

**ANALISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE
VAPOR DE AMONIACO EN LA EMPRESA C.I. OCEANOS S.A**

**ARLEY SALAZAR HINCAPIE
LUIS FERNANDO RODRIGUEZ**

Monografía presentada para optar el titulo de Ingeniero Mecánico

**Director
Bienvenido Sarria López,
PhD., MSc., ME.**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA DE INDIAS**

2006

REGLAMENTO ACADÉMICO

(ARTICULO 107)

La Tecnológica de Bolívar institución universitaria, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., 03 de diciembre de 2007

AGRADECIMIENTOS

El alcance de tan anhelado logro quiero agradecerlo a mis padres; Luisa Eugenia y Oscar Evelio quien con su esfuerzo en todas las formas, el cual nunca desvaneci6 me ayudaron a ser posible lo que soy hoy, quiero dedicarles esta parte de un gran triunfo.

A Dios por no desampararme en momento dif6ciles, y por darme la bendici6n de tener tan excelente padres, amigos, profesores que colaboraron en la realizaci6n de este trabajo y de mi realizaci6n como Ingeniero.

A Carmen Alicia Murillo quien siempre estuvo presente con todo su amor, d6ndome 6nimos, quien me brindo su apoyo incondicional en momentos de dificultad durante mi carrera.

Al profesor Bienvenido Sarria quien con todo su conocimiento colaboro inmensamente en la realizaci6n de este trabajo.

Gracias a todos aquellos que de cualquier manera colocaron su granito de arena en la construcci6n no solo de este trabajo si no del profesional que hoy soy.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

BREVE DESCRIPCION DEL PROBLEMA

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. GENERALIDADES CI OCEANOS SA.	15
1.1 DESCRIPCION GENERAL SISTEMA DE REFRIGERACION CI OCEANOS SA.	16
1.2 DESCRIPCION CIRCUITO CONGELADORES DE PLACA	18
2. METODOLOGIA DE EVALUACION DE LA PRODUCCION DE FRIO EN LA EMPRESA CAMARONERA OCEANOS SA.	20
2.1 CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESOR DE VAPOR	20
2.2 DESCRIPCION DEL CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR.	22
2.3 DIAGRAMA DE CICLOS DIAGRAMA PRESION – ENTALPIA.	24
2.4 INDICADORES ENERGETICOS FUNDAMENTALES DE UN CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR.	25
2.4.1 Efecto refrigerante	25

2.4.2	Capacidad de Refrigeración.	25
2.4.3	Trabajo en el compresor.	26
2.4.4	Calor rechazado en el compresor.	26
2.4.5	Coeficiente de funcionamiento del ciclo (COP)	27
2.5	CALCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO.	28
2.5.1	La carga del producto.	28
2.5.2	Calor sensible sobre el congelamiento.	29
2.5.3	Calor latente de congelamiento.	30
2.5.4	Calor sensible por debajo del congelamiento.	30
3.	ANALISIS ENERGETICOS DE LA EMPRESA OCEANOS SA.	31
3.1	RECOPIACION DE DATOS.	31
3.2	ANALISIS DE TEMPERATURA FINAL DEL PRODUCTO VS. DEMANDA DE FRIO.	32
3.2.1	Variación de la carga del producto con la temperatura final Del producto.	37
3.2.2	Porcentaje de uso de la capacidad de refrigeración.	38
3.3	ANALISIS DE LA CAPACIDAD VS. TIEMPO DE ESTANCIA EN LOS CONGELADORES DE PLACA.	38
3.3.1	Variación del tiempo con la capacidad y con la temperatura Final del producto.	42
3.3.2	Variación del tiempo con la temperatura final del producto y las Capacidades de cada compresor.	42

3.4 VARIACION DE LA CARGA DEL PRODUCTO CON EL TIEMPO.	43
3.5 ANALISIS ENERGETICO DEL CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE AMONIACO EN OCEANOS S.A.	45
3.6 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.	48
3.7 MEDIDAS PARA EL AHORRO DE ENERGIA BASADAS EN OPERACIÓN DE LOS COMPRESORES 3 Y 4.	51
3.7.1 Calculo del ahorro.	56
3.7.2 Ahorro por cada kilogramo de camarón congelado.	60

4. CONCLUSIONES

5. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.	Finca para el sembrado del Camarón.	16
Gráfica 2.	Circuito Congeladores De Placa	18
Grafica 3.	Producción de Frío	21
Grafica 4.	Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	22
Grafica 5.	Diagrama p –h	24
Gráfica 6.	Diagrama p –h para líquidos refrigerantes.	27
Gráfica 7.	Temperatura Final del camarón vs. demanda de Frío.	37
Grafica 8.	Variación de la temperatura del camarón con el tiempo.	42
Grafica 9.	Demanda de Frío vs. Tiempo de almacenamiento.	44
Grafica 10.	Diagrama p-h del compresor 3.	45
Grafica 11.	Diagrama p – h del compresor 4.	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Conversión de unidades para 1 Tonelada de refrigeración.	26
Tabla 2. Levantamiento de operación compresores	31
Tabla 3. Datos del producto.	32
Tabla 4. Variación de la carga con la temperatura para $t = 6h$	37
Tabla 5. Porcentaje de Uso de La Capacidad De Refrigeración.	38
Tabla 6. Variación del tiempo con la capacidad y con la temperatura final del producto	42
Tabla 7. Variación la carga del producto en el tiempo.	44
Tabla 8. Levantamiento de operación del compresor 3.	45
Tabla 9. Levantamiento de operación del compresor 4	46
Tabla 10. Cuadro de prueba de los compresores	53
Tabla 11. Cuadro de control de temperaturas del camarón.	53
Tabla 12. Cuadro de prueba de compresores.	54
Tabla 13. Cuadro De Control De Temperaturas Del Camarón	54
Tabla 14. Cuadro De Prueba De Compresores	55

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.

Anexo B.

INTRODUCCION

El constante crecimiento de las industrias es un fenómeno que viene presentándose en los últimos 10 años, pero este crecimiento viene acompañado de grandes consumos de energía en cualquiera de sus formas, eléctrica, combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, agua entre otras. La contaminación del medio ambiente no es ajena a este crecimiento.

La competitividad se ha convertido en un reto para cada una de las empresa para con sus semejantes en el mercado, reducir los costos del producto es uno de los objetivos para ser mas competitivos.

Es por eso que el desarrollo del presente trabajo centrara sus fuerzas en reducir los consumos de energía eléctrica en la empresa camaronera OCEANOS, con el fin de que estas reducciones hagan de la empresa la más competitiva en el mercado.

La empresa cuenta con un sistema de refrigeración por compresión de amoniaco para la conservación y congelación de su producto, nos concentraremos en el subsistema dedicado a la congelación, pues es uno de los que mas consumen energía eléctrica para hallar debilidades y fortalezas en el manejo de la energía que nos ayuden a implementar medidas de ahorro energético.

BREVE DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Los productos que comercializa la empresa camaronera OCEANOS necesitan de una correcta congelación, ya que son productos tipo exportación, para ello cuenta con un sistema de refrigeración por compresión de vapor usando como líquido refrigerante el amoniaco. El problema esta en que la mayoría de las veces es necesario congelar por un tiempo de seis horas y el producto sale con una temperatura final a veces por encima de la recomendada por la norma. Este tiempo de congelación es elevado comparándolos con las capacidades instaladas en los diferentes equipos. Buscar la manera de reducir el tiempo de congelación y lograr en ese tiempo temperaturas que se hallen en el rango recomendado por la norma es la problemática a solucionar con el fin de disminuir los altos consumos de energía que actualmente existen y directamente los costos de producción.

OBJETIVO GENERAL

- Localizar y generar oportunidad de ahorro de energía eléctrica en los equipos que la requieran para su funcionamiento.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Localizar malas costumbres de operación que conlleven a un consumo innecesario de energía.
- Determinar la cantidad de calor a extraer del producto para compararlo con las capacidades ya instaladas.
- Evaluación del subsistema para la congelación del camarón.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES CI OCEANOS SA

C.I. OCEANOS S.A. es una empresa que surge del potencial innovador de fuertes grupos económicos, que preocupados por la inestabilidad y alto riesgo de los mercados y actividades económicas tradicionales, buscan explorar nuevas alternativas de inversión. Es así como bajo el manejo y supervisión de un grupo de inversionistas se efectúa la compra de 580 hectáreas de terreno con la intención de construir una finca de cultivos de camarón.

Debido a los altos costos de procesamiento del camarón observados en las diferentes compañías procesadoras, se visualizó la oportunidad de procesar el camarón, constituyéndose en Diciembre de 1982 una empresa para comercializar y procesar productos hidrobiológicos con el nombre de **OCEANOS LTDA.**

En 1984 recibe capital extranjero por parte de Universal Fisheries, una empresa japonesa subsidiaria de Mitsui. En ese año se constituye como sociedad anónima (**OCEANOS S.A.**) y entra a funcionar la planta de Cartagena. En 1987 se integran el grupo Mineros de Antioquia y el grupo Manuelita S.A y se compra la finca camaronera Colombiana de Acuacultura S.A. y su laboratorio de maduración y larvas De Mares S.A. En los dos años siguientes Manuelita S.A. adquiere la participación accionaria de Mitsui C.O. y Mineros de Antioquia S.A y logra tener el 100% de **C.I. OCEANOS S.A.** (Planta de proceso). En el año 1990 se integran administrativamente los tres negocios (planta, camaronera y laboratorios) en 1994 se fusiona legalmente como una empresa integrada verticalmente. En 1996 se adquiere el 51% de la Fábrica de Hielo y las granjas camaroneras de A.M.C. (Barú) y Camarones del Sinú (San Antero). En 1997 ganamos el premio a la labor exportadora de **ANALDEX-PROEXPORT**, máximo galardón que pueda ostentar una empresa Colombiana dedicada a las exportaciones.

En 1998 se compra Camarones del Caribe. En el año 2002 nos ganamos el premio **PORTAFOLIO EMPRESARIAL por el esfuerzo exportador**, en la labor desarrollada en los últimos 4 años en la conquista de nuevos mercados.

Grafica 1



Hoy **C.I. OCEANOS S.A** pertenece en un 100% al grupo Manuelita S.A. y gracias a su agresivo plan de expansión, cuenta hoy con más de 1000 hectáreas en operación con una producción que supera las 7500 toneladas al año y ventas superiores a los US\$35.000.000; todo el producto que se vende es procesado en nuestra planta, la cual tiene una capacidad diaria de 45 toneladas de camarón

1.1 DESCRIPCION GENERAL SISTEMA DE REFRIGERACION CI OCEANOS SA

- En Cartagena de Indias, en la zona industrial de Mamonal, tenemos nuestra planta de proceso, la cual opera con respaldo eléctrico autosuficiente (4 generadores Caterpillar, 3 de 250 KW y 1 de 550 KW) y cuatro compresores Mycom de fabricación japonesa como sigue:
- Compresor tipo Tornillo marca MYCOM N200SUD-H Cap. 50 TR, 157,4 BHP con Motor de 200 HP.

