando se le quita, generalmente baja.

Calor y frío. Cuál es la diferencia entre aquél y éste? Cuándo está algo caliente y cuándo lo está frío? Estos interrogantes son imposibles de contestar de una manera categórica; para hacerlo es preciso partir de la base de que los términos "caliente" y "frío" son términos relativos, tan relativos como el movimiento de los cuerpos. El proceso de refrigeración puede definirse indistintamente como "remoción del calor" o "producción del frío". Si vamos a enfriar un cuerpo es decir producir una temperatura baja en él, es preciso rodearlo de una temperatura más baja. En otras palabras: el medio refrigerante tiene que ser de temperatura inferior a la del cuerpo o sustancia que va a enfriarse.

Se considera el calor en dos formas distintas: calor sensible y calor latente. Es sensible, si puede ser percibido por uno cualquiera de nuestros sentidos; debemos aquí parar mientes en que el término "sensible" significa que puede ser percibido por nuestros sentidos, y no que el calor tenga cualidades especiales. Ejemplos de este calor, hay por montones: si ponemos una pequeña vasija con agua sobre la llama de una vela, podremos apreciar perfectamente que el agua se va tornando más y más caliente; si en circunstancias iguales repetimos el experimento varias veces, llegaremos a la con-

clusión de que a cierta cantidad de calor añadida (en nuestro experimento y si ponemos todas las circunstancias iguales, podemos medirla por el tiempo que permanezca la llama bajo la vasija) corresponde determinada elevación de temperatura. Tan comunes son en la vida los ejemplos de calor sensible y nos hemos familiarizado tanto con ellos, que con frecuencia lamentable estamos inclinados a caer en el error de tomar los cambios de temperatura, como medida del calor suministrado.

Se llama calor latente al calor almacenado en una substancia, debido a los cambios internos que ocurren en la sustancia misma. Es esta la forma verdaderamente interesante para mi estudio.

Antes de seguir adelante y habida consideración de que al tratar acerca de la manera como el frío puede conducirse desde la máquina misma en que se produce, hasta el lugar en que se emplea, agrego aquí las siguientes nociones por juzgarlas de utilidad incalculable. Transmisión del calor. El calor se transmite por conductibilidad, por radiación y por convección.

CONDUCTIBILIDAD: Es la transmisión del calor en partes adyacentes de un mismo cuerpo o de dos cuerpos en contacto, estando aquéllas y éstos a temperaturas distintas. Su ecuación general es

$$M = K \frac{t - t_1}{e}$$

M = cantidad de calor transmitida por m² de superficie / hora

t - t₁ = temperaturas de las partes consideradas

e = espesor, mejor aún, distancia entre las superficies limitantes de las porciones consideradas

K = coeficiente de conductibilidad distinto para cada sustancia; a continuación doy el valor de él para las sustancias que nos interesan en este trabajo:

Sustancia	K	Sustancia	K
Hierro	60	Caucho	0,17 a 0,3
Latón	100	Aire	0,02 " 0,25
Betún	0,7 a 1	Corcho	0,63 " 0,06
Ladrillo	0,4 " 0,8	Kieselgur	0,05 " 0,10
Mampostería	0,1		

RADIACION: Bien conocida es la sentencia de que "todo cuerpo caliente, emite a través del espacio, rayos caloríficos. Se basa esta afirmación en los experimentos de los Señores Dulong, Pédet y Petit.

Su ecuación general es:

$$R = 124,72 \times r (a^t - a^{t1})$$

R = cantidad de calor radiado por m² de superficie / hora.

r = coeficiente de radiación

a = constante = 1,0077

t = temperatura del cuerpo

t1 = temperatura del medio circundante

A continuación doy los valores de "r" para las sustancias que nos interesan

Sustancia	r	Sustancia	r
Latón pulido	0,24	Agua	5,31
Lámina ordinaria (Fe)	2,77	Aceite	7,24
" pulida (Fe)	0,45	Pintura con aceite	3,71
" oxidada (Fe)	3,36	Negro de humo	4,01

El poder radiador de una sustancia es igual a su poder de absorción; varía con el estado de la superficie y con la naturaleza misma de la sustancia considerada.

CONVECCION: Hay transmisión por convección cuando un cuerpo sólido se encuentra en contacto (bien porque lo rodee, bien porque esté contenido) con uno líquido de temperatura distinta a la del sólido. Su ecuación es

$$F = 0,552 \times f (t - t1)^{1,233}$$

F = cantidad de calor transmitida por m² / hora.

f = coeficiente de transmisión, dependiente de la forma de los cuerpos y sus dimensiones; independiente de la naturaleza y la temperatura.

De mayor importancia aun que lo anterior es el caso siguiente; la importancia que atribuyo se entiende ser para el caso particular que me ocupa.

TRANSMISION DE CALOR DE UNA PARED METALICA A UN LIQUIDO O A UN GAS.

En este caso el coeficiente medio de transmisión superficial es:

Agua en ebullición	4.000 a 6.000
Vapor de agua casi condensada	10.000
Agua en reposo, no en ebullición	500
Agua caliente y con velocidad v	$200 + 1.800 \sqrt{v}$
Agua agitada	2.000 a 4.000
Vapor húmedo	$800 + 6\sqrt{v} \times y$
(y = peso específico de la mezcla en toneladas / m ³)	
Gas en reposo	$\frac{4}{2 + 10\sqrt{v}}$
Gas en movimiento	

No es menor la importancia de tener fresco el recuerdo, para mejor comprender y apreciar las maravillas que llamamos máquinas frigoríficas, de lo relacionado con

CONCENTRACION - DILUCION: Teniendo una solución de cualquier cosa ante nosotros, la concentramos retirándole agua (por medio de la vaporización por ejemplo); la diluimos, agregando agua en vez de quitarla. Sobrentendido que admito la existencia de miles de solventes más pero como en lo que me ocupa el único usado es el agua, sólo a ella hago mención.

La concentración y dilución se expresan hoy día únicamente por la densidad; los grados Baumé han sido abolidos oficialmente en la mayor parte de los países civilizados; en Francia, por ejemplo, una ley de 1919 prohíbe su uso.

Llamemos x el peso de agua que se añade (dilución) o que se quita (concentración) a una solución de peso inicial P₁ y densidad

correspondiente d_1 ; añadida o quitada el agua en cuestión, resulta que el peso final es de P_2 y la densidad resultante d_2 . Tendremos pues lo siguiente:

Concentración

Dilución

$$P_2 = P_1 - x$$

$$P_2 = P_1 + x$$

$$d_2 = \frac{P_1 - x}{V_1 - x} = P_2/V_2$$

$$d_2 = \frac{P_1 + x}{V_1 + x} = P_2/V_2$$

$$x = \frac{P_1 (d_2 - d_1)}{d_1 (d_2 - 1)}$$

$$x = \frac{P_1 (d_1 - d_2)}{d_1 (d_2 - 1)}$$

A veces se usa también expresar en porcentaje de sustancia sólida con respecto a la líquida, el grado de concentración o dilución. Esto es así: un líquido que inicialmente pesa P_1 Kgs. se le agraga k_1 % Kgs. de sustancia sólida que representará k_2 % Kgs. en el nuevo peso del líquido P_2 .

$$P_2 \cdot k_2 = P_1 \cdot k_1$$

$$\frac{P_2}{k_2} = \frac{P_1 \cdot k_1}{k_2}$$

Concentración

Dilución

$$x = P_1 (1 - k_1/k_2)$$

$$x = P_1 (k_1/k_2 - 1)$$

Por lo que ocurrir pudiere, doy a continuación la manera de saber a cuántos grados Baumé corresponde una cierta densidad.

Conocida la concentración de una solución en grados Baumé se obtiene la densidad por la fórmula siguiente:

$$d = \frac{144,32}{144,32 - B}$$

d = densidad

B = grados Baumé

144,32 = módulo del aerómetro.

Vaporización. Vaporizar significa "cambiar el estado líquido por el gaseoso". A la temperatura ordinaria, o bajo la acción del calor, todos los líquidos emiten vapores: se vaporizan. Los primeros se llaman volátiles (agua, éter, amoníaco etc.); los segundos se llaman

estables pues no se vaporizan a temperaturas ordinarias. Todo liquido volátil se vaporiza instantáneamente en el vacío.

Por ejemplo evaporar agua es convertirla en vapor. Si tomamos un Kgs. de agua y elevamos su temperatura hasta 100° C, nos será preciso añadir al calor suministrado para obtener esa temperatura, una cantidad igual a 539,3 calorías para convertirla en vapor a 100° C.

Esta cantidad de calor necesaria para convertir un Kg. de liquido en vapor sin que varíe su temperatura se llama "calor latente de vaporización" o simplemente "calor de vaporización". El valor de este calor cambia con la presión a la cual se efectúa la vaporización.

El valor de él fue investigado por el Señor Black quien tomó un Kg. de agua a 0° C. y necesitó 3 minutos para elevarlo a 100° C; usando la misma fuente calorífica necesitó luego 16 minutos para convertir en vapor, por ebullición, el Kg. de agua con que trabajó; a nadie se escapa que el calor consumido en esta segunda operación es 16/3 del que se necesitó para elevar el agua de 0° C a 100° C. es decir: $100 \times 16/3 = 533,3$ calorías por Kg.

Experimentos más recientes y más cuidadosos puesto que ha sido posible el uso de aparatos más perfectos, han permitido fijar el "calor de vaporización" del agua en 539,3 calorías por Kg., a la presión de 1 Atm. A continuación doy una tabla con los calores de vaporización, de diversas sustancias en calorías y en B.T.U.

Sustancia	Calorías	B.T.U.
Agua	539,3	970,74
Alcohol etílico	210	378
Alcohol metílico	266,6	480
Mercurio	62	111,60
Azufre	362	651,60
Cloroformo	58,3	105

Es muy útil tener presente lo siguiente: en un recipiente cerra-

do en el cual se tiene un fluido tanto en estado líquido como gaseoso y a una temperatura determinada, habrá equilibrio, es decir estará el vapor saturado, cuando las masas de líquido y gas permanezcan inalterables.

A cada temperatura determinada corresponde una presión igualmente definida, la cual asegura el equilibrio entre el líquido y su vapor; a esta presión es a la cual conocemos como tensión del vapor en cuestión, saturado a la temperatura correspondiente.

A cada presión especial corresponde una temperatura definida con la cual hay también equilibrio entre el líquido y su vapor, siendo designada esta temperatura como la "temperatura de ebullición" del líquido a la presión en cuestión o también como la "temperatura de licuación del vapor, a la presión definida que se considera".

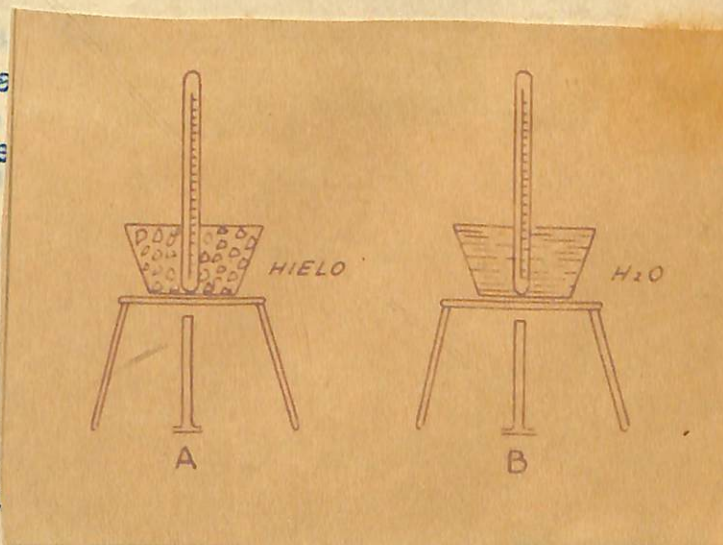
Al empezar a hablar sobre lo que comprende esta capítulo, escribí: "cuando a una sustancia se le añade calor su temperatura generalmente sube; etc.". Subrayé la palabra generalmente porque quería hacer fijar la atención en ella de una manera especial a fin de que se comprendiera perfectamente la necesidad de su presencia en el lugar que ocupa; ahora voy a decir el por qué de esa palabra ahí; en condiciones especiales puede añadirse o extraerse calor de una sustancia, sin aumentar o disminuir su temperatura. Por ejemplo cuando se calienta hielo digamos entre menos 14° C. y 0° C. hay una continua elevación de temperatura tanto mayor, cuanto más tiempo actúe el foco calorífico disponible, supuesta su potencialidad constante. Al alcanzar 0° C., aunque continuemos añadiendo calor, habrá un período considerable de tiempo durante el cual no se registrará aumento alguno de temperatura. La duración de ese período está determinada por la licuación del último trozo de hielo. En estas condiciones especiales se añadió calor al hielo sin que durante

varios minutos el termómetro pudiera registrar ningún aumento de temperatura. Ese calor añadido, qué se hizo? Se perdió acaso? Imposible! Bien sabemos que la energía puede tomar distintas formas pero no puede aniquilarse. Ese calor no registrado por el termómetro, se empleó en cambiar el hielo de la forma que tenía a la de agua, sin alterar en lo más mínimo la temperatura. Esta cantidad de calor suministrada al hielo para transformarlo del estado sólido al líquido, se conoce como "calor latente de fusión del agua". Lo que sucede con el hielo pasa en igual forma con el hierro, con el cobre, con cualquier sustancia. Siempre que la sustancia cambie del estado sólido al líquido habrá una cantidad de calor adicional que suministrar para romper la agrupación molecular sólida a la de líquido.

A presión constante, el calor "latente r" tiene un valor determinado para cada sustancia, por Kg. fundido. Este calor latente es el mismo que conocemos en física con el nombre de "calor de fusión" y se define como la cantidad de calor necesaria para fundir un Kg. de la sustancia de que se trate. Los calores de fusión son conocidos para las diversas sustancias a diversas temperaturas. Así con respecto al hielo, sabemos que vale 80 calorías y que se investigó de la manera siguiente:

Se toman dos vasijas iguales que llamamos A y B y se pone en A un Kg. de hielo a 0° C. y en B un Kg. de agua de hielo a 0° C. Se calienta A y podemos observar que el hielo va fundiendo, pero no se eleva la temperatura sino después de que todo él

está fundido. Supongamos que se gastaron 5 minutos en fundirlo todo. Calentemos luego durante 5 minutos, con el mismo foco calorífico, la



Vasija B; la temperatura del agua subirá a 80°C. , mostrando claramente que el calor latente del hielo son 80 calorías. A continuación anoto calores latentes r , a la presión atmosférica, para varias sustancias:

Sustancias	Calorías	B.T.U.
Hielo	80	143,4
Platino	27	48,6
Mercurio	2,8	5,04
Hierro fundido	33	59,4
Zinc	28	52,4
Plomo	5,8	10,44
Cera	42,3	76,14

Este dato del valor en calorías para el calor de fusión del hielo es importante y por lo tanto aconsejable saberlo de memoria.

Es debido a su calor latente que el hielo sirve como medio refrigerante. De no ser por él, un Kg. de hielo prestaría el mismo servicio que un Kg. de agua previamente enfriada a 0°C. El caso práctico de refrigeración con hielo tiene un mecanismo sencillísimo: ponemos en la nevera, digamos un Kg. de hielo; ese hielo absorbe calor en primer lugar para elevar su temperatura inicial que suponemos de -14°C. ; una vez que el ascenso de temperatura eleva ésta a 0°C. sigue absorbiendo el hielo calor del ambiente que lo rodea (por consiguiente enfriando a éste) en una cantidad que sabemos es de 80 calorías; absorvidas estas 80 calorías, estará completamente fundido el Kg. de hielo en agua a 0°C. y ésta sigue absorbiendo calor hasta que su temperatura se balancea con la del medio circundante; el refrigerador. Tanto el calor absorbido por el hielo como por el agua están suministrados por el aire encerrado en el refrigerador siendo esta absorción la explicación de por qué baja la temperatura en el aparato que comunmente llamamos nevera.

Se llama calor del líquido " q " la cantidad de calor necesaria para elevar un Kg. de líquido de 0°C. a $t^{\circ} \text{C.}$

Se llama vapor sobrecalentado al vapor que, estando separado del líquido del cual proviene, recibe aumento de temperatura.

Vapor húmedo es la cantidad de vapor contenida en un Kg. de mezcla compuesta de vapor y líquido. A continuación un cuadro con el peso específico del aire seco a diversas temperaturas, peso y tensión en mm. de mercurio del vapor de agua a las mismas temperaturas que el aire.

Temperatura	Peso en Kg/m ³ del aire seco	Peso del vapor H ₂ O contenida en m ³ de aire seco	Tensión máxima del vapor de agua.	Atmósfera
- 20	1,396	1,06	0,93	0,0012
- 14	1,363	1,73	1,55	0,0020
- 8	1,332	2,68	2,46	0,0032
- 4	1,312	3,62	3,37	0,0044
- 2	1,303	4,21	3,94	0,0052
+ 2	1,293	4,88	4,60	0,0061
+ 4	1,284	5,58	5,30	0,0070
+ 8	1,275	6,37	6,10	0,0080
+ 14	1,256	8,26	8,12	0,0105
+ 20	1,230	12,01	11,91	0,0157
+ 26	1,205	17,18	17,39	0,0229
+ 32	1,181	24,17	24,99	0,0328
+ 38	1,157	33,55	35,36	0,0465
+ 44	1,135	45,91	49,30	0,0649
+ 50	1,114	61,80	67,80	0,0892
	1,093	82,30	92,05	0,1210

Enfriamiento por evaporación. El calor latente de vaporización y el calor latente de fusión que ya hemos estudiado, tienen un valor económico inmenso en el enfriamiento de las sustancias. Si tomamos un Kg. de agua y lo evaporamos sabemos que necesitamos para esa operación además de las calorías necesarias para subir su temperatura hasta la ebullición, 539,3 calorías a la presión atmosférica; este calor es preciso tomarlo de alguna fente. Si queremos completar el ciclo condensando ese vapor, él nos devolverá las calorías gastadas íntegra o parcialmente según que se nos condense todo el vapor o sólo parte de él.

Ahora consideremos el extremo opuesto. Sabemos que si tomamos agua a 0° C. es preciso retirarle 80 calorías, para obtener un Kg.

de hielo. Pero si sólo tomamos una parte de esas 80 calorías, el resultado será una mezcla de agua y hielo.

El primer modelo práctico de esta refrigeración por evaporación nos lo encontramos en las vasijas porosas orientales, conocidas entre nosotros con el nombre de "alcarrazas" usadas sobre todo en la Costa Atlántica. Esas vasijas conservan fresca el agua que hay en ellas pues por sus pequeños poros se escapan partículas de líquido que al llegar a la superficie se evaporan; al evaporarse toman calor del medio que las rodea y muy especialmente de la vasija misma; como las partículas son muchas, la pérdida de calor tanto en la "alcarraza" como en el medio circundante es considerable y trae como consecuencia lógica el enfriamiento del agua depositada en ellas.

Otro ejemplo es el refrigerador sin hielo, recomendado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, para uso en los distritos rurales; el aparato es así: una vasija con agua, colocada en el salón destinado al almacenamiento de comestibles; dentro del agua que contiene se sumergen tiras de una tela porosa; a través de las hilazas el agua sube y el aire va evaporándola extrayendo, como hemos estudiado 539 calorías por cada Kg. que se evapora. Como la vasija es grande y numerosas las tiras de tela, es fácil comprender la enorme cantidad de calor que se substraer al aire. Esa cantidad de calor gastada hace que la temperatura del depósito, ventilado con el aire enfriado de la manera descrita, se conserve dentro de límites adecuados a la debida preservación de las sustancias alimenticias.

Antes de terminar estas nociones definiré lo que es "calor específico" pues creo nos ayudará mucho esta definición en el curso de mi trabajo. Llámase calor específico de una sustancia la cantidad de calor que un Kg. de esa sustancia necesita absorber para aumentar en 1° C. su temperatura. Se ha tomado como base para los calo-

res específicos, el del agua, representado siempre por 1. Los otros cuerpos, con raras excepciones entre las que se cuenta el hidrógeno tienen menor calor específico; la table siguiente nos lo indica.

Sustancias	Calor específico
Platino, plomo, oro	0,03
Zinc, cobre	0,09
Hierro, nikel	0,11
Azufre, tierra	0,20
Hielo	0,5
Alcohol	0,6
Mercurio	0,03
Agua	1,00

Es preciso tener en cuenta que cuando se trata de gases, es preciso distinguir entre calor específico a volumen constante, y el mismo a presión constante. En el primer caso el calor específico es menor que en el segundo caso; la tabla siguiente confirma esto.

Sustancia	C.e. a volumen constante	C.e.a presión constante.
Aire	0,16	0,23
Oxigeno	0,15	0,21
Vapor de agua	0,36	0,47
Hidrógeno	2,41	3,40

Dije hace poco que las nociones sobre calor específico nos serían de mucha ayuda, porque al trabajar con los diversos sistemas de refrigeración estaremos interesados enormemente en los calores específicos de las diversas sustancias que vamos a enfriar. También nos es de gran interés el calor específico de los diversos medios refrigeradores. Esto último a nadie se escapa, pues es evidente el valor que para el encargado de las cavas de una cervecería por ejemplo, tiene el conocer los calores específicos del aire, el hielo, el amoníaco etc y conocer también el significado de los numeros impresos en las tablas que indican las diversas propiedades calorificas de las sustancias que han de almacenarse en los salones a él confiados.

Al trabajar con gases, no siendo fácil pesarlos, es de vital importancia, el conocer su peso por litro para poder aplicar cuando sea

necesario el valor del calor específico. Como puede verse en el cuadro de la página 20 el peso de los gases inclusive el aire varía con la temperatura.

Presión y temperatura de los gases. Para una presión determinada de un gas hay una temperatura correspondiente a la cual se licúa.

Si se aumenta la presión, hay una elevación del punto de ebullición; sin embargo, cuando cierto límite se alcanza, el gas deja de tener vapor latente de vaporización. Este gas permanece en su estado a esa presión y aun a una mayor cualquiera que sea su magnitud. La temperatura a la cual sucede esto, se llama "temperatura crítica". La tabla siguiente nos muestra las presiones y temperaturas críticas de algunos de los medios refrigerantes más usados.

Sustancias	Presión crítica	Temperatura crítica
Amoníaco	115 Atm.	+ 130° C.
Gas carbónico	75 "	+ 31° C.
Anhidrido sulfuroso	79 "	+ 157° C.
Butano	38 "	+ 150° C.
Etano	49 "	+ 32° C.

Compresión. Descartamos los líquidos pues bien conocida es su casi incompresibilidad. Para estar seguros de lo anterior basta considerar el coeficiente de compresibilidad del agua, es decir la reducción de volumen que experimenta un litro bajo la acción de un Kg/cm², que vale 0,00005.

Al comprimir un gas, se calienta; en otras palabras, el trabajo consumido para comprimir el gas, se convierte en calor. Supongamos un Kg. de aire encerrado en un cilindro de 1 m² de sección, cuya temperatura es de 22° C. y soportando 1 Atm. de presión. Si avanzamos el pistón que sirve de tapa al cilindro (supuesto que su contacto con la superficie del cilindro es perfecto) en una cantidad de 1 mm., el trabajo consumido en la compresión será

$$T = 0,001 \times 10.333 = 10,333 \text{ Kgm. o sean}$$

$10.333/426 = 0,0242$ calorías. La temperatura actual del aire será pues de $22^\circ + 0,0242/0,1684 = 22,14^\circ \text{C.}$ (0,1684 es el calor específico del aire a volumen constante.

Para medir exactamente la presión que un gas adquiere por compresión, es preciso tener en cuenta si las paredes del recipiente que lo contiene son o no permeables al calor. Si es el primer caso, el aumento de calor en el gas, producido por la compresión, es cedido al medio circundante (generalmente el aire) y el gas recupera al cabo de cierto tiempo, su anterior temperatura. Si la operación de compresión se efectúa lo suficientemente despacio para que el calor producido pueda desprenderse, es decir para que la temperatura no se altere, entonces se dice que la compresión es "isotérmica". Esta compresión obedece a la ley de Mariotte que dice: "Cuando la temperatura permanece constante, las presiones son inversamente proporcionales a los volúmenes".

En el segundo caso el calor desarrollado por la compresión se conserva en la masa del gas comprimido y por lo tanto eleva su temperatura. En este caso la presión aumenta no solo por la disminución de volumen, causada por la compresión, sino por la dilatación impuesta por el calor; no se escapa a nadie que en esta segunda forma la presión aumentará mucho más que en el caso primero. La ley obedecida en este caso es la de Poisson que dice "la razón directa de las presiones cuando la temperatura varía es inversamente proporcional a la potencia K de los volúmenes". El valor del exponente K es 1,41 y proviene de la razón de los calores específicos del gas a presión y a volumen constante; es decir

$K = C_p/C_v$. Esta compresión recibe el nombre de adiabática.

Cuando un gas se dilata venciendo una contrapresión ejecuta un

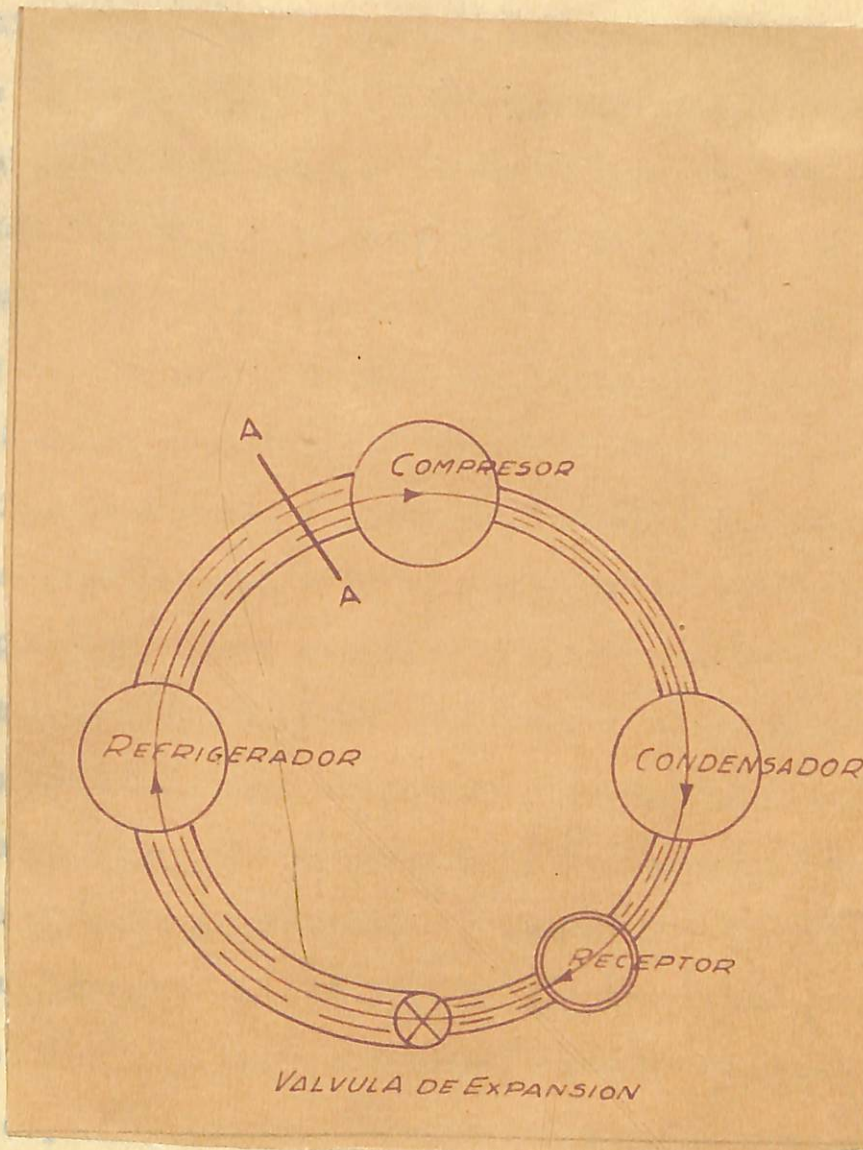
trabajo; el gas se enfría y su presión disminuye por dos motivos: aumento de volumen y descenso de temperatura. La expansión obedecerá a la ley de Mariotte o a la de Poisson según sea isotérmica o adiabática.

Trabajo. Llamamos trabajo el producto de una fuerza por el espacio en el cual se aplica. Para poder comparar los diversos números representativos todos ellos de trabajo es indispensable unirles el concepto de tiempo gastado pues es obvio a todo el mundo que para hacer un determinado trabajo en una hora por ejemplo, se necesita mayor potencia (trabajo por segundo) que para hacer el mismo trabajo en dos horas. La unidad para el trabajo, es el kilográmetro; para la potencia, el kilográmetro por segundo o el H.P que es igual a 75 kilográmetros por segundo.

Hay multitud de casos en los cuales se ejecuta un trabajo y sin embargo no se perciben sus efectos; así por ejemplo al arrastrar un cuerpo, sabemos que se pierde una parte del trabajo ejecutado por fricción. Qué se hace ese trabajo? Se perderá quizá? No. Se convierte en calor siguiendo la norma de que la energía no se aniquila sino que se reforma. De esta transformación nace una nueva necesidad; buscar la manera de calcular el calor perdido por una determinada cantidad de trabajo, o viceversa. A esta nueva relación entre las dos formas distintas de energía de las que vengo ocupándome ya se le puso a la pista desde 1842 el físico Mayer y sus observaciones, completadas en el transcurso de los años con millares de experimentos cuidadosamente observados, han llevado a los hombres a la conclusión de que es preciso consumir 427 Kgm. para obtener una caloría, relación ésta que se conoce con el nombre de "equivalente mecánico del calor".

Medios refrigerantes. Los factores determinantes en la selección de

cuál es el mejor refrigerante son muchos y es preciso considerarlos despacio. Depende su elección del sistema empleado. Tomemos por ejemplo, el sistema de compresores y hagamos un pequeño croquis de él



Partimos de la sección AA; el gas se comprime primero pasando luego a alta presión al condensador donde es enfriado y licuado; este líquido, bastante frío ya y a gran presión llega luego a la válvula de expansión que lo obliga a convertirse en un líquido atomizado a baja presión. Este líquido atomizado absorbe calor y se vaporiza; ese calor se lo toma del cuerpo que se está enfriando. La cantidad de calor tomada depende del calor latente de vaporización del fluido empleado. Estos gases calientes ya, pasan nuevamente al compresor

y recomienzan su ciclo. No está de sobra advertir que cada kilo digamos de refrigerante, debe contener la misma cantidad de calor cada vez que pasa por el mismo punto del ciclo; si esto no sucede, habrá una acumulación de calor o de frío en el sistema.

Repitiendo brevemente tenemos: ocurre primero la compresión que reduce las moléculas del gas a un espacio mucho menor del que ocupaban, con el consabido aumento de temperatura. Este aumento es generalmente considerable y se hace por consiguiente indispensable enfriar el gas. Con este fin se llevan al refrigerador en el cual generalmente se usa agua que pasa por aparatos adecuados desde los cuales se apodera de parte del calor de los gases obligándolos a licuarse. Viene luego la segunda faz: el líquido bastante frío y comprimido que tenemos pasa a tener, gracias a la válvula de expansión, una menor presión. Este descenso de presión hace bajar también su punto de ebullición; en estas condiciones se forma una tendencia natural a gasificarse, para satisfacer la cual sólo hace falta una cantidad de calor igual al calor latente de vaporización del líquido. Qué hará entonces? El problema lo resuelve el líquido absorbiendo esa cantidad de calor de los medios que lo rodean y esos medios son precisamente los objetos o sustancias que se desea enfriar; luego, vuelve al compresor en estado gaseoso ya y recomienza el ciclo.