- Compresor tipo Tornillo marca MYCOM N200SUD-H Cap. 50 TR, 157,4 BHP con Motor de 200 HP.
- Compresor tipo Tornillo marca MYCOM N200VSD-HE Cap. 50 TR, 165,7 BHP con Motor de 250 HP.
- Compresor tipo Tornillo marca MYCOM N200VLD-HE Cap. 75 TR, 243,2 BHP con Motor de 300 HP

Con lo anterior, generamos el frío suficiente para:

- Cinco congeladores de placa marca DOLE con capacidad de 1620 kilos por bache de 6 horas cada uno.
- Tres túneles de congelación de aire forzado con capacidad de 7200 kilos cada uno.
- Cuatro cuartos de conservación con capacidad de 800000 kilos y 18 tomas de contenedores refrigerados, como apoyo.
- Un túnel de congelación IQF (Amoniaco) marca CR REFRIGERATION con capacidad de 600 K/H y una estación de Glaseo, para colas shell on, pelado P.P.V., tail on y entero.
- Dos máquinas de hielo (solo para el producto de la planta) de 25 toneladas/día.
- Un cuarto de Materias primas
- Un cuarto de Cuarentena
- Una cava de hielo

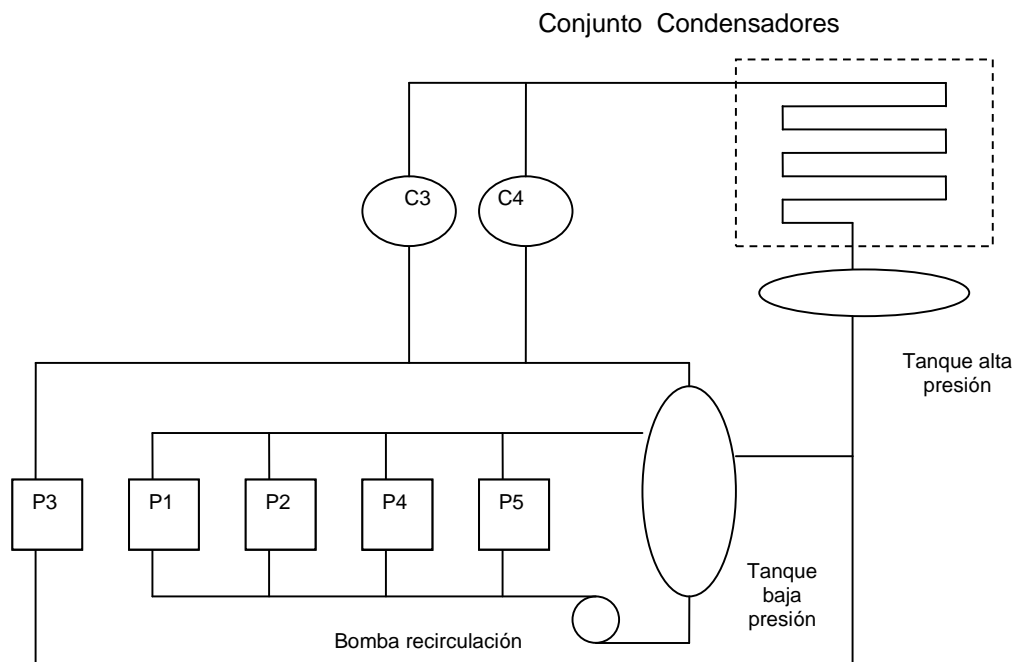
Todo lo anterior nos permite procesar, en términos 100% confiables, 51.000 kilos de **camarón** o langostino, diarios y almacenar la producción de 26 días o 1160 toneladas, entre cuartos fríos y contenedores.

1.2 DESCRIPCION CIRCUITO CONGELADORES DE PLACA

Este subsistema comprende los siguientes elementos:

- Cuatro congeladores de placa marca DOLE sistema recirculado con capacidad 15 TR (P1, P2, P4, P5)
- Un congelador de placa marca DOLE sistema inundado con capacidad 15 TR (P3)
- Una estación de bombeo con capacidad 100 TR
- Dos compresores Tipo Tornillo marca MYCOM de 50 y 75 TR, respectivamente (C3 y C4 respectivamente).

Grafica 2



Este subsistema se utiliza para congelar 16200 kilos de producto diariamente. Alrededor de las 7:00 AM de la mañana se carga el primer congelador y sucesivamente con intervalos de 30 minutos se van cargando uno a uno los

siguientes para ser consistentes con el flujo del proceso, por lo tanto a las 9:00 AM se carga el ultimo congelador y se dedican los compresores 3 y 4 para atender la demanda de frío. El tiempo de permanencia del producto para obtener una temperatura que oscila entre los -20 C y -30 C es de 6 horas por cada congelador.

En la medida que se va sacando el producto de cada uno de estos congeladores, se procede a cargar nuevamente para un segundo ciclo en el día. Los congeladores de placa rotan dos ciclos al día, en condiciones anormales de operación rotan 3 veces con varios turnos de la planta.

CAPITULO II

2. METODOLOGIA DE EVALUACION DE LA PRODUCCION DE FRIO EN LA EMPRESA CAMARONERA OCÉANOS S.A.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la empresa camaronera OCEANOS, para el almacenamiento y conservación de sus productos, utiliza el sistema de refrigeración por compresión de vapor, utilizando como fluido refrigerante el amoniaco.

Para analizar el sistema de refrigeración de la empresa recordaremos que el ciclo de producción de frío es inverso al ciclo de Carnot. Haremos entonces una breve descripción del proceso de producción de frío para conocer las diferentes ecuaciones que nos facilitaran el estudio del sistema actual de la empresa OCEANOS.

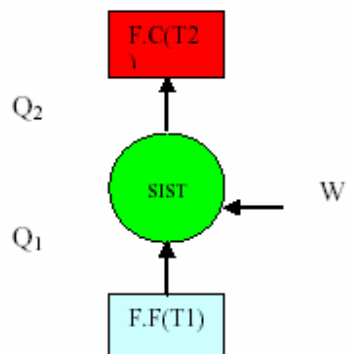
2.1 CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR

El objetivo de un ciclo frigorífico es extraer calor de un foco frío, que se quiere mantener a una temperatura baja.

La cantidad de calor extraída del foco frío en la unidad de tiempo, es decir el frío producido en la unidad de tiempo, se denomina como potencia frigorífica de la maquina.

1kcal extraída del foco frío = 1 frigoría.

Grafica 3



Donde:

T_1 , temperatura de foco frío, en temperatura absoluta.

T_2 , temperatura de foco caliente.

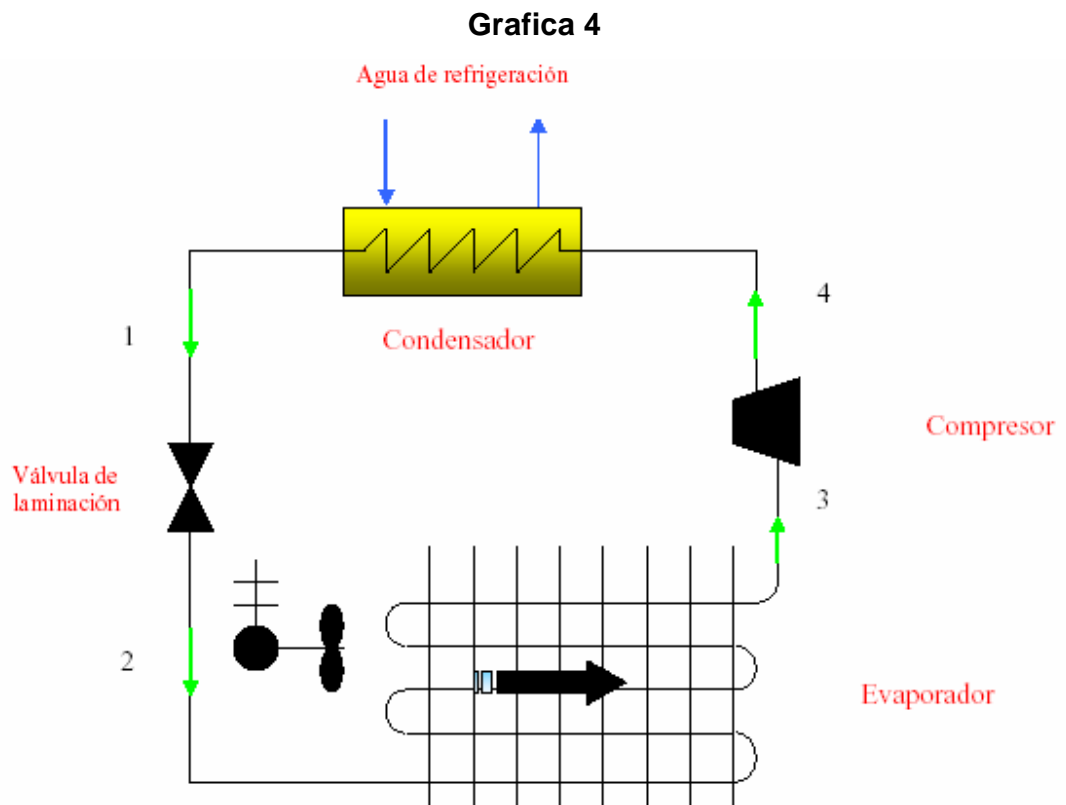
Q_1 , calor extraído del foco caliente.

Q_2 , calor cedido al foco frío.

W , trabajo neto.

En este ciclo la extracción de calor del foco frío, se efectúa mediante la vaporización de un líquido a baja presión y la cesión de calor al foco caliente, mediante la condensación, a una presión más elevada, del vapor formado. Esto se puede observar claramente en el diagrama $P - h$.

2.2 DESCRIPCION DEL CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR.



El ciclo de refrigeración por compresión está basado en los cambios de estado (líquido-vapor y vapor-líquido) de una sustancia (fluido refrigerante).

El ciclo simple de refrigeración por compresión del vapor tiene por tanto cuatro componentes:

- Un **evaporador** donde se absorbe el calor a una baja temperatura al evaporarse (Hervir) un líquido a baja presión.

- Un **compresor** que utiliza una energía mecánica para aumentar la presión del vapor.
- Un **condensador** donde se condensa el vapor de alta presión, desprendiendo calor a sus proximidades.
- Un dispositivo **reductor de presión** del líquido de retorno al evaporador, y que además controla el caudal.

La grafica anterior ilustra el ciclo, el cual se describe de la siguiente manera:

El líquido 1, saturado a la temperatura T_c que descarga el condensador, sufre un proceso de laminación, proceso 1-2, en el que se expansiona generando entropía y disminuyendo su temperatura hasta el valor T_e correspondiente al foco frío.

El vapor húmedo 2, hierve en el evaporador de manera que extrae una cantidad calor del foco frío Q_e .

El vapor húmedo, saturado o sobrecalentado producido es aspirado por el compresor, proceso 3-4, en donde sufre una compresión que se supone adiabática que eleva su temperatura desde el valor de T_e del foco frío, hasta la temperatura T_c del foco caliente.

Finalmente, en el punto 4, el vapor cede al foco caliente una cantidad de calor Q_c , con lo cual condensa y se cierra el ciclo.

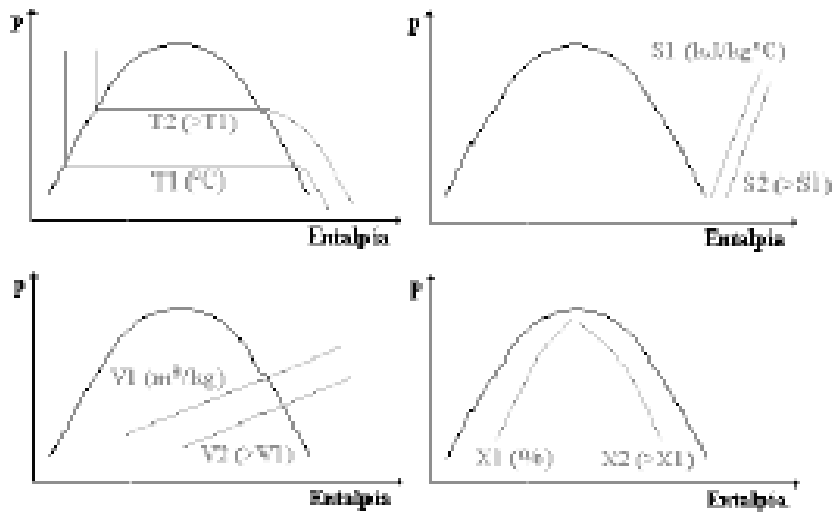
2.3 DIAGRAMA DE CICLOS

DIAGRAMA PRESION – ENTALPIA.

La condición del refrigerante en cualquier estado termodinámico puede quedar representado por un punto en el diagrama ph . El punto sobre el diagrama ph que represente a la condición del refrigerante para cualquier estado termodinámico en particular pueden ser trazados si se conocen dos propiedades del estado del refrigerante. Una vez localizado el punto sobre el diagrama, podrán obtenerse de la grafica todas las demás propiedades del refrigerante para dicho estado.

El diagrama $P-h$ es de mucha importancia, pues ponemos describir en el los diferentes cambios del fluido refrigerante durante el ciclo, encontrando en el, la diferentes propiedades del fluido refrigerante.

Grafica 5



2.4 INDICADORES ENERGETICOS FUNDAMENTALES DE UN CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE VAPOR.

Para la caracterización de las condiciones de funcionamiento, en particular de las energéticas, se hace uso de los llamados indicadores Energéticos. Algunos de ellos, brindan esta información de manera directa, otros reflejan su repercusión en la eficiencia del ciclo o en las condiciones de explotación general.

2.4.1 Efecto Refrigerante

A mediada que el refrigerante fluye a través del evaporador y absorbe calor del espacio refrigerado, se incrementara la entalpía del refrigerante, la cantidad de calor absorbida por refrigerante en el evaporador es lo que conocemos como **efecto refrigerante** y matemáticamente es igual a la entalpía de salida del evaporador menos la entalpía de entrada al mismo.

$$q_e = (i_{sal} - i_{ent})_{evap}, \text{KJ/Kg}, \text{BTU/Lb}$$

2.4.2 Capacidad de Refrigeración

El calor removido constituye la Capacidad Frigorífica del sistema, la cual se expresa con mucha frecuencia en Toneladas de Refrigeración.

$$Q = q_e * G_r, \text{Kw}, \text{BTU/h}$$

$$G_r: \text{Flujo re refrigerante } \text{Kg/s}, \text{Lb/h}.$$

Una tonelada de refrigeración es la cantidad de calor que debe extraerse para congelar una tonelada (inglesa) de agua a $32^{\circ} F$ y convertirla en hielo a $32^{\circ} F$ a presión atmosférica de un día.

Tabla 1

1 Tonelada de Refrigeración	Sistema Ingles	Sistema Métrico	Sistema Internacional
Es igual a	2.888.000 BTU/día	72.000 kcal/día	300,84 MJ/día
	12.000 BTU/h	3.000 kcal/h	12.660 kJ/h
	200 BTU/min	50 Kcal/min	211 kJ/min

2.4.3 Trabajo en el Compresor

$$w = (i_2 - i_1) \text{ kJ/kg}$$

Potencia teórica demandada por el compresor;

$$P = w * G_r, Kw$$

2.4.4 Calor Rechazado en el Condensador

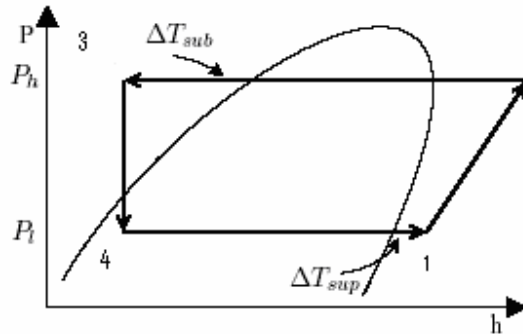
$$Q_c = (i_2 - i_3) * G_r, Kw$$

Debe notarse que el calor rechazado en el condensador es resultado de los siguientes procesos.

1. proceso de sobrecalentamiento del gas que incluye la región de vapor sobrecalentado (calor sensible).
2. proceso de cambio de fase (calor latente).
3. proceso de subenfriamiento en la región de líquido subenfriado (calor sensible).

2.4.5 Coeficiente de Funcionamiento del Ciclo (COP)

Grafica 6



El coeficiente de rendimiento de un ciclo de refrigeración, es una expresión de la eficiencia del ciclo y queda definido como la relación de calor absorbido en el espacio refrigerado a la energía térmica equivalente de la energía suministrada al compresor, esto es:

$$COP = \frac{\text{Calor_absorbido_en_el_espacio_refrigerado}}{\text{Energía_térmica_equivalente_a_la_energía_suministrada_al_compresor}}$$

$$COP = \frac{q_e}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}; \text{ Donde } q_e \text{ es la cantidad de energía extraída o efecto}$$

refrigerante, necesaria para llegar a las condiciones de temperatura deseada de refrigeración, y w es el trabajo suministrado al compresor.

Una buena máquina frigorífica será aquella capaz de extraer una gran cantidad de calor de un foco frío Q_1 a expensas de una pequeña cantidad de energía W aplicada a la misma mediante el compresor.

Estos indicadores energéticos serán vitales para la evaluación energética del sistema de frío de la empresa OCÉANOS S.A., formaran parte de la metodología de evaluación del proceso de producción de frío.

2.5 CALCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO

La carga de enfriamiento d un equipo de refrigeración raras veces es el resultado de una sola fuente de calor. Más bien, es la suma de las cargas térmica en la que están involucradas diferentes fuentes.

Dentro de estas fuentes de calor nos centraremos en la más importante para efecto de cálculos en la empresa OCÉANOS S.A., el calor cedido por el producto (camarón), a medida que su temperatura es bajada hasta el nivel deseado.

2.5.1 La Carga Del Producto

La carga del producto la constituye el calor que debe ser eliminado del producto refrigerado a fin de que la temperatura del mismo baje hasta el nivel deseado. En algunos casos el producto se congela, en cuyo caso el calor latente eliminado forma parte de la carga del producto.

Para calcular la carga de refrigeración de producto, para productos alimenticios, sólidos y líquidos, es esencial saber sus puntos de congelación, calores específicos, porcentaje de agua, etc.

El camarón, producto que se lleva a la congelación en la empresa OCÉANOS S.A., para efectos de exportación, esta sometido a una reglamentación que normaliza la temperatura de congelación de los camarones, la cual debe estar entre de -18°C (0.4°F) y -23°C (9.4°F).

Recordemos que la carga total del producto es igual a:

$$Q_{total_Producto} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Donde;

Q_1 , es el calor sensible encima de la congelación.

Q_2 , es el calor latente de congelación.

Q_3 , es el calor sensible debajo de la congelación.

A continuación un breve repaso de que son estos calores y como calcularlos.

2.5.2 Calor Sensible Sobre El Congelamiento

La mayoría de los productos están a mayor temperatura que la del espacio refrigerado. Ya que muchos alimentos tienen un alto contenido de agua, su reacción a la pérdida de calor es bastante diferente sobre y bajo el punto de congelamiento. Sobre el punto de congelamiento el agua existe en forma líquida, mientras que por debajo, ha cambiado a hielo, entonces el calor específico es diferente por encima y por debajo de la congelación.

El calor que debe retirarse del producto para reducir su temperatura sobre el congelamiento, puede calcularse como sigue:

$$Q_1 = W * C_{P_{sc}} * (T_1 - T_2)$$

Q_1 = BTU que debe removerse

W = Peso del producto en libras

$C_{P_{sc}}$ = Calor específico sobre el congelamiento

T_1 = Temperatura inicial, °F

T_2 = Temperatura final, °F (de congelamiento)

2.5.3 Calor Latente De Congelamiento

El calor latente de congelamiento para el agua es 144BTU/lb, dado que la mayoría de los productos tienen un alto porcentaje de contenido de agua, es posible calcular la cantidad de calor latente de congelamiento multiplicando el calor latente del agua por el porcentaje de contenido de agua del producto.

$$Q_2 = W * h_{of}$$

Q_2 = BTU que va a ser removido

W = Peso de producto en Lb

h_{of} = Calor latente de fusión, BTU/Lb

2.5.4 Calor Sensible Por Debajo Del Congelamiento

Una vez que el contenido de agua de un producto se ha congelado, puede ocurrir de nuevo un enfriamiento sensible en la misma forma que sobre el congelamiento, con la excepción de que el hielo en el producto hace que el calor específico cambie.

El calor que debe retirarse de un producto para reducir su temperatura bajo el congelamiento puede calcularse como sigue:

$$Q_3 = W * C_{pdc} * (T_f - T_3)$$

Q_3 = BTU que debe removerse.

W = Peso del producto.

C_{pdc} = Calor específico bajo congelamiento.

T_f = Temperatura de congelamiento

T_3 = Temperatura final.

La carga total de producto es la suma de los cálculos individuales para el calor sensible sobre el congelamiento, el calor latente de congelamiento y el calor sensible bajo congelamiento.

CAPITULO III

3. ANALISIS ENERGETICOS EN LA EMPRESA OCÉANOS S.A.

Para la congelación del camarón, la empresa cuenta con 5 congeladores de placa, abastecidos con dos compresores de tornillo de diferentes capacidades, los congeladores se cargan cada uno con 1620 kg de de producto para efectos de congelación.