De lo anterior podemos deducir sin esfuerzo mayor algunas condiciones necesarias en el gas que ha de emplearse como "medio". Primero que todo, puesto que aire y agua son los refrigerantes universalmente usados, el gas seleccionado debe licuarse a temperaturas ordinarias de trabajo (aire y agua se usan como refrigerantes en el condensador); segundo- debe ser fácil y rápidamente obtenible; tercero- la condensación ha de efectuarse en lo posible además de la temperatura corriente a presiones relativamente bajas; cuarto- el

punto de ebullición debe ser lo suficientemente bajo para no exigir operaciones al vacío (caso especial constituyen las máquinas que veremos más adelante y cuyo objeto es precisamente trabajar al vacío); quinto- debe tener un gran calor latente de vaporización; sexto- es conveniente que su olor no sea desagradable; séptimo- en lo posible ha de carecer de acción sobre los lubricantes. La tabla siguiente compara algunos medios refrigerantes

Refrigerantes	Punto de ebullición (Presión atmosférica)	Presión mínima requerida a 26°C.	Calor latente de vaporiza.
Amoníaco	- 33° C.	9.7 Atm.	327 C
Anhidrido carbónico		67,0 "	87 C
" sulfuroso	- 10° C.	3 "	95 C
Butano	0° C.	1,8 "	93 C
Propano	- 44° C	9 "	101 C
Etano	- 88° C.	43 "	130 C

Reparando en este cuadro, vemos claramente que aquellas sustancias que tienen un punto de ebullición bajo a la presión atmosférica necesitan una gran presión en el compresor para elevar su punto de ebullición al del agua refrigeradora; si ésta es bastante fría, la presión necesaria será tanto más baja, cuanto mayor sea ese enfriamiento. Si está caliente, se necesitará más presión.

Los medios refrigerantes que tienen un alto valor para su punto de ebullición a la presión atmosférica, deben operarse en condiciones al vacío, para así bajar un poco ese punto que siendo tan elevado podría mantenerlos siempre en estado gaseoso. Esos medios no están incluidos en la tabla anterior; sus exponentes más notables son: éter, bisulfuro de carbono, cloroformo y tetracloruro de carbono. Veamos un ejemplo sobre uno de ellos para mayor claridad y sea éter el escogido. Tiene el éter su punto de ebullición a la presión atmosférica a los 34,4° C. Lógicamente debe ser líquido a una temperatura inferior a ésta y a la presión atmosférica. Es imposible

trabajar con un medio refrigerante de esta naturaleza, salvo que esté calentado a más de 34° C. o que se opere en condiciones de vacío. Para el éter, si usamos agua a 26° C. (temperatura común del acueducto) necesitaremos un vacío de 177 mm. de mercurio.

Hechas estas consideraciones, hago las siguientes observaciones.

1 - La obtención de altas presiones supone máquinas compresoras muy pesadas; 2 - Trabajar con presiones muy bajas, supone manipuleo en el vacío y las consiguientes dificultades para sostener el medio refrigerador libre de las infiltraciones de aire; 3 - Un calor latente de vaporización muy bajo, supone que una gran cantidad de medio refrigerante pasa por el sistema en un corto espacio de tiempo.

Otro aspecto importantísimo en la escogencia del refrigerante es su inflamabilidad; de los que he mencionado atrás son ininflamables los siguientes: anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso, tetracloruro de carbono. Los otros medios refrigeradores mencionados son más o menos inflamables. El amoníaco por ejemplo, quema difícilmente en el aire cuando está frío, más su combustión es rapidísima si está caliente; el mayor inconveniente bajo este punto de vista está en que puede descomponerse en sus elementos presentándose entonces un exceso de hidrógeno que, debido a la enorme afinidad por el oxígeno, viene a ser altamente peligroso aun a la temperatura ordinaria pues sabemos que a esa temperatura la mezcla hidrógeno y oxígeno puede estallar con violencia. Los otros medios inflamables son: butano, bisulfuro de carbono, cloroformo, etano, éter, propano.

Hay muy pocos casos registrados de explosión provocada únicamente por el calor de la operación misma, pero sin embargo han ocurrido. La mayor parte de las explosiones ocurren a causa de presiones excesivas provenientes de obstrucciones en las válvulas de seguridad,

obstrucciones de los conductos de agua de refrigeración, y demás causas similares. El mayor peligro de explosión está según lo demuestra la experiencia, en que los depósitos guardadores de los cilindros o botellones almacenadores del medio refrigerante usado, se encienda por cualquier motivo, pues si esos cilindros no fueron llenados en la fábrica según las prescripciones científicas pueden estallar debido al aumento de temperatura ocasionado por el incendio. Doy aquí un cuadro que indica el peso máximo del medio refrigerante que puede contener un botellón (según los datos que he encontrado en el libro americano A.S.R.E Data-Book, y que son los permitidos por el I.C.C para embarque) según su capacidad medida en libras de agua. Los datos los transformé y así los doy, a Kgs.

Refrigerantes	Peso unitario máximo
Amoníaco	0,24 Kg.
Butano	0,22 Kg.
Anhidrido carbónico	0,30 Kg.
Etano	0,19 Kg.
Propano	0,20 Kg.
Anhidrido sulfuroso	0,56 Kg.

Si no fuera porque las presiones en los compresores varían tanto para los diferentes gases, podríamos hacer un gráfico que indicara con curvas las características de presión y temperatura de varios gases; siendo esto casi un imposible en un trabajo general, si debe hacerse para los casos particulares. Es recomendable la adopción de representar las temperaturas en las abscisas y las presiones en las ordenadas.

Clasificación de las máquinas frigoríficas. Las máquinas frigoríficas pueden clasificarse en: máquinas de absorción o afinidad;

Máquinas de vaporización por el vacío;

Máquinas de compresión o de gases licuables.

Estas últimas dan lugar a una nueva división así:

Máquinas a expansión de un gas.

Máquinas a vaporización de un líquido.

Puede dividirse también en

Máquinas compresoras verticales de acción simple

Máquinas compresoras horizontales de acción doble

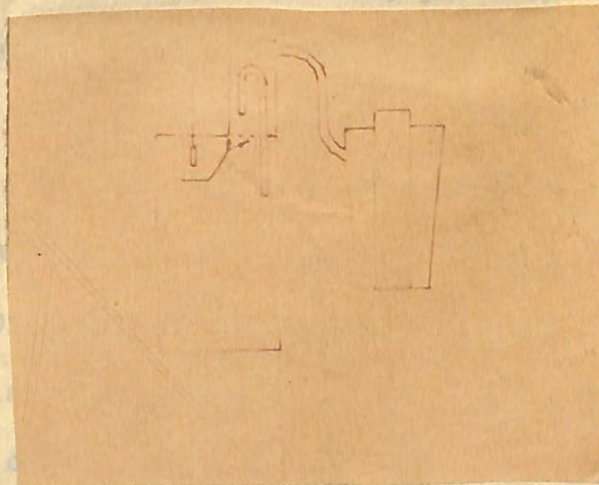
Máquinas compound.

Las máquinas de absorción o afinidad producen el frío por evaporación del amoníaco líquido y su absorción por agua; ya vimos en el primer capítulo lo poco que debe decirse de esta clase de máquinas, pues su completo desuso no las hace merecedoras de un estudio profundo.

Respecto a las máquinas de vaporización por el vacío ya había dicho que se originaron en los experimentos del Señor Leslie consistentes en vaporizar agua, colocándola bajo la campana de una máquina neumática. También dije que fue el físico Señor Carré quien primero hizo una máquina de este tipo; adjunto va un esquema de esa máquina

Con todo, éstas otras máquinas hechas poco después, son tan poco potentes que apenas si servían para el uso de las casas a las cuales su precio elevadísimo originado en los

procedimientos rudimentarios para hacerlas, hacían prohibitivas; en resumen fracasaron completamente. Años después, con el perfeccionamiento de las bombas para hacer vacíos, los americanos tomaron la iniciativa de Leslie y construyeron máquinas de capacidad considerable empleando el ácido sulfúrico en gracias a su gran poder absorbente de agua.



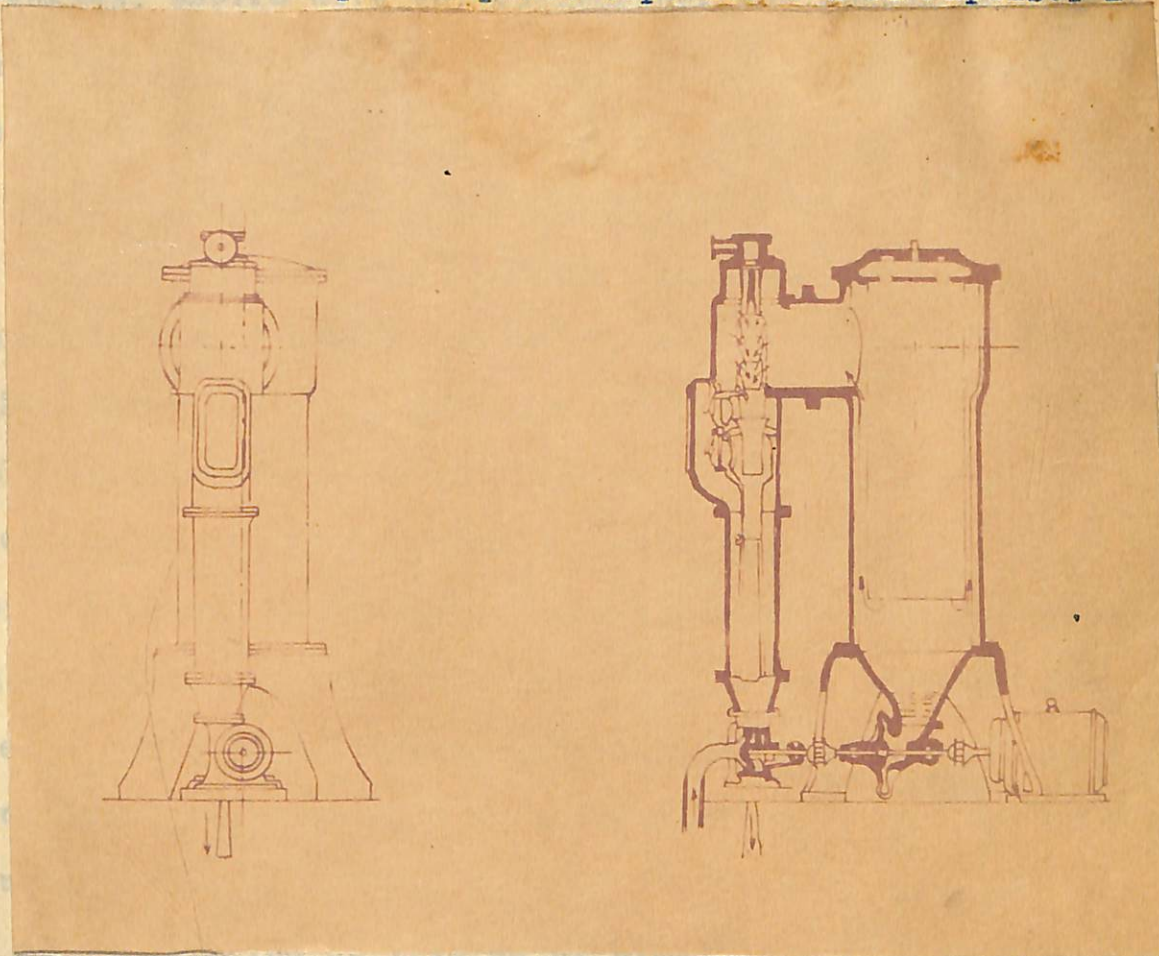
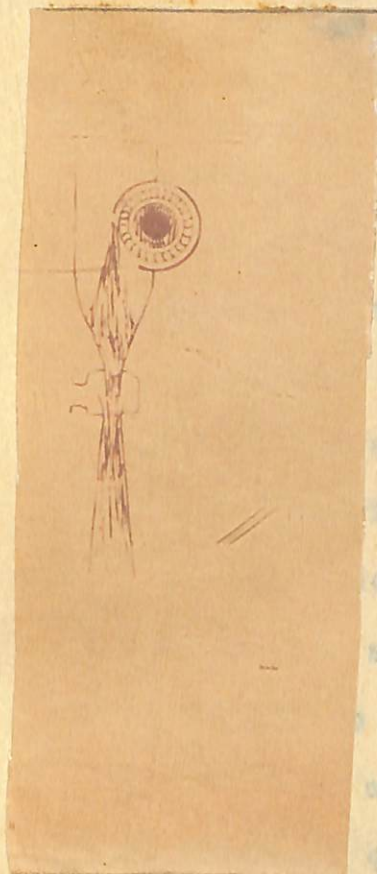
El tipo más perfecto e interesante existente hoy en esta rama, lo representa la máquina a evaporación de agua Westinghouse-Leblanc; me ocuparé brevemente de ella.

Había dicho que tanto en los aparatos americanos, como en los primitivos, el uso del ácido sulfúrico fue importantísimo, empleándolo como absorbente del agua; este sistema era indispensable, pues resultó imposible evacuar por medios mecánicos tales como bombas de pistón, los enormes volúmenes de vapor de agua que resultan al evaporar ésta a bajas temperaturas; téngase en cuenta que el volumen específico del vapor de agua a 0° C. es de 210 m³ y su tensión a 20° C sólo alcanza 22 mm. En cambio el amoníaco por ejemplo, ocupa 0,295 m³ a 0° C. y su tensión a 20° C. es de 8,790 Kg.

La originalidad de la máquina Westinghouse-Leblanc (construida en 1908) consistió en que el agua evaporada era evacuada por medios mecánicos compuestos de un eyector de vapor, asociado a otro de agua, alimentado por una especie de turbina reversa. Además, posee la ventaja de utilizar de una manera más simple las calorías, que las máquinas de compresión, pues en éstas el líquido refrigerante no puede emplearse directamente y su oficio se reduce a enfriar una salmuera, mientras que en la otra es la salmuera misma la que es enfriada y constituye a la vez el medio transportador de la refrigeración. También resulta en la Westinghouse la gran ventaja de que la salmuera es concentrada por el juego directo de la bomba neumática, evitando la reconcentración al calor. Adjunto va un esquema de la máquina, tal como se presenta hoy.

Consiste esencialmente en una cavidad cerrada "C" llamada el evaporador a la cual el agua que va a refrigerarse llega por la parte superior "A" y cae en lluvia menuda desde el cedazo "D" al interior del cilindro "D".

El evaporador comunica por la parte superior con el expulsor "E"



por medio de una tubería. El expulsor "F" desemboca en un condensador caracterizado por la bomba de aire especial Leblanc que, mas bien que bomba, pudiéramos llamar trompa. En este lugar una bomba de centro "H" le comunica al agua la fuerza viva necesaria. La velocidad que debe obtenerse a la salida del agua de la turbina y a su entrada en el difusor es aproximadamente de 40 m/segundo. Esta agua se esparce en láminas o partículas muy delgadas en la periferia y el aire o gas que va a extraerse es arrastrado en ellas, dando por resultado un vena que atraviesa un cuello en el cual la fuerza viva se transforma en trabajo de compresión que hace salir al exterior los gases, formando así el vacío. Para cebar esta bomba, se emplea un chorro de agua a presión en combinación con un chorro de vapor a través del expulsor "E"; la bomba sigue girando correctamente cumpliendo su cometido. No tiene válvulas ni pistón y puede alimentarse indiferentemente con

agua dulce o salada; aspira aire del condensador por debajo de la entrada del agua fría la cual cae en lluvia en la cámara de condensación, encontrándose con el vapor de agua que baja, recoge el agua de condensación en la parte posterior del condensador y la saca. El evaporador tiene en su parte inferior una bomba que acciona la salmuera poniéndola de nuevo en las tuberías que conducen a la cámara que debe refrigerar. Las bombas de agua, aire, de condensación y la accionadora de la salmuera, se montan en un mismo árbol accionado por un motor eléctrico, de vapor, de gasolina u otro cualquiera.

Al poner a trabajar la máquina, la bomba de aire hace el vacío equivalente a la diferencia existente entre la presión indicada por el barómetro en el momento del arranque, y la tensión del vapor a la temperatura correspondiente al agua de alimentación; en este momento, es decir, al quedar hecho ese vacío, se hace circular el agua que ha de evaporarse con producción de frío en el evaporador y el agua de condensación en el condensador; ambas aspiraciones están favorecidas por el vacío reinante y la extracción hecha por las bombas centrífugas. Luego envíase el vapor por "G" a fin de que arrastre el proveniente de la evaporación, el condensador; al mezclarse y entrar en este último aparato, se condensa. El agua de condensación sale, claro está más caliente de lo que llega al condensador y por lo tanto, como consecuencia lógica, la salmuera se enfriará puesto que es ella la que suministra el calor necesario para aumentar la temperatura del agua.

La máquina que acabamos de ver es muy aconsejable para localidades en las cuales se disponga de vapor vivo proveniente de escapes u otra cualquiera fuente barata y agua en abundancia. Es bueno advertir que el mayor rendimiento del aparato se obtiene para tempera-

turas de 0° a 8° C.; para las muy bajas disminuye notablemente debido a la ninguna tensión que tiene a ellas el vapor de agua.

El condensador está colocado inmediatamente encima de la bomba; a ese condensador llega, en virtud de la bomba de salmuera, ésta fría; luego sale cada vez a menor temperatura y sirve para enfriar la sustancia deseada y que se coloca en el espacio "R".

El esquema separado indica claramente como funciona la centrifuga especial Leblanc para ayudar al vacío.

A continuación un cuadro que muestra el resultado de las observaciones hechas en una máquina como la descrita, cuando funciona sólo un expulsor (centrifuga) o los dos (centrifuga y vapor). Como advertencia necesaria recuerdo aquí que "frigoría", corresponde a la "caloría" y tiene su mismo valor.

RESULTADO DE PRUEBA. - MAQUINA FRIGORIFICA WESTINGHOUSE. - LEBLANC

Horas obse	En servicio los 2 expulsores							
Horas observadas	2-10	2-30	2-45	3-00	3-15	3-30	3-45	4-00
Barómetro	757,2	757	-	-	-	-	-	-
Vacío en mm.								
Evaporador	743	745	745	744	743	743	743	744
Condensador	693	695	695	695	694	695	695	695
Presión vapor en Kg./cm ²	8	8	8	8	8	8	8	8
Temperatura:								
Agua de circulac.								
Entrada	30°	30°	30°	29°	29°	29°	29°	28°
Salida	34°	34°	34°	34°	34°	34°	34°	34°
Agua de salmuera								
Entrada	17°	14°	16°	16°	16°	16°	16°	15°
Salida	14°	12°	13°	14°	14°	14°	14°	13°
Consumo								
Agua circ. l/seg.	11,6	11-8	11-8	11-8	11-9	11-9	11-9	11-9
Agua salm. "	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Vapor cond. en l/h		consumo medio de éste 208						
Frigorías-horas en cientos	46,4	38,4	44,4	42,4	44,4	44,4	42,4	42,4

En la página siguiente va el cuadro correspondiente al funcionamiento de uno solo de los expulsores.

Funciona sólo la centrifuga

	4-15	4-30	4-45	5-00	5-15	5-30	5-45	6-00
	757-2	-	-	-	-	756-5	-	-
Número de correas	743	744	744	743	743	743	743	743
Número de correas	705	706	705	705	705	705	705	705
Horas de funcionamiento	8	8	8	8	8	8	8	8
Temperatura ambiente	29°	29°	29°	29°	29°	30°	29°	29°
Temperatura del cuadro	33°	32°	32°	32°	32°	33°	33°	32°
Temperatura anterior	16°	15°	16°	16°	16°	16°	15°	15°
Temperatura posterior	14°	14°	14°	14°	14°	15°	14°	14°
Consumo medio de este	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Consumo medio de éste	142							
	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	32,3	30,3	28,3

-----000-----

En la práctica el número de gases que se manejan está muy limitado por ciertas consideraciones que vamos a ver pronto. Los más importantes entre los gases existentes son:

- Anhidrido carbónico y
- Anhidrido sulfúrico

Las consideraciones que restringen el número de gases son: su estado; condiciones de manejo desde el punto de vista de conservación; explosiones; empleo de presiones lo más bajas posibles; potencia frigorífica neta que se obtiene con una o varias equivalentes a la diferencia entre el calor latente de vaporización en el compresor a la temperatura de éste, y el calor cedido en el refrigerador.

El anhídrido y el anhídrido sulfúrico se emplean de preferencia por ser los más ventajosos en la mayoría de los casos; el anhídrido carbónico tiene también sus ventajas y sus usos en los cuales es irremplazable. Vamos ahora a ver y para cada uno de los anteriores:

CAPITULO III

Máquinas frigoríficas modernas - Compresores, tipos y funcionamiento
Naturaleza del medio empleado en los compresores. Había hecho ya un estudio sobre la naturaleza de los medios refrigerantes en general; me ocuparé ahora, conforme al plan de este trabajo, únicamente de las máquinas de compresión y por lo tanto empiezo por tratar lo que podemos llamar su "espíritu": los gases empleados en ellos.

Las máquinas de compresión se basan en el frío producido por la vaporización de un líquido, cuyos vapores se condensan luego y que después vuelve a ser evaporado para continuar el ciclo. Se dividen en dos clases; la primera comprende las máquinas que usan siempre una misma cantidad de líquido describiendo indefinidamente su ciclo, y la segunda que comprende aquellas que podemos llamar de ciclo abierto.

En la práctica el número de gases empleados está muy limitado por ciertas consideraciones que vamos a ver pronto. Los más empleados entre los gases existentes son: amoníaco,

Anhidrido carbónico y

Anhidrido sulfuroso

Las consideraciones que restringen el número de gases son: su costo; condiciones de manejo desde el punto de vista de envenenamientos, explosiones, empleo de presiones lo más bajas posibles; potencia frigorífica notoria que es poco más o menos equivalente a la diferencia entre el calor latente de vaporización en el compresor a la temperatura de éste, y el calor cedido en el refrigerador.

El amoníaco y el anhidrido sulfuroso se emplean de preferencia por ser los más ventajosos en la mayoría de los casos; el anhidrido carbónico tiene también sus ventajas y hay casos en los cuales es irremplazable. Veamos para unos y para otros, los motivos:

El amoniaco y el anhídrido sulfuroso tienen potencia calorífica considerable y no exigen para licuarse sino presiones relativamente muy bajas, las cuales generalmente no sobrepasan 12 Kg/cm² en el amoniaco y 3 Kg/cm² en el anhídrido sulfuroso. El cuadro siguiente muestra las presiones necesarias a diversas temperaturas para el amoniaco y el anhídrido sulfuroso

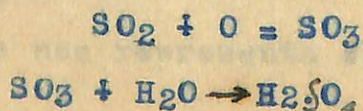
	- 30° C.	0° C.	+ 30° C.
Amoniaco	1,2 Kg/cm ²	4,35Kg/cm ²	12Kg/cm ²
Anhídrido sulfuroso	-	1,5 "	3,25Kg/cm ²

El amoniaco tiene su punto crítico a 130° C.; el calor de vaporización promedio, dentro los límites de temperaturas usuales en las máquinas frigoríficas, es de 330 calorías-Kg. El calor absorbido por metro cúbico es a diferentes temperaturas el indicado por el cuadro siguiente

	- 15	- 21	- 25	- 30
Para el amoniaco	619 calorías	506 calorías	410 calorías	331 calorías

A 15° C. posee un calor de vaporización enorme: 292,5 calorías y su calor específico a 10° C. es de 1,021. Posee una gran afinidad por el agua y ya vimos que a esta propiedad debió su popularidad en las máquinas por absorción.

El anhídrido sulfuroso se licúa fácilmente a - 15° C. constituyendo un líquido fluidísimo e incoloro; el calor de vaporización a 0° C. es de 91,8 calorías; su punto crítico está a los 156° C. siendo la presión de 78,9 atmósferas. Es muy soluble en el agua solubilidad que alcanza 80 veces el volumen de solvente a 0° C. y 50 veces a 15° C. Es irrespirable pero no es venenoso; en presencia de aire, y de la consiguiente humedad de éste, produce ácido sulfúrico según la siguiente ecuación.



El anhídrido carbónico necesita para su manipuleo compresores muy resistentes debido a las grandes presiones que le son necesarias, presiones que alcancen fácilmente 50 a 70 Kg/cm². El ácido carbónico es líquido a la presión atmosférica si la temperatura reinante es de - 87° C.; si la temperatura sube a 0° C. necesita ya para licuarse una presión de 36 atmósferas; con una temperatura media de 33° C. no se licua bajo ninguna presión. Su calor de vaporización es de 65 calorías por Kg. En igualdad de volúmenes evaporados, la energía frigorífica del anhídrido carbónico es aproximadamente 6 veces mayor que la del amoníaco.

Las temperaturas límites más comunmente usadas en las máquinas refrigeradoras son - 10 ó menos 15° C. en el evaporador y 20 ó 30°C. en el condensador. Los líquidos usados, deben estar muy puros; en el amoníaco por ejemplo, sólo es aceptable un 1% de impurezas. Es condición indispensable que al recibir una fábrica de hielo por ejemplo, un pedido de botellas de gas, haga un ensayo del gas recibido, sacando para ello muestras de cada botellón.

Los cuadros siguientes indican las tensiones de los agentes frigoríficos y el volumen que ocupan a esas mismas temperaturas. Quiero antes recordar algo: "Calor de un líquido es la cantidad de calor necesaria para calentar un Kg. de ese líquido desde 0° C. hasta la temperatura que se desea t".

Temperaturas ° C.	Tensión absoluta en Kg. por cm ² (p)			
	NH ₃	CO ₂	SO ₂	H ₂ O
- 10	2,92	27,1	1,037	0,0028
0	4,35	35,4	1,244	0,0060
+ 10	6,27	45,7	2,338	0,0121
+ 20	8,79	58,1	3,347	0,0229
+ 30	12,01	73,1	4,666	0,0415

En la página siguiente están los cuadros del volumen de 1 Kg. en m³; además otro que nos representa el número de m³ aspirados

por el compresor en cada hora de trabajo, y para una producción determinada de frigorías nos hace falta el valor del calor latente y el calor del líquido valores que agregamos también en un cuarto cuadro

Temperaturas ° C	Volumen de 1 Kg. en m ² (V")			
	NH ₃	CO ₂	SO ₂	H ₂ O
- 10	0,432	0,0143	0,329	451,42
0	0,298	0,0104	0,211	210,68
+ 10	0,211	0,0075	0,152	108,52
+ 20	0,154	0,0052	0,107	58,73
+ 30	0,144	0,0030	0,076	33,27

Características	Temperaturas en el condensador 10° C			
	NH ₃	CO ₂	SO ₂	H ₂ O
Tensión en el refrigerante en Kg/cm ²	2,92	27,1	1,37	0,0028
Tensión en el condensador	8,79	58,1	3,34	0,0029
Calor latente en el fefrig. en C.	322,3	61,47	93,44	614
Efecto frig/por K en calorías	304,2	50,76	87,00	594
Calor del líquido en el ref.enC	18,0	10,71	6,44	20
Cant.nec. para 100000 fg/h en K329		1,970	1,15	168
Vol.aspirado/h por el comp.	142	27,2	378	76
Rel.del c.laten-a pot.frig,útil	1,059	1,21	1,07	-

El cuadro anterior es para la producción de 100.000 frigorías

Temperatura °C	Calor latente en calorías / Kg.			
	NH ₃	CO ₂	SO ₂	H ₂ O
- 10	322,3	61,47	93,44	614
0	316,1	55,45	91,20	607
+ 10	308,6	47,74	88,29	600
+ 20	299,9	36,93	84,70	593
+ 30	298,7	15,00	80,44	585

Temperaturas ° C	Calor del líquido en calorías por Kg.			
	NH ₃	CO ₂	SO ₂	H ₂ O
- 10	- 8,83	- 5,00	- 3,16	- 10
0	0	0	0	0
+ 10	+ 9,17	+ 5,71	+ 3,28	+ 10
+ 20	+18,66	+12,82	+ 6,68	+ 20
+ 30	+28,49	+25,25	+10,19	+ 30

Anotaré ahora, en forma de cuadro también, la potencia frigorífica y el consumo de energía de los medios que nos ocupan.

Energía frigorífica en frigorías por metro cúbico.

Gas	Temperaturas antes de la expansión	Temperaturas de evaporación				
		-20	-15	-10	- 5	0
NH ₃	+ 10	466	574	702	852	1.031.
	+ 15	458	566	692	839	1.015
CO ₂	+ 10	2.620	3.053	3.549	4.127	4.782
	+ 15	2.151	2.856	3.318	3.856	4.465
SO ₂	+ 10	169	213	264	325	397
	+ 15	166	208	259	219	389

Energía consumida en H.P. indicados por metro cúbico

Gas	Temperatura del líquido en el condensador- X° C	Temperatura de evaporación				
		-20	-15	-10	- 5	0
NH ₃	+ 10	0,09670	0,0955	0,0896	0,0799	0,0888
	+ 15	0,11300	0,1150	0,1130	0,1080	0,0918
	+ 25	0,14500	0,1530	0,1580	0,1570	0,1530
CO ₂	+ 10	0,67100	0,6760	0,5560	0,4670	0,3110
	+ 15	0,78500	0,7500	0,6950	0,6210	0,5110
SO ₂	+ 10	0,03570	0,0357	0,0338	0,0302	0,0251
	+ 15	0,04120	0,0429	0,0425	0,0403	0,0370

Otro punto importante que me queda por anotar es el de que el gas escogido como refrigerador debe acomodarse a determinada manera de licuarse; esa manera consiste en que su licuación tenga lugar bajo cualquiera de las temperaturas propias al condensador, es decir a las temperaturas a las cuales es posible hacer llegar el agua de

refrigeración, sin que sea preciso el empleo de presiones considerables. Es bajo este punto de vista que viene el pecado del anhídrido carbónico. Comparación de potencia en las máquinas frigoríficas. Teniendo conocidos el "calor del líquido" y el "calor latente de vaporización" puede fijarse fácilmente la cantidad de frío producida por Kg. de sustancia empleada, sustancia de la cual se conocen la temperatura antes y después de su paso por el evaporador, órgano común a toda clase de máquinas frigoríficas por compresión.

No teniendo en cuenta el calor latente de vaporización correspondiente a la temperatura del evaporador, la diferencia entre los calores del líquido para las temperaturas antes y después de su paso por el evaporador, es la medida del calor absorbido en ese aparato. Llamemos T y T_1 las temperaturas antes y después del evaporador; s el calor específico del líquido en calorías; λ el calor latente de vaporización a la temperatura del evaporador. La cantidad de calor útil empleado en la producción de frigorías será:

$$\lambda = s (T - T_1)$$

En la práctica esta expresión es suficiente para determinar el poder frigorífico del líquido apesar de que no tienen en cuenta la diferencia de trabajo equivalente a la diferencia de tensiones en el evaporador y el condensador.