Los congeladores de placa son cargados cada 30 minutos, de manera tal que en un tiempo de dos horas y media están los 5 congeladores total mente llenos y evacuando calor del producto durante el tiempo de estancia dentro del mismo.

3.1 RECOPIACION DE DATOS.

Tabla 2. LEVANTAMIENTO DE OPERACIÓN COMPRESORES

Uni No.	COMPRESOR							
	Refrigerante: AMONIACO							
	Capacidad		P.succ (Kg/cm ²)	T.succ (°C)	hsucc (kJ/kg)	P.desc (Kg/cm ²)	T.desc (°C)	hdesc (kJ/kg)
	TR	BTU/h	Medición	Medició n	Tablas	Medició n	Medició n	Tablas
3	50	600*10 ³	0.44	-36.3		12.27	86.3	
4	75	900*10 ³	0.40	-40.4		12.52	93.1	

Tabla 3. DATOS DEL PRODUCTO

CAMARON								
T _{congelación}		T _{inicial}		C _{Psc} BTU/Lb.°F	h _{of} BTU/Lb	C _{Pbc} BTU/Lb.°F	m(por congelador)	
Tablas				Tablas	Tablas	Tablas	Kg.	lb.
°C	°F	°C	°F	0.87	119	0.43	1620	3572
-2.22	28	10	50					

3.2 ANALISIS DE TEMPERATURA FINAL DEL PRODUCTO vs. DEMANDA DE FRIO

En este primer análisis se comparara la carga del producto para un tiempo de estancia en los congeladores de placa igual a seis horas (t = 6h), pero variaremos la temperatura final del producto, así sabremos como varia la carga del producto con la temperatura final de este.

Para observar los datos del producto ver en los anexos la tabla FOOD PRODUCTS DATA del manual de la Copeland

Recordemos que la carga total del producto es igual a:

$$Q_{total_Producto} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Donde;

Q₁, es el calor sensible encima de la congelación.

$$Q_1 = W * C_{Psc} * (T_1 - T_2)$$

Q₂, es el calor latente de congelación.

$$Q_2 = W * h_{of}$$

Q₃, es el calor sensible debajo de la congelación.

$$Q_3 = W * C_{Pbc} * (T_f - T_3)$$

CASO A

Si $t = 6h$ y $T_{\text{final}} = -18^{\circ}\text{C} = 1.8*(-18) + 32$, $T_{\text{final}} = -0.4^{\circ}\text{F}$.

$$Q_{\text{total_Pr oducto}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = W * C_{P_{sc}} * (T_1 - T_2)$$

$$Q_1 = \frac{3572\text{Lb}}{6h} * 0.87 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}} * (50 - 28)^{\circ}\text{F}$$

$$Q_1 = 11395 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_2 = W * h_{of}$$

$$Q_2 = \frac{3572\text{lb}}{6h} * 119 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$$

$$Q_2 = 70845 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_3 = W * C_{P_{dc}} * (T_f - T_3)$$

$$Q_3 = \frac{3572\text{BTU}}{6h} * 0.43 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^{\circ}\text{F}} * (28 - (-0.4))^{\circ}\text{F}$$

$$Q_3 = 7270 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_{\text{total}} = 89510 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_{\text{total}} = 89510 \frac{\text{BTU}}{h} * \frac{1\text{TR} * h}{12000\text{BTU}}$$

$$Q_{\text{total}} = 7.46\text{TR}$$

Nótese que esta carga es solo para un congelador, para conocer la carga total multiplicamos por el número de congeladores, es decir por 5.

$$Q_{total} = 37.3TR$$

CASO B

Si $t = 6h$ y $T_{final} = -20^{\circ}C = 1.8*(-20) + 32$, $T_{final} = -4^{\circ}F$.

$$Q_1 = \frac{3572Lb}{6h} * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * (50 - 28)^{\circ}F$$

$$Q_1 = 11395 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_2 = \frac{3572lb}{6h} * 119 \frac{BTU}{Lb}$$

$$Q_2 = 70845 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_3 = \frac{3572BTU}{6h} * 0.43 \frac{BTU}{Lb^{\circ}F} * (28 - (-4))^{\circ}F$$

$$Q_3 = 8192 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{total} = 90432 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{total} = 90432 \frac{BTU}{h} * \frac{1TR * h}{12000BTU} * 5$$

$$Q_{total} = 37.68TR$$

CASO C

Si $t = 6h$ y $T_{final} = -25^{\circ}C = 1.8*(-25) + 32$, $T_{final} = -13^{\circ}F$.

$$Q_1 = \frac{3572Lb}{6h} * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * (50 - 28)^{\circ}F$$

$$Q_1 = 11395 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_2 = \frac{3572lb}{6h} * 119 \frac{BTU}{lb}$$

$$Q_2 = 70845 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_3 = \frac{3572BTU}{6h} * 0.43 \frac{BTU}{Lb^0 F} * (28 - (-13))^0 F$$

$$Q_3 = 10496 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{total} = 92736 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{total} = 92736 \frac{BTU}{h} * \frac{1TR * h}{12000BTU} * 5$$

$$Q_{total} = 38.64TR$$

CASO D

Si $t = 6h$ y $T_{final} = -30^{\circ}C = 1.8 * (-30) + 32$, $T_{final} = -22^{\circ}F$.

$$Q_1 = \frac{3572Lb}{6h} * 0.87 \frac{BTU}{lb * ^0 F} * (50 - 28)^0 F$$

$$Q_1 = 11395 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_2 = \frac{3572lb}{6h} * 119 \frac{BTU}{Lb}$$

$$Q_2 = 70845 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_3 = \frac{3572BTU}{6h} * 0.43 \frac{BTU}{Lb^0 F} * (28 - (-22))^0 F$$

$$Q_3 = 12800 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{total} = 95040 \frac{BTU}{h}$$

$$Q_{total} = 95040 \frac{BTU}{h} * \frac{1TR * h}{12000BTU} * 5$$

$$Q_{total} = 39.6TR$$

CASO E

Si $t = 6h$ y $T_{\text{final}} = -35^{\circ}\text{C} = 1.8*(-35) + 32$, $T_{\text{final}} = -31^{\circ}\text{F}$.

$$Q_1 = \frac{3572\text{Lb}}{6h} * 0.87 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}} * (50 - 28)^{\circ}\text{F}$$

$$Q_1 = 11395 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_2 = \frac{3572\text{lb}}{6h} * 119 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$$

$$Q_2 = 70845 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_3 = \frac{3572\text{BTU}}{6h} * 0.43 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^{\circ}\text{F}} * (28 - (-31))^{\circ}\text{F}$$

$$Q_3 = 15104 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_{\text{total}} = 97344 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$Q_{\text{total}} = 97344 \frac{\text{BTU}}{h} * \frac{1\text{TR} * h}{12000\text{BTU}} * 5$$

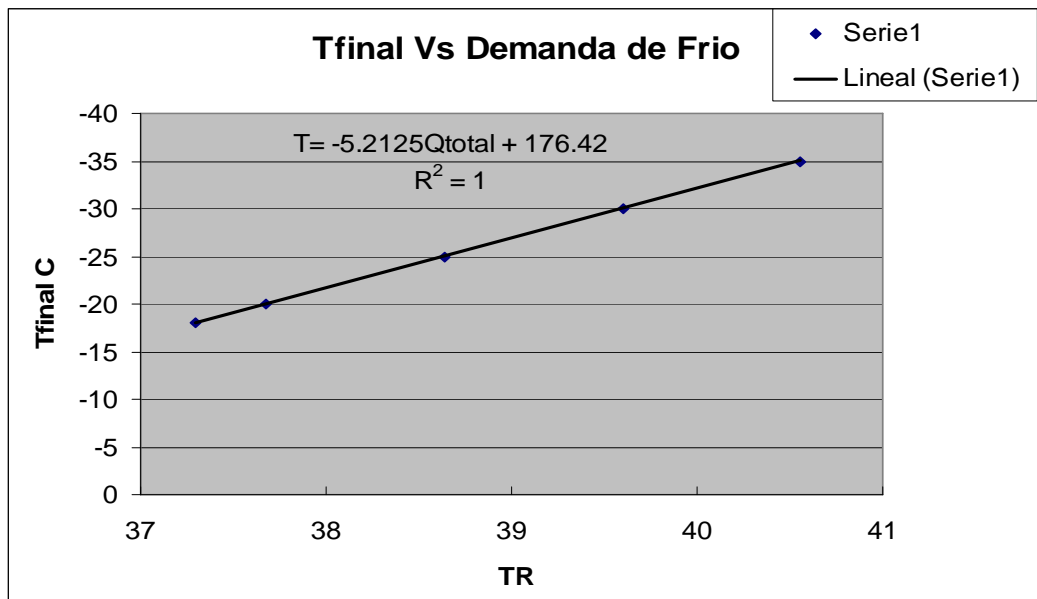
$$Q_{\text{total}} = 40.56\text{TR}$$

3.2.1 Variación de la carga del producto con la temperatura final del producto.

Tabla 4

VARIACION DE LA CARGA CON LA TEMPERATURA PARA UN TIEMPO t = 6H			
TEMPERATURA FINAL DEL CAMARON		CARGA TOTAL DE PRODUCTO Q_{total}	
C	F	TR	BTU/h
-18	-0.4	37.3	447600
-20	-4	37.68	452160
-25	-13	38.64	463680
-30	-22	39.6	475200
-35	-31	40.56	486720

Grafica 7



3.2.2 Porcentaje De Uso De La Capacidad De Refrigeración.

Tabla 5

% DE USO DE LA CAPACIDAD DE REFRIGERACION					
T _{final} del Camarón		Q _{total} de Producto	Compresor 3	Compresor 4	C3 + C4 Qrefri = 125 TR
C	F		Qrefri = 50 TR	Qrefri = 75 TR	
		TR	% uso CapRef		
-18	-0.4	37.3	74.6	49.73333333	29.84
-20	-4	37.68	75.36	50.24	30.144
-25	-13	38.64	77.28	51.52	30.912
-30	-22	39.6	79.2	52.8	31.68
-35	-31	40.56	81.12	54.08	32.448

3.3 ANALISIS DE LA CAPIDAD vs. TIEMPO DE ESTANCIA EN LOS CONGELADORES DE PLACA.

CASO A.1

Si Capacidad = 50TR (600000BTU/h) y T_f = -18 °C, t = ?

$$t = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{600.000} * 5$$

$$t = \frac{\left[3572lb * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (50 - 28)^{\circ} F + 3572lb * 119 \frac{BTU}{lb} + 3572lb * 0.43 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (28 - (-0.4)^{\circ} F) \right]}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = \frac{2685286.72 BTU}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 4.47h$$

CASO A.2 C4 = 75TR(900.000BTU/h) y T_f = -18 °C, t = ?

$$t = \frac{2685286.72 BTU}{900.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 3h$$

CASO A.3 Capacidad = C3 + C4 = 125TR(1500.000BTU/h) T_f = -18 °C

$$t = \frac{2685286.72BTU}{1.500.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 1.8h$$

CASO B.1 Capacidad = C3 = 50TR(600.000BTU/h) y T_f = -20 °C, t = ?

$$t = \frac{\left[3572lb * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (50 - 28)^{\circ}F + 3572lb * 119 \frac{BTU}{lb} + 3572lb * 0.43 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (28 - (-4)^{\circ}F) \right]}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = \frac{2712934BTU}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 4.52h$$

CASO B.2 Capacidad = C4 = 75TR(900.000BTU/h) y T_f = -20 °C, t = ?

$$t = \frac{2712934BTU}{900.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 3h$$

CASO B.3 Capacidad = C3 + C4 = 125TR(1.500.000BTU/h) y T_f = -20 °C, t = ?

$$t = \frac{2712934BTU}{1.500.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 1.81h$$

CASO C.1 Capacidad = C3 = 50TR(600.000BTU/h) y T_f = -25 °C, t = ?

$$t = \frac{\left[3572lb * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (50 - 28)^{\circ}F + 3572lb * 119 \frac{BTU}{lb} + 3572lb * 0.43 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (28 - (-13)^{\circ}F) \right]}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = \frac{2782052.2BTU}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 4.64h$$

CASO C.2 Capacidad = C4 = 75TR(900.000BTU/h) y T_f = -25 °C, t =?

$$t = \frac{2782052.2BTU}{900.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 3.1h$$

CASO C.3 Capacidad = C3+C4 = 125TR(1.500.000BTU/h) y T_f = -25 °C, t =?

$$t = \frac{2782052.2BTU}{1.500.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 1.85h$$

CASO D.1 Capacidad = C3= 50TR(600.000BTU/h) y T_f = -30 °C, t =?

$$t = \frac{\left[3572lb * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (50 - 28)^{\circ}F + 3572lb * 119 \frac{BTU}{lb} + 3572lb * 0.43 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (28 - (-22)^{\circ}F) \right]}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = \frac{2851170.4BTU}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 4.75h$$

CASO D.2 Capacidad = C4= 75TR(900.000BTU/h) y T_f = -30 °C, t =?

$$t = \frac{2851170.4 BTU}{900.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 3.17h$$

CASO D.3 Capacidad = C3+C4= 125TR(1.500.000BTU/h) y T_f = -30 °C, t =?

$$t = \frac{2851170.4 BTU}{1.500.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 1.9h$$

CASO E.1 Capacidad = C3 = 50TR(600.000BTU/h) y T_f = -35 °C, t =?

$$t = \frac{\left[3572lb * 0.87 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (50 - 28)^{\circ}F + 3572lb * 119 \frac{BTU}{lb} + 3572lb * 0.43 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} (28 - (-31)^{\circ}F) \right]}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = \frac{2920288.6 BTU}{600.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 4.9h$$

CASO E.2 Capacidad = C4 = 75TR(900.000BTU/h) y T_f = -35 °C, t =?

$$t = \frac{2920288.6 BTU}{900.000 \frac{BTU}{h}}$$

$$t = 3.24h$$

CASO E.3 Capacidad = C3+C4 = 125TR(1.500.000BTU/h) y T_f = -35 °C, t =?

$$t = \frac{2920288.6 \text{ BTU}}{1.500.000 \frac{\text{BTU}}{h}}$$

$$t = 1.95h$$

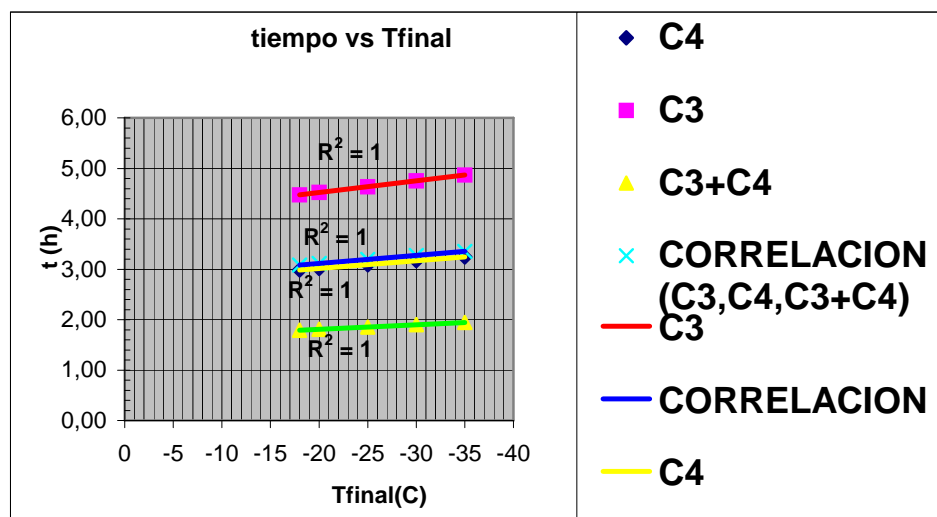
3.3.1 Variación del tiempo con la capacidad y con la temperatura final del producto.

Tabla 6

T _{final} del Camarón		Q1	Q2	Q3	C3 / t=?	C4 / t=?	C3 + C4 / t=?
C	F	BTU/h	BTU/h	BTU/h	TIEMPO EN HORAS (h)		
-18	-0.4	68368.1	425068	43621.3	4.48	2.98	1.79
-20	-4	68368.1	425068	49150.7	4.52	3.01	1.81
-25	-13	68368.1	425068	62974.4	4.64	3.09	1.85
-30	-22	68368.1	425068	76798.0	4.75	3.17	1.90
-35	-31	68368.1	425068	90621.6	4.87	3.24	1.95

3.3.2 Variación del tiempo con la temperatura final del producto y las capacidades de cada compresor.

Grafica 8



La ecuación $t = -0.023T + 4.0608$ relaciona el tiempo de estancia en los congeladores trabajando con el compresor número 3 (C3 = 50TR).

La ecuación $t = -0.0159T + 2.7974$ representa la ecuación de la correlación de las curvas para las capacidades **C3, C4, C3+C4**.

La ecuación $t = -0.0154T + 2.7072$ relaciona la estancia del producto en los congeladores trabajando con el compresor 4 (**C4 = 75TR**).

La ecuación $t = -0.0092T + 1.6243$ representa la ecuación para una capacidad de refrigeración de los compresores 3 y 4 (**C3 + C4 = 125TR**).

3.4 VARIACION DE LA CARGA DEL PRODUCTO CON EL TIEMPO.

A medida que los congeladores de placa se van cargando, la carga del producto dentro de los mismos varía con el tiempo de carga de estos.

La empresa para el congelamiento del camarón cuenta con 5 congeladores de placa, los cuales se inician a cargar desde las 7:00AM, lleva 30 minutos cargar un congelador de placa con 1620kg, los 5 congeladores se cargan en un tiempo de 150 minutos, es decir dos horas y treinta minutos es el tiempo para tener los congeladores con 8100 Kg de camarón, con la claridad de que esta carga también varía con la temperatura final deseada del producto.

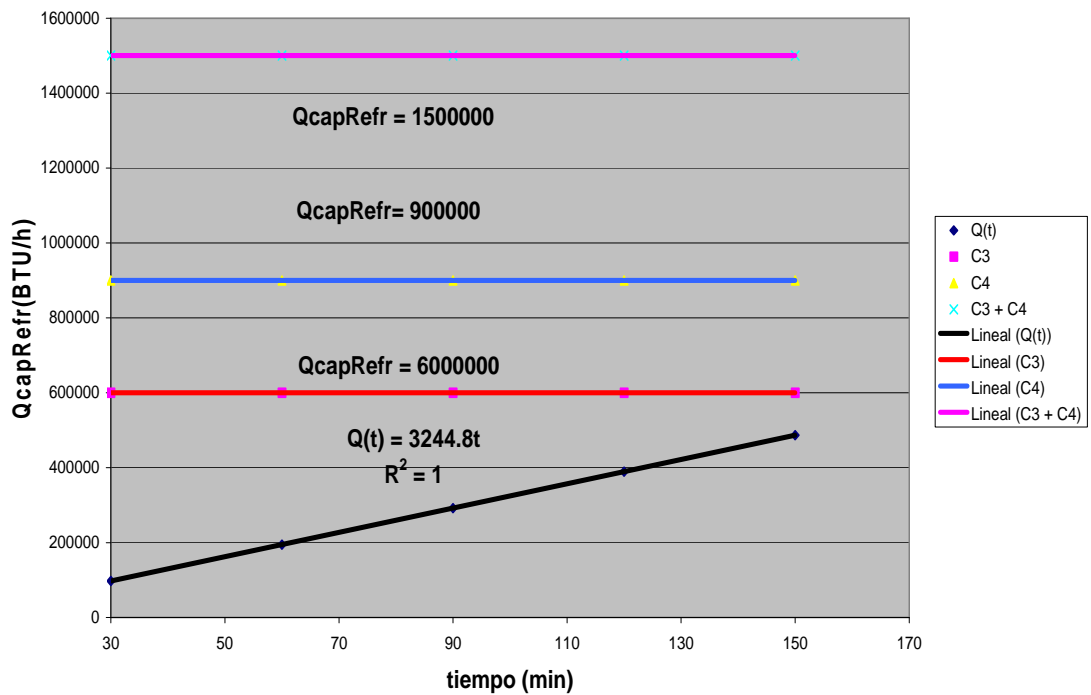
La siguiente tabla ilustra como varía la carga del producto en el tiempo.