Si se desea obtener determinado efecto frigorífico, el volumen de gas necesario en el condensador es, digamos, uno en el caso del CO_2 ; (?) 5,4 en el del NH_3 y 13,5 en el del SO_2 .

En este hecho está el fuerte del CO_2 , hecho que lo compensa del defecto anotado atrás, consistente en las grandes presiones que le son necesarias; siendo el volumen requerido enormemente menor para un caso determinado, los compresores pueden construirse más peque-

ños y de una forma perfecta.

Para obtener el valor comparado de la potencia frigorífica de los distintos medios es conveniente establecer la comparación sobre el volumen de gas aspirado por los compresores; (tabla 3a. anterior) las calorías contenidas en 1 m² son el producto del calor de vaporización del gas por su peso específico. Entendido que esto es así únicamente en el caso que estudiamos dados los puntos desde los cuales contempla los cuerpos: su valor refrigerante. Haciendo lo anterior, tendremos como expresiones de ese valor, los siguientes números:

Para el NH ₃	316 x 0,77 =	242	Estas cifras corresponden a 0° C
" " CO ₂	56 x 2,72 =	152	
" " SO ₂	91 x 2,80 =	255	

En conclusión: desde el punto de vista práctico, podemos decir que todas las máquinas de buena construcción, son más o menos iguales en lo que respecta al rendimiento. Para escoger pues el tipo adecuado al caso que un día u otro tengamos que resolver, sólo debe preocuparnos las condiciones de clima, especiales de instalación o de naturaleza de la aplicación que va a darse al frío en ellas producido. Si por ejemplo, el lugar en que va a montarse la máquina está prácticamente incomunicado, su peso es cuestión decisiva; si lo que sucede, en vez de falta de vías, es que la temperatura ambiente es muy alta y por lo tanto el agua disponible para la refrigeración superior a 30° C. entonces quedan desde luego descartadas las máquinas a base de CO₂, pues ya vimos que a 33° C no hay presión que le sirva. En cambio, en fábricas donde la temperatura de la salmuera no se necesita muy baja (depósitos de pólvora) el CO₂ da muy buenos resultados. Es todo cuestión de criterio.

Rendimiento de un compresor. La asociación francesa del frío adoptó en 1928 las definiciones siguientes, necesarias en la determina-

ción del rendimiento.

a). Potencia frigorífica normal - Es el número de frigorías-Kg. que la máquina puede producir en una hora, reinando las siguientes temperaturas: 25° C. en el condensador y -10° C. en el refrigerador.

b). Producción volúmetrica específica normal: Es el número de frigorías-Kg. realmente producidos en el refrigerador por m^3 engendrado en el compresor.

c). Rendimiento volúmetrico normal: Relación del número de frigorías Kg. producidas realmente en el refrigerador por m^3 engendrado en el compresor (producción volúmetrica específica normal) con el resultante de la teoría.

d). Producción económica específica normal: Número de frigorías Kg. producidas realmente en el refrigerador por K.W/h indicado en el compresor; este dato se completa por la indicación del rendimiento mecánico, deducido el compresor.

e). Rendimiento económico normal: Relación del número de frigorías producido realmente en el refrigerante por K.W/h indicado en el compresor (producción económica específica normal) al resultante de un ciclo de Carnot reversible, descrito entre las mismas temperaturas extremas ($+25^{\circ}$ C. y -10° C.).

Los últimos experimentos muestran la resistencia de las válvulas variante entre 5 y 10% o sea, en promedio, 7,5% del trabajo del compresor, según el número de revoluciones y las dimensiones de la máquina. También aconsejan esos experimentos descontar 15 a 25% por fugas interiores y resistencias pasivas de la máquina.

Las cifras medias de producción por HP/h indicado en el compresor provenientes de esos experimentos dan; con NH_3 2.500 frigorías;

SO_2 2.350 frigorías; CO_2 2.300 frigorías.

Si la comparación se hace con la máquina Leblanc, da una ventaja para el NH_3 de 40% y para el CO_2 de 10%.

El ensayo de los compresores puede hacerse de diversas maneras, siendo las más empleadas las que se refieren a la producción de hielo o a la de frío. En este último caso, la operación se hace sea parando el flujo de la salmuera, sea dejándola circular libremente.

PRIMER METODO. Se necesita disponer de una cubeta para hielo y sólo se procederá cuando el regimen normal esté establecido, es decir cuando se tiene en el generador de hielo una temperatura de -5°C . Obtenida esta condición se empieza a retirar cada 30 minutos un determinado número de moldes que se vacian y que vuelven a ser colocados llenos de agua, en el baño-salmuera. La cantidad de hielo vaciada da el rendimiento de la máquina. Para saber esa cantidad, se pesa el molde antes y después de vaciarlo; la diferencia es el peso del hielo extraído. Es aconsejable hacer el ensayo durante varias horas, pues el promedio da resultados más seguros que una sola operación.

SEGUNDO METODO. Se averigua el peso de salmuera que circula por hora entre el evaporador de la máquina y una cuba de experimentación, en la que hay un serpentín de vapor; luego, valiéndose del cambio de temperatura de la solución entre el momento en el cual penetra y aquel en que sale del refrigerador, y multiplicando ese valor objeto de la resta por el calor específico, se obtiene el resultado buscado.

La cantidad de vapor que circula en el serpentín representa la fuente caliente y está regulada por una válvula de manera que sea posible hacer constante la temperatura de la salmuera. El peso específico de la salmuera se determina antes y después de la prueba.

La temperatura del agua en el condensador se hace constantemente uniforme operándola en circuito cerrado y agregando agua fría si hubiere necesidad.

El peso de la salmuera se obtiene multiplicando su volumen por el promedio de los pesos específicos a que se hizo mención ya; el flujo de ella puede hacerse constante por el método Poncelet u otro análogo.

Hecho todo lo anterior estaremos en posesión de los datos necesarios para determinar el rendimiento de la máquina; sin embargo creo necesario advertir antes que la medición de las temperaturas de la salmuera debe ser precisa; al efecto se usan termómetros de mercurio con divisiones en vigésimos de grado. Para las temperaturas del agua de condensación pueden usarse termómetros divididos en décimos.

Para averiguar el rendimiento de un compresor, sin parar la circulación de salmuera, se procede así: Se mide el gasto de agua en el condensador y la diferencia de temperaturas a la entrada y salida; se mide el gasto y diferencia de temperaturas de la salmuera a la entrada y salida del evaporador. Por último se mide el descenso de temperatura en la salmuera desde que se inicie la prueba hasta que se termina y se calcula la cantidad total de salmuera contenida en el circuito. Los consumos de agua y salmuera se obtienen por aforadores de Poncelet usando la fórmula

$q = \text{sección} \times \text{constante especial} \times 2 \times g \times \text{altura}.$

Si designamos por q_1 el gasto de agua en el condensador y por θ y θ_1 las temperaturas antes y después de pasar por él, tendremos como expresión de la cantidad de calor absorbida por esta agua, la siguiente

$$C = q_1 \times (\theta - \theta_1).$$

Si llamamos f_2 el consumo de salmuera en el evaporador y t, t_1 su temperatura a salida y entrada de él, tendremos que siendo p el peso específico de la salmuera, c el calor específico, Q la cantidad de salmuera en el sistema y T el descenso de temperatura durante el ensayo, obtendremos que el calor A , absorbido en el circuito exterior y el evaporador, será:

$$A = q_2 \times p \times c (t - t_1) + Q \times p \times c \times T$$

La potencia absorbida por el compresor mismo puede averiguarse fácilmente valiéndose de diagramas dinamométricos.

Si llamamos N_1 a la potencia indicada en el compresor y E al equivalente calorífico del trabajo, tendremos

$$N_1 E + A = C$$

Si al hacer los cálculos de un caso especial cualquiera, el valor calculado para C no iguala sino que es un poco superior a la suma $A + N_1 E$, el cálculo estará bien; la razón de esto estriba en que la diferencia que se encuentre entre el valor de C calculado por la fórmula $C = q_1 (\theta - \theta_1)$ y el calculado por la fórmula $C = A + N_1 E$, corresponde a una pérdida perfectamente admisible; el valor en porcentaje de ella, es generalmente de 4 a 7%.

El cuadro siguiente hace conocer las variaciones del rendimiento en un compresor de amoníaco y el de su motor, usando en el compresor presiones de 10,5 y 7 Kg. y en la aspiración 2i05 Kg.

Tipos de motores.	Potencia frig.en KG.de hie lo.Gasto en HP in C. vap		Pres.en compresor 10,5K Presión de aspiración			Pres. en el compresor 7K Presión de aspiración.				
			2 K	0,5 K	2 K	0,5 K				
			Por Kg. de C.	Por Kg. de vap. de C.	Por Kg. de C.	P.Kg. de v. de C.	P.Kg. de va. C.	P.Kg. de va. C.	Kg. Vap	Kg. Vap
Sin cond.	1,36	11,3	24	2,9	14	1,7	34	4,1	22	2,6
Simple "	1,9	9,1	30	3,61	17,5	2,1	43	5,2	27	3,3
Compound de conden	0,9	7,26	37,5	4,51	21,5	2,5	54	6,6	34	4,1

La compresión se hizo según la adiabática del NH_3 sobrecalentado, si bien la cubierta de agua del compresor absorbió proximately un 25% del calor equivalente a su trabajo.

Los cuadros siguientes, tomados de un informe que el Señor L. Lefebvre da al Comando de la Marina del Estado, dan los resultados de las observaciones hechas en un compresor a base de CO_2 que iba a ser montado en un acorazado de 23.000 toneladas.

Máquina de CO_2 (a bordo)	Carga plena	Potencia reducida
COMPRESOR		
Revoluciones	290	296,3
" del motor eléctrico	1.450	1.481
Presión del aceite	1,25	1,20
Voltios	114,7	115,8
Amperios (Corriente continua)	93,6	74,25
BOMBA DE SALMUERA		
Revoluciones	1.793	1.314
Voltios	114,7	115,8
Amperios (Corriente continua)	15,24	11,5
Gasto en litros/hora	7.837	5.315
CONDENSADOR		
Temperatura del agua		
Entrada (En ° C.)	29,3	17,24
Salida (" " ")	30,5	18,24
Manómetro (retorno) en mm. de mercurio	76,7	60,5
EVAPORADOR		
Manómetro (Aspiración) en mm. de mercurio	22,8	22
Altura en la cubeta en mm.	232,2	97,5
Salmuera		
Entrada (En ° C.)	- 16,51	- 17,81
Salida (" " ")	- 18,25	- 18,95
Pérdida	1.713	1,14
Gasto por hora en Kg.	9.747	6.604
Potencia frigorífica en frigorías	11.475	5.087

Máquina de CO_2 (en fábrica)

Carga plena

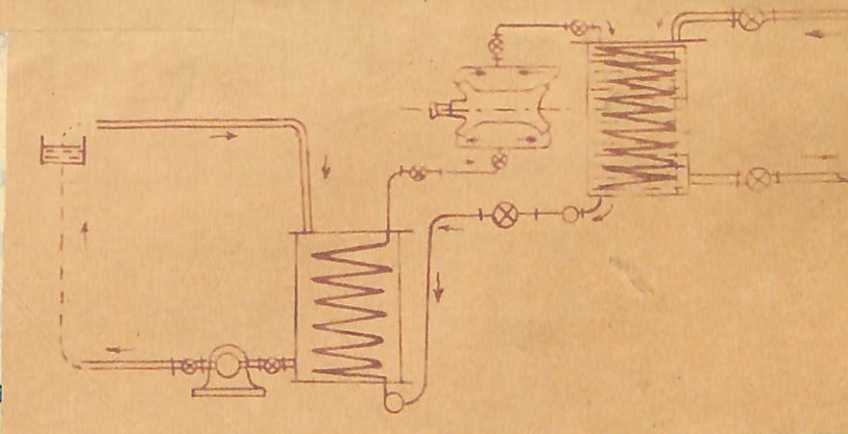
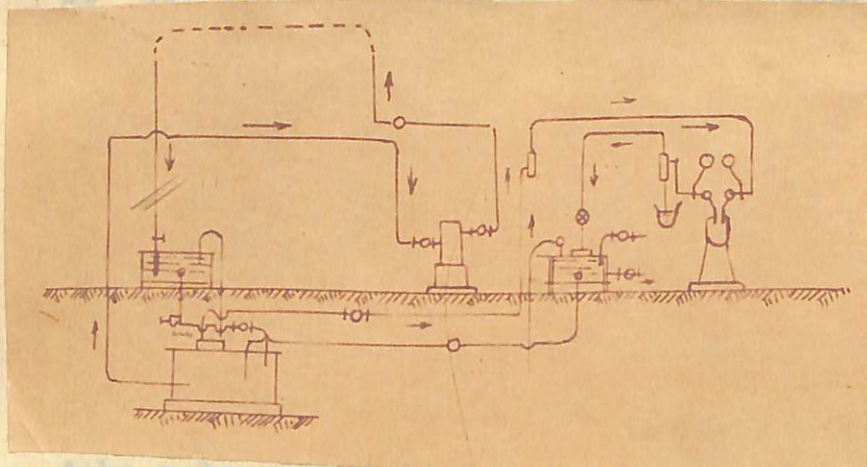
COMPRESOR		
Revoluciones	1.400	
" del motor eléctrico	248	
Presión del aceite	1,26	
Amperios (Corriente continua)	96,07	
Voltios	115,05	
Presión de aspiración	23,47	
" " retorno	76	
CONDENSADOR		
Temperatura del agua (En ° C.)		
Entrada	+ 29,66	
Salida	+ 30,21	

Máquina de CO ₂ (enfábrica)	Carga plena
BOMBA DE SALMUERA	
Revoluciones	1.202
Amperios (Corriente continua)	12,71
Gasto en litros por hora	3.005
VENTILADOR	
Revoluciones	938
Amperios (Corriente continua)	10,42
Aire	
Entrada (En ° C.)	- 10,01
Salida " " "	- 12,48
Higrometría	75,36
REFRIGERADOR	
Salmuera	
Entrada (En ° C.)	- 17,82
Salida " " "	- 16
Pérdida	1,82
Altura en la cubeta en mm.	181,39
Gasto en Kg. por hora	3.736
Potencia frigorífica en frigorías	4,578,61

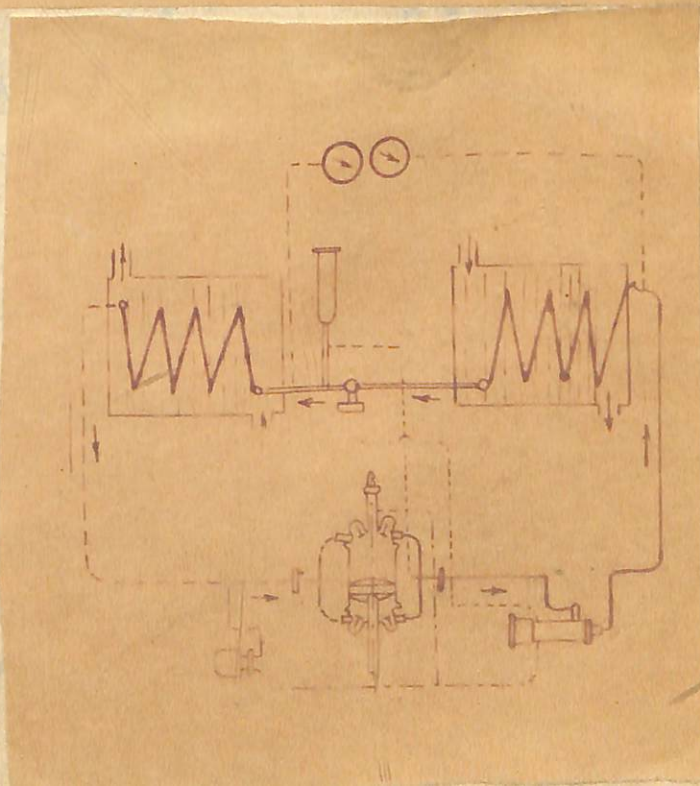
El cuadro siguiente permite estudiar las condiciones de funcionamiento en una máquina Linde, y proviene de ensayos hechos sobre una máquina de este tipo

Número de orden del ensayo	MAQUINA LINDE CON UN REFRIGERANTE				
	1	2	3	4	5
Potencia ind. en el motor en HP=M	18,14	18,26	17,03	15,7	24,4
Gasto de H ₂ O de alimen. en K por HP/h	10,12	10,20	10,31	10,4	9,9
Potencia ind. en el comp. = C	15,33	15,20	14,30	12,6	21,8
Relación C/M	0,86	0,83	0,84	0,8	0,9
Presión abs. en K/cm ² (condens)	9,52	9,24	9,	8,89	14
" " " " (refrig.)	3,89	2,95	2,13	1,56	2,9
Temp. del NH ₃ en el cond. en ° C.	22,45	21,5	20,7	20,3	35,3
" " " " refig. " " "	- 3	- 9,8	-17,4	-24,2	- 9,8
" de la soluc. salada en el refrigerador (entrada)	+ 6	- 2	-10	-18	- 2
Temp. de la soluc. salada en el refrigerador (salida)	+ 2,9	- 5	-13	-21	- 5
Gasto en litros por hora	29569	22893	16168	11030	19598
Peso esp. en K a 17,5 ° C.	1,25	1,25	1,25	1,25	1,2
Calor esp. por l. a las temperaturas correspond.	0,85	0,84	0,84	0,84	0,8
Frig. prod. por h. = F	78140	58110	39780	26860	49360
Equiv. calorif. del trab. del compresor = f	9890	9680	9110	8040	13920
Cal. abs. en el cond. por h = F ₁	89670	69000	49820	35660	62620
Diferencia A = (F + f) - F ₁	- 1640	- 1220	- 930	- 760	+ 660
Temp. del agua de enf. en el condensador (entrada)	9,56	9,54	9,60	9,60	9,6
Temp. del agua de enf. en el condensador (salida)	19,76	19,63	19,84	19,22	35,3
Gasto por hora en litros	8790	6837	4867	3526	2442
Valor de A/F ₁ %	- 1,8	- 1,8	- 1,8	2,1	1
Frig. por K de agua de alim.	425,6	312	226,5	163,3	203
" " HP ind. en el motor	4300	3182	2336	1710	2022
" " compresor	5030	3820	3807	2127	2258

Caracteres generales de las máquinas de gases licuables. La primera máquina de compresión para amoníaco fue ideada por Carré y construida por Mignon y Rouart; simultáneamente apareció en Alemania la máquina Linde y poco después en América del Norte la David Boyle. El tipo Linde ha sido universalmente adoptado y es hoy el más perfecto. A continuación tres esquemas de los tipos más modernos.



Las máquinas de amoníaco representadas en las figuras anteriores son las más empleadas y hoy puede decirse que su condición es standard diferenciándose unas de otras sólo en la disposición de los órganos del compresor y sus accesorios, o en diversos tipos de condensadores, evaporadores, expansores etc. aparatos que deben ser siempre los más apropiados tanto a la localidad como



al uso que van a tener. Las diferencias en el compresor se refieren a modificaciones de las válvulas aspirantes o a las de retorno, los prensaestopas, el sistema lubricante o la regulación.

La primera máquina para SO_2 se debió a Raúl Pictet; en esquema la representaré ahora. Hoy en día está sumamente perfeccionada y su uso mayor lo encuentra en las cervecerías. Una de sus mayores ventajas está en que es, digamos, autolubrificante, siendo el SO_2 el que desempeña este papel. Para atenuar en lo posible los calentamientos debidos a compresión, se añade a la refrigeración ordinaria alrededor del cilindro del compresor, una refrigeración especial que circunda el émbolo. Otra ventaja notable estriba en la mayor sencillez de los prensaestopas usados en esta máquina, mayor sencillez que se debe a la no existencia del peligro de "fugas" inherente a las máquinas de NH_3 .

Como demostración de esto agregó en seguida un cuadro que muestra las presiones efectivas del SO_2 según su temperatura.

Temperaturas. Presiones efectivas. Temperaturas. Presiones efectivas

+ 30	3,5	Atm.	0	0,5	Atm.
28	3,2	"	- 2	0,4	"
26	3	"	- 4	0,3	"
26	2,7	"	- 6	0,2	"
24	2,5	"	- 8	0,1	"
22	2,5	"	-10	0,0	"
20	2,2	"	-12	0,1	"
18	2	"	-14	0,2	"
16	1,3	"	-16	0,2	"
14	1,6	"	-18	0,3	"
12	1,1	"	-20	0,3	"
10	1,2	"	-22	0,4	"
8	1,1	"	-24	0,5	"
6	0,9	"	-25	0,5	"
4	0,8	"			
2	0,6	"			



UNIVERSIDAD NACIONAL
Facultad de Minas
Zona de Medellín

Biblioteca

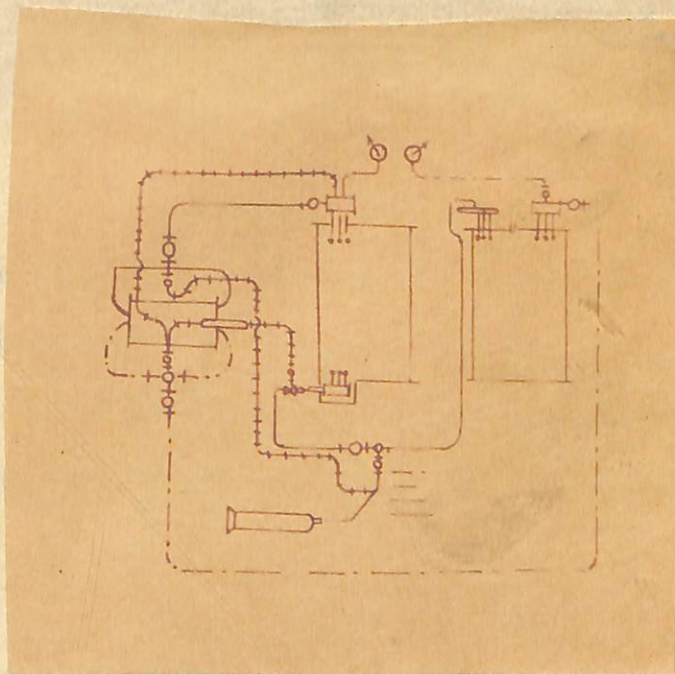
En la hoja siguiente está el esquema de esta máquina.

Acido carbónico: La primera máquina de este tipo fue construida por Windhausen. Tanto las primeras, como las actuales, son máquinas de

tamaños relativamente pequeños, originados como se dijo ya, en las altas presiones que deben soportar lo que obliga a construirlos muy sólidos y por consiguiente, para que no sean muy pesados, no queda otro camino que disminuirles el tamaño.

Al contrario de las máquinas de SO_2 , los prensaestopas y todas las uniones en estas máquinas necesitan una construcción cuidadosísima. En el prensaestopa del émbolo es preciso por ejemplo hacer alternar las rodajas de cuero con anillos de metal antifricción. La lubricación se hace por medio de glicerina neutra, cuyo contacto con agua ha de impedirse; los mejores en estos compresores son los llamados de tipo Hall, los cuales se distinguen por un dispositivo especial que impide las fugas de CO_2 por los prensaestopa. Está compuesto este dispositivo por una bomba que de manera continua y a una presión igual a la del compresor, inyecta glicerina en los prensaestopa, impidiendo así la salida del gas. Esa glicerina vuelve por conductos comunes a su depósito del cual, en el momento necesario, vuelve a sacarla la bomba para que repita el ciclo.

Ultimamente apareció en el mercado la máquina Audiffren perteneciente a las llamadas "rotativas". Estas máquinas rotativas como compresores, son lo más simplificado que se conoce; no tienen uniones ni prensaestopas; funcionan con SO_2 lo cual les da las ventajas



de autolubricación ya anotadas. Se cree actualmente que este tipo favorece aun mucho más de lo común el cambio de temperaturas pues con la rotación se mezcla el agua del condensador y la salmuera del refrigerador.

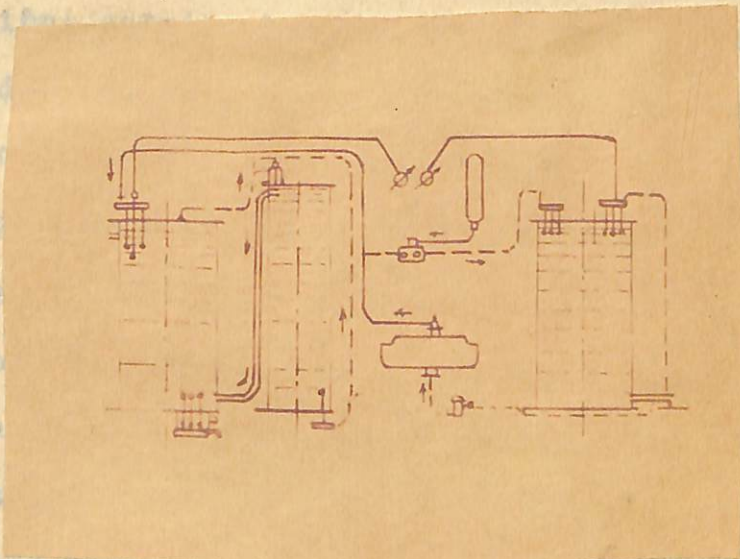
Otro tipo de máquina de esta misma especie es la Zoelly construida en Zurich

por la firma Escher-Wyss. Funciona con cloruro de metilo.

Desde el punto de vista del tamaño en general, las máquinas frigoríficas de igual potencia se representan en la forma siguiente:

Las de CO₂ se llaman 1; la de NH₃ de igual potencia se considera en una proporción mayor y se designa por 6; la de SO₂ se representa por 14.

Si las consideramos bajo el punto de vista de la compresión que puede sufrir cada una según el gas que emplea, y según la temperatura que se considere, tenemos



Temperaturas	NH ₃	SO ₂	CO ₂
- 30	1,13 atm.	0,37 atm.	10, atm.
- 20	1,80 "	0,60 "	19,9 "
- 10	2,80 "	1,04 "	26,7 "
0	4,2 "	1,5 "	35,5 "
+ 10	6 "	2,3 "	46,1 "
+ 20	8,4 "	3,2 "	58,8 "
+ 30	11,4 "	4,5 "	73,8 "
+ 40	15,3 "	6,1 "	91 "

Asunto muy recomendable es el de colocar sobre los refrigeradores colectores en los cuales se tiene aire comprimido o se almacena

en el momento necesario vapor que luego se emplea en la limpieza de ese aparato.

Se acostumbra construir los árboles de los compresores en acero dulce forjado y de una sola pieza; las culatas se calculan de la manera más precisa posible y se ejecutan cuidadosamente. Los prensaestopa son una de las partes más difíciles de construir tanto en su concepción como en su ejecución; estriba la gran dificultad en que su papel es impedir escapes del gas empleado, para lo cual parece lo más indicado apretarlos en lo posible contra el cilindro; si se aprietan demasiado qué sucede? Muy sencillo; la fricción resultante siendo excesiva producirá un aumento enorme de temperatura; crea una resistencia de valor considerable que disminuirá lógicamente el rendimiento de la máquina y aun puede suceder que cause serios perjuicios al émbolo todo lo cual es contraproducente. Es pues más complicado el problema de lo que a primera vista aparece; al tratar más adelante de este accesorio en detalle, indicaré la solución adoptada.

Las válvulas deben hacerse y disponerse de tal manera que puedan ser limpiadas, desmontadas o cambiadas con gran facilidad; la cerradura por ellas producida debe ser hermética; se construyen en acero muy duro, resistente y dúctil. Además es requisito indispensable el que tengan poco juego, sean silenciosas y posean además la sección requerida. Las bielas se meten en cajas que las protegen y se proveen con engrasado natural, generalmente a presión, y adaptado al tipo de máquina que se usa.

Para mostrar la utilidad de unos cuadros insertados en este mismo capítulo, y como ejemplo que a muchos puede ser útil, hago ensguida dos cálculos para las partes de un compresor de NH_3 ; el primero corresponde a un compresor para la producción de determinada cantidad de frigorías; el segundo es el número de frigorías que puede

producir un compresor ya construido.

CASO PRIMERO. Se necesita una máquina que produzca 80.000 frigorías; debe tener - 10° C. en el evaporador (salmuera entre - 2 y - 5° C) y - 10° C. inmediatamente antes del expansor. Funcionará con gas amoníaco.

Según el cuadro que nos da la energía frigorífica en frigorías por m³, tenemos para amoníaco con 10° antes del expansor y - 10 en el evaporador el número 702,93 frigorías/m³; el volumen que debe aspirarse será:

$$V = \frac{80.000}{702,93 \times 0,65} = 175 \text{ m}^3$$

El 0,65 que figura se debe a lo siguiente: teóricamente, procedimiento empleado en el cálculo de los cuadros, por 1 m³ de NH₃ usado se producen 702,93 frigorías cuando en el expansor hay + 10° C. y en el evaporador - 10° C.; prácticamente esto no es posible pues supondría una eficiencia del medio de 100%; se sabe, basándose en ensayos hechos con los aparatos más modernos, que el rendimiento frigorífico del medio, cuando éste es amoníaco es 0,65 o sea 65%.

Conocido ya el dato que nos dice cuántos m³ debe "chupar" el compresor, seguimos adelante pero antes conviene saber lo siguiente, basado en la práctica: la relación más conveniente entre el diámetro del pistón que llamaremos "D" en este cálculo y la carrera del mismo que representaremos por "s" es para las diferentes medios que nos ocupan así

Valores de D/s

NH ₃	1/1,5 a 1,7
CO ₂	1/3 " 4
SO ₂	1/1,5 " 2

La velocidad media del pistón que llamaremos "v", más conveniente también según el medio usado:

Gas	Valores de "v"
NH ₃	0,8 a 1 m/seg.
CO ₂	0,6 " 0,8 "
SO ₂	1 " 1,5 "

El rendimiento mecánico del compresor se toma así:

NH ₃	0,88	0,95
CO ₂	0,80	0,94
SO ₂	0,88	0,93

En nuestro cálculo adoptamos $s = 1,65D$

Llamamos: $D =$ diámetro del pistón $s =$ carrera del pistón; $n =$ número de revoluciones por minuto; $V =$ volumen que ha de moverse.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times s \times n \times 60$$

$$D = (4 \times V / 2 \times s \times n \times 60\pi)^{\frac{1}{2}}$$

$$= (4 \times 175.000.000 / 2 \times s \times n \times 60\pi)^{\frac{1}{2}}$$

Para poder encontrar D debemos agregar un valor "n" escogido promedio entre los valores que aconseja la práctica; adoptamos $n = 70$ revoluciones por segundo. Debemos también reemplazar "s" por $1,65D$. La ecuación hecho esto, nos queda así:

$$D = (4 \times 175.000.000 / 2\pi \times 1,65 \times 70 \times 60)^{\frac{1}{2}} = 25,2 \text{ cm}$$

$$s = 1,65 \times 25,2 = 41,6 \text{ cm.}$$

El trabajo en el compresor se puede tener del cuadro que nos da "energía consumida en HP indicados por m³"; usando el valor del cuadro, correspondiente a $- 10^{\circ} \text{ C.}$ en el evaporador y $+ 25^{\circ} \text{ C.}$ en el condensador obtenemos:

$$\text{H.P.} = 0,158 \times m^3$$

$$0,158 \times 175 = 27,6 \text{ H.P.}$$

Conociendo la presión media P_m del pistón en KG/cm^2 ;

$F =$ superficie útil del mismo en cm^2 ; s su carrera en m. y $n =$ número de revoluciones por minuto, tendremos como expresión para el trabajo indicado:

$$T_i = \frac{F \times P_m \times 2 \times s \times n}{60 \times 75}$$

$$P_m = 60 \times 75 \times 27,6/2 \times 41,6 \times 70 \times \frac{x \ 25,2^2}{4}$$

Está todo completamente calculado ya.