Tabla 7

T _{final} del camarón		t = 30Min t = 60Min t = 90Min t = 120Min t = 150Min					
		Q _{total}	Qt1Cong	Qt 2Cong	Qt 3Cong	Qt 4Cong	Qt 5Cong
C	F	BTU/h	BTU/h	BTU/h	BTU/h	BTU/h	BTU/h
-18	-0.4	89510	89510	179019	268529	358038	447548
-20	-4	90431	90431	180862	271293	361725	452156
-25	-13	92735	92735	185470	278205	370940	463675
-30	-22	95039	95039	190078	285117	380156	475195
-35	-31	97343	97343	194686	292029	389372	486715

Grafica 9

Demanda De frio Vs Tiempo de Almacenamiento

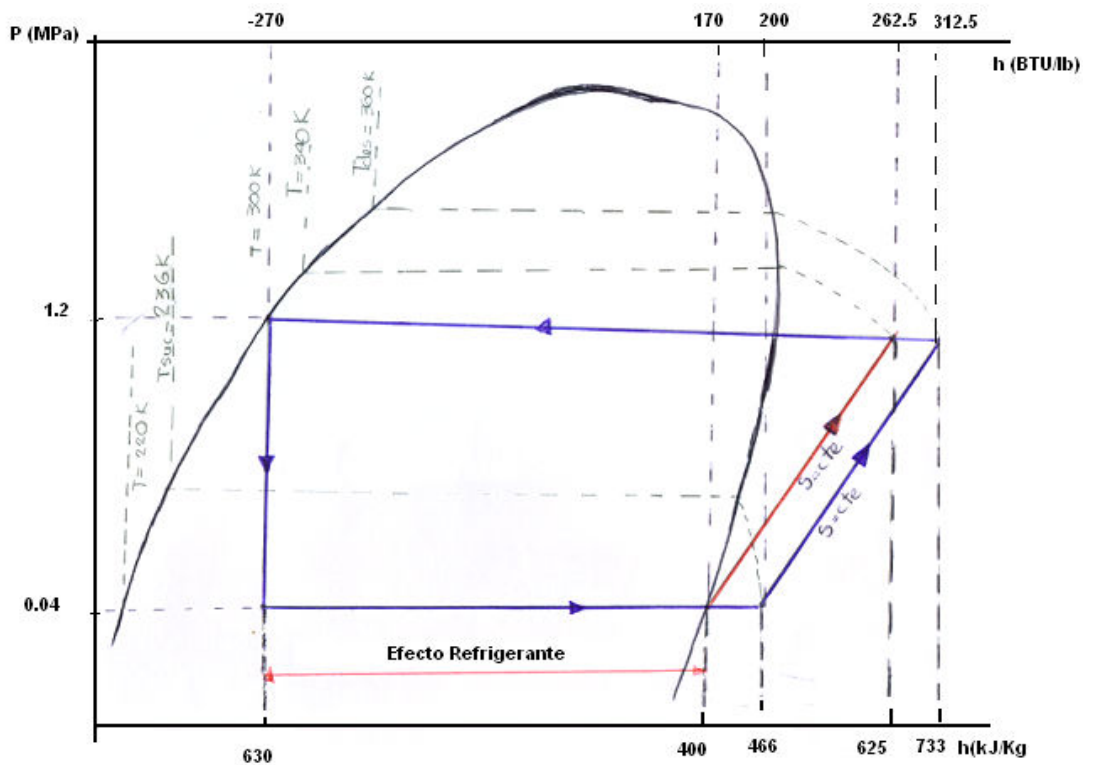


3.5 ANALISIS ENERGETICO DEL CICLO DE REFRIGERACION POR COMPRESION DE AMONIACO EN OCEANOS S.A.

Tabla 8 LEVANTAMIENTO DE OPERACIÓN DEL COMPRESOR 3
COMPRESOR 3

T _{succión}		P _{succión}		h _{succión}	T _{desc}		P _{desc}		h _{desc}
C	K	kg/cm ²	Mpa	BTU/lb	C	K	kg/cm ²	Mpa	BTU/lb
-	236.								
36.3	85	0.44	0.04	200	86.3	360	12.27	1.2	312.5

Grafica 10. Diagrama P- h Compresor 3



EFECTO REFRIGERANTE

$$q_e = (h_{sal} - h_{ent})_{evap}, \frac{KJ}{Kg}, \frac{BTU}{Lb}$$

$$q_e \text{ Teorico} = 270 - 170$$

$$q_e \text{ Teorico} = 100 \text{ BTU} / \text{lb}$$

$$q_e \text{ real} = 270 - 200$$

$$q_e \text{ real} = 70 \text{ BTU} / \text{lb}$$

TRABAJO EN EL COMPRESOR

$$W_{\text{teorico}} = 262.5 - 170$$

$$W_{\text{teorico}} = 92.5 \text{ BTU} / \text{lb}$$

$$W_{\text{real}} = 312.5 - 200$$

$$W_{\text{real}} = 112.5 \text{ BTU} / \text{lb}$$

COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO DEL CICLO (COP)

$$COP = \frac{\text{Calor}_{\text{absorbido en el espacio refrigerado}}}{\text{Energía}_{\text{termica equivalente a la energía suministrada al compresor}}}$$

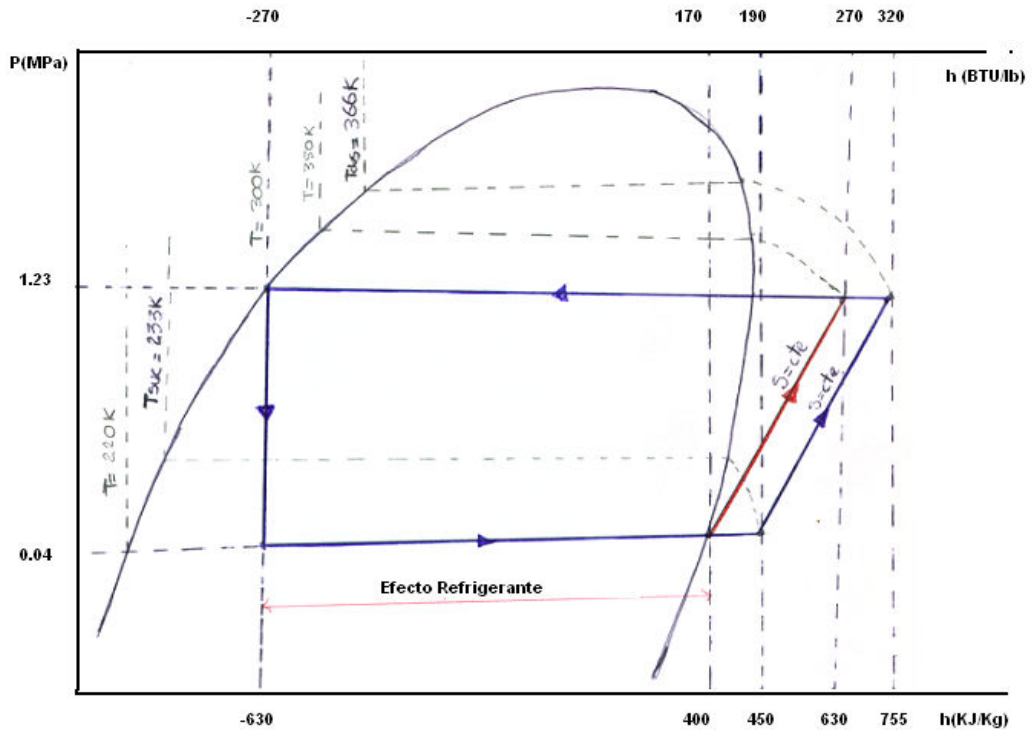
$$COP = \frac{q_e \text{ teorico}}{W_{\text{teorico}}} = \frac{100}{92.5} = 1.1 \text{ Para el ciclo teórico}$$

$$COP = \frac{q_e \text{ real}}{W_{\text{real}}} = \frac{70}{112.5} = 0.65 \text{ Para el ciclo real}$$

Tabla 9 LEVANTAMIENTO DE OPERACIÓN DEL COMPRESOR 4

COMPRESOR 4									
T _{succión}		P _{succión}		h _{succión}	T _{desc}		P _{desc}		h _{desc}
C	K	kg/cm ²	Mpa	BTU/lb	C	K	kg/cm ²	Mpa	BTU/lb
40.4	233	0.40	0.04	190	93.1	366	12.52	1.23	320

Grafica 11. Diagrama P-h Compresor 4



EFFECTO REFRIGERANTE

$$q_e = (h_{sal} - h_{ent})_{evap}, \text{ KJ/Kg, BTU/Lb}$$

$$q_e \text{ Teorico} = 270 - 170$$

$$q_e \text{ Teorico} = 100 \text{ BTU / lb}$$

$$q_e \text{ real} = 270 - 190$$

$$q_e \text{ real} = 80 \text{ BTU / lb}$$

TRABAJO EN EL COMPRESOR

$$W_{teorico} = 270 - 170$$

$$W_{teorico} = 100 \text{ BTU / lb}$$

$$W_{real} = 320 - 190$$

$$W_{real} = 130 \text{ BTU / lb}$$

COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO DEL CICLO (COP)

$$COP = \frac{\text{Calor}_{\text{absorbido en el espacio refrigerado}}}{\text{Energía}_{\text{termica equivalente a la energía suministrada al compresor}}}$$

$$COP_{\text{teorico}} = \frac{q_e \text{ teorico}}{W_{\text{teorico}}} = \frac{100}{100} = 1$$

$$COP_{\text{real}} = \frac{q_e \text{ real}}{W_{\text{real}}} = \frac{80}{130} = 0.61$$

Si comparamos los ciclos independientemente vemos que el efecto refrigerante para el compresor 4 es mucho mayor que el efecto refrigerante del compresor 3, lo que nos sirve de apoyo para garantizar que solo con el compresor 4 que es el que tiene 75 TR de capacidad, podemos satisfacer la demanda de frío.

El efecto refrigerante total sin importar que se hallan analizado independientes los ciclos para cada compresor es la suma de los dos efectos refrigerantes es decir que el efecto refrigerante del ciclo es de 150BTU/lb. Garantizar una cantidad de flujo masico del refrigerante en los evaporadores es esencial para que tal efecto refrigerante se de.

En cuanto a los coeficiente de rendimiento (COP) pueden ser bajos pues ya que no se considero que en algunas horas los compresores también satisfacen otras demandas de frío al tiempo que congelan los camarones en los congeladores de placa.

3.6 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

3.6.1 El primero de los análisis consistió en evaluar como varia la carga o calor a evacuar del producto a medida que se quiera disminuir más su temperatura de congelación. Tal variación de la carga a evacuar es directamente proporcional a la temperatura, ya que a medida en que disminuimos la temperatura de congelación

la carga se aumenta, pero a pesar de esta variación lineal, la carga nunca llega a ser igual o superior que las capacidades disponibles en los compresores tipo tornillo 3 y 4, con capacidades de 50TR y 75TR respectivamente, lo que de manera muy primicia nos dice que a lo mejor sea suficiente con solo un compresor, y este podría ser el compresor de menor capacidad en el cual el consumo de energía es menor que en el compresor número 4 el cual tiene mayor capacidad.

Se realizó un análisis del porcentaje de uso de la capacidad de cada uno de los compresores, y los resultados obtenidos indican que solo con el compresor 3, si deseáramos llevar el camarón a -35°C tendríamos que satisfacer una demanda de frío de 40.56 TR y el compresor 3 cuenta con una capacidad de 50 TR lo que nos indica que el 81.12% de la capacidad del mismo estaría siendo utilizada para satisfacer esta demanda, aun así estaríamos subcongelando en -12 grados mas el producto ya que el límite que recomienda la norma es de -23°C , ya que para que retirar una carga de 40.56 TR la temperatura de congelación a alcanzar sería de -35°C . lo que nos sugiere que podríamos usar sin ningún inconveniente el compresor 3 para el congelamiento del camarón y no tener variaciones muy brusca de la temperatura final de este.

3.6.2 El segundo análisis consistió en evaluar el tiempo de estancia de los camarones de los congeladores de placa, variando su temperatura final desde -18°C hasta los -35°C , y trabajando solo con el compresor 3 o con el cuatro y finalmente con los dos trabajando simultáneamente.

Los resultados demostraron que el tiempo de estancia en los amerios trabajando solo con el compresor 3 no supera las 5 horas aun llevando el producto a un punto de subcongelación elevado (-35°C). A medida que “jugábamos” con las capacidades de los compresores el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de congelación se reducía hasta el punto en que con los dos compresores trabajando simultáneamente es posible congelar hasta una temperatura de -25°C en aproximadamente dos horas. Es lógico que el tiempo se vea reducido cada vez que aumentemos la capacidad de refrigeración con respecto a los compresores.

En la grafica 8 podemos observar 4 líneas, de de ellas reflejan como aumenta el tiempo de estancia a medida que reducimos la temperatura de congelación del producto y están funcionando compresor3, luego el compresor 4 y finalmente el compresor 3 y 4 juntos. Se hallo una correlación, una curva que relacionara las 3 líneas, la cual indica un tiempo promedio resultante de los tiempos correspondientes para cada uno de los casos, esta línea nos indica los tiempos óptimos de estancia en los amerios que garantizan una temperatura adecuada. Cada una de estas cuatro líneas tiene definida su ecuación, la cual en algún momento puede ser útil para las personas encargadas del cuarto de maquinas, desde donde se encienden y apagan los compresores.

Por ejemplo la ecuación $t = -0.023T + 4.0608$ es validad para cuando se esta trabajando solo con el compresor 3 (50 TR). Si deseáramos saber el tiempo que deben permanecer 8100Kg de camarón para que obtengan una temperatura final de -35°C con el compresor 3 trabajando solo remplazamos en la ecuación y obtenemos:

Para $T_{\text{final}} = -35^{\circ}\text{C}$

$$t = -0.023T + 4.0608$$

$$t = -0.023(-35) + 4.0608$$

$$t = 0.805 + 4.0608$$

$$t = 4.9h$$

Esta es una herramienta muy importante con la que el operario con ayuda del encargado del cargue de los congeladores podrían conducirlos a generar un ahorro significativo de energía, pues podrían decidir que temperatura final desean del producto y concluir de una manera casi exacta el tiempo que tendría que estar el camarón en el congelador si este es atendido por los compresores 3,4 o 3 y 4 simultáneamente.

3.6.3 El tercer y ultimo de los análisis se trataba de analizar como variaba la carga a evacua de los congeladores de placa a medida que estos eran cargados con producto, como se había mencionado anteriormente lleva 30 minutos

aproximadamente cargar un congelador con 1620 Kg de producto, así que una de las oportunidades de ahorro la podemos hallar en este punto, pues no se hace necesario arrancar con los dos compresores en el instante que el primer amerio este completamente cargado, ya que la demanda de frío es muy pequeña, es aconsejable iniciar solo con un compresor, y en la medida que se vayan cargando los congeladores si se hace necesario encender el otro.

Pero los resultados de este estudio reflejaron algo muy diferente a este consejo, pues si analizamos la grafica 9, en donde están graficadas por una línea recta de pendiente igual a cero que indica las capacidades de cada uno de los compresores independientes y trabajando simultáneamente, y por otro lado tenemos la variación de la carga a medida que se va concentrando el producto en los amerios, si en algún momento esta carga fuese mayor que las capacidades de refrigeración de cada uno de los compresores seria obvio que la línea de variación de la carga en el tiempo indicada por la ecuación

$Q(t) = 3244.8t$ cortaría una de las tres líneas constantes que representan las capacidades de los compresores.

La congelación del camarón podría hacerse posible entonces con uno de los compresores ya sea con el de 50 TR o con el de 75 TR. Hay que tener en cuenta que la congelación no es el único proceso que requiere frío dentro de la planta así que en algunas ocasiones será necesario que los compresores 3 y 4 no solo trabajen para el sistema en estudio sino también para las cámaras de conservación, esto aumenta pues el tiempo de estancia de uno de los cargues dependiendo de la hora.

3.7 MEDIDAS PARA EL AHORRO DE ENERGIA BASADAS EN OPERACIÓN DE LOS COMPRESORES 3 y 4.

Teniendo en cuenta que los compresores forman parte de los equipos que mas consumen energía en un sistema de refrigeración, es importante tener en cuenta sus capacidades con el fin de saber si satisfacen o perjudican la demanda de frío,

que en nuestro caso es la cantidad de calor a extraer del camarón en los congeladores de placa para llevar el camarón a una temperatura que oscila entre $-18^{\circ}C$ y $-28^{\circ}C$ según la norma que regula la comercialización de este producto. A pesar de lo que la norma establece, en la empresa OCEANOS el camarón sale de los congeladores de placa con una temperatura muy por debajo de la recomendada por la norma, en algunas ocasiones su temperatura al salir es de $-30^{\circ}C$, estos grados de más de subcongelación en muchos casos no es muy bueno, ya que estaríamos deshidratando el producto, detalle que no favorece su calidad, pues el contenido de humedad en algunos alimentos es esencial para evitar su descomposición.

Es claro que al subcongelar el producto estamos extrayendo más calor del necesario y por lo tanto estamos en un rango de tiempo para la congelación mayor que el requerido para llevarlo a la temperatura adecuada, y por consiguiente la energía consumida por los compresores es mucho mayor. Es aquí en donde se halla una oportunidad para el ahorro de energía, aprovechando las capacidades de los compresores 3 y 4 para la congelación.

Para el ahorro de energía se decidió apagar uno de los compresores por un tiempo de 3 a 4 horas durante la congelación, para tal prueba se registraron las temperaturas del producto a final de la congelación.

Los resultados de estas pruebas los podemos observar en los siguientes controles de las pruebas.

Tabla 10. Cuadro De Prueba De Compresores. Fecha: 26 de julio de 2006

Unidad	HORA													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
C 1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
C2	S	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	S		
C3	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S		
C4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
Válvula 8	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A		

Conversión:

S: COMPRESOR PRENDIDO

N: COMPRESOR APAGADO

A: VÁLVULA ABIERTA

B: VÁLVULA CERRADA

Tabla 11 Cuadro De Control De Temperaturas Del Camarón.

	UNIDAD	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	TEMPERATURA FINAL DEL CAMARON	
				^o C	^o F
1 V U E L T A	Amerio 1	7:00 AM	1:00 PM	-25	-13
	Amerio 2	7:25 AM	1:30 PM	-30	-22
	Amerio 3	7:55 AM	1:45 PM	-30	-22
	Amerio 4	8:30 AM	2:05 PM	-30	-22
	Amerio 5	8:50 AM	2:25 PM	-20	-4
2 V U E L T A	Amerio 1	1:40 PM	8:30 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 2	2:00 PM	9:30 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 3	2:30 PM	10:38 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 4	2:55 PM	10:40 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 5	4:00 PM	11:00 PM	-25,-30	-13,-22

Tabla 12 Cuadro De Prueba De Compresores. Fecha: 27 de Julio de 2006

Unidad	HORA													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
C 1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
C2	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S
C3	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S
C4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Válvula 8	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A

Tabla 13 Cuadro De Control De Temperaturas Del Camarón

	UNIDAD	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	TEMPERATURA FINAL DEL CAMARON	
				^o C	^o F
1 V U E L T A	Amerio 1	7:15 AM	1:15 PM	-25	-13
	Amerio 2	7:40 AM	1:45 PM	-24,-26	-11,-15
	Amerio 3	8:00 AM	2:00 PM	-22,-26	-8,-15
	Amerio 4	8:15 AM	2:20 PM	-27,-30	-17,-22
	Amerio 5	8:40 AM	2:45 PM	-30,-28	-22,-18
2 V U E L T A	Amerio 1	1:30 PM	7:30 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 2	2:00 PM	8:05 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 3	2:40 PM	8:55 PM	-20	-4
	Amerio 4	3:00 PM	10:00 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 5	3:30 PM	11:00 PM	-25,-30	-13,-22

Tabla 14 Cuadro De Prueba De Compresores. Fecha: 9 de Agosto de 2006

	HORA													
Unidad	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
C 1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
C2	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N
C3	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S
C4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Válvula 8	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A

Tabla 15 Cuadro

De Control De Temperaturas Del Camarón

	UNIDAD	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	TEMPERATURA FINAL DEL CAMARON	
				^o C	^o F
1 V U E L T A	Amerio 1	7:30 AM	1:30 PM	-24,-26	-11,-15
	Amerio 2	8:00 AM	1:50 PM	-25	-13
	Amerio 3	8:35 AM	2:10 PM	-20,-25	-4,-13
	Amerio 4	9:10 AM	2:25 PM	-25	-13
	Amerio 5	10:35 AM	4:05 PM	-25,-32	-4,-26
2 V U E L T A	Amerio 1	1:50 PM	8:00 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 2	2:25 PM	8:25 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 3	2:45 PM	8:50 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 4	3:20 PM	9:50 PM	-25,-30	-13,-22
	Amerio 5	4:10 PM	10:30 PM	-25,-30	-13,-22

De acuerdo a la información recopilada en las anteriores pruebas podemos estimar que el compresor 3 permanece apagado por lo menos 4 horas durante la congelación del camarón, y que a pesar de que este compresor permanece ese tiempo apagado la temperatura del camarón en algunos casos sobrepasa la recomendada por la norma.

Si analizamos la primera vuelta en las tres muestras podemos observar que la temperatura final del producto esta entre los $-20^{\circ}C$ y $-30^{\circ}C$. En algunos casos la prueba revelo una subcongelación de $-4^{\circ}C$ lo cual implica un trabajo adicional del compresor y una leve deshidratación del producto.

3.7.1 Calculo Del Ahorro

Los compresores 3 y 4 fueron instalados en la planta para trabajar 16 horas dedicadas al congelamiento del camarón en los amerios o congeladores de placa. Entonces es posible calcular el ahorro que obtenemos al variar estas horas de trabajo.