Segundo caso: el aparato cuya capacidad frigorífica vamos a calcular tiene las siguientes dimensiones.

- D diámetro del pistón = 0,320m
- s carrera = 0,600m
- n número de revol/min = 80 r.p.m
- t temp.de evaporación = 27° C.
- t₁ " " retorno = 23° C.
- $\frac{q}{v}$ rendimiento teórico en frigorías por m³
- c coeficiente de rendimiento.

Siendo de doble efecto, el volumen engendrado por el pistón de esta máquina será:

$$\frac{n \cdot \pi \cdot D^2}{4} \times 2 \times s \times 60 = 94,2 \times n \times D^2 \times s \text{ en 1 hora.}$$

La potencia de la máquina para el volumen engendrado en 1 hora será:

$$94,2 \times n \times D^2 \times s \times \frac{q}{v} \times c, \text{ o sea reemplazando por sus valores}$$

a las letras 150.320 calorías a px; para el doble efecto tendremos 150.320 x 2 = 300.640 frigorías.

Tipos de máquinas frigoríficas. Descripción y funcionamiento.

Compresores compound: el empleo de estos compresores en la industria del frío ha venido aumentando continuamente en los últimos años.

Las causas son bien diversas.

Mientras que en épocas pasadas era exclusivamente la relación entre las presiones del vaporizador y del condensador la que decidía en caso de tener que elegir entre un compresor de un solo escalón y uno compound, hay en la actualidad otros puntos de vista que influyen en esta decisión, según veremos más adelante.

El límite de relación de presiones era antiguamente cerca de

1:6, es decir, cuando la relación era muy grande se elegía un compresor compound, en primer lugar porque a causa del mal rendimiento volumétrico aumentaban considerablemente las dimensiones de los cilindros, y en segundo término porque las temperaturas finales en la compresión en un solo escalón alcanzaban grados muy elevados, en el lado de presión. Los inconvenientes relativos al mal rendimiento se procuraban evitar disminuyendo en lo posible los espacios nuevos. En la actualidad, cuando las relaciones de presión ascienden a 1:30 y 1:40, sería un fracaso seguro el querer echar mano de tales medios.

Las elevadas temperaturas finales impusieron la necesidad de proceder al empleo de prensaestopas metálicos, indispensables desde el momento en que empezó a hacerse uso del proceso de recalentamiento.

Los lubricantes indicados en tales casos tenían que ser aceites especiales de punto de solidificación muy bajo y capaces de conservar su capacidad de lubricación hasta temperaturas muy altas.

La adopción del servicio de calentamiento contribuyó, merced al aumento del rendimiento térmico, a una considerable economía de energía; para obtener cualquier otra economía era preciso mejorar en lo posible el rendimiento mecánico, cosa que se había logrado ya alcanzar hasta cierto límite.

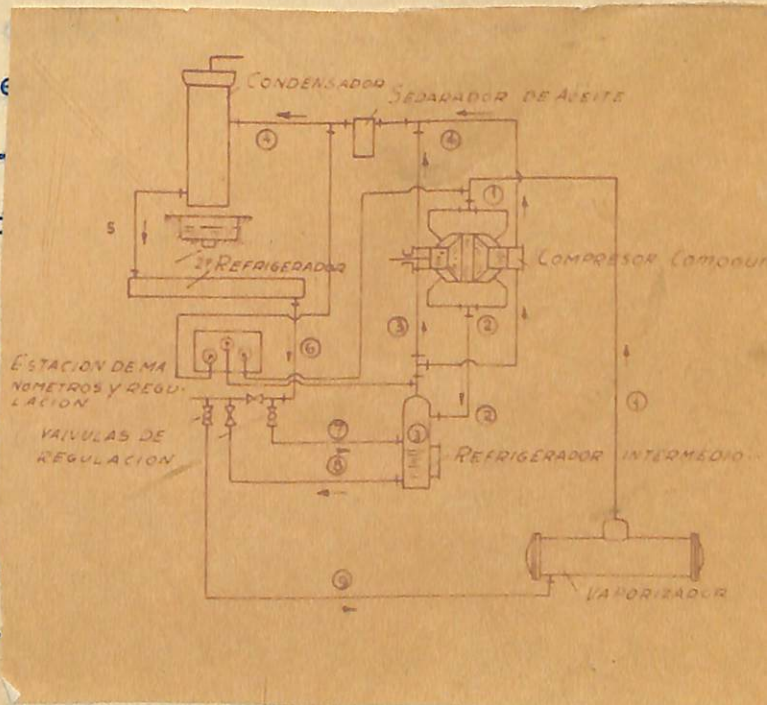
Desconociendo las ventajas de la compresión compound creíase pues, no poder prescindir de ninguna manera del compresor de un solo escalón. Fue la química técnica la que hizo ver la necesidad de disponer de compresores con grandes diferencias de presión, sobre todo a temperaturas muy bajas. No hubo más remedio, por tanto, que dedicarse seriamente al estudio de la cuestión referente a los compresores compound, no sólo desde el punto de vista teórico, sino también,

y muy especialmente, desde el de su desarrollo constructivo. Una de las primeras Casas que reconocieron a su debido tiempo las ventajas y las posibilidades de desarrollo de los compresores compound fue, indiscutiblemente, la Casa A. Borsig, que desde hace muchos años se dedica a su construcción como ramo especial de su vasto programa de fabricación.

Si al principio se había pensado en la construcción de compresores compound a causa del mal rendimiento y las elevadas temperaturas finales de los compresores de un solo escalón, llegóse a ver que aquéllos, aun en relación de presión normales de 1:4,5, ofrecían tantas y tan grandes ventajas en la economía de energía que ya sólo por esta circunstancia debía pensarse en su empleo como solución favorable del problema relativo a la aplicación de compresores en la industria del frío.

Antes de describir los detalles constructivos de estos compresores que me sea permitido decir algo acerca de su funcionamiento, tal como se desprende del esquema adjunto

Los vapores formados en el evaporador son aspirados por el cilindro de baja y mandados a presión media a un recipiente intermedio especial. El calor producido durante esta compresión, toda vez que se trate de temperaturas elevadas, es eliminado por el agua de refrigeración, y la eliminación del resto del calor, o sea el enfriamiento hasta la temperatura de saturación, tiene lugar



sencillamente mediante la inyección de NH_3 líquido en el recipiente intermedio. La cantidad de calor eliminado por el agua refrigerante es bastante pequeño y se desprecia en la mayoría de los casos debido a la mala transmisión de calor entre los gases fuertemente recalentados y el agua, es decir se hace caso omiso de ella para simplificar el trabajo. Lo que generalmente se hace es inyectar en el recipiente intermedio que bien podemos llamar refrigerador intermedio, la cantidad suficiente de NH_3 hasta eliminar el calor de compresión.

El NH_3 necesario para la refrigeración se toma de la circulación normal en la estación reguladora, es decir, que su presión es igual a la del condensador, y se reduce a presión media. Es cierto que esta toma significa una pequeña pérdida desde el momento en que hay que volver a comprimir la cantidad inyectada sin haber absorbido calor del vaporizador, pero las ventajas que ofrece la refrigeración de retorno en el cilindro de baja son tan grandes, que bien puede despreciarse, tanto mas cuanto que de esta manera se evitan al propio tiempo temperaturas de recalentamiento muy elevadas.

Los vapores aspirados por el cilindro de alta son impelidos del refrigerador intermedio al condensador. Aquí se condensan como en cualquier instalación de un solo escalón bajo el influjo del agua refrigerante. El líquido reducido a mínima temperatura en el segundo refrigerador, pasa a la estación reguladora y de aquí otra vez al evaporador. Este cuando se repite una vaporización intermedia para

la 13ª Aludiré ahora otro perfeccionamiento de no escasa importancia, no obstante no habérsele concedido hasta ahora la que realmente merece. Me refiero a la expansión gradual del líquido. Claro está, y yo no voy a alegar lo contrario, que un Kg. de NH_3 , de la presión del condensador, expandido a la del evaporador, en 1,2 o más escalones, sólo puede producir la misma potencia frigorífica. Se tiene la

posibilidad de la compresión en dos escalones de reducir el líquido a presión media y aspirar los vapores del escalón de alta presión sin necesidad de que pasen primero por la parte de baja. De esta manera se obtiene sobre la expansión de un solo grado la ventaja de economizar energía siempre y cuando que el vapor producido en la parte de media presión no está obligado a recorrer primero el vaporizador, sino que llega directamente al condensador por sobre la parte de alta del compresor. Como sólo es posible producir del NH_3 líquido potencias frigoríficas mediante la conveniente evaporación, no cabe duda que la extracción de los vapores en la parte de presión media constituye un alivio al evaporador.

Lo más conveniente será combinar este perfeccionamiento con la inyección intermedia descrita antes, es decir, expandir todo el líquido en el refrigerador intermedio hasta que adquiera la presión media. Se hacen desembocar aquí mismo los gases comprimidos en el cilindro de baja, para que recuperen su temperatura inicial mediante la evaporación de una parte del amoníaco líquido.

Por la disposición de las válvulas en la estación reguladora se ve claramente que para poner en servicio rápidamente la instalación puede inyectarse directamente NH_3 en el evaporador, es decir, trabajando con un solo escalón.

Un caso especial en el compresor compound hace especialmente favorable a éste cuando se repite una vaporización intermedia para la instalación de máquinas frigoríficas, es decir, cuando se desea o se cree conveniente obtener, además de la potencia frigorífica propiamente dicha a baja temperatura, una potencia adicional a temperatura media, como ocurre, por ejemplo, en las cámaras de refrigeración y congelación donde hay necesidad de grandes potencias a temperaturas bajas (menos 30 a menos 40° C.) y a temperaturas de

mediana consideración (- 10° C.).

Nada más contraproducente que trabajar en este caso con un compresor de un solo grado. Un compresor compuesto para ambas temperaturas sería seguramente un adelanto indiscutible, mas no la solución definitiva del problema. Para obtener el éxito apetecido habría que servirse de un compresor con lados de aspiración separados unos de otros. Merced al volumen adicional para la alta presión puede emplearse aquí en la mayoría de los casos un compresor normal de doble efecto, siendo así que los dos volúmenes para alta y baja pueden hacerse iguales mediante la debida elección de la presión media. El efecto compound deseado se obtiene mandando los vapores del lado de baja a un refrigerador intermedio especial y reduciéndolos a su temperatura de saturación mediante la inyección de NH_3 .

En este refrigerador intermedio, que naturalmente debe ser bastante grande, desembocan los vapores del vaporizador intermedio para ser aspirados por el cilindro de baja y pasar todos juntos al condensador.

En los compresores compuestos de CO_2 se obtiene el mismo caso especial de simplificación poniendo del lado de la tapa la parte de baja y sirviéndose de la otra mitad del cilindro, reducida considerablemente por el vástago del émbolo, como de alta presión.

El inconveniente que resulta en tal caso es que el grado de alta viene a quedar en el lado del prensaestopas. Este tipo de construcción depende, pues de la magnitud de la presión del condensador.

De todas maneras lo mejor que puede hacerse es dejar que la Casa constructora decida qué es lo que más conviene en un caso dado, si compresores de uno o varios grados o cilindros normales con y sin

lados de aspiración separados.

Hasta ahora hemos tratado de los puntos de vista generales que determinan la elección de un compresor compuesto; a continuación diremos algo acerca de su construcción.

No cabe duda que la construcción de compresores y aparatos que se emplean en la industria del frío ha seguido desde un principio el camino emprendido por el ramo de construcción de máquinas de émbolo para el desarrollo de sus mejores tipos, pero seguro es asimismo que el constructor de compresores compuestos ha sabido seguir su camino propio teniendo que examinar prolijamente todos los puntos relativos al material más apropiado, a la construcción de válvulas y prensaestopas que trabajan ahora a gran vacío y, finalmente, a la lubricación de émbolos y válvulas a bajas temperaturas (hasta - 70° C.). Las dificultades que se presentaban en un principio no dejaron de contribuir a la aclaración de ciertos fenómenos no poco complicados y así es que, siguiendo un perfeccionamiento a otro en la construcción de compresores y aparatos de los más diversos y variados tipos, llegóse finalmente a construir un compresor compuesto que puede decirse es el producto de experiencias y ensayos prácticos realizados concienzuda y detenidamente por espacio de más de diez años.

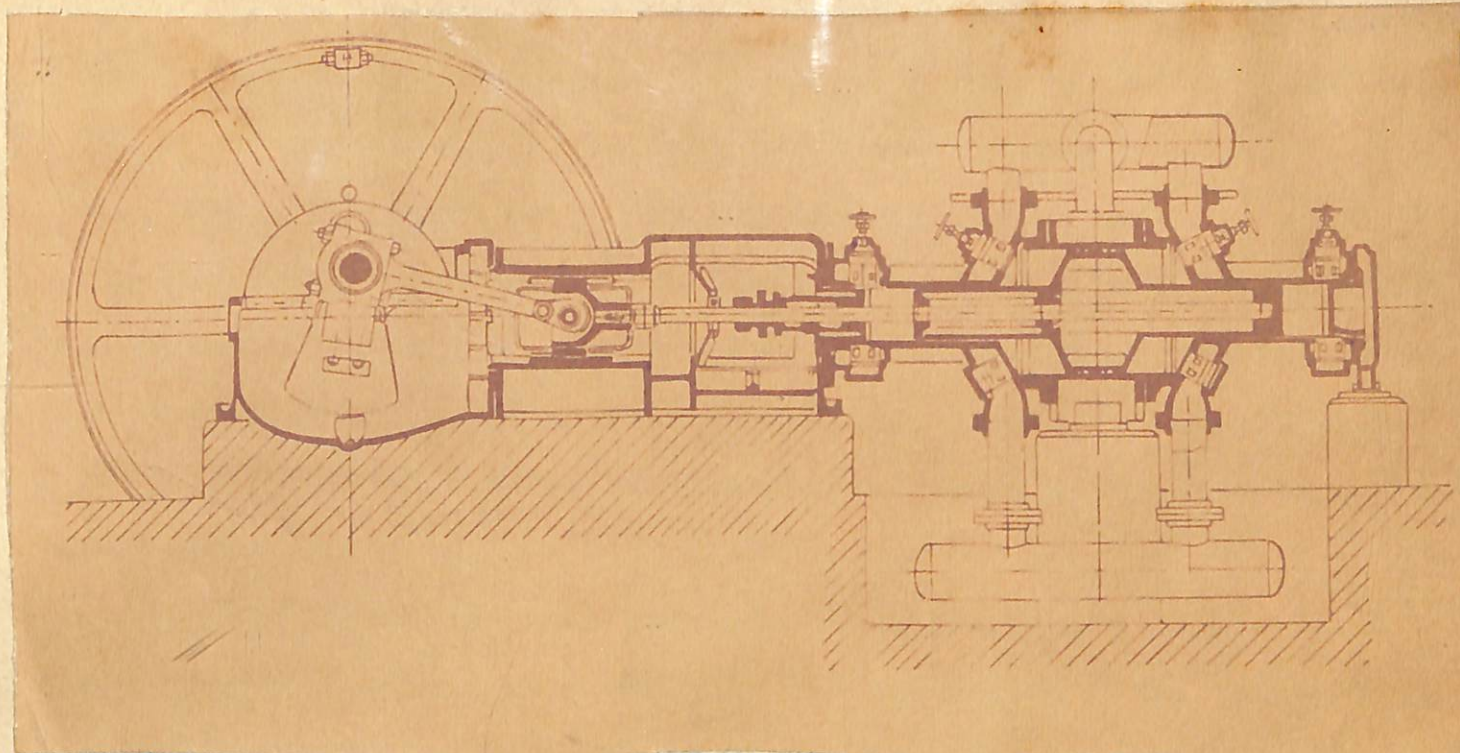
Una vez fijados en la construcción de compresores de un solo escalón los órganos esenciales de esta clase de máquinas, como: bastidor, cilindros, mecanismo de mando o accionamiento y su engrase, volante y soportes exteriores, etc. nada más lógico que seguir sirviéndose de ellos para la construcción de las máquinas compuestas procurando naturalmente obtener la mayor armonía posible en su forma exterior y reducir de todas maneras el costo de fabricación, tiempo, etc.

Bien es verdad que cualquier cambio de temperatura de condensación o evaporación tiene que dar lugar a una variación de las condiciones de los cilindros, es decir, que obliga al constructor a proceder a una infinidad de combinaciones entre los cilindros de alta y baja, pero gracias a un sistema ingenioso se ha logrado finalmente estandarizar también los compresores compuestos.

Se ha conservado en los compresores compuestos las características esenciales del compresor de un solo grado, a saber: 1 - la construcción moderna completamente cerrada; 2 - las válvulas de trabajo distribuidas en la periferia del cilindro, para facilitar la revisión de su interior; 3 - lubricación perfecta y esmerada; a) - por presión, para cilindros, prensaestopas y vástago del émbolo; b) - lubricación a presión corriente para los demás órganos de importancia; 4 - prensaestopas metálico fácil de desmontar; 5 - excelente dispositivo de seguridad para no sobrepasar determinadas presiones, haciéndolo sin perder nada del agente refrigerante.

También se ha adoptado para el compresor compuesto el funcionamiento de doble efecto del de un solo grado colocando el cilindro de baja en el centro, mientras que la parte de alta, subdividida en dos cilindros está colocada a lado y lado. De esta manera obtiene el compresor una marcha muy tranquila, ya que la presión del émbolo hacia ambos sentidos del curso es siempre la misma, independientemente de si la temperatura de condensación o evaporación, o el consumo de energía es variable o constante.

Otra ventaja no menos importante es la facilidad con que el cilindro de alta posterior puede desmontarse para renovar los segmentos del émbolo. La figura adjunta permite reconocer las paredes inclinadas del cilindro de baja que se parece en cierto modo a la antigua forma esférica de las tapas de cilindro. Consciente-



mente se aprovecha aquí la ventaja de obtener, en particular para la parte de baja, un espacio nocivo bastante pequeño, sin el inconveniente del difícil desmontaje de que adolecen los tipos antiguos.

Las válvulas de aspiración se proveen de un dispositivo regulador para poder arrancar la máquina sin carga, de una parte, y, de otra para reducir la potencia al límite deseado. La colocación de las válvulas de trabajo en la periferia del cilindro permite aumentar el número de las mismas y obtener así grandes secciones de paso sin aumentar en nada el curso de los conos o platos de válvulas.

El compresor descrito en los párrafos anteriores ha dado excelentes resultados cuando se trata de grandes unidades; para potencias pequeñas ha seguido dándose la preferencia al tipo de simple efecto por razones de carácter constructivo.

El espacio comprendido entre la parte de alta y baja y formado por el respaldo del émbolo de baja está en comunicación con el recipiente intermedio, de modo que en esta parte del cilindro reina siempre presión media. Las ventajas especiales de este tipo de simple efecto consisten en que tanto los cilindros como los émbolos para la parte de alta y baja pueden hacerse de una sola pieza. El desmontaje

del émbolo diferencial puede efectuarse en este caso con igual facilidad que en cualquier compresor de un solo grado.

Para temperaturas de evaporación muy bajas, menos de $- 50^{\circ} \text{C.}$, hay que abordar nuevamente la cuestión relativa a la subdivisión de la relación de presión puesto que en la compresión en dos escalones pueden producirse fácilmente elevadas temperaturas finales y no hay posibilidad de aprovechar debidamente las ventajas de la compresión compuesta.

Para NH_3 resulta una relación total de presión de 1 : 25 bajo el supuesto de trabajar a $- 50^{\circ} \text{C.}$ de evaporación a una temperatura normal de condensación de $+ 25^{\circ} \text{C.}$ En la naturaleza del NH_3 yace que la relación de presión crezca y regularmente a bajas temperaturas de evaporación. Mientras que esta relación ($+ 25^{\circ} \text{C.}$ condensación) es, por ejemplo: de 1 : 3,5 a $- 10^{\circ}$, y 1 : 5,3 a $- 20^{\circ}$, subiendo cerca de 50% al bajar la temperatura 10° , aumenta a 1 : 25 a $- 50^{\circ}$, y 1 : 46 a $- 60^{\circ}$ o sea cerca de 85%.

Por esta razón puede decirse que el límite inferior práctico para el empleo de compresores de 2° está cerca de $- 50^{\circ} \text{C.}$

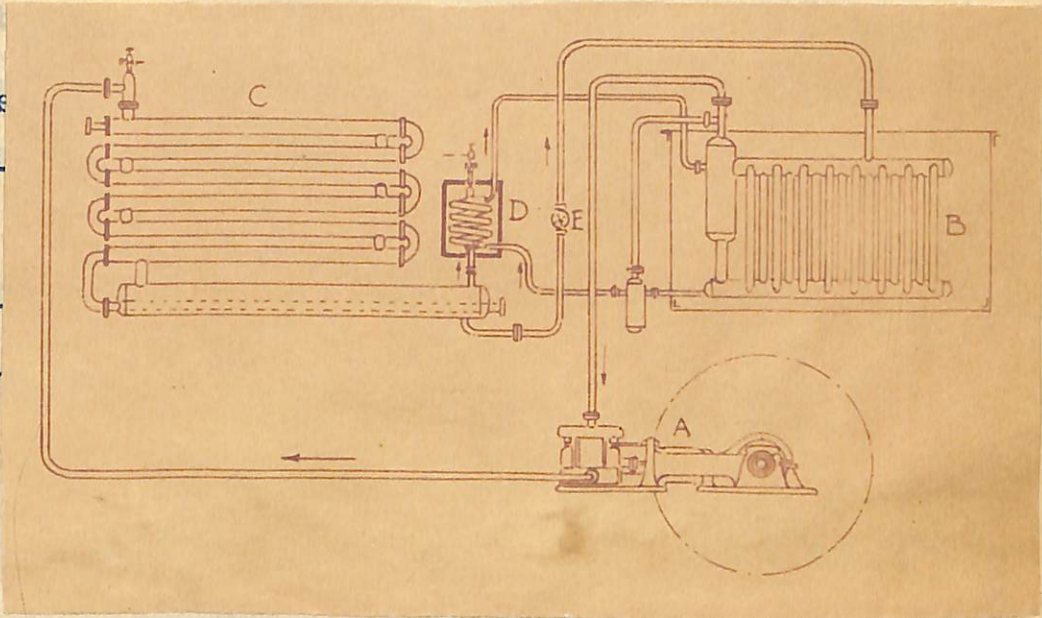
Si se examina la lista de instalaciones compuestas por orden cronológico, se verá que en los primeros años se suministraron casi exclusivamente máquinas e instalaciones de temperaturas de evaporación muy bajas, entre $- 55$ y $- 40^{\circ} \text{C.}$ Estas instalaciones requerían irremisiblemente un compresor compuesto. En los últimos años se han construido casi únicamente instalaciones con temperaturas de evaporación relativamente elevadas. El compresor mostrado en esquema de la figura anterior, fue calculado para una temperatura de evaporación de $- 10$ y una de condensación de $+ 35^{\circ}$. La relación de presión en compresión en un solo escalón sería por consiguiente, sólo de 1 : 4,6. Aún a estas temperaturas es tan grande la economía de

energía y, por tanto, de gastos de servicio y explotación que su precio de costo, con ser algo más elevado, queda pagado al cabo de corto tiempo.

COMPRESORES PARA BAJAS TEMPERATURAS. Se aplica hoy día, invariablemente, como se desprende de lo que acabo de analizar, los compresores compuestos. Como anotaciones especiales con respecto a esta aplicación especial tengo que hacer las siguientes: En las máquinas frigoríficas de amoníaco, que trabajan con bajas temperaturas de evaporación, puede fácilmente penetrar aire en el circuito de circulación del agente frigorífico. Este aire no sólo puede penetrar por el prensaestopas del compresor, sino también por cualquier unión no hermética de bridas u otras fugas de las tuberías, en las que existe vacío. Igualmente al evacuar de una manera poco cuidadosa el aceite de los vaporizadores puede fácilmente penetrar aire en el circuito. Este aire es arrastrado al condensador, en donde se acumula. El método más sencillo para eliminar el aire consiste en hacerlo escapar mediante una válvula dispuesta directamente encima del nivel del líquido en el condensador; sin embargo, de este modo se pierden considerables cantidades del agente frigorífico. De aquí que resulte ventajoso refrigerar la mezcla de gas por medio de uno de los distintos aparatos de desaireación de gran perfección que en la actualidad se encuentran en el mercado. Mediante estos aparatos se licueface la mayor parte del agente refrigerador contenido en la mezcla de gas y se introduce de nuevo en el circuito. La figura adjunta a este trabajo muestra esquemáticamente el aparato de desaireación sistema Linde.

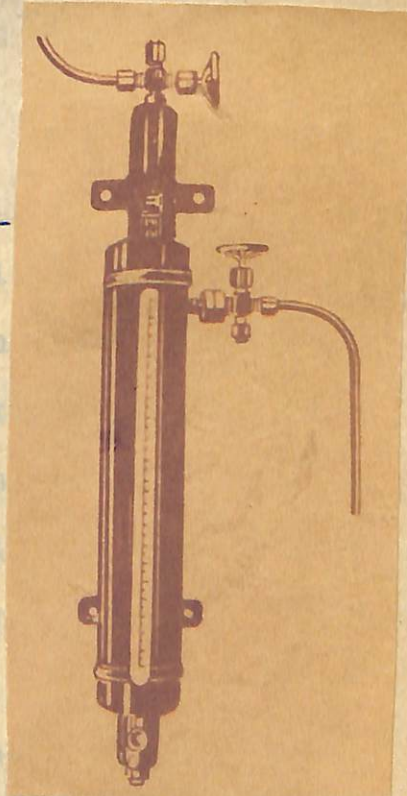
Un accesorio muy importante para la vigilancia de las instalaciones frigoríficas, destinado especialmente a las máquinas multiescalonadas, es decir, en primer lugar a las máquinas frigoríficas a

baja temperatura, lo constituye el hampsonmetro. Aunque conocido desde hace años, sólo se ha generalizado durante los últimos tiempos. Se compone de un manómetro de mercurio de forma peculiar que comunica por un lado con la cámara de líquido y por el otro con la de va-



por, de un vaporizador, separador o recipiente de presión media.

La figura adjunta lo muestra. Claro está que la presión en el tubo correspondiente a la conexión con la cámara de líquido marca un valor mayor que en el otro brazo del aparato, correspondiendo la diferencia a la presión ejercida por la columna del agente frigorífico líquido que pesa sobre aquél. Esta diferencia puede, por lo tanto, servir de medida para el nivel de líquido en el aparato que se vigila. Ultimamente la Gesellschaft für Linde's Eismaschinen ha ideado un procedimiento que permite transmitir a distancia por la vía eléctrica, las indicaciones del hampsonmetro. También pueden combinarse con este instrumento instalaciones ópticas o acústicas de aviso con el fin de advertir al personal que el nivel del líquido ha transpasado determinados límites.

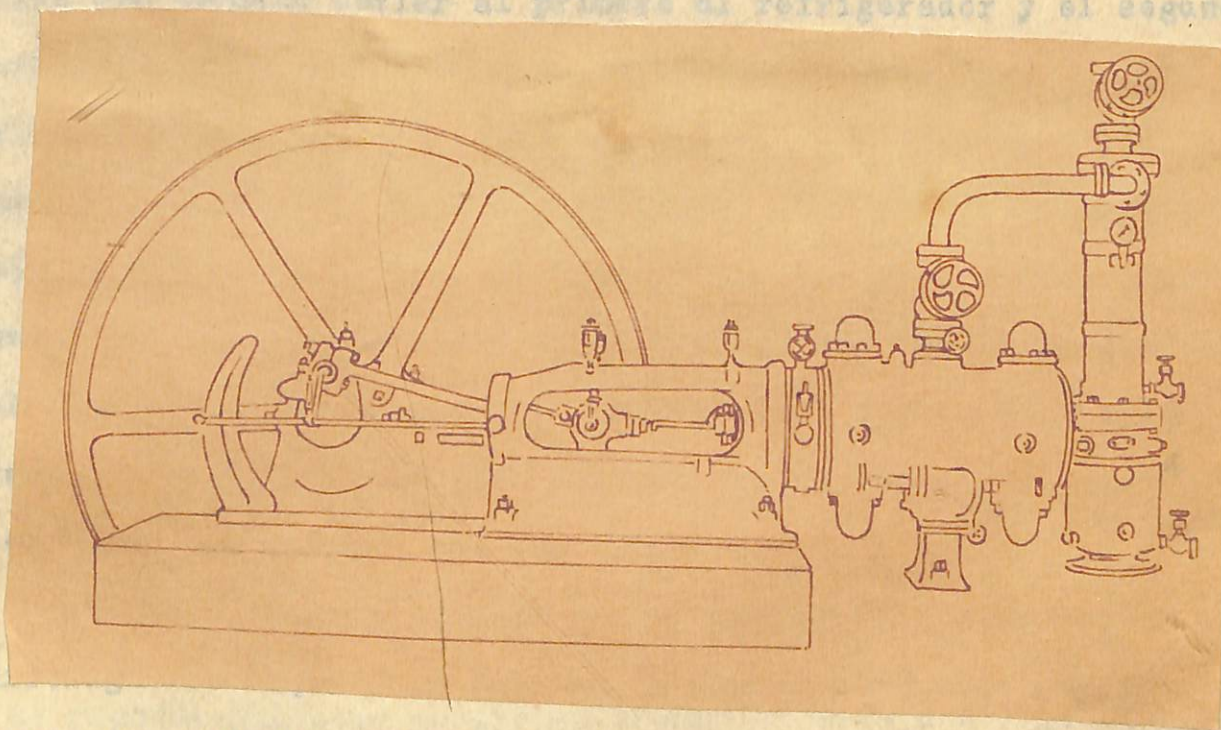


Las máquinas frigoríficas a baja temperatura se aplican princi-

palmente cuando se trata de descomponer mezclas de gas, verbi-gracia para extraer oxígeno o nitrógeno del aire, para separar hidrógeno de los gases procedentes de los hornos de Coque o para producir cloro.

Voy a ocuparme ahora de los compresores sencillos, estudiando siquiera uno de los tipos más modernos, para cada uno de los gases NH_3 , CO_2 , SO_2 .

PARA EL NH_3 . Compresor tipo Linde, fabricado por Delaunay-Belleville



Tanto para presiones medias como para las altas, esta Casa adopta la disposición horizontal. Se fabrican con chumaceras de bola tanto en el eje del volante, como en el cabrestante del cilindro. Los prensaestopas del émbolo están guarnecidos con segmentos metálicos que permiten asegurar un contacto perfecto; el pistón mismo está provisto de segmentos hechos en fundición y de forma especial, con el mismo fin.

Las válvulas son de funcionamiento silencioso y se colocan sobre las paredes del pistón permitiendo con esto una mayor facilidad de desmonte en las culatas y por lo tanto comodidad y rapidez en la inspección. También llevan estas máquinas válvulas de seguridad que

protegen no sólo la máquina sino el obrero y demás ocupantes del recinto en que funciona el aparato de todo peligro de explosión.

La principal especialidad de estos compresores consiste en la adopción de una trompa que aprovechando la expansión del gas, aspira y comprime los vapores provenientes del refrigerador en un recipiente especial intermedio; en éste se efectúa la separación de la mezcla líquida y del vapor, (mezcla proveniente de la trompa) separación que permite enviar al primero al refrigerador y el segundo al compresor. Un juego especial de llaves permite poner en comunicación el condensador directamente con el refrigerador o bien con la trompa. El empleo de la trompa ofrece las siguientes ventajas:

- a) - disminución de todo el trabajo necesario para comprimir el gas desde la presión que tiene en el refrigerador hasta la que reina en el recipiente intermedio; b) - aumento del efecto útil del refrigerante; c) - disminución del volumen engendrado por el pistón del compresor, el volumen del gas aspirado.

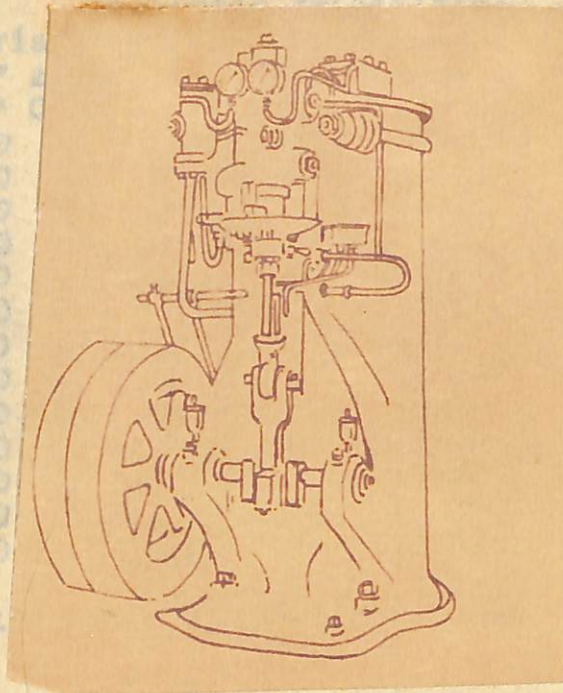
A continuación un cuadro que muestra el número con el cual se distingue la máquina en fábrica, según el número de frigorías que es capaz de producir

	Máquinas de NH ₃								
Número de las máquinas	6	7	8	9	10	11	12	13	14
# de frig. produc. para lic.+ 20 y ev.- 5 (datos en miles)	31	42	54	72	95	120	158	220	260
# de HP en las mismas condiciones	8	11	14	19	25	31	41	55	68

PARA EL CO₂. Máquinas fabricadas por los establecimientos Escher-Wyss. Esta fábrica construye aparatos de tipo vertical para pequeñas potencias y de tipo horizontal para las grandes.

Los árboles de los émbolos se hacen de acero Martín, los émbolos y cilindros de acero cementado, templado y pulido. Todas las chu-

maceras de apoyo, son rectificables; pueden pulirse si el uso como es



natural llega a desgastarlas considerablemente. Esta observación tiene especial aplicación en los tipos verticales. El pistón tiene segmentos de fundición como el tipo anterior. Las válvulas, que tienen resortes y árbol de acero, asiento y tapadera de bronce, son silenciosas. No falta tampoco en este tipo la válvula de seguridad; en las grandes unidades se provee además de ésta una válvula especial de retención que impide pérdidas considerables de CO₂ en el caso de funcionamiento de cualquiera de las otras válvulas de seguridad.

La fuerza motriz necesaria, como también el abasto de agua para refrigeración se basan en una temperatura para esta última de + 10° C. y para el baño salado de - 2 a - 5° C. en máquinas de las llamadas normales (refrigerador cilíndrico y condensador de inmersión). Cuando la producción de frigorías necesarias es superior a 50.000 por hora, las máquinas se suministran con doble compresor en el cual, cada compresor suministra la mitad. A continuación un cuadro con la potencia frigorífica media en fr/h y la producción efec-

tiva de hielo en K/h y fuerza en HP.

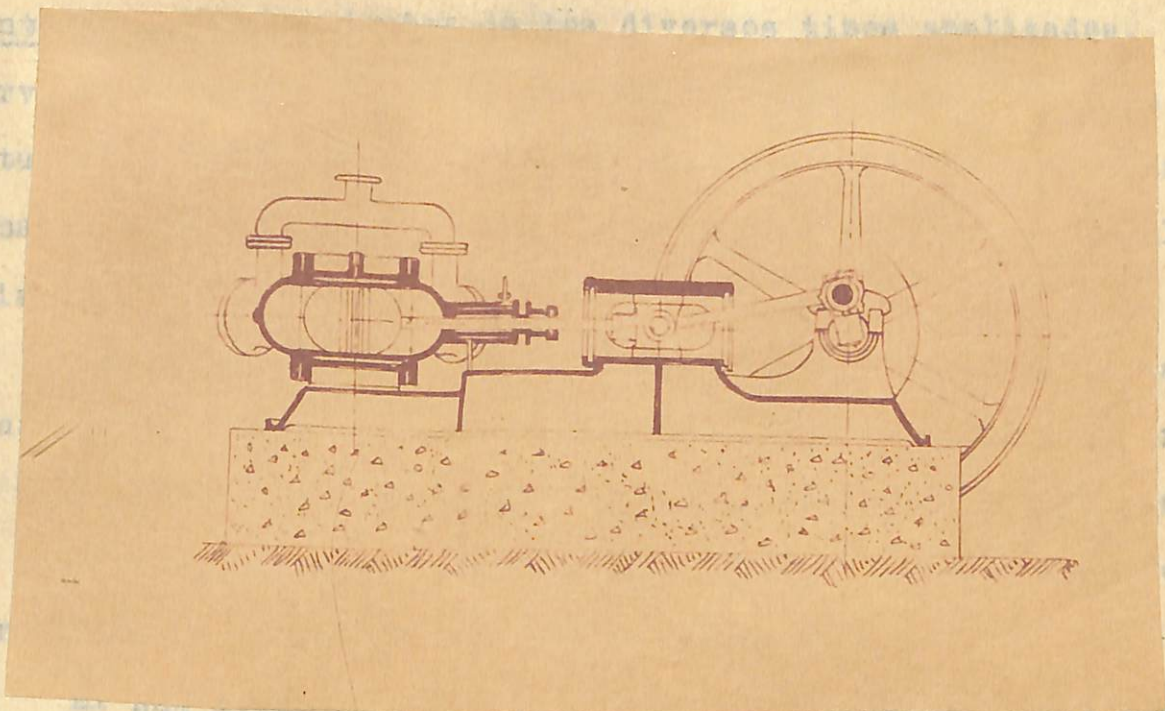
Número del tipo en fabr.	Potencia frigorífica En frigorías hora		En K de hielo Ef.prod.por h	Fuerza media absorbida en HP de vapor.
	Agua + 10° CO ₂	Agua + 10° CO ₂ - 10°		
12 F	44000	30000	220	12
13 F _s	59000	40000	300	16
14 "	73000	50000	370	20
15 "	88000	60000	450	24
16 "	100000	70000	530	27½
17 "	115000	80000	600	30
18 "	148000	100000	750	37½
19 "	175000	120000	900	46
20 "	200000	140000	1050	50
21 "	260000	180000	1350	65
22 "	320000	220000	1600	75
23 F _d	380000	260000	2000	90
24 "	440000	300000	2600	100

Incluyo también otro cuadro que contiene datos utilísimos al pedir maquinaria.

TIPO	Potencia en fr/h con t. de vap.a 0° clima templ	Potencia en fr/h con t. de vap.a-10° clima templ	Potencia en fr/h con t. de vap.a-10° clima trop.	Número de K Cl	Número de H Cl	Fuerza me- dia en HP prod/h de vapor	Dimensiones vert de la m.cond.suelo	Peso de la máquina en K
							H B D	neto bruto
I mono cil.	2700	1800	2000	1350	10 7	.95	1,60 1,03 0,8 0,5	270 365
II bici lind	5400	3600	4000	2760	20 14	1.86	3 1,07 1,2 0,5	430 510
III tric lindr	18600	5400	6000	4050	30 21	2,7	4,3 1,16 1,3 0,5	550 630

PARA EL SO₂. Construye la "Sociedad Industrial Raül Pictet" un compresor que en esencia es así: un cilindro, muy parecido al de una máquina de vapor, que se diferencia de los anteriormente mencionados no sólo por unos segmentos de fundición en el pistón sino por estar construido íntegramente de este material; el pistón es plano, lo mismo que las culatas; está protegido por una doble cubierta que tiene además otros fines que ya veremos.

En las culatas delantera y trasera están colocadas las válvulas de aspiración y expiración; para cada función son dos.



Cada par de válvulas está encerrada en una caja llamada de válvulas. Se construyen de acero, sin resortes, en forma de discos, muy livianas e inoxidables.

El prensaestopa está protegido con anillos especiales. El vástago del pistón se perfora y por ese hueco penetra el agua que circula en la doble cubierta de que ya hablé. Un dispositivo especial permite el engrase continuo del vástago sin que se arrastren materiales grasos al cuerpo del compresor.

Otro tipo interesantísimo es el conocido con el nombre de "Autorefrigerante" construido por la Casa Escher-Wyss. Se fabrican de él dos tipos: uno pequeño que produce de 300 a 1000 frigorías teniendo temperaturas de evaporación variantes entre -15° y $+5^{\circ}$ C.; la cantidad de agua necesaria a la refrigeración, con temperatura de 15° C., varía entre 45 y 120 litros por hora. La potencia necesaria la suministra un motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ KW. El tipo grande produce, en iguales condiciones de funcionamiento, 900 a 1850 frigorías

por hora con un gasto de agua de 120 a 220 litros/h y necesita un KW. Además para un correcto funcionamiento, es indispensable un ajuste.

Ventajas e inconvenientes de los diversos tipos analizados. Las observaciones a este respecto las haré desde el punto de vista de la naturaleza del medio refrigerador empleado, pues desde el punto de construcción y funcionamiento, las máquinas citadas son la última palabra,

Las máquinas de amoníaco en general, son más voluminosas en igualdad de potencia, que las máquinas de ácido carbónico pero a la vez tienen mejor rendimiento y son de construcción más sencilla. Su tensión no sobrepasa comúnmente 9 K/cm^2 , y es ésta otra ventaja apreciable sobre las de CO_2 que necesitan 58 K/cm^2 .

El NH_3 ataca el cobre y el bronce, es relativamente incombustible y sus escapes se reconocen inmediatamente debido a su fuerte olor. El engrasado de los cilindros es indispensable; las grasas usadas deben ser de inmejorable calidad y de procedencia animal teniendo además que llenar la condición de tener un punto de congelación inferior a -30°C .

Las máquinas de ácido carbónico tienen un rendimiento volumétrico elevado a causa de la reducción de los espacios perjudiciales y de las pequeñas dimensiones del pistón y las válvulas. Tienen el inconveniente de necesitar presiones que a veces suben hasta 60 K/cm^2 . Obtiénes con ellas temperaturas muy bajas: de -35° a -60°C . El metal empleado en su construcción tiene que ser muy resistente; las uniones deben evitarse. Las fugas de CO_2 se señalan por variaciones en las indicaciones de los manómetros y por un silbido peculiarísimo. Tiene el ácido carbónico la ventaja de no atacar los metales ni los aceites y grasas; sin embargo, es necesario purgar frecuen-

temente el aceite en el reparador de cada máquina durante la marcha y además para un correcto funcionamiento, es indispensable un ajuste perfecto en los prensaestopas pues si el aire penetra, disminuye notablemente el rendimiento de la máquina. Los prensaestopa están en estas máquinas, provistos de un anillo que tiene del lado del pistón metal, y del lado del cilindro estopa; esta estopa se apoya sobre un anillo de caucho.

El anhídrido sulfuroso da inmejorables rendimientos; funcionamiento seguro y sencillo gracias a su autolubricación, como también a la débil tensión que necesita; 3 K/cm^2 . El SO_2 sólo ataca el cobre no puro; contra los demás metales es inportente.

Las dimensiones de estas máquinas son generalmente considerables, lo que tiene una fácil explicación si se considera la baja tensión a que trabajan. Otro gran inconveniente estriba en el excesivo gasto de agua, causado por la inmoderada elevación de temperatura proveniente de la compresión; se puede condensar el medio en un recipiente grande, lo que permite mantener el gas licuado a una temperatura casi igual a la del agua de refrigeración. El SO_2 puro se hace pasar por gasómetros con baño de aceite desde los cuales se bombea luego por medio de los compresores que lo condensan y almacenan en grandes tanques de acero, en los cuales se conserva.

Máquinas marinas. El mayor uso hasta hoy de la refrigeración en los barcos se ha hecho en la marina de guerra, y en esta clase de buques el espacio se necesita preferencialmente para almacenar proyectiles, acomodar hombres, instalar cañones, disponer potentes máquinas motrices etc. etc.; a causa de esto, el espacio disponible es muy poco y la marina de guerra ha exigido de las Casas constructoras de máquinas frigoríficas un tipo especialísimo que debe llenar las condiciones de máxima potencia con mínimo peso. Es éste el conocido con el

nombre de "MARINO". No entraré a detallarlo pues son absolutamente iguales en sus dispositivos a los tipos comunes que hemos analizado; su diferencia esencial está en el cuidado que exige su construcción y en la mejor acomodación de las partes. Inútil es advertir que el tipo preferido es el de CO₂, ya que como hemos visto, son los de menor volumen.

Funcionamiento y conservación de las máquinas. Los compresores del tipo Linde tienen dos cilindros para evitar el calentamiento excesivo por compresión y para asegurar de manera fácil y segura el ajuste completo del prensaestopa. Los pistones de los dos cilindros tienen un vástago común; el cilindro de baja presión que se encuentra adelante, se une por medio de un tubo con el de alta presión, colocado atrás del de baja (el cilindro); la cámara que hay entre los dos se comunica con la de aspiración del compresor y por tanto sus presiones son iguales entre sí y también con la del evaporador.

Los compresores de tipo Kochiy Wellenstein (fabricados también por Delaunay-Belleville como por Escher-Wyss) de dos cilindros verticales, efecto simple, tienen sus válvulas de aspiración y expulsión en cajas de acero construidas de tal manera que permitan una fácil revisión. Una palanca de dos vasos oscilantes acciona los pistones. La palanca recibe impulso de una manivela, por medio de un vástago y una pieza oscilante. Todo el mecanismo de transmisión está sumergido en baño de aceite. La base soporta todos los accesorios y también los serpentines del condensador.

Por lo dicho, puede verse en qué reside la diferencia esencial de los tipos anotados: en los cilindros; en el primero la acción es compuesta; en los segundos la acción es simple. Las demás diferencias son detalles que poco más significan.

Reglas para arrancar y hacer funcionar las máquinas. Al poner a

funcionar una máquina, puede notarse por ejemplo, que está muy cargada; debe entonces descargársele el exceso de gas. Para esto se adapta un tubo especial a una de las válvulas del compresor y se pone el tubo en cuestión en comunicación con un botellón vacío; la sobrecarga se hace notoria por un recalentamiento grande en la tubería de regreso.

Ocorre frecuentemente que entra aire en exceso en las canalizaciones del compresor; para extraerlo se abren las válvulas de las canalizaciones y se deja escapar por ellas el aire. Esto se presta, como oportunamente lo hice notar al tratar del desaireador Linde para máquinas frigoríficas a bajas temperaturas, a fugas considerables del medio refrigerador. Es pues lo mejor usar un aparato desaireador como el descrito en el párrafo anteriormente citado.

Es costumbre al empezar a trabajar poner en marcha la máquina sin que estén abiertas las comunicaciones con el botellón de gas; se aspira con ella hasta formar un buen vacío y luego se cierran las válvulas de salida del aire; se para la máquina y se aguarda unos minutos. Si los indicadores de vacío no se mueven, entonces se está seguro de trabajar con una máquina perfectamente ajustada.

Cargar la máquina es introducir el líquido refrigerador. Para esto se pone la tubería de carga en comunicación con el botellón que estará oblicuo sobre una mesa especial si se trata de NH_3 , o vertical con el orificio de salida hacia arriba si es CO_2 . Luego se abre completamente todo el circuito, después, de una manera lenta, la llave de carga; al tiempo se cierra la llave de regulación y se continúa la carga (durante todo esto la máquina está parada) hasta que la presión en el evaporador sea la correspondiente a la naturaleza de la máquina; se pone ahora en marcha el compresor lentamente hasta que el manómetro en el evaporador marque 0. Se repite la primera opera-

ción y luego la segunda, hasta lograr en el manómetro del compresor una presión igual a la necesaria para licuar el gas a la temperatura del agua de refrigeración; entonces se aumenta la velocidad de la máquina y se abren las válvulas de regulación a fin de establecer el ciclo del gas.

La operación anterior es delicada pues si no se hace perfecta sucede que no hay buen rendimiento, o que ocurre una explosión. Para producir 10000 frigorías se necesitan más o menos 12 K de NH_3 ; 60 de CO_2 o 50 de SO_2 líquido.

Se presenta frecuentemente el caso de que al poco tiempo de marcha la máquina pierde parte de su gas, circunstancia que se hace notoria por el descenso de temperatura en la salmuera o de la presión en el condensador; para no perder el buen rendimiento es preciso completar la carga, operación que se ejecuta de una manera similar a la cargada, con la única diferencia de que la máquina no está parada. El consumo anual de NH_3 es, en grandes unidades instaladas en diversos países, entre 70 y 80 Kg.

La válvula de seguridad, colocada entre el compresor y la máquina sirve para aislar aquél y permite hacer la inspección de ésta sin pérdida de gas. Una válvula auxiliar es la que sirve para proteger el mecanismo en caso de sobrepresiones considerables.

En el evaporador es necesaria una débil presión a fin de obtener mayor evaporación; estas dos condiciones están ligadas estrechamente: más presión, menos evaporación; mientras más evaporación, más se enfría la salmuera; por tanto a menor presión, mayor enfriamiento.

En el condensador y en la salida del compresor, la presión del gas está en proporción con la temperatura del agua de refrigeración; mientras más fría es esta agua, más elevada es la presión.

Las fugas en el evaporador se reconocen por medio de reacciones químicas. Si la salmuera contiene NH_3 , enrrojece el papel de tornasol; también puede usarse la solución Nessler (yoduro de Hg + yoduro de K); si hay NH_3 en la salmuera, se obtendrá inmediatamente un precipitado de color castaño amarillento.

Para revisar el compresor se hace pasar todo el gas al condensador; en las máquinas de NH_3 se hace esta operación así: se cierra el circuito de alimentación y se pone lentamente en marcha el compresor hasta que el manómetro del evaporador marca 0. Se cierra luego la válvula de aspiración del compresor; en seguida se hacen dar algunos embolazos más al compresor para despojarlo de sus últimos restos de gas, se para la máquina y se cierra la válvula de retorno. Pueden entonces procederse a visitar el compresor.

Para revisar el evaporador se cierra la llave a la salida de él, como también la válvula de regulación. Luego se pone lentamente en marcha la máquina para que aspire el gas del evaporador y se para en el momento en el cual el manómetro indique 0. La válvula de aislamiento se cierra y luego, por medio de la válvula de aire, se hace el vacío. Puede luego desmontarse los clarinetes y limpiarse. Antes de volver a trabajar la máquina es preciso hacer el vacío; después se reconecta al circuito y una vez que la presión ha vuelto a ser normal, se pone todo a funcionar.

Las fugas en el condensador se reconocen por burbujas que se forman en un punto determinado y a intervalos regulares.

Para limpiarlo se lleva el gas al evaporador por medio de tuberías especiales que sirven para desviar momentáneamente la marcha del circuito. Estas tuberías ponen en comunicación sin pasar por el compresor, los circuitos de aspiración y regreso; de esta manera al marchar la máquina en la cual se han cerrado las válvulas de

aspiración y expiración y se han abierto las de inversión, el gas es aspirado del condensador y llevado al evaporador. Es preciso además cerrar las llaves de regulación y la de los clarinetes inferiores del evaporador. Con un paso lento en la máquina se obtiene una presión 0; se para entonces y se cierran las válvulas de inmersión como también la de aislamiento del condensador. Antes de restablecer el circuito, se expulsa el aire; luego se vuelve a los circuitos y ciclos normales.

El buen funcionamiento de las máquinas se controla examinando las presiones y temperaturas indicadas simultáneamente en el condensador y en el evaporador. Si el manómetro del evaporador indica una presión muy baja, quiere decir que hay obstrucciones en los conductos que vienen a él; si la presión es muy alta es la indicación de una fuga que establece comunicación entre la aspiración y la compresión o de vapores que provenientes del condensador han llegado hasta el evaporador; puede ser también un abasto excesivo a causa de la falta de agua en el condensador, depósitos de impurezas en los serpentines o por último, la presencia de aire en las tuberías de alimentación.

En resumen, debe procederse diariamente a las operaciones siguientes: rectificación de la velocidad del motor; medición de las temperaturas en el condensador y en el refrigerador, como también las del agua circulante, de la salmuera, a la salida del evaporador, y en los diferentes circuitos a la entrada y salida.

Si se nota en el evaporador un descenso del nivel del líquido es indicio de fugas, que es preciso buscar en las tuberías de regreso.

Debe vigilarse muy cuidadosamente los conductos de aspiración pues éstos suelen ser obstruidos por el hielo; también es imprescindible revisar el perfecto ajuste de las válvulas. Es aconsejable

pasar de vez en vez agua caliente por los serpentines para deshelarlos.

La rectificación de los manómetros es asunto importante; para esto se quitan, después de haber cerrado la llave respectiva, y estando en estas circunstancias a la presión atmosférica, la aguja debe mostrar el cero. Si el desplazamiento es sensible, se cambian.

Los cuadros siguientes muestran que para una temperatura dada en el agua de circulación, corresponden determinada presión en el condensador y que la relación entre presión y temperatura, tiene un índice cierto, el cual no puede dejarse variar, si se desean buenos rendimientos.

TEMPERATURAS Y PRESIONES OBSERVADAS EN UNA MAQUINA DE AMONIACO.
 Agua de Condensador Evaporador Líquido incongelable Temperatura de
 circulac. Presi tempe Pres Tempe Salida Regreso las cámaras.

‡ 10	8,6	‡ 20	1,2	- 29	- 14	- 12	- 10,5
11	9	21,5	-	-	-	-	-
12	9,5	23,5	-	-	-	-	-
13	9,8	24,5	-	-	-	-	-
14	10	25	-	-	-	-	-
15	10,4	26	-	-	-	-	-
15	10,8	27,5	-	-	-	-	-
17	11	28	-	-	-	-	-
18	11,2	29	-	-	-	-	-
19	11,4	29,5	-	-	-	-	-
20	11,6	29,6	-	-	- 13	- 11	- 10
21	11,8	30	-	-	- 13	- 11	- 10
22	12	30,5	-	-	- 13,	- 11	- 10
23	12,4	31	-	-	- 12	- 10	- 9
24	12,8	32	-	-	- 12	- 10	- 9
25	13	33	-	-	- 11	- 9,5	- 8,5
26	13,5	35	-	-	- 11	- 9,5	- 8,5
27	14	36,	1,3	- 28	- 11	- 9,5	- 8,5
28	14,5	37,5	1,4	- 26	- 10	- 9,	- 8
29	14,8	38	-	-	- 10	- 9	- 8
30	15	39	-	-	- 10	- 9	- 8

TEMPERATURAS OBSERVADAS EN UNA MAQUINA DE GAS CARBONICO.

Agua de circulac	Condensador	Evaporador	Líquido incongelable Salida	Regreso	Cámaras
‡ 14	‡ 18	- 18	- 12	- 10	- 8
15	19	20	15	13	10
16	20	18	13	10	8
17	21	20	15	13	10

Agua de circulac	Condensador	Evaporador	Líquido incongelable Salida	incongelable Regreso	Cámaras
+ 18	+ 23	- 18	- 13	- 11	- 8
19	24	19	14	12	10
20	25	20	14	12	9
21	26	16	12	10	8
22	27	19	14	12	9
23	29	18	13	11	9
24	30	16	12	10	8
25	31	20	11	9	7
26	32	20	15	12	9
27	34	16	15	12	10
28	36	16	13	10	9
29	37	16	12	10	8

-----)oOo(-----

de refrigeración se usó una máquina de vapor tipo "Corliss"; se caracteriza este tipo por la velocidad baja a que funciona y la consiguiente longitud de la carrera del émbolo, necesariamente larga. Antee de seguir adelante sepamos qué es:

Una tonelada de refrigeración. Siendo el calor latente de fusión del hielo 80 calorías por K, será preciso quitar $80 \times 1000 = 80000$ calorías por tonelada refrigerada. Quitar estas 80000 calorías en 24 horas o sean 1440 minutos es lo que se llama producir una tonelada de refrigeración. Esta operación equivale a quitar por minuto 55,5 calorías. Ilustremos con un ejemplo.

Una cámara de refrigeración necesita que se quiten 60000 calorías por hora para mantenerse fría; qué cantidad de refrigeración deberá instalarse?

Si se necesitan 60000 frigorías por hora para mantener la cámara fría, por minuto se necesitarán 1000 frigorías; como 55,5 frigorías por minuto son una tonelada de refrigeración, entonces tendremos que $1000/55,5 = 18$ ton. de refrigeración. Esta será la refrigeración necesaria.

Respecto al condensador. El contenido de calor proveniente de la diferencia entre el vapor y después de salir al medio refrigerante

CAPITULO IV

LA ELECTRICIDAD EN LA REFRIGERACION

Dividiré este capítulo en dos grandes partes: la primera contiene la electricidad como fuerza motriz; la otra cubre, dentro de los datos casi imposibles de conseguir en esta ciudad, lo relativo a las buenas amigas que familiarmente llamamos "neveras".

Durante los 30 primeros años de la existencia de las plantas de refrigeración se usó para moverlas la máquina de vapor tipo "Corliss"; se caracteriza este tipo por la velocidad baja a que funciona y la consiguiente longitud de la carrera del émbolo, necesariamente larga. Antes de seguir adelante sepamos qué es:

Una tonelada de refrigeración. Siendo el calor latente de fusión del hielo 80 calorías por K, será preciso quitar $80 \times 1000 = 80000$ calorías por tonelada refrigerada. Quitar estas 80000 calorías en 24 horas o sean 1440 minutos es lo que se llama producir una tonelada de refrigeración. Esta operación equivale a quitar por minuto 55,5 calorías. Ilustremos con un ejemplo.

Una cámara de refrigeración necesita que le quitemos 600000 calorías por hora para mantenerse fría; qué cantidad de refrigeración deberá instalarse?

Si se necesitan 600000 frigorías por hora para mantener la sala fría, por minuto se necesitarán 10000 frigorías; como 55,5 frigorías por minuto son una tonelada de refrigeración, entonces tendremos que $10000/55,5 = 180$ ton. de refrigeración. Esta será la refrigeración necesaria.

Efecto de refrigeración. El contenido de calor proveniente de la diferencia antes de entrar y después de salir el medio refrigerante

del evaporador, diferencia que se encuentra substrayendo el contenido de calor de un K de refrigerante tan pronto como va a pasar la válvula de expansión, del contenido de calor del mismo K tan pronto como va a entrar en el compresor, es lo que se llama "efecto refrigerante". Ejemplo: el contenido de calor de un K de cierta sustancia (NH_3 por ejemplo) inmediatamente antes de pasar por la válvula de expansión es de 66,6 calorías; cuando va a llegar al compresor ha tomado del evaporador el calor necesario para tener entonces 566,6 calorías por K - Cuál es el valor del efecto refrigerante?

Según lo anterior será: $566,6 - 66,6 = 500$ calorías.

Cantidad de refrigerante que se necesita por ton. de refrigeración.

La cantidad, en K, de refrigerante que es preciso bombear por tonelada de refrigeración, se encuentra dividiendo 55,5 por el valor del efecto refrigerante. Ejemplo: Qué cantidad de NH_3 se necesita bombear para una planta de 200 ton. que tiene un efecto refrigerante medio de 250 calorías?

Por cada ton. de refrigeración se necesitan 55,5 calorías; si cada K quita 250 calorías, entonces se necesitará $55,5/250$ K de NH_3 por cada ton. de refrigeración producida, es decir, 0,222 K de NH_3 por minuto/ton. de refrigeración. Para 200 ton. de refrigeración serán precisos $200 \times 0,222 = 44,4$ K NH_3 por minuto.

Desplazamiento actual del cilindro. No hay bomba tan eficiente que expela en la descarga, todo el vapor succionado; la cantidad que queda en el cilindro depende del diseño, condiciones de trabajo, y del tipo.

El valor del desplazamiento teórico es el correspondiente al volumen del cilindro, en el momento en que termina la pistonada de aspiración; la relación entre el desplazamiento teórico y el actual es lo que se llama eficiencia volumétrica de la máquina. El despla-

zamiento actual será pues igual al desplazamiento teórico, dividido por la eficiencia volumétrica.

Desplazamiento actual = desplazamiento teórico/eficiencia volumétrica

Sentados los principios anteriores, sigamos lo que nos ocupaba: cómo, cuándo, y por qué entró el motor eléctrico a competir la máquina de vapor tipo "Corliss".

El cuándo, lo insiné ya ligeramente: hace alrededor de 40 años, pues como dije al principio de este trabajo, la producción del frío industrialmente alcanza apenas 70 años; durante los primeras 30 se usó exclusivamente el vapor como energía; de ahí para acá, vienen haciéndose ensayos para introducir la corriente eléctrica.

Respecto al por qué es preciso analizarlo bajo el aspecto de los inconvenientes que desde un principio presentó, por ser lo natural.

Resulta que con la carrera larga y la velocidad baja que distingue al tipo Corliss se obtiene una alta eficiencia volumétrica. La ecuación fundamental para la eficiencia volumétrica neta de los compresores de NH_3 se hace del producto de otras dos eficiencias que llamamos E_s = eficiencia volumétrica computada sobre la base del sobrecalentamiento efectivo durante la compresión y E_c = eficiencia volumétrica computada sobre la base del espacio nocivo, y del fuego que indispensablemente existirá entre el émbolo y el cilindro. Si llamamos E_v la eficiencia volumétrica efectiva, tendremos:

$$E_v = E_s \times E_c$$

Leída la ecuación dice: la eficiencia volumétrica efectiva es igual al producto de la eficiencia volumétrica debida al sobrecalentamiento en la compresión por la eficiencia volumétrica debida al espacio nocivo. El efecto de sobrecalentamiento es mayor en los com-

presores de gran velocidad que en los de baja y esto da por consiguiente mayores valores de E_s para las máquinas de baja velocidad; la razón del volumen del espacio nocivo al volumen total del cilindro es mayor con carrera corta que con carrera larga; por lo tanto E_c valdrá más en las máquinas de gran carrera. En consecuencia, cualquier cambio que se intente en el sentido de reemplazar las máquinas de baja por las de alta velocidad, supone un sacrificio de eficiencia volumétrica neta, pues tanto E_s como E_c valen menos para las grandes velocidades. Es este sacrificio el gran inconveniente que se encontró para introducir unidades eléctricas como fuerza motriz.