El costo promedio del Kw/h para la empresa OCEANOS es de aproximadamente \$194.24, el costo de operar los compresores 3 y 4 las 16 horas para el congelamiento del producto es el siguiente:

El trabajo en la unidad del tiempo para cada compresor es:

Compresor 3	Compresor 4
POTENCIA	POTENCIA
250 HP	300 HP

El precio de operación para el compresor 3 si trabaja las 16 horas es:

$$\text{precio_de_operacion} = \frac{250\text{HP} * 0.75\text{Kw} * 16\text{h} * \$194.24}{1\text{HP} * \text{Kw} * \text{h}}$$

$$\text{precio_de_operacion} = \$582.720$$

Ahora el precio de operación del compresor 4 el cual si trabaja las 16 horas diarias es:

$$\text{precio_de_operacion} = \frac{300\text{Hp} * 0.75\text{Kw} * 16\text{h} * \$194.24}{1\text{HP} * \text{Kw} * \text{h}}$$

$$\text{precio_de_operacion} = \$699.264$$

El precio total de operación durante un tiempo de 16 horas para los compresores 3 y 4 es de:

$$\text{precio_total_de_operacion} = \text{precio_de_operacion} _ (C3 + C4)$$

$$\text{precio_total_de_operacion} = \$1.281.984$$

Esto es lo que cuesta la energía que consumen los compresores que se utilizan para la congelación del camarón, es decir en un día se consumen:

$$\text{Kw/h consumidos} = \frac{\$1.281.984 * \text{Kw/h}}{\$194.24}$$

$$\text{Kw/h consumidos} = 6600 \text{ Kw/h}$$

Con la medida operativa de apagar el compresor 3 durante cuatro horas el consumo de energía es el siguiente para un tiempo de 12 horas.

$$\text{Kw/h consumidos} = \frac{250\text{HP} * 0.75\text{Kw} * 12\text{h}}{1\text{Hp}} + \frac{300\text{HP} * 0.75\text{Kw} * 16\text{h}}{\text{HP}}$$

$$\text{Kw/h consumidos} = 5850\text{Kw/h}$$

Entonces el precio total de operación será ahora:

$$\text{precio_total_de_operacion} = \text{Kw/h_consumidos} * \text{precio_del_Kw7h}$$

$$\text{precio_total_de_operacion} = \frac{5850\text{Kw}}{\text{h}} * \frac{\$194.24 * \text{h}}{\text{Kw}}$$

$$\text{precio_total_de_operacion} = \$1.136.304$$

Estos precios de operación son solo para un día, así que el ahorro por modificar las costumbres de operación apagando el compresor 3 durante cuatro horas es:

AHORRO = PRECIOS DE OPERACIÓN DURANTE 16 HORAS PARA AMBOS COMPRESORES – PRECIOS DE OPERACIÓN CON 16 HORAS PARA EL COMPRESOR 4 Y 12 PARA EL COMPRESOR 3

$$\text{AHORRO} = \$1.281.984 - \$1.136.304$$

$$\text{AHORRO} = \$ 145.680 /\text{día}$$

Es importante resaltar que la temperatura final del producto se vio levemente afectada por el simple hecho de apagar el compresor 3 durante 4 horas, pero es algo que no perjudica la calidad del producto ya que las temperaturas no se salen

de los intervalos recomendados por la norma, así que es posible poner en practica esa táctica operacional sin poner en riesgo la producción de la planta.

AHORRO ANUAL

Podemos calcular también el ahorro por mes y por año, teniendo en cuenta que la planta trabaja seis días a la semana y aproximadamente 11 meses al año.

$$Ahorro_Anual = \frac{6\text{días}}{1\text{semana}} * \frac{4.3\text{Semana}}{1\text{mes}} * \frac{11\text{meses}}{1\text{Año}} * \frac{\$145.680}{\text{dia}}$$

$$Ahorro_Anual = \frac{\$41.343.984}{\text{Año}}$$

Es importante comparar este ahorro con los consumos facturados, los consumos de la empresa OCEANOS superan algunas veces la suma de \$100.000.000.

El porcentaje de la energía que se consume para la congelación del camarón es:

$$\%_de_costos_de_energia = \frac{\$1.281.984}{\text{dia}} * \frac{6\text{dia}}{1\text{semana}} * \frac{4.3\text{semana}}{\text{mes}} * \frac{\text{mes} * 100\%}{\$100.000.000}$$

$$\%_de_costos_de_energia = 33.1\%$$

Este nos indica que el 33.1% es el porcentaje de el consumo de energía destinado a la congelación del camarón, así que encontrar oportunidades de ahorro sin costo alguno en este gran porcentaje resulta bastante benéfico ya que disminuye el precio de la factura.

3.7.2 Ahorro Por Cada Kilogramo De Camarón Congelado

La empresa congela por cada amerio un total de 1620 Kg, en el día cada amerio congela el equivalente a 3240Kg, es decir que los cinco amerios congelan 16200Kg/día.

Esto en un tiempo de 16 h/día para cada compresor, entonces podemos hablar del consto de congelar el camarón en la unidad de masa (kg)

- Para condiciones de operación normales, con los compresores encendidos las 16 horas para el congelamiento del producto tenemos que :

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\text{precio}_{\text{total de operacion}} / \text{dia}}{\text{Kg}_{\text{congelados}} / \text{dia}}$$

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\$1.281.984}{16200\text{Kg}}$$

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\$79.2}{\text{Kg}}$$

- Para condiciones de operación tácticas, en donde el compresor 3 se apaga por un lapso de 4 horas el precio de congelación por cada kilogramo de camarón es el siguiente.

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\text{precio}_{\text{total de operacion}} / \text{dia}}{\text{Kg}_{\text{congelados}} / \text{dia}}$$

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\$1.136.304}{16200\text{Kg}}$$

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\$70.14}{\text{Kg}}$$

El ahorro por cada kilogramo de camarón es

$$\text{precio} / \text{Kg} = \frac{\$79.2}{\text{Kg}} - \frac{\$70.14}{\text{kg}}$$

$$\text{Ahorro} = \frac{\$9}{\text{Kg}}$$

Al año la empresa esta procesando alrededor de 7.500.000 Kg/año, entonces podemos halla en pesos la cantidad de dinero que ahorramos en el proceso de congelación por año así:

$$\text{Ahorro} _ \text{por} _ \text{año} = 7.500.000 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} * \frac{\$9}{\text{Kg}} * 33.1\%$$

$$\text{Ahorro} _ \text{por} _ \text{año} = \$22.342.500 / \text{año} .$$

CONCLUSIONES

Aprovechar de manera correcta las capacidades ya instaladas es una manera de enmendar el sobre diseño de algunos sistemas, en el caso sistema de refrigeración de la empresa OCEANOS en la cual cuentan con dos compresores que sumas los dos 125 TR de capacidad y la demanda de frío no sobrepasa las 41 TR, es importante que el ingeniero sepa aprovechar los recursos ya existentes dentro de una industria, en este caso seria ideal que si estos dos compresores están funcionando alimenten otro cuarto de conservación o algún otro congelador de placa, pues el derroche de energía es grande y la energía cuesta, eleva los precios de la producción, hace menos competitivas a las industrias frente a otras que tienen un plan de uso racional y eficiente de la energía.

La administración de los recursos en una manera inteligente hace que los procesos productivos sean más eficientes y menos costosos.

La preparación del personal operario forma parte de toda esta cultura energética, la cual en nuestra ciudad se halla muy olvidada pues desconocemos muchas veces que nuestros mayores consumos en los procesos productivos los hallamos en los costos energéticos.

RECOMENDACIONES

- En el caso de las cámaras frigoríficas y congeladores de placa, el aislamiento es factor mas importante en el consumo energético. Evaluar los actuales espesores para determinar si es adecuado o no.
- Mantener la temperatura en las cámaras al máximo admitido por los procesos y productos.
- Introducir los productos en las cámaras a la menor temperatura posible.
- Mantener el aislamiento térmico y el sellaje de las cámaras y congeladores de placa en buen estado.
- Reducir las entradas de aire exterior mediante adecuada hermeticidad de las puertas, reducir el tiempo de apertura de las puertas mediante medidas organizativas.
- Mantener condiciones de circulación de aire adecuadas dentro de las cámaras, espacios entre los productos que aseguren la circulación de aire y la uniformidad de temperatura.
- Modificar las costumbres de operación en la sala de maquinas.

BIBLIOGRAFIA

- Principios de refrigeración, Roy J. Dossat. Décima Séptima Reimpresión, México, 1997. Editorial Continental, S.A. De C.V.
- Principles of Refrigeration, Roy J.Dossat. Third Edition. Prentice Hall.
- Refrigeración y Aire Acondicionado, Air-Condition Refrigeration Institute. Prentice Hall Internacional.
- Ahorro de Energía en Sistemas Termomecánicos. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad Cienfuegos.

ANEXOS

PROPIEDADES DEL CAMARON (SHRIMP)

Table 10 (cont.)
FOOD PRODUCTS DATA

Product	Average Freezing Point F	Percent Water	SP ht, Btu/ (lb) (F deg)		Latent Heat of Fusion Btu/lb	Heat of Respiration Btu per (24 hr) (ton) at Temp. indicated	
			Above Freezing	Below Freezing		°F	BTU
Parsnips	28.9	78.6	0.84	0.46	112		
Peas (green)	30	74.3	0.79	0.42	106	40	13,200-16,000
Peas (dried)		9.5	0.28	0.22	14		
Peppers (sweet)	30.1	92.4	0.94	0.47	132	40	4700
Potatoes (white)	28.9	77.8	0.82	0.43	111	40	1300-1800
Potatoes (sweet)	28.5	68.5	0.75	0.40	97	40	1710
Pumpkin	30.1	90.5	0.92	0.47	130		
Radishes	30.1	93.6	0.95	0.48	134		
Rhubarb	28.4	94.9	0.96	0.48	134		
Sauerkraut	26	89	0.92	0.47	129		
Spinach	30.3	92.7	0.94	0.48	132	40	8000
Squash	30.1	90.5	0.92	0.47	130		
Tomatoes (green)	30.4	94.7	0.95	0.48	134	60	6230
Tomatoes (ripening)	30.4	94.1	0.95	0.48	134	40	1260
Turnips	30.5	90.9	0.93	0.47	130	32	1900
						40	2200
Vegetables (mixed)	30	90	0.90	0.45	130		
MEATS AND FISH							
Bacon		20	0.50	0.30	29		
Beef (dried)		5.15	0.22-0.34	0.19-0.26	7-22		
Beef (fresh-lean)	29	68	0.77	0.40	100		
Beef (fresh-fat)	28		0.60	0.35	79		
Brined meats			0.75				
Cod fish (fresh)	28		0.90	0.49	119		
Cut meats	29	65	0.72	0.40	95		
Fish (frozen)	28	70	0.76	0.41	101		
Fish (iced)		70	0.76	0.41	101		
Fish (dried)			0.56	0.34	65		
Hams and loins	27	60	0.68	0.38	86.5		
Lamb	29	58	0.67	0.30	83.5		
Livers	29	65.5	0.72	0.40	93.3		
Oyster (shell)	27	80.4	0.83	0.44	116		
Oysters (lub)	27	87	0.90	0.46	125		
Pork (fresh)	28	60	0.68	0.38	86.5		
Pork (smoked)		57	0.60	0.32			
Poultry (fresh)	27	74	0.79	0.37	106		
Poultry (frozen)	27	74	0.79	0.37	106		
Sausage (casings)			0.60				
Sausage (drying)	26	65.5	0.89	0.56	93		
Sausage (franks)	29	60	0.86	0.56	86		
Sausage (fresh)	26	65	0.89	0.56	93		
Sausage (smoked)	25	60	0.86	0.56	86		
Shrimp	28	70.8	0.83	0.45	119		

DIAGRAMA H-P DEL R-717 (AMONIACO)