Otro tropiezo poderoso a la introducción de la electricidad, fue el hecho de la demanda pedir hielo más blanco, más claro que el hielo natural de ríos y lagos; en un principio no se encontró mas camino para satisfacer esta exigencia que usar agua destilada y con los precios en ese entonces para la corriente eléctrica, ésta sólo podía obtenerse mediante el uso de carbón; suponía esto que si se introducía el motor eléctrico, era preciso también dejar o conseguir la caldera para destilar el agua.

El primer inconveniente, el de la merma de la eficiencia volumétrica neta, se resolvió con las máquinas sencillas verticales; estas máquinas permiten la adopción de espacios nocivos mucho más pequeños que los horizontales. Además las primeras son más baratas, de construcción más sencilla y por consiguiente de más fácil transporte; se produjo entonces un equilibrio entre la menor duración de las máquinas guiadas por motor eléctrico, y la mayor duración de las equipadas con calderas tipo Curliss en virtud del menor costo inicial, y el más fácil transporte de las primeras.

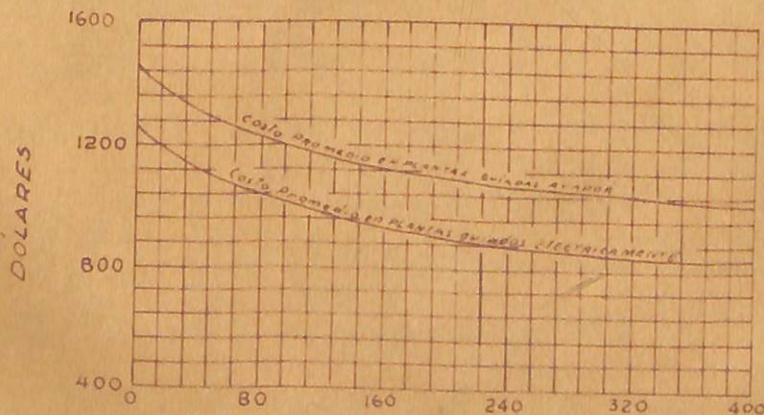
Vino luego la producción de hielo clarísimo directamente del

agua corriente usando aire comprimido a través de ella, y esto dió el cómo se pudo introducir el motor eléctrico totalmente en esta industria. Ha sido pues este descubrimiento de la manera de producir hielo blanco directamente del agua corriente el que marcó el gran signo preciso para que el motor eléctrico entrara a formar parte del compresor de NH_3 , como su inseparable compañero. Las ventajas e inconvenientes del motor eléctrico pueden resumirse así: **VENTAJAS** - 1 - Menor costo inicial del equipo; 2 - menor espacio ocupado; 3 - menor trabajo manual para operarlo; 4 - gastos de operación proporcionales a la potencia suministrada; 5 - mayor amplitud de operación.

DESVANTAJAS - 1 - Menos eficiencia volumétrica; 2 - mayor desgaste, más reparaciones, menos vida, a causa de la gran velocidad.

Costo del equipo. El costo por tonelada de hielo es mayor para las pequeñas plantas que para las grandes; esto es cierto, tanto para los movidos electricamente, como para los a vapor.

La curva que se acompaña da el costo aproximado por ton. con los precios vigentes en 1929



El espacio necesario es factor importante, según la localización de la fábrica. Las máquinas horizontales ocupan más área; las verticales más altura; una máquina horizontal que se reemplaza con una de motor eléctrico, da el caso típico; la guiada electricamente, de tipo vertical, ocupa 20 a 25% del espacio que ocupó la guiada a vapor.

El trabajo manual economizado con las plantas guiadas electricamente, es grande; los items de sostenimiento, amplitud de trabajo etc., favorecen todos al motor eléctrico.

Otro factor que hace enorme bien al motor eléctrico, pero que para nosotros no cuenta por no tener estaciones, es el de que las centrales eléctricas suministran la fuerza necesaria a ellos a precios especialísimos pues un motor que mueve una planta refrigeradora casi no trabaja en los inviernos (época de mayor demanda de energía en la central a causa de la calefacción); en cambio, en verano, trabaja mucho (época de menor demanda por el público) y entonces la potencia por él gastada es aquella que es preciso tener en la planta a causa de que en ciertas épocas se necesita (inviernos) pero que en los veranos está completamente sobrante.

Las plantas a vapor podrían competir con el motor eléctrico, sólo en aquellas regiones donde se vive sobre carbón o sobre petróleo y eso porque generalmente, sobre todo en el caso del petróleo, no hay saltos de agua cerca; en esas circunstancias la corriente tendría que ser producida con vapor, haciéndose su precio prohibitivo.

Hoy en día se tiene la tendencia marcadísima de abolir las plantas a vapor, pues el jefe economiza así no sólo en gastos de reparación y jornales pues no necesitará ya fogonero ni vigilante, sino que su supervisión queda reducida con la reducción del personal y más aún, el tiempo que antes gastaba en supervigilar y reparar, le queda

ahora disponible para desarrollar un mejor control y un mejor plan de ventas que le permitirá algún día ensanchar su negocio y vivir en consecuencia más tranquilo.

Cómputo del # de KW consumidos por diferentes tipos de motor.

M.de C.C- Aunque hoy se instalan muy pocos motores de esta clase por la sencilla razón de que casi todas las estaciones de fuerza son de corriente alterna, sin embargo puede suceder que se necesite y por esto incluyo el cálculo. Doy a continuación unas ecuaciones fundamentales de electricidad; cómo se usan lo diré luego.

$P = KW = E \times I$

E = voltios

I = amperio

$P_h = P \times T = KWH$

P = ~~trabajo~~ Potencia

T = tiempo en horas

P_h = trabajo en KWH

Un compresor de 30 ton. accionado por un motor de C.C, hace leer en el voltímetro 220 V y en el amperímetro se leen en promedio en 39 horas, 102 amperios. En este tiempo se han hecho 200 bloques de hielo de 140 K cada uno - Cuántos KW se han necesitado por ton. de hielo hecho?

$E \times I = W$

$220 \times 102 = 22.460 W = 22,46 KW.$

Como fue en 39 horas, el # de KW = $22,44 \times 39 = 875,16 KWH.$

La cantidad de hielo producida es de $200 \times 140 = 28.000 K$

La cantidad de hielo producida en ton. = 28 ton.

Las ton. hechas por KWH serán $28/875,16 = 0,03 ton.$

Mde C.A - Corriente trifásica. Es éste el tipo de corriente eléctrica más generalmente usado; los motores que la reciben pueden ser: de inducción o sincrónicos. Estos últimos son los usados comunmente en las instalaciones trifásicas. La razón está en que con ellos el factor de potencia es afectado tan favorablemente que conviene tanto al que suministra, como el que gasta fuerza. Para mejor inteligencia,

recordemos aquí aquellos elementos de electricidad que nos enseñan:

Al medir corriente alterna monofásica no se obtienen los watios multiplicando sencillamente los amperios por los voltios sino que es preciso introducir un tercer valor, llamado factor de potencia, ocasionado por los efectos inductivos y de condensador que produce la corriente eléctrica; ese factor cambia la fórmula de trabajo así $P = E \times I \times \cos \phi = W$; $\cos \phi$ varía entre 0,4 para muy malo y 1,00 para condiciones ideales; un bajo factor de potencia no quiere decir que la eficiencia se rebaje apreciablemente del valor que puede tener con factor de potencia alto, nó; significa sólomente que introduce condiciones de trabajo muy malas por el excesivo calentamiento y debe por esto ser corregido.

La ecuación de ~~trabajo~~_{potencia} para un circuito trifásico envuelve además un cuarto factor: es éste 1,73 ó $(3)^{1/2}$ relación matemática entre las fases; como no es éste el campo para demostrar el por qué; contentémonos con saber que se necesita. La ecuación de potencia es pues $P = KW = E \times I \times \cos \phi \times 1,73$ para los circuitos trifásicos.

En un circuito trifásico balanceado se leen 220 v y el amperaje necesario a un motor de inducción es de 63 A; $\phi = 90\%$; se producen en 200 horas de trabajo 200 ton. de hielo; qué energía se gastó por tonelada?

$$220 \times 63 \times 0,9 \times 1,73 = 21,58 \text{ KW}$$

$$\text{En 200 horas serán: } 21,58 \times 200 = 4.316 \text{ KWH}$$

Se produjeron 200 ton.; se necesitaron 4316 KWH

$$\text{Por ton. de hielo se gastó } 4.316/200 = 21,58 \text{ KWH.}$$

En la página siguiente van unos cuadros que dan el número del alambre y la corriente necesaria a un M.de C.D según el número de HP del motor; lo mismo para un M.de C.A.

Tabla para # del alambre, y corriente necesaria a un M.de C.C.

HP	110 V		220 V		440 V	
	# prom. de A a pl.cg	tamaño del alambre. Ai de caucho	# prom. de A a plena carga	tamaño del alambre. Ai de caucho	# prom. de A a plena carga	tamaño del alambre. Ai de caucho
1	9	14	4,5	14	2,3	14
2	16	12	8	14	4	14
3	24	8	12	14	6	14
5	40	6	20	10	10	14
7,5	60	4	30	8	15	12
10	75	2	38	6	19	10
15	112	0	56	4	28	8
20	148	000	74	2	37	6
40	290	400,000	145	000	73	3
50	360	500,000	180	0000	80	1
60	-	-	220	250000	110	00

Tabla para alambre y amperios necesarios en un M. de C.A.

0,5	4	14	2	14	1	14
1	7	12	3,5	12	2	14
2	12	8	6	12	3	14
3	18	6	9	10	4,5	14
5	30	6	15	10	7,5	12
7,5	42	5	21	8	10,5	12
10	58	3	29	6	14,5	8
15	80	1	40	4	20	8
20	110	00	55	3	27,5	6
25	122	000	66	1	33	5
35	-	-	86	0	43	4
50	-	-	130	000	65	1
75	-	-	190	300,000	95	0
100	-	-	250	500,000	225	000
150	-	-	365	600,000	183	300,000
200	-	-	475	800,000	238	400,000

Neveras. Es casi imposible conseguir en Medellín datos acerca de las diversas marcas representadas en la ciudad; sin embargo pude allegar los que van insertos en este trabajo, la brega para conseguir los cuales considero perfectamente justificada con el gran interés que tienen.

Uno de los tipos que mayor aceptación ha encontrado en este mercado es el Kelvinator correspondiente a las dimensiones siguientes

Altura exterior	130,63	cm
Ancho exterior	72,21	"
Profundidad	65,5	"
Capacidad cúbica total	154.194,	cm ³
" " disponible para colocar alimentos (aproximadamente 0,8 de la capacidad total).	123.344	"
Area total de los estantes	9.306	cm ²
Aislamiento especial "Kelvates" de 6,25 cm en todo el rededor.		
Acabado interior y exterior en porcelana		
Cerraduras al cromo, con 4 bañas inoxidables		
Alumbrado interior eléctrico.		
Bandeja de cristal para deshielo		
3 bandejas para producción de hielo, con capacidad total de 2,5 K de hielo en 63 cubitos de 15,6 cm ³ c/u		
Poder refrigerador: 80 minutos de agua a hielo.		

Respecto a este dato, es bueno recordar que estudiamos más atrás el hecho de que 1 Kg. de hielo necesita 80 frigorías para su formación; la nevera da 2,5 Kg. en 80 minutos, luego en esos 80 minutos suministra 200 frigorías sólo para la fabricación de hielo; por minuto corresponde $200/80 = 2,5$ frigorías; téngase además en cuenta que la Kelvinator sostiene una temperatura en sus estantes de 7° C. para lo cual necesita gastar también un buen número de frigorías dada la enorme superficie y volumen de esos estantes. Es preciso, al estudiar las neveras, no perder de vista el hecho de que sus compresores están obligados a atender no una refrigeración hecha en condiciones tan favorables como las de una cervecería, por ejemplo, ya que las cámaras en éstas se abren muy de tarde en tarde y sólo durante instantes, obteniéndose por consiguiente una pérdida de frío infima no sólo por el gran volumen de esas cámaras que será muy poco afectado por la pequeñísima cantidad de aire ambiente que pueda penetrar, sino porque pudiendo una y aun varias personas permanecer perfecta y cómodamente en el interior la puerta puede cerrarse tan herméticamente como si nadie estuviera adentro; las

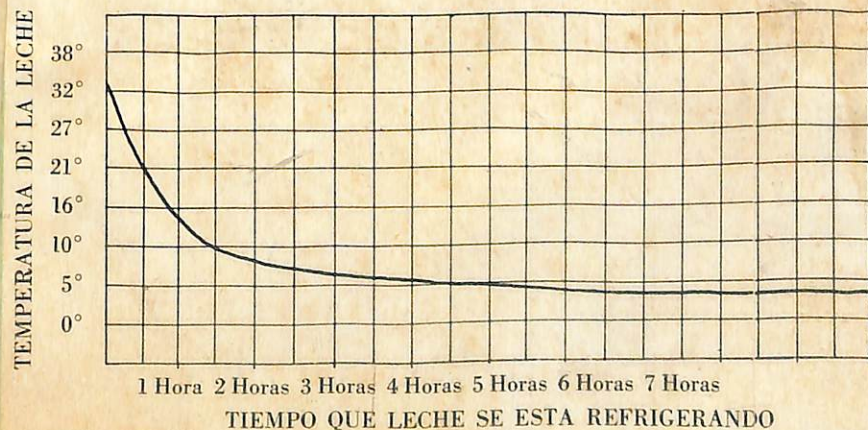
neveras, por su pequeño volumen, se afectan grandemente a causa del aire que penetra cada vez que se abre la puerta. Otro factor importante en desventaja para las neveras, es el hecho de que por su oficio, es molestada constantemente con la abertura de su puerta y ésta permanece abierta durante todo el tiempo que se necesita para poner o retirar lo que se desea, pues en otra forma es imposible. Sólo la perfección de los aislamientos, hace posible que estos aparatos funcionen con gastos de energía ínfimos, siendo lo más natural que debido al gran trabajo que se les pide necesitaran no sólo compresores muy potentes que suponen motores capaces, sino el funcionamiento ininterrumpido de esos aparatos.

Sin duda alguna el aparato más práctico que encontré en el catálogo Kelvinator por su gran utilidad y porvenir entre nosotros en la industria naciente del transporte de leche, es el tipo F.30 de 0,5 HP; consume 6,5 KW y refrigera 240 l. de leche de 32° C. (temperatura común en la ordeñada) a 7° C. en poco más de 3 horas. El refrigerador está atendido por aire cuya temperatura máxima es de 27° C.; el costo de refrigeración a los precios de hoy es para los 240 litros de 0,13 pesos oro colombiano. Adjunto un gráfico que representa el descenso de temperatura en la leche según su tiempo de permanencia en las cubas.

Adjunto también una fotografía del compresor usado y doy sus explicaciones:

Ancho	48,0	cm
Largo	95,9	"
Alto	51,9	"

Está compuesto de 2 cilindros de simple acción vertical y recíproca.



Motor de 0,5 HP. Condensador de tipo de radiador enfriado por aire forzado por un ventilador; recipiente del refrigerante, de tipo vertical, construido en acero con las siguientes dimensiones:

Diámetro	21	cm
Alto	37,5	"

Base de acero fundido.

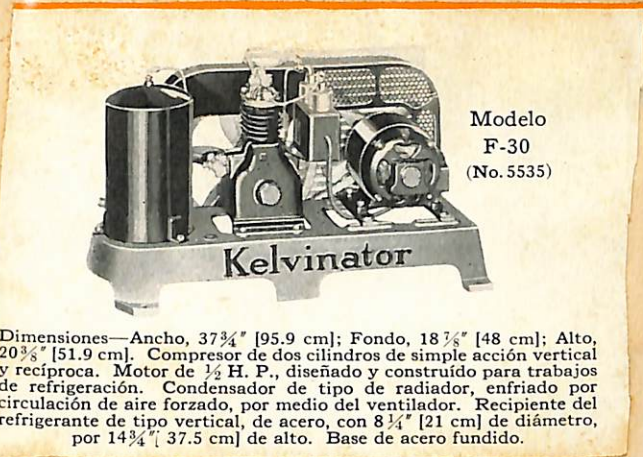
Adjunto también otro modelo, usado en neveras de gran tamaño para hoteles y cantinas y que la fábrica designa por WR-41. Sus especificaciones son:

Ancho	45,5	cm
Largo	101	"
Alto	66,7	"

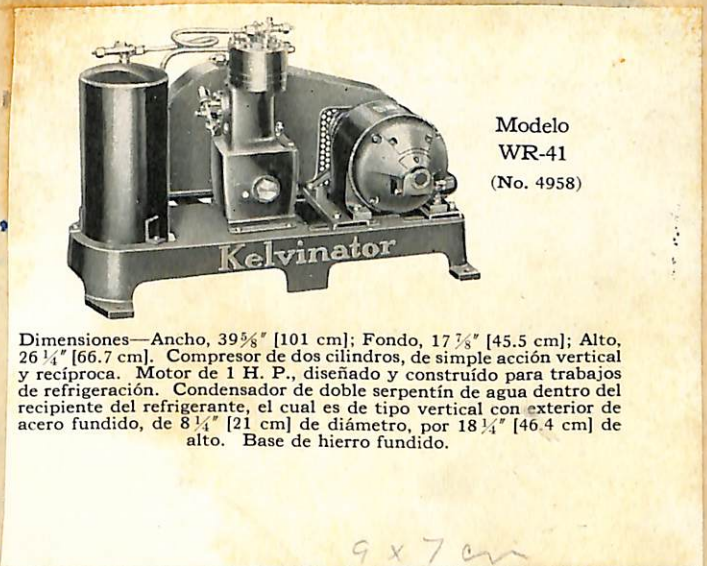
Es de 2 cilindros; acción simple, vertical y recíproca. Motor de 1 HP. Condensador de doble serpiente de agua, dentro del recipiente del refrigerante el cual es de tipo vertical con exterior de acero fundido de 21 cm. de diámetro por 46,4 cm. de alto. base de hierro fundido.

Entre este tipo, y el designado por L-23 que es el más pequeño construido (motor de 0,25 HP, condensador enfriado por aire forzado mediante un ventilador) construye la Kelvinator Co., 10 modelos más, pudiendo ofrecer por lo tanto un surtido inigualado, dentro del cual se encuentra fácilmente el modelo que más se acomoda a la aplicación que se presente.

Para terminar, haré mención de las unidades especiales para refrigerador, sistema seco, que construye Kelvinator. Adjunto una fi-



Dimensiones—Ancho, 37 $\frac{3}{4}$ " [95.9 cm]; Fondo, 18 $\frac{7}{8}$ " [48 cm]; Alto, 20 $\frac{3}{8}$ " [51.9 cm]. Compresor de dos cilindros de simple acción vertical y recíproca. Motor de $\frac{1}{2}$ H. P., diseñado y construido para trabajos de refrigeración. Condensador de tipo de radiador, enfriado por circulación de aire forzado, por medio del ventilador. Recipiente del refrigerante de tipo vertical, de acero, con 8 $\frac{1}{4}$ " [21 cm] de diámetro, por 14 $\frac{3}{4}$ " [37.5 cm] de alto. Base de acero fundido.

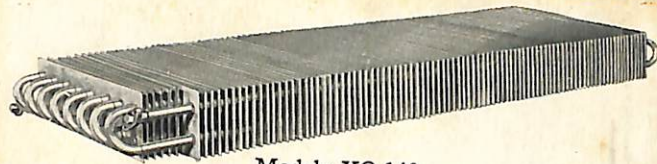


Dimensiones—Ancho, 39 $\frac{3}{8}$ " [101 cm]; Fondo, 17 $\frac{7}{8}$ " [45.5 cm]; Alto, 26 $\frac{1}{4}$ " [66.7 cm]. Compresor de dos cilindros, de simple acción vertical y recíproca. Motor de 1 H. P., diseñado y construido para trabajos de refrigeración. Condensador de doble serpiente de agua dentro del recipiente del refrigerante, el cual es de tipo vertical con exterior de acero fundido, de 8 $\frac{1}{4}$ " [21 cm] de diámetro, por 18 $\frac{1}{4}$ " [46.4 cm] de alto. Base de hierro fundido.

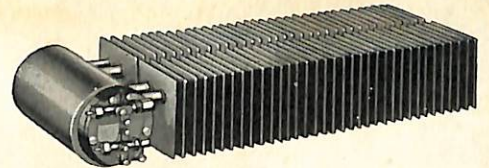
gura. Esas unidades fueron dise-
 ñadas primero para el uso en em-
 barcaciones y vehículos rodantes
 en los cuales las sacudidas y mo-
 vimientos interrumpian el buen
 funcionamiento de válvula flotante;

más tarde mediante los perfeccionamientos necesarios, pudo apli-
 carse a todo compresor este sistema y hoy lo usa Kelvinator en muchas
 de sus unidades no sólo pequeñas, sino aun de media consideración.
 Incluye una foto de un refrigerador de
 válvulas flotantes para mejor ilustra-
 ción.

Largo, 41 1/4" [105.5 cm]; Alto, 5 1/2"



Modelo XO-140
 (No. 11241)
 Dimensiones exteriores—Ancho, 20" [50.8 cm];
 Largo, 65" [165 cm]; Alto, 5 1/2" [14 cm].



Modelo X 5-80
 (No. 4734)
 Dimensiones exteriores—Ancho, 16" [40.6 cm];
 Largo, 34 1/4" [87.2 cm]; Alto, 5" [12.7 cm].

-----o(O)c-----

El pistón se construye de dos piezas unidas por el vástago; un segmento, provisionado con un
 alfiler, se ajusta al cilindro por un resorte, asegura el ajuste. El cilindro es con-
 struido de fundición especial, no permeable al gas.

Se usa también considerablemente el tipo vertical, provisto de "carter" y cilindros hechos en un solo bloque; el carter forma un
 baño de aceite, inmersión en el cual trabaja el árbol de rotación al cual van unidos los vástagos de los pistones. La potencia de una máquina es siempre proporcional al número de cilindros.

El refrigerante del compresor por medio de agua que circula en un canal por todas las cilindros, o por tubería convenientemente
 conectada, es muy aconsejable. Se dice cuanto para máquinas

CAPITULO V.

APARATOS AUXILIARES

Estudiaré bajo este nombre no sólo aquellas partes distintas al compresor y cuyo empleo es parte integrante de una máquina frigorífica, sino que empezaré por una relación a grandes rasgos de las partes más delicadas y de importancia vital en los compresores mismos, tales como válvulas, prensaestopas etc., por considerar el conocimiento perfecto de la construcción y funcionamiento de éstas, de importancia capital.

Cilindros y pistón. Vimos ya que se usan mucho los horizontales de tipo Linde; el fondo del cilindro se hace de forma esférica, el pistón tendrá la misma forma. El fondo y la caja de válvulas se hace en una sola vaciada; éstas tienen su eje inclinado 30 a 50° con el eje del cilindro; están lo mejor acondicionadas posible para que se reduzca al mínimum el espacio perjudicial. El pistón se construye de dos piezas unidas por el vástago; un segmento, presionado contra el cilindro por un resorte, asegura el ajuste. El cilindro se construye de fundición especial, no permeable al gas.

Se usa también considerablemente el tipo vertical, provisto de "carter" y cilindros hechos en un solo bloque; el carter forma un baño de aceite, inmerso en el cual trabaja el árbol de rotación al cual van unidos los vástagos de los pistones. La potencia de una máquina es siempre proporcional al número de cilindros.

El enfriamiento del compresor por medio de agua que circule en una camisa que rodea los cilindros, o por tubería convenientemente dispuesta, es muy aconsejable. Lo dicho cuenta para máquinas

de NH_3 y SO_2 . Vamos ahora a ver lo referente a las de CO_2 .

Los cilindros en estas máquinas son forjados en acero. Se exige que resistan un ensayo de 200 a 250 K/cm^2 ; para pequeños compresores, se usa también bronce. El ajuste del pistón se asegura por empaques de cuero los cuales gracias a la enorme presión del gas se adhieren perfectamente a las paredes del cilindro. También puede usarse, como en los casos anteriores, segmentos del mismo material. El sistema más moderno, ajusta por medio de segmentos de fundición y anillos elásticos de acero.

Válvulas. Como estos aparatos son generalmente automáticos, deben satisfacer un determinado número de condiciones: 1 - Ofrecer una sección de escape suficiente aun con levantamiento pequeño; 2 - Abrir y cerrarse rápidamente; 3 - Cerrarse herméticamente sobre su base; las que son muy pesadas, se proveen de amortiguadores para evitar el desgaste excesivo de las bases; 4 - Deben poderse revisar fácilmente; 5 - También deben proveerse de algún dispositivo que impida, en caso de ruptura de una de sus partes, que ésta pueda caer en el cilindro.

Se construyen generalmente de un metal duro y resistente con el objeto único de disminuir su peso en cuanto sea posible.

En los compresores accionados por máquinas de vapor, en los cuales como ya vimos, la velocidad es pequeña, las válvulas son grandes, el vástago está provisto de resortes poderosos y su levantamiento se hace $1/5$ del diámetro.

Las bases o sillas se hacen de diversos materiales, según el gas empleado: para NH_3 , acero martín; fundición dura de grano grueso para el SO_2 y bronce fosforado para el ácido carbónico.

En los compresores de gran velocidad (accionados por motor eléctrico) se usan válvulas delgadas, livianas y de pequeño levantamiento. El metal empleado es acero al níquel-cromo, templado en aceite. Los

discos metálicos constituidos por placas extradelgadas reposan libremente sobre la silla y se mantienen en contacto por medio de un resorte. En los compresores horizontales se generaliza hoy la costumbre de colocar las válvulas lateralmente; el espacio nocivo, cuando se trabaja con recalentamiento, como sucede en estas máquinas, tiene muy poca importancia.

Las válvulas y sus cajas están unidas de dos en dos por tubos o enlaces que llevan llaves de contención y que tienen por objeto el enlazamiento de las tuberías de aspiración del evaporador y regreso al condensador; sobre estos enlaces existen dos pequeñas llaves que comunican con los manómetros y en la parte baja se proveen dos llaves más: la una en la aspiración para permitir el paso de aire cuando sea necesario; la otra sobre las tuberías de retorno, para vaciar el gas cuando así se requiera.

En las máquinas verticales, se colocan las válvulas de aspiración, en la cabeza y las de expiración en el fondo. Esta disposición hace el flujo continuo y suprime el recalentamiento del vapor aspirado a su entrada en el cilindro.

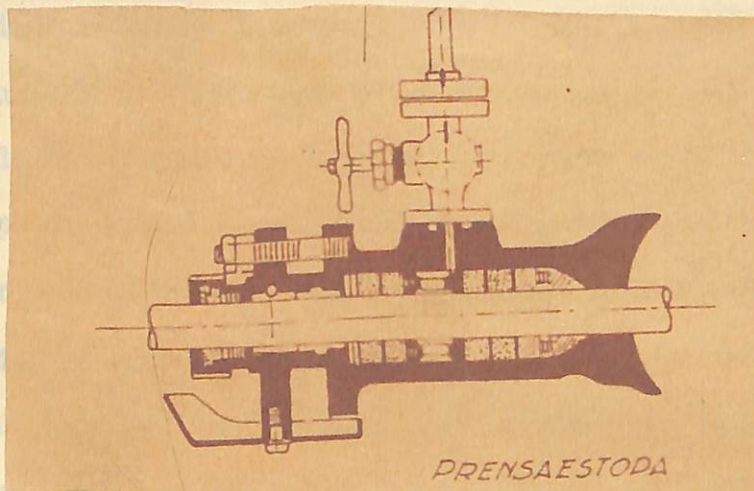
Válvulas accionadas. Existen dos tipos - uno de movimiento alternativo, guiado por la biela; otro rotativo, conocido como el sistema "Bernat".

El primero realiza indistintamente la aspiración y la expulsión y es empleado bastante en máquinas de potencia inferior a 30.000 frigorías. Para potencias superiores, se hacen irreemplazables las automáticas para la salida, pudiendo pertenecer las de admisión al tipo de gobernadas.

El segundo sistema reemplaza las válvulas de aspiración por una pieza cilíndrica rotativa provista de grandes orificios y que alimenta los diversos cilindros del compresor; la pieza en cuestión está

gobernada por el árbol y su velocidad de giro es reducida; las válvulas de salida son automáticas.

Prensaestopa. Es el alma del compresor; su papel es el de impedir, por un perfecto ajuste, la entrada del aire en el compresor y las fugas del gas. El tipo generalmente empleado es el de Linde. Se compone este aparato como lo muestra la figura, de dos guarniciones, en-



tre las que se intercala una pieza metálica que tiene la forma de una linterna y que deja en rededor del vástago una cámara comunicada generalmente con el conducto de aspiración. La guarnición se compone de anillos hechos de estopa o de caucho, separados entre sí por anillos metálicos; hoy día se ha generalizado el uso de guarniciones íntegramente metálicas. El conjunto está encerrado por una camisa que lleva la circulación de aceite mineral el cual permite presionar las estopas y el caucho fuertemente con el mínimum de pérdida en la potencia del vástago y el menor desgaste posible de estos materiales.

Una parte del prensaestopa está sometida a la presión excedente del condensador sobre el evaporador; si con esa presión parte de los gases pasan a través de los primeros anillos, encuentran la linterna y van al conducto de aspiración; la otra parte del prensaestopas está sometida únicamente al exceso de presión del evaporador sobre la atmósfera. El ajuste se facilita aquí enormemente.

En los casos en los cuales se trabaja con gases a baja presión (SO_2) se une la linterna con el conducto de retorno.

Cuando se trata del CO_2 se usan anillos de cuero que por medio de glicerina se mantienen perfectamente flexibles.

Hay un tipo especial de máquinas en las cuales se hace la manera de que el prensaestopa sólo soporte la presión del evaporador; es éste el tipo Stern y Lebrun.

En resumen: los métodos primitivos de ajuste con materias plásticas (algodón, estopa, caucho, hilazas graficadas, cuero etc.) presionadas por piezas especiales van siendo abandonadas. Lo moderno es guarnición metálica con engrase forzado y compuesta de anillos de fundición dulce o de metal antifricción provistos de resortes compensadores del desgaste o auxiliares de compresión. El engrasado de la linterna se hace a presión. Para tener un perfecto efecto del relleno es indispensable: 1 - El vástago ha de estar rectificado a 1/100 de mm.; 2 - Disponer alternativamente una rodaja que ajuste al vástago con juego sobre la guarnición, y otra que tenga juego sobre el pistón y ajuste aquella; esto en previsión de los efectos de la dilatación y para asegurar un perfecto engrase y expansión del gas; 3 - poner un resorte exterior sobre el prensaestopa, para asegurar la presión en todo momento; 4 - la longitud del rellenos será por lo menos igual a la carrera del pistón; 5 - Será tanto más vigilado el prensaestopa, cuanto más variable sea el régimen de marcha de la máquina.

En las máquinas horizontales de doble efecto y condiciones de recalentamiento en el gas, el prensaestopa se enfría por una circulación de agua. En los compresores verticales de Carter cerrado y a presión, la guarnición colocada sobre el árbol trabaja girando y sólo soporta la presión de la aspiración; es pues fácilmente realizable un buen ajuste.

Dispositivos de seguridad. El cilindro se provee con orificios a los cuales se adaptan tubos pequeños con una llave de contención, aditamento que permite medir cuando es necesario, la presión en el interior; además, en la culata, se proveen de agujas para los termómetros. El uso combinado de estos dos aditamentos permite controlar perfectamente la marcha del compresor. Se coloca también en los conductos de aspiración un filtro fino, hecho generalmente de tela, destinado a retener las impurezas que de otro modo podrían entrar al cilindro y dañarlo.

Otro aparato auxiliar del compresor consiste en una válvula colocada en la culata, sostenida por un resorte calculado para resistir perfectamente determinado número de K/cm^2 ; cuando ese número se excede comprime el resorte y el exceso de gas puede escaparse, evitando así las explosiones causadas por sobrepresiones inesperadas.

Ingrase. El objeto de esta operación es el siguiente: ante todo asegurar el perfecto ajuste completando el debido a la presión de los prensaestopa sobre el vástago, por medio de una película de grasa; como también reducir las pérdidas por fricción en la máquina.

Como recomendaciones generales es preciso decir que el lubricante empleado debe ser apropiado a las condiciones de trabajo de la máquina en la cual se usa; tener siempre una consistencia adecuada; ser capaz de lubricar correctamente a las diversas temperaturas posibles de la máquina y ante todo, no elegirlo sin antes hacer un estudio cuidadoso de sus características, a una temperatura igual a la reinante en el interior de la máquina. Para un conocimiento más completo de la cuestión creo conveniente fijar las condiciones necesarias a un buen lubricante para estos usos: en primer lugar debe ser incongelable, estable y no descomponerse a altas tempera-



turas con formación de depósitos o gases que pueden ser, y generalmente son, nocivos a cualquiera de los órganos de la máquina. En segundo lugar, tener viscosidad suficiente para evitar su división en pequeñas partículas con las altas temperaturas, y para asegurar a las temperaturas corrientes la perfecta lubricación del cilindro, y el ajuste completo entre el vástago y el prensaestopa. Como tercera condición se exige un alto poder lubricante; y por último, adaptarse al agente frigorífico usado.

Para llenar como es debido las prescripciones anteriores, se impone el uso de aceites minerales puros, destilados y refinados por filtración. El NH_3 y el CO_2 tienen poca acción sobre los aceites minerales a las temperaturas normales de trabajo. Los compresores de SO_2 tienen prácticamente una lubricación automática mediante el líquido mismo refrigerante, lubricación que se favorece con el enfriamiento de los cilindros y del pistón. En las máquinas rotativas se usa como lubricante, a veces, una mezcla de glicol y de grafito. En todo compresor se presentan dos problemas diferentes de lubricación que pueden resolverse en conjunto o separadamente; el uno es el engrase interior que debe atender al pistón, vástago, válvulas etc.; el otro es el externo que atiende a las bielas, resortes, guíadores etc.

El sistema moderno usado es el engrase por circulación del aceite, circulación que se provoca por simple gravedad o se hace a presión. Este último sistema se lleva a efecto con ayuda de una pequeña bomba que envía el aceite a presión a través de tuberías que desembocan en los puntos de fricción. El aceite se recupera luego en un filtro, del cual regresa a la bomba, estableciéndose un ciclo cerrado.

El separador de aceite es un aparato especial que tiene por objeto quitar al aceite el gas que arrastra al salir del compresor.

Se coloca generalmente retirado del compresor para que el aceite tenga tiempo de formarse en pequeñas esferas; siendo su tamaño de alguna consideración el gas lo atraviesa despacio y sigue hacia arriba; el aceite, por gravedad, busca el fondo; también se usa en las máquinas de NH_3 los llamados "depuradores" que consisten en un receptáculo bien cerrado y generalmente cilíndrico provisto de una cubierta por la cual pasa agua caliente; este receptáculo se intercala a las tuberías de aspiración. Está provisto de manómetro, termómetro, indicador de nivel interior y de una tubería de salida. El amoníaco líquido llega a él, se evapora y sigue al compresor; el aceite se queda.

Acoplamiento. En las instalaciones pequeñas, o en las de capacidad media, el acoplamiento se hace ordinariamente uniendo el motor a la máquina por medio de banda y polea.

Para instalaciones poderosas resulta mejor, no sólo desde el punto de vista de la seguridad de los operarios, sino desde la economía y comodidad, el uso de motores individuales de velocidad adecuada. Si el motor es eléctrico, dado su pequeño volumen y manera de funcionar (rotando), el acoplamiento no puede ser más sencillo; si el motor es Diesel, semi-diesel, de gas pobre, de vapor, etc., entonces hay que tener cuidado con el diseño y construcción de las bielas a fin de que su ángulo de calaje sea el apropiado.

El uso de contrapesos en el volante es importantísimo, pues el trabajo del pistón es mucho mayor al terminar su carrera que al empezarla. Este contrapeso es tanto más importante, cuanto menor es el diámetro del volante y mayor la sección de la biela y del émbolo. En los compresores horizontales, en los cuales la presión máxima sobre el pistón se produce en media carrera, el contrapeso debe estar avanzado 90° a la manivela a fin de que produzca su efecto en el moento preciso.

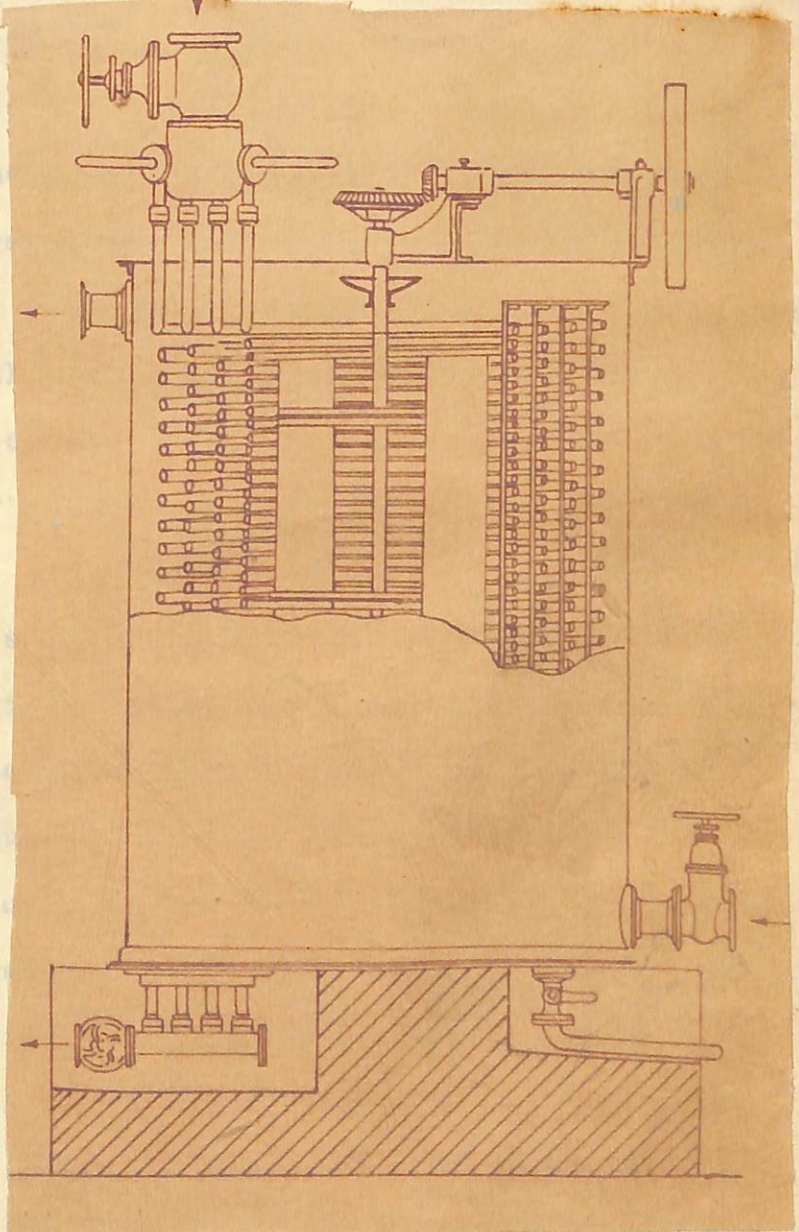
Cuando el pistón del compresor está accionado directamente por el pistón del motor, se dice que los dos cilindros están dispuestos en "tandem". Me resta sólo agregar para completar esta primera serie de aparatos auxiliares, que hoy día se fabrican máquinas especiales automáticas las cuales, por medio de flotadores, arrancan el motor en el momento necesario; estos dispositivos sólo pueden usarse con el motor eléctrico.

Condensadores. El oficio de estos aparatos es el de enfriar y licuar el agente frigorífico que debido a la compresión, les llega caliente. El fluido comprimido entra en el condensador en estado de vapor sobrecalentado y en él se enfría hasta la temperatura correspondiente a la presión de licuación; después, el agente frigorífico pasa al estado líquido, para luego enfriarse más. Este último enfriamiento puede tener lugar en el condensador mismo, o en otro aparato auxiliar llamado refrigerador del líquido. Desempeña pues tres papeles el aparato que me ocupa: enfriador del gas; licuador y enfriador del líquido. Los tipos más usados de condensador son: serpentín sumergido; de doble tubería y de lluvia.

Serpentín sumergido. Está constituido esencialmente de uno o varios serpentines circulares, concéntricos, que parten de un depósito colector y se sumergen luego en una vasija por la cual circula agua fría de abajo hacia arriba. El vapor de gas circula en el serpentín de arriba hacia abajo. La longitud del serpentín es cosa variable, según su potencia; no se acostumbra construirlos de más de 150 m. El diámetro interior no debe ser menor de 4 cm. Cuando el gas refrigerador es NH_3 ó SO_2 los tubos se hacen de acero estirado, sin soldadura y con 3 ó 4 cm. de diámetro interior siendo su espesor poco más que insignificante; cuando se trata de CO_2 , el diámetro interior se hace únicamente de 2,5 cm. y el espesor es, generalmente, de 0,7 cm. El material en este caso puede

cobre estirado. A fin de asegurar la llegada de agua fresca a todos y cada uno de los puntos del serpentín, qué se hace? Muy sencillo: en el interior de las espiras que forma el serpentín, y más o menos en la mitad del depósito (me refiero a la dimensión vertical) se coloca una hélice que agitará al girar el agua asegurando así la solución del problema que se plantea en la pregunta.

El sistema que vengo comentando exige una gran cantidad de agua disponible; necesita que esa agua sea relativamente muy limpia para evitar la formación de depósitos de lodo sobre el serpentín, depósitos que vendrían a restarle capacidad de enfriamiento; también le es necesario que la temperatura del agua sea lo suficientemente baja para producir los efectos necesarios y hacen casi imposible la localización de las fugas. Como un último inconveniente, ocupan un enorme espacio. Son pues adecuados únicamente en localidades en las cuales nada cueste el agua, y el espacio tenga mínimo precio. La figura adjunta muestra un condensador potentísimo de inmersión.



para una máquina en condiciones normales de funcionamiento, es decir, teniendo una temperatura menos 10°C . en el vaporizador y 25°C .

en el condensador, teniendo también 10° C. en el refrigerador del líquido; la temperatura de entrada del agua siendo de 12° C. y la de salida 20° a 21° C., es decir, con una diferencia media entre el agua y el líquido, de 9° C., la superficie de un serpentín como el anterior es de

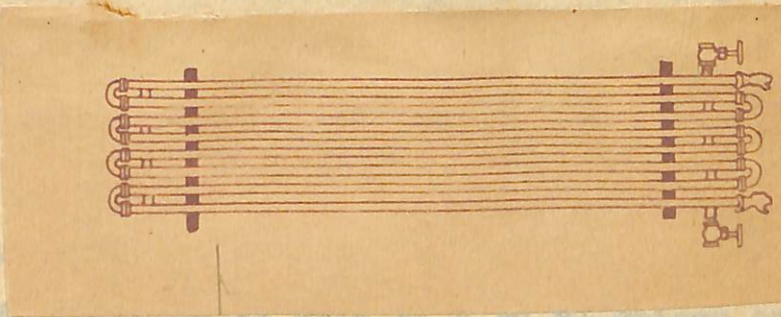
y de 1 m^2 a $1,2 \text{ m}^2$ para NH_3 y SO_2
 $1,5$ " $1,8$ " " CO_2

si la producción es de unas 10.000 frigorías/hora. La cantidad de agua que se hace circular por hora es de 150 l, aproximadamente.

Doble tubería. Consiste este aparato en 2 tubos de diámetro diferente, colocados concéntricamente el uno dentro del otro; el interior recibe el agua de refrigeración; por entre éste y el exterior, corre el fluido refrigerador. Agua y fluido pasan en sentidos opuestos a través de los tubos. El fluido refrigerador se hace correr por el espacio anular con el objeto de que su calor, sea atacado a dos fuegos: interiormente por el agua de circulación; el ambiente por la parte exterior.

Como es obvio preveer, el tubo interior sobre todo, y también el exterior, no están en condición de soportar uniones; en consecuencia presentan el inconveniente de requerir, sobre todo el interior, que se use agua exenta de impurezas pues si éstas existen su depósito causaría la rápida destrucción de los tubos; el interior se sostiene en posición con respecto al exterior por medio de radios delgados colocados en número de 3 ó 4 a distancias adecuadas. Este débil montaje requiere tubería muy delgada, que a su vez supone gases para cuyo manipuleo se requieran presiones bajas únicamente. Su mayor ventaja estriba en el ningún espacio que ocupan, pues pueden instalarse aun contra un muro; el gasto de agua, es insignificante.

La superficie de cambio o de contacto requerida en estos aparatos, se estima que es menor en un 20% a la de un condensador del tipo sumergido, que ya estudiamos. El coeficiente de cambio se toma igual a 400 para 1 m^2 de superficie y 1° C. de diferencia de temperaturas entre el fluido refrigerador y el agua, por hora de trabajo, siendo la velocidad media de circulación del agua 50 cm.p.s. Es decir que para 9° C. de diferencia entre fluido y agua, se tendrá por hora, con la velocidad dicha, y para cada m^2 de superficie, un coeficiente $K = 3,600.$



De lluvia. Componen este tipo

de condensador uno o varios serpentines dispuestos verticalmente, al aire libre y entrelazados sobre los cuales cae una lluvia fina de agua; el agua la suministra un tubo de regular diámetro (4 a 5 cm.) agujereado, o un depósito especial de madera hecho en forma de ducha, colocado en la parte superior de los serpentines. Estos están unidos a vasijas colectoras especiales y llevan por su interior el fluido refrigerador.

Como el tubo-serpentín se encuentra caliente, y el agua cae finamente dividida, parte de ésta se evapora absorbiendo en virtud de su calor latente de vaporización, una buena cantidad de calor; la que no se evapora, produce siempre un efecto refrigerante, si bien no tan considerable, si igual al que produce en el primer caso estudiado. Como se desprende lógicamente de esto, este tipo da mucho mejores garantías que cualquiera de los pertenecientes a los dos grupos vistos antes, pues el agua va a quitar en este sistema calorías no únicamente por su aumento en temperatura, sino por las que le son necesarias

para la formación de su vapor.

La cantidad de agua necesaria al servicio de estos condensadores, es ínfima. Esto puede concebir claramente si se tiene en cuenta que un litro de agua que se evapora absorbe aproximadamente 60 veces más calor que el mismo litro que se calienta 10° C. Se calcula que una cantidad de agua de 2 a 2,5 litros por segundo y por metro cuadrado de superficie de serpentín, es necesaria para la "Lluvia".

El agua que no se evapora "más o menos un 90% del volumen que se vierte" se recoge y vuelve a servir; las pérdidas de agua pues, pueden calcularse en un 10%, que es preciso agregar para reemplazar la evaporada.

Autoridades en la materia como es el Señor R. Bourbey, ingeniero diplomado por la Asociación Francesa de Frío (A.F. Du F) opinan que "un condensador de lluvia, correctamente diseñado e instalado, consume sólo 10% del agua necesaria a un condensador de igual capacidad, tipo sumergido".

Claramente queda establecido pues el lugar para el cual este condensador no sólo es el más indicado, sino que su descubrimiento y fabricación constituyen un verdadero hallazgo: las ciudades en las cuales el agua gastada es cobrada a precios altos por la empresa dueña del acueducto que las abastece.

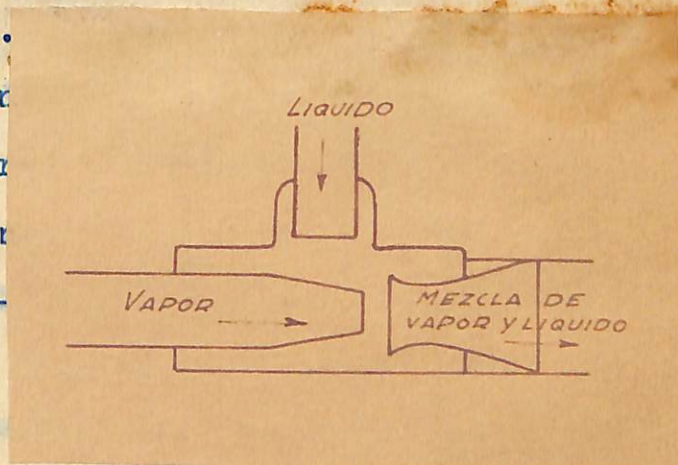
Para facilitar la evaporación del agua, o más claramente, para facilitar la retirada de los vapores de agua formados, el condensador se instala en un lugar en el cual exista corrientes de aire.

Por último, no debe perderse de la cuenta, el hecho de que vigilancia, reparaciones, localización de fugas etc., es mucho más fácil en instrumentos de este tipo, ya que todas sus partes son perfectamente accesibles.

Las tuberías se hacen de acero, lo mismo que para los de tipo

sumergido, y su única diferencia con aquéllos en cuanto a detalles de instalación respecta, está en que éstos necesitan una ligera capa de pintura protectora.

Como es perfectamente posible que se presente el caso de que los vapores recorran todo el serpentín sin que se inicie la licuación (vapores excesivamente calientes; agua de refrigeración a temperatura muy vecina a la del gas) se acostumbra poner, cuando las circunstancias lo aconsejan, a la entrada del condensador un dispositivo como el mostrado en la figura. Los vapores sobrecalentados provenientes del compresor se saturan al ponerse en contacto con el líquido y entonces la condensación se inicia rápidamente. Este sistema se conoce con el nombre de "licuador Shipley".



El líquido que se suministra por el tubo indicado en la figura, procede de la parte inferior del mismo condensador; ese líquido necesario se aspira por el vacío que forma el chorro mismo de gas.

El recipiente receptor del líquido está provisto de nivel y de dispositivos especiales para purgar el aceite.

Otro aparato auxiliar de los condensadores, consiste en una llave especial por la cual se purgan del aire y de los gases no condensables, colocado en su parte superior. De este aditamento, existen muchos tipos.

Evaporadores. Se les llama también refrigerantes. Son los aparatos en los cuales se efectúa la producción del frío propiamente dicho. Su forma depende siempre del oficio que deban prestar; las condiciones invariables que deben llenar, son las siguientes; permitir la utilización máxima de la superficie de contacto o de cambio; cerra-

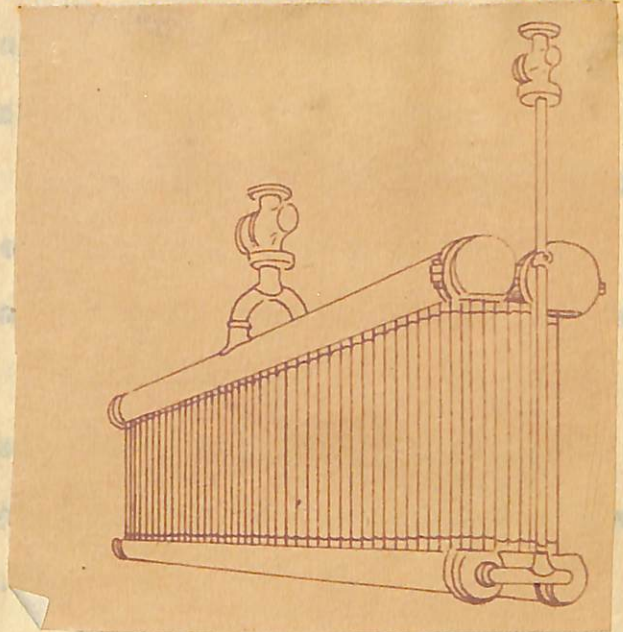
dura hermética; tener los aislamientos necesarios, o el arreglo más conveniente en general, para evitar las pérdidas de frío y por último, ser fácilmente accesibles afin de poderlos revisar y limpiar cómoda y frecuentemente. Sus divisiones son algo complicadas, pues el frío producido por la evaporación del líquido proveniente del condensador puede transmitirse del fluido al aire directamente, a una disolución salina tal como NaCl , CaCl_2 etc. o sea directamente al cuerpo que va a enfriarse. Veámoslos por aparte:

EVAPORADORES PARA ENFRIAMIENTO DE UN LIQUIDO. Se componen de uno o más serpentines, instalados dentro de un depósito aislado cuya forma dependen del espacio disponible y de la utilización que vaya a dársele al líquido en él contenido. Las extremidades de los serpentines se llevan a la parte superior y de ahí se comunican con el alimentador colocado encima de la cuba; cada serpentín debe estar provisto de llaves de contención, para ser usadas cuando la necesidad lo impusiere. La disposición de los serpentines, no es caprichosa pues esto tiene gran importancia; el líquido y los vapores formados deben siempre subir. Así, si se quiere unir dos serpentines, se comunicará la parte superior del primero con la inferior del segundo; bien entendido que el gas entrará por el primero. En esta disposición el líquido llega a la parte inferior del refrigerante y los vapores formados son aspirados a la parte superior.

Se utiliza también, en vez de serpentines, un dispositivo consistente en una serie de tubos que terminan en dos colectores; la apariencia que dan estos refrigeradores es la de una barandilla.

Como vimos, el líquido va almacenándose en la parte baja de estos evaporadores y su presencia continua allí es indispensable; la parte de tuberías situadas sobre el nivel que el líquido refrigerador alcance, sirve como secador del gas.

Es indispensable, para el correcto funcionamiento de estos aparatos, que el líquido exterior, el enfriamiento del cual es lo que se persigue, esté en continuo movimiento. Esto se consigue por medio de hélices sumergidas y accionadas desde el exterior en cualquier forma; no importa cuál sea el dispositivo o clase de motor adoptado.



Al contrario de lo que se acostumbra en el condensador, en los evaporadores se prefiere el tubo de sección pequeña; los tamaños aconsejables son: para NH_3 2 a 3 cm.; para CO_2 1,6 a 2,6 cm. y 3 a 4 cm. para SO_2 .

La circulación del líquido que se quiere enfriar (salmuera) se asegura por medio de una bomba que aspira el líquido enfriado de la parte baja del refrigerante y lo hace venir, a presión, a la parte superior después que lo ha hecho circular por donde debe hacerlo.

EVAPORADORES PARA ENFRIAMIENTO DEL AIRE. 1 - Haz para enfriamiento por radiación y circulación natural del aire; los haces de tubos de evaporación directa se construyen ligando tubos lisos o corrugados por medio de colectores. El conjunto se coloca bien en los techos rasos o bien en las paredes del cuarto que se refrigera. Funcionan análogamente a los anteriores con la diferencia esencial de no existir salmuera, sino que es el aire circundante el que se enfría directamente por ser de él que se extrae el calor necesario a la vaporización del líquido refrigerador que circula por los haces de tubos. El aire frío baja y el caliente, de menor densidad, sube y a su vez se refresca.

2 - Frigoríficos refrigerados por ventilación especial: en éstos, los haces de tubos por los cuales circula líquido refrigerador que se vaporiza en ellos, se colocan en un recipiente dentro del cual se inyecta aire por medio de un ventilador. El aparato se dispone de tal manera que sea posible llegar fácilmente a los tubos vaporizadores para limpiarlos, pintarlos o hacerles las reparaciones necesarias.

El aire insuflado al recipiente que contiene el evaporador es el que va luego, por tuberías especiales, a refrescar la atmósfera del salón que se desea refrigerar.

Sucede que cuando la temperatura es inferior a 0°C . los tubos de circulación se cubren de hielo proveniente de la condensación de agua contenida en el aire ambiente; esa capa disminuye notablemente los efectos caloríficos y es preciso retirarla periódicamente.

Para hacerlo se procede de diversas maneras: a) - Parando el compresor durante algún tiempo; b) - Rociando el entubado con una salmuera de mayor temperatura que 0°C .; c) - Por medio de inyección en las tuberías de enfriamiento, de un gas caliente, lo cual puede hacerse bien por inversión de la aspiración y el retorno, bien por medio de un circuito especial.

Para una velocidad media en el viento insuflado, de 300 cm.p.s se calcula un coeficiente de cambio $K = 20$ ó 25 para tubería lisa por m^2 ; de 12 á 15 para corrugada. Cuando hay hielo formado en los tubos, $K = 10$.

Hemos visto hasta aquí los tres sistemas empleados para enfriar: primero el enfriamiento se hace sobre una salmuera que por medio de una bomba irá después a su vez a enfriar lo que se desea; el segundo se refiere al enfriamiento directo (relativamente pues por cerca del evaporador que esté el cuerpo que se desea enfriar, siempre habrá entre los dos una capa de aire)

el tercero es enfriamiento por ventilación artificial. Queda con esto terminado el programa que me había trazado para la parte referente a los aparatos accesorios del compresor. Juzgando de gran utilidad lo referente a la salmuera, no seguiré adelante en mi plan general, sin decir algo sobre ella.

Está generalmente constituida una salmuera por la disolución de una sal en agua afin de bajar en ésta el punto de congelación. Las sales más empleadas son: Cloruro de sodio, cloruro de calcio y cloruro de magnesio. La más empleada de éstas es la de clacio.

Para preparar la salmuera, se disuelve la sal lentamente echándola en una cubeta especial en la cual hay una determinada cantidad de agua; esta agua está en reposo y su temperatura es generalmente tibia (unos 45° a 50° C.). Como una salmuera no debe ser excesivamente concentrada afin de evitar cristalizaciones por fuertes descensos de temperatura, ni puede ser poco concentrada con el fin de evitar formación de hielo, es decir, que se requiere una concentración perfectamente determinada, la salmuera no se prepara toda de una vez, sino que se hace así: se toman pequeñas cantidades de agua a la temperatura ya indicada, se disuelve en ella una cantidad mayor de sólido del necesario para saturación a temperatura normal. Conocida perfectamente la dosificación dada, se vierte el poquito de salmuera en un recipiente apropiado en el cual se tiene dispuesta determinada cantidad de agua. Cuando según los cálculos el punto de concentración del agua depositada en el recipiente grande, está para alcanzarse, entonces no se vierte todo el contenido de la última cubeta preparada, sino que éste se va vertiendo en pequeñas cantidades; después de cada pequeña cantidad vertida se agita el contenido del depósito grande y se comprueba su grado de saturación. Cuando el necesario se obtiene, se suspende la operación.

Una vez en uso una salmuera, debe vigilarse constantemente su concentración. En ningún caso debe permitirse que baje.

El punto de congelación de la salmuera se refiere siempre a la temperatura observada en la aspiración.

Para verificar la solución se toma una muestra y se pesa con el aerómetro de Baumé o con un densímetro.

Para baños en fabricación de hielo, trabajando entre - 6° a - 8°C. se necesita 22° B. en la salmuera o sean 1,18° en el densímetro.

A continuación cuadros con las características de las tres sales mencionadas como propias para hacer salmuera.

CLORURO DE CALCIO

Peso específico a + 15° C. densim-Aerométr normal Baumé	Peso del cloruro anhidro por Kg. de sol.	Punto de congelación-grados centrigrados	Calor específico		
1,00	0,0	0,000	00	- 0,0	1,000
1,01	1,5	0,012	13	0,5	0,981
1,02	2,9	0,024	25	0,9	0,963
1,03	4,3	0,036	38	1,4	0,946
1,04	5,6	0,048	50	2	0,930
1,05	6,9	0,060	63	2,6	0,914
1,06	8,2	0,071	75	3,3	0,899
1,07	9,5	0,082	88	4	0,884
1,08	10,7	0,093	101	4,8	0,870
1,09	11,9	0,140	114	5,7	0,856
1,10	13,1	0,155	127	6,6	0,843
1,15	18,8	0,167	193	12,3	0,783
1,20	24,0	0,218	263	20,2	0,752
1,21	25	0,227	277	22,1	0,723
1,24	27,9	0,257	320	28,3	0,699

CLORURO DE SODIO

	0,000	00	- 0,0	1,000
	0,016	16	0,9	0,980
	0,030	31	1,7	0,963
	0,044	46	2,4	0,948
	0,058	61	3,2	0,933
	0,071	75	3,9	0,919
	0,085	90	4,7	0,906
	0,098	105	5,5	0,893
	0,111	121	6,4	0,881
	0,124	136	7,3	0,870
	0,137	151	8,4	0,859
	0,2	230	15,5	0,815
	.260	314	-	.785
	.272	331	-	.780
	.308	393	-	.772

Iguals a las correspondientes columnas del cuadro anterior.

CLORURO DE MAGNESIO

Peso específico a $\pm 18^{\circ}$ C. Densim. normal	Peso del cloruro anhidro Por Kg de solución	Por m ³ de so- lución a 18°	Punto de conge- lación grados centígrados	Calor es- pecífico
1,00	0,000	0,00	0,0	1,0000
1,02	0,030	30,60	- 1,7	0,965
1,04	0,050	52	3,5	0,930
1,06	0,070	74,2	5,5	0,9
1,08	0,095	102,60	7,7	0,87
1,10	0,115	126,5	10	0,84
1,12	0,14	156,8	12,7	0,815
1,14	0,16	183,4	15,6	0,79
1,16	0,18	208,8	19	0,77
1,18	0,2	236,	22	0,75
1,2	0,225	270	26	0,73

Manera de proteger contra la corrosión los recipientes metálicos de salmuera: bien puede hacerse recubriéndolos de una capa protectora o galvanizándolos. También se puede, y es éste el sistema empleado más comunmente, neutralizar esos baños.

Uno a dos Kg. de carbonato de soda por cada 100 K de NaCl o 0,5 K de soda cáustica por cada 100 K de CaCl, es cosa muy usada. También el bicromato de potasia retarda la corrupción. Las cantidades aconsejables de éste son: 3 K por m³ de solución NaCl; para CaCl₂ 1,5 K por m³ y se añade un poco de soda para transformar el bicromato en cromato neutro. El retardador se disuelve en agua caliente y luego se agrega a la salmuera lentamente; se repite la operación cada seis meses.

00000-(0)-00000

CAPITULO VI

CONSTRUCCION DE FRIGORIFICOS

Es absolutamente necesario reducir a su mñimun las cantidades de calor exterior que puedan penetrar al interior de los locales refrigerados, dando a éstos forma y dimensiones adecuadas, como también construyendo sus paredes con materiales aisladores. Un buen aislamiento calorífico es costoso, pero la economía diaria que se obtendrá por concepto del mejor rendimiento frigorífico de la planta, compensa rápidamente ese mayor costo inicial.

Es preciso tener en cuenta además, que la masa y naturaleza de los muros debe permitir disponer en el interior del local por ellos formado, de una reserva de frío que sirva para regularizar la temperatura, siendo la existencia de esa reserva muy importante en caso de marcha intermitente de las máquinas o cuando las frecuentes manipulaciones en el interior de esos locales refrigerados es tal, que tiende a hacer variar las condiciones para las cuales fueron diseñados y construidos.

Aislamiento. Un buen aislante industrial debe poseer las cualidades siguientes: ser mal conductor del calor a fin de presentar en espesores pequeños un buen efecto; tener un peso específico bajo; no ser hídrosóptico, pues de serlo, perdería rápidamente su poder aislador; ser difícilmente putrescible y no despedir olor alguno, pues si lo uno o lo otro se presentara, podría ser perjudicial a lo almacenado en el depósito; debe ser además incombustible y dejarse trabajar fácilmente.

El aire seco e inmóvil es un buen aislante. En consecuencia para uso en aislamientos de bajas temperaturas es muy adecuado un

material aislante constituido por una sustancia impermeable al aire y a la humedad y que encierre en sus tejidos porosos una gran cantidad de aire aprisionado. Los aislantes empleados son: lana mineral, silicato complejo. Su inconveniente es ser hidróscopica; $d = 0,2$. Amianto, Kieselgur, magnesia, y diatomáceas porosas, todos ellos magníficos aisladores, pero costosos. Corcho, el más empleado. Su utilización se hará bajo mil formas, tales como: corcho granulado, magnífico y fácil de aplicar; $d = 0,08$. Conglomerado de corcho, se fabrica cociéndolo a altas temperaturas y sometiéndolo luego a fuertes presiones; se encuentra en el mercado en forma de ladrillos y placas; $d = 0,16$ a $0,25$. También se usa el siguiente procedimiento en la fabricación de aislantes de corcho; se calienta éste hasta 350°C. , no permitiendo su contacto con el aire, naturalmente; luego se le enfría, en atmósfera inerte. d para este material vale $0,15$.

Cualquiera que sea el aislamiento usado, debe aplicarse en perfecto estado de sequedad y es preciso impedir que para asegurarlos se use una sustancia propicia a la fermentación.

La impermeabilidad y resistencia a la flexión como a la compresión, son cualidades que es preciso obtener en cierto grado en los materiales aislantes. Con respecto al corcho puede seguirse el siguiente procedimiento para investigar su impermeabilidad; se sumerge en agua una muestra del corcho que va a usarse, muestra que se pesa antes y después de la inmersión. La diferencia de peso da la cantidad de agua absorbida. Para ensayarlo a flexión, se procede así; se corta una muestra de $50 \times 10 \times 1$ cm. y se coloca sobre dos soportes; el análisis de la curva formada en 12 horas de sostener esa posición, da el resultado buscado. La resistencia a la compresión varía muy poco de una a otra clase de corchos, y se estima en 20 K/cm^2 .

Para proteger los aislantes contra la humedad, es muy aconsejable una solución de asfalto. Esas emulsiones se preparan, así: el asfalto puro, en partículas finas, se mezcla con una cierta cantidad de agua en presencia de un coloide mineral inerte, como por ejemplo fibras de amianto. La emulsión puede emplearse líquida o espesa; una vez que se ha secado forma un revestimiento perfectamente adherido e impermeable.

Condiciones requeridas por un buen aislamiento. La cantidad de calor perdido, en nuestro caso, de calor entrado o frío perdido, a través de una pared que separa dos ambientes de temperaturas "T" y "t", teniendo esa pared una superficie "S", es igual a

$$Q = K.S (T - t)$$

El coeficiente de transmisión "K" ($m^2/hora/^\circ C.$) depende sobretodo de la naturaleza y espesores e, e_1, e_2 de los materiales que constituyen el muro

$$1/K = 1/\alpha + e/\lambda + e_1/\lambda' + e_2/\lambda'' \dots + 1/\alpha'$$

$\lambda, \lambda', \lambda''$ son los coeficientes de conductibilidad térmica de los materiales; α, α' los coeficientes de transmisión superficial. En la práctica se escogen espesores de aislamiento que den para "K" un valor comprendido entre 0,3 y 0,5.

Construcción de frigoríficos. Es preciso evitar las soluciones de continuidad en las pérdidas de frío. El suelo se recubre con betón, al cual puede agregarse un aceite mineral que lo impermeabilice completamente; este betón tiene por objeto evitar absorción de humedad por parte del cemento que se coloca encima de él y del aislamiento que se coloca luego, recubierto a su vez de más concreto. El aceite agregado es un 5% en volumen. Con respecto a los muros puede procederse de dos maneras: a) - Se pone el revestimiento aislador en el exterior, protegido contra la intemperie por un impermeabilizante.

Este sistema es magnífico pues impide el calentamiento de los muros los cuales vienen en esta forma a representar el papel de acumuladores de frío, el cual ceden en el instante necesario. Sin embargo, es muy difícil de construir y sobretodo de conservar en buen estado.

b) - Puede también ponerse revestimiento interiormente; esto es más fácil, mas presenta el inconveniente de no formar acumulador; para zanjar esta dificultad se acostumbra recubrir el aislamiento con una capa de ladrillo. Hoy día está muy extendida la idea de las construcciones de esqueleto usando el cemento armado; estas construcciones con buenos muros de cortina, y un aislamiento adecuado, son sumamente apropiadas a las edificaciones de refrigeradores. Las azoteas en esta clase de edificios suelen cubrirse con una capa de asfalto impermeable.

Los espesores de corcho más usados en cámaras de refrigeración son de 10 a 12,5 cm. (0° a 2° C.); cuando se trata de cámaras de congelación se usa un espesor de 15 a 20 cm. (menos de 0° C.) .

La temperatura debe ser uniforme en todo el local aislado. El gasto de frigorías-hora se aprecia durante una parada de las máquinas. En un refrigerador bien construido, una parada corriente (1 a 2 horas) no eleva la temperatura en más de 1° C.

Manera de colocar el revestimiento: El suelo. Primero que todo se da a éste una inclinación adecuada, afin de que las aguas puedan correr después naturalmente. Los ladrillos de corcho se meten en una masa de brea que forma el mortero y las uniones entre unos y otros se rellenan con un mastic hecho de brea y polvo de corcho; sobre esos ladrillos se vierte asfalto o brea que irán finalmente protegidos por una capa de cemento.

Muros y tabiques: En primer lugar se recubren con brea o asfalto y sobre estos materiales se colocan los ladrillos de corcho. La

práctica aconseja no poner un solo recubrimiento en el espesor calculado, sino poner varios cuya suma de espesores sea igual a aquél. El objeto de esas varias capas es el de poder "trocarlas" haciendo que las uniones no coincidan; además, entre las diversas capas, se coloca papel embreado.

Techo-azotea: Puede ser aislado interior o exteriormente. Si se aíslan exteriormente se procede como para el piso. Si se hace interiormente, se coloca el revestimiento aislador simultáneamente con la construcción de la azotea, si en ella interviene betún.

Los ladrillos de corcho se aseguran del betún por medio de ganchos. Si la construcción del techo es anterior a la colocación de los ladrillos, se mantendrán éstos en posición mediante soleras de madera distanciadas 50 cm. entre ellas, y las uniones entre los diversos ladrillos se rellenan con mortero de brea y corcho pulverulento.

Los aisladores de los muros se cubren sencillamente con una capa de 3 a 5 cm. de asfalto. Afin de asegurar la existencia de un acumulador de frío se coloca generalmente entre este último revestimiento y el aislante, una capa de ladrillo.

Aislamiento de cubetas, baños, etc.: Se utiliza comunmente placas de corcho sostenidas por varillas de hierro, y recubiertas para su protección con madera, cemento o simplemente con una lámina.

Aislamiento de tuberías: Deben éstas protegerse de posibles pérdidas en toda su longitud, poniendo especial cuidado en las llaves o canillas a fin de impedir además de los escapes por radiación, la formación de hielo proveniente del agua contenida en el aire. Se emplean para su recubrimiento casquetes de corcho del diámetro necesario, los cuales se adhieren por medio de asfalto aplicado cuando la tubería está perfectamente seca; las uniones se ponen trocadas,

rellenados con brea y polvo de corcho; para una mayor seguridad se lían con alambre de hierro galvanizado todos los semicilindros. Las llaves y válvulas se cubren con coquillas especiales que tienen su misma forma. El aislante se cubre además con un baño impermeable y para asegurar aun más la solidez del conjunto, se envuelve todo con una faja de lámina, después se pinta. Los soportes de la tubería, se colocan encima de las capas aislantes. Un buen aislamiento es importante; la experiencia ha encontrado que en una superficie de tuberías por la cual se pierden 10 frigorías estando los tubos desnudos, sólo se pierde una cuando éstos están aislados debidamente.

Distribución del frío. Como ya hemos visto, puede hacerse por expansión del gas en los conductos de utilización, o indirectamente por medio de un vehículo, llámese éste aire o salmuera.

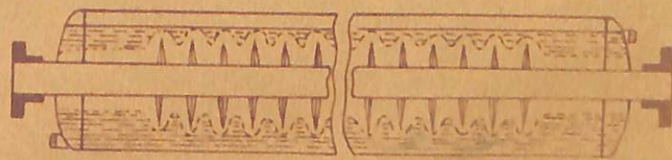
Enfriamiento del aire. Radiación. El enfriamiento se produce en el local mismo por medio de un haz de tubos que van colocados a lo largo y ancho de las paredes, haz por el cual circula una salmuera refrigerada o se expande un gas refrigerador. El aire se hace circular naturalmente, por convección; una refrigeración en esta forma es poco activa, pero suficiente para refrescar un local. Mientras mayor es el número de tubos, más eficaz es la refrigeración. Las cargas por metro cuadrado y por hora son las siguientes para los valores indicados de $\Delta t = (T - t)$ en que T = temperatura del aire

Δt	3	5	7
tubos lisos	15	30	70
" corrugad.	8	15	35

En el sistema de expansión directa el enfriamiento es más rápido. Adolece de serios inconvenientes a saber; el enfriamiento es irregular, pues es dependiente de las condiciones de marcha de la máquina

y se limita en duración al tiempo de trabajo de la misma; además, en caso de una fuga, puede ocurrir un trastorno cuya magnitud estará en un todo dependiente de la magnitud de aquélla.

En el sistema de circulación de salmuera, se dispone de un acumulador de frío que sirve de regulador y aun de reserva en caso de hacerse necesaria la parada del compresor. Los "brine-drums" son acumuladores de salmuera hechos de hoja galvanizada de 20 a 25 cm. de diámetro y 2 m. de largo, unidos por medio de tubos y que permiten almacenar buenas cantidades de aquélla constituyendo por lo tanto un magnífico acumulador sumamente útil en caso de marcha intermitente. Entre los existentes en el mercado de esta clase de acumuladores se destaca el tipo "Thibaut", que paso a describir e ilustrar. Está basado sobre el principio de congelación fraccionada sobre el evaporador. Se compone de un haz de tubos corrugados, de acero en los cuales se expande el fluido refrigerador; este haz se coloca en el interior de una caja cilíndrica que contiene una solución a base de glicerina con punto de congelación determinado. El mecanismo de funcionamiento se basa en el cambio de estado de la solución congelable a una temperatura que es igual a la dada preconcebidamente a la solución de glicerina. Constituye una reserva importante de frío la cual es disponible tan pronto como la demanda supera la producción de la máquina y que vuelve a recuperarse automáticamente en caso inverso. El acumulador restituye por fusión, en los casos necesarios, la carga de frío que adquirió. Reúne este acumulador, todas las ventajas del acumulador natural, el hielo sin tener sus desventajas. Además la instalación puede



hacerse menos capaz pues con este aparato se utiliza la producción nocturna, producción que al día siguiente puede aprovecharse. Por ventilación. En este caso se pone en movimiento el aire usando un sistema artificial, como por ejemplo un ventilador; la corriente de aire formada se enfría y seca en un frigorífico especial colocado en el local mismo o en el exterior. El aire, pésimo conductor del calor, es un magnífico vehículo de transporte. Transmite su calor (se enfría) a causa de la movilidad extrema de sus moléculas y al contacto con las superficies que se encuentra a su paso; luego tropieza en su camino con otra superficie que tiene distinta temperatura y en ésta vuelve a tomar calor, enfriándola. Esta refrigeración puede dividirse en seca y húmeda. SECA: Están los frigoríficos secos constituidos por baterías de tubos de acero, colocados en un local aparte, y por los cuales circula el fluido frigorífico o la salmuera. El aire aspirado en estas cámaras es impulsado luego al salón refrigerado, en el cual cumple su misión de enfriar. A causa de ser el aire tan mal conductor, se desperdicia gran número de frigorías. HUMEDA: La forman cámaras aisladas cuidadosamente en las cuales el aire se pone en contacto directo con una solución salina distribuida en forma de lluvia (frigoríficos de "cascada") o que corre sobre el piso a manera de fuente, teniendo entendido que en este caso se hacen varios pisos falsos para aumentar la superficie de contacto (frigoríficos de "fuente"). El aire se enfría y se seca hasta que la tensión del vapor de agua es igual a la tensión del vapor saturado, proveniente de la salmuera, siendo este último tanto más débil, cuanto mayor es la concentración de la salmuera y menor su temperatura. De esta primera cámara en la que se enfría, el aire pasa a cumplir su misión a los salones refrigerados.

Como es obvio, estos frigoríficos exigen; refrigerar la salmuera,

tener bomba de circulación, aparatos distribuidores, manera de recuperar la salmuera, aparatos de concentración etc. etc.

Organos accesorios usados en este sistema: Huecos de ventilación.

Tienen por objeto permitir la entrada del aire refrigerado, y la salida después de cumplida su misión. Los primeros se construyen en parte alta de los muros; los segundos en la parte baja.

Ventiladores. Se usa el tipo centrífugo, o el helicoidal, según la naturaleza de las resistencias que deba vencer la corriente de aire; los primeros son los adecuados para vencer grandes resistencias. La velocidad necesaria en el aire, es: 3 m. en el refrigerador propiamente dicho; 5 m. en el salón refrescado por el aire y 0,5 m. en los huecos de salida. La potencia absorbida se calcula por la fórmula

$$P = V \times H / 75 \times n \text{ HP}$$

En que: V gasto en m³ por segundo.
H altura manométrica en m.
n rendimiento del ventilador = 0,3 a 0,5 para helicoidales;
0,4 a 0,8 para centrífugos.

Bombas. El tipo usado corrientemente para los movimientos de la salmuera, es el centrífugo. La velocidad estándar en la tubería es de 0,4 a 0,75 m. por segundo. El gasto de salmuera se calcula por la fórmula

$Q = V \times d \times c \times \Delta t$, en la cual:
Q cantidad de frigorías necesarias por hora;
V gasto, uso por hora, en litros
c calor específico
 Δt enfriamiento de la salmuera en el refrigerador (2° a 3° C.).

La potencia necesaria al funcionamiento de la bomba es alrededor de 1/10 de la cantidad absorbida en el compresor correspondiente.

Enfriamiento por el sistema mixto. Participa de los dos sistemas ya expuestos; es ventajoso por permitir la existencia de un acumulador potente, y sostener una temperatura y un estado higrométrico uniforme (?). Se instala generalmente en la proporción de 2/3 del frío necesario, producidos por refrigerantes; 1/3 por tuberías irradiadoras

(?) Se llama estado higrométrico a la relación entre la tensión f del vapor de agua en la atmósfera, a la tensión F máxima a la misma temperatura.

$e = f/F = m/M$ en la cual
 m masa de vapor de agua contenida en 1 m^3 de aire ambiente
 M " " " " " que satura un m^3 de " a igual temper.

El método exacto de determinar el estado higrométrico, es el método químico; en la práctica de las instalaciones refrigeradoras, se usa comunmente el higrómetro de cabello, que puede ser de cuadrante o de registro.

Renovación del aire. Para asegurar la conservación en perfecto estado de las materias guardadas en el refrigerador, es preciso renovar el aire del local un cierto número de veces por día (2 veces generalmente). Esto se hace por medio de conductos de aire que comunican con el canal de aspiración y otros que sirven de salida; es una función que en los frigoríficos que no sean enfriados por evaporación directa, se hace automáticamente. Lo importante está en que el aire no se renueve todo de un golpe, pues esto ocasionaría trastornos serios en las temperaturas; la ventilación debe hacerse de la manera más fácil en la localidad, pero teniendo presente que es preciso repartir en todo el día el cambio de aire.

Base del cálculo de un frigorífico. La potencia frigorífica horaria necesaria para refrescar una cámara, comprende; 1 - Cantidad de calor transmitida por las paredes, q_1 ; 2 - Cantidad de calor transmitida por el cambio de aire, q_2 ; (q_2 , comprende: calor evacuado por enfriamiento del aire que se calcula por la fórmula

$q_2 = 0,305 \times V (T - t)$ además calor evacuado por la condensación de p gramos de agua por m^2 que se calcula por la fórmula $q_2 = 0,305 \times (T - t) + 0,6p$ -- en la fórmula para q_1 , V es el volumen en m^3 de aire; en ambas T, t son temperaturas). 3 - Calor desprendido

por los objetos almacenados, q_3 ; 4 - Calor desprendido por el trabajo del ventilador (equivalente), q_4 ; 5 - Cantidad de calor proveniente de diversas causas, tales como: abrir puertas, pérdidas normales, claraboyas etc. etc., que se avalúa en 15% de las sumas

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

Con los datos anteriores se deduce la producción de frigorías necesarias por m^3 de aire en circulación y su temperatura media en el frigorífico.

El aire de las salas pasa por el refrigerador unas 10 veces por hora.

-----o(O)o-----

3 - Hielo cristal, enteramente transparente, se obtiene de agua destilada privada de aire. Las condiciones favorables, para obtener este hielo, son: lentitud de congelación, agitación constante del agua, ausencia de aire y sales. Las mejores procedimientos, recibidos por la práctica, son: a) - Congelación lenta del agua destilada; agitación del agua durante la congelación; b) - Combinación de los dos sistemas.

Producción del hielo en moldes. Principio: introducir en una caja de congelación moldes de paredes delgadas, llenos de agua. El aparato empleado es una caja rectangular de limas metálicas que tiene una o varias comparticiones; se llena de agua y se coloca sobre un baño de hielo a $-5^{\circ}C$ o $-10^{\circ}C$. Los moldes se sacan cuando el agua se ha congelado y se sacan los moldes con el agua.

CAPITULO VII

FABRICACION DEL HIELO ARTIFICIAL

Diferentes especies de hielo. 1 - Hielo opaco, de aspecto mate, ca-
lechoso, preparado sin precauciones especiales y con agua no purifi-
cada ni separada de los gases que contiene; 2 - Hielo semitransparen-
te, traslúcido y que presenta un corazón opaco (?). Se obtiene por
congelación lenta de agua potable, agitada durante la solidificación.

(?) la cristalización comienza a producirse al contacto de las pare-
des frías; una vez que los gases se han eliminado, se inicia una
concentración hacia el centro de sales disueltas e impurezas las cua-
les, después de la solidificación, forman un núcleo opaco compuesto
por todas las materias solubles e insolubles que tuvo el agua inicial.

3 - Hielo cristal, enteramente transparente. Se obtiene de agua des-
tilada privada de aire. Las condiciones favorables, para obtener
este hielo, son: lentitud de congelación, agitación constante del
agua, ausencia de aire y sales. Los mejores procedimientos, ratifi-
cados por la práctica, son: a) - Congelación lenta del agua destila-
da; agitación del agua durante la congelación; c) - Combinación de
los dos sistemas.

Fabricación del hielo en moldes. Principio: introducir en una cuba
de congelación moldes de paredes delgadas, llenos de agua.

El aparato generador es una cuba rectangular de lámina metálica que
tiene uno o varios compartimentos; se llena de salmuera enfriada
hasta que su temperatura alcanza - 5° o - 10° C.; los medios neces-
arios, disposición etc., para enfriar la salmuera, ya los hemos estu-

diado. Una vez colocados los moldes que contienen el agua, se aseguran por dispositivos especiales que impiden su volcamiento; luego, de manera natural, viene el intercambio de temperaturas entre la salmuera y el agua contenida en los moldes. Ese intercambio de temperaturas provoca el enfriamiento gradual del agua en primer lugar, y luego su congelación. Para obtener una temperatura uniforme en todos los puntos de la cuba metálica, se disponen una o varias hélices, según el tamaño de aquélla, las cuales producen corrientes en la salmuera y por lo tanto una distribución uniforme del frío. Para evitar en lo posible las pérdidas de frío por radiación, se reviste la cuba de materiales aislantes. La parte superior se tapa con una cubierta de madera que ajuste perfectamente.

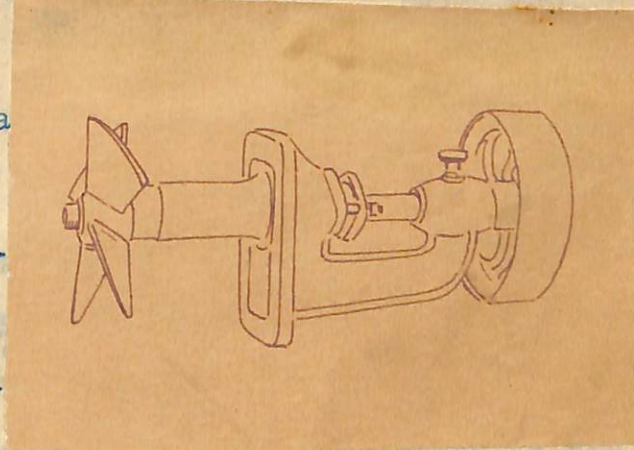
Una vez congelada el agua del molde, y con objeto de sacar el hielo formado, se retiran los moldes de la cuba y se introducen en un baño de agua tibia. El calor de ésta hace fundir rápidamente, en un pequeño espesor, la superficie exterior del bloque de hielo. Este se desprende y sobrenada, dentro del molde, en el agua de fusión formada. Las grandes instalaciones siempre están provistas de aparatos accesorios que permiten efectuar mecánicamente todas las maniobras: llenada de moldes con agua, transporte, vaciada etc.

Dispositivos de vaciada. a) - Grúa-puente que se desplaza en el sentido de la longitud de la cubeta de congelación y es capaz para soportar el peso de un molde lleno de agua. Esta grúa se maneja por medio de cadenas, operadas a mano; b) - Dispositivos especiales en la cuba que permite vaciar una hilera de moldes a la vez. El primero de éstos es una serie de divisiones que hacen cada compartimento de la cuba perfectamente independiente. El segundo, puede ser un serpentín por el cual se hace pasar agua caliente, o un dispositivo, parecido al de lasperas Vessemer por el cual se insufla

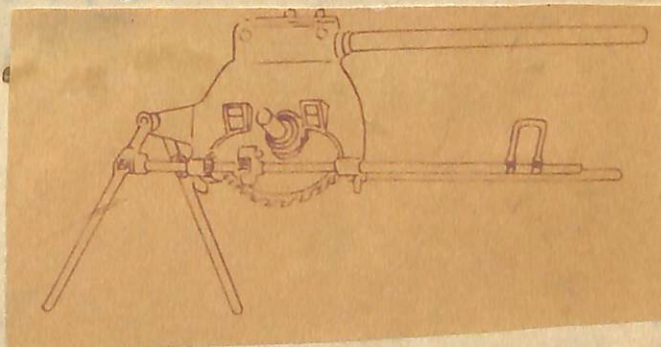
vapor de agua; uno y otro arreglo se usan una vez obtenida la congelación, para provocar la fusión del hielo; c)- Está constituido por varias partes. En primer lugar un par de rieles que sirven como guías y corren a lado y lado de la cuba condensadora; por esas guías corre una armazón de hierro o madera constituida por dos ramas verticales, unidas en su parte superior por una tercera rama, de la cual penden por medio de poleas, cuerdas que en sus extremidades llevan un gancho en el cual se aseguran los moldes. Por medio de este aparato se sacan los moldes y, colocados a una altura conveniente, se llevan al accesorio especial llamado mesa de vaciado, común también al sistema de grúa-puente.

Dispositivo de avance. Tiene por objeto

este mecanismo asegurar el movimiento de los moldes por hilera en la cuba. Cuando se saca una hilera de moldes, se lleva a la mesa de vaciado, se llena y vuelve a colocarse en la cuba pero no en el puesto que ocupó sino en el más trasero de todos;



para que ese puesto esté vacío se necesita el dispositivo del cual me ocupo. Afin de evitar las complicaciones que se originarían con un funcionamiento automático de este aparato, que de ser así obligaría a retirar hilera que debido a causas numerosas e imposibles de prever podrían no estar aun cuajadas, se acostumbra accionarlo a mano. Es preciso a veces usar dispositivos de agitación para el agua de los moldes; puede usarse una hélice de tipo igual al propuesto para agitar salmuera.



Moldes. Se construyen estos recipientes en lámina metálica con un espesor que varía entre 1 y 1,5 mm., soldados con soldadura autógena, con estaño etc. La lámina es galvanizada. Tienen forma de tronco de pirámide, para facilitar el vaciado; su sección puede ser cuadrada o rectangular. La capacidad preferida universalmente es aquella que da panes de hielo de 15 a 25 K. de peso. La práctica aconseja que la relación entre el volumen del molde y su superficie exterior sea 1 : 30 a 1 : 35. La longitud usual es de 0,8 a 1,5 m.

Las causas de deterioro son: acciones químicas, o acciones electrolíticas. Las primeras se evitan mucho, usando pinturas protectoras, o galvanizándolos; las segundas se previenen evitando el contacto de dos metales distintos, para lo cual deben conservarse espacios adecuados entre ellos.

Tiempo de congelación. En las condiciones normales la temperatura de la salmuera es de - 5° a - 10° C., siendo la primera más adecuada para la producción de hielo transparente; la duración de congelación es 12 horas para bloques de 15 K

19 a	22	"	"	"	"	25	"
35	"	40	"	"	"	"	50

La siguiente fórmula da muy aproximadamente, el número de horas necesario, siendo e = espesor en cm. del bloque.

$$\# \text{ de horas} = \frac{1}{2} (e/2,5)^2$$

El número de moldes n necesarios para producir P Kg. de hielo en H horas con panes de p Kg siendo el tiempo de congelación de un pan T hora es:

$$n = P \times T/H \times p$$

Hielo transparente. Se obtiene como ya vimos, por congelación lenta; con el uso de agua destilada o por agitación del agua.

Medio de agitar: 1 - Por varillas verticales sumergidas en los moldes y animadas de un movimiento de vaivén, comunicado por un sistema mecá-

nico de articulaciones dependientes a su vez de una excéntrica. La amplitud de movimiento de las varillas se hace, generalmente, de creciente con el avance de las hileras de moldes y se suspende cuando sólo falta $\frac{1}{4}$ del contenido por congelarse. A causa de esto se formará un pequeño núcleo opaco; para obtener un bloque totalmente transparente, se saca ese núcleo y se reemplaza por agua destilada.

2 - Insuflando aire a baja presión. La cantidad de aire necesaria puede deducirse por proporcionalidad con el siguiente dato: se necesitan 200 litros de aire por minuto a 2 atm. de agua de presión, para producir una ton. de hielo. Esto para aire a baja presión. Si el aire se insufla a presión alta, entonces son suficientes 80 litros por minuto a una presión de 0,7 a 7,4 K/cm² por ton. de hielo. Supone esta presión, otra de 1,5 a 3 K/cm² en el compresor de aire. El aire insuflado se seca en un deshidratador.

Obtención de hielo transparente, por congelación de agua destilada sin presencia de aire. El agua destilada puede obtenerse por auxilio de una planta destiladora aparte, o por aprovechamiento del vapor proveniente del escape de una máquina. Esta producción tiene lugar según varios principios: 1 - Utilización directa del agua de condensación, provenientes de la depositada en un condensador común. Antes de empezar su congelación es preciso limpiarla de trazas de aceite y de las partículas de aire que pueda contener con la ayuda de aparatos especiales, de filtros y de ebulliciones. La menor traza de aceite, dará al agua olor desagradable. 2 - A veces las aguas provenientes de la fuente tratada en el párrafo anterior, son insuficientes y en ese caso se les completa con agua pura, esterilizada por calentamiento a \pm de 100° C. 3 - Utilización indirecta de los vapores de escape, como fuente calorífica para hervir agua, reduciendo la presión reinante.

En el momento de llenar los moldes, se utilizan varios procedimientos afin de impedir la disolución de aire en el agua; el principio fundamental de todos los sistemas, consiste en hacer llegar el agua por lo bajo, pues así ella sólo presenta contacto con el aire en la parte superior, lo cual reduce a un mínimún la presencia de gases disueltos.

Fabricación del hielo en placas: Su principio fundamental está en congelar agua por contacto con las paredes frías. La cuba congeladora se parte en compartimentos por medio de tabiques huecos que sirven para transmitir el frío haciendo pasar en su interior bien sea una salmuera enfriada, bien tubería en la cual se dilata directamente el fluido refrigerador. Los tabiques reposan sobre un fondo doble por medio del cual se comunican entre sí; a la vez sirve ese doble fondo como receptáculo de sedimentos e impurezas.

La agitación necesaria a la salmuera, para conservar una temperatura uniforme, puede hacerse por las hélices conocidas, colocadas en un receptáculo lateral especial que se comunica con el doble fondo y que está separado de los tabiques refrigeradores por otro perfectamente fijo y separado.

El vaciado se efectúa de manera fácil, haciendo circular por entre los tabiques vecinos a la placa en que se manipulea, una salmuera o un gas calientes.

Las placas se sacan elevándolas con cadenas, transportadas a su vez por una grúa-puente y se depositan en la sierra, la cual estará provista de una mesa por la cual lleguen los panes de alimentación; una vez a disposición de este accesorio, se corta de cada placa los trozos que se desean, en la forma y cantidad necesarias.

La temperatura de la salmuera que sirve de vehículo al frío producido en la planta, debe ser de $- 5^{\circ}$ a $- 10^{\circ}$ C. La duración de

La solidificación varía según las dimensiones, sobre todo el espesor, de las placas; en general, dura varios días.

Frigorías necesarias para producir hielo.

- 1 - Enfriamiento hasta 0°C . del agua destinada a la congelación = 1 frigoría por K/grado.
 - 2 - Congelación del agua = 80 frigorías por K.
 - 3 - Enfriamiento del hielo a la temperatura media reinante en los moldes = -5°C . (calor específico del hielo 0,5 - Se necesita pues, $\frac{1}{2}$ frigoría/K/grado.
 - 4 - Frio desperdiciado = variable. Atiende a los siguientes gastos:
a) - enfriamiento t de las partes metálicas = $p \times 0,12 \times t$ (se puede aceptar 800 gramos como peso de metal necesario entre molde y chasis por K de hielo). 0,12 = c.e. del hierro; b) - radiación de la cuba = 10% de las frigorías necesarias en 1 + 3 + 2; c) - desperdicio en la vaciada = 4 a 8% de las frigorías necesarias en 1 + 2 + 3.
- Como regla general: se necesitan 120 frigorías por K de hielo producido.

Almacenes de hielo. Son cámaras aisladas mantenidas a una temperatura de -5°C . en las cuales se conservan los bloques de hielo. Su papel es el de servir como reguladores entre la producción y la venta, siempre muy variable. Se construyen y arreglan para reducir el costo de sostenimiento y se comunican con la fábrica por medio de "deslizadores" (planos inclinados entre las mesas de vaciado y los almacenes, si éstos están más bajos) o por ascensores. Los camiones de expendio deben estar aislados y provistos de orificios y canales que permitan recoger y botar fuera las aguas de fusión. Se pintan invariablemente de blanco para reducir, en lo posible, la influencia de la radiación solar.

