

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

“Mejoramiento de las Características Físicas y Sensoriales del  
Camarón Congelado, Ajustando el Sistema Combinado de I.Q.F.  
(Salmuera por Aspersión – Aire Forzado) en una Industria  
Camaronera”

### **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIEROS DE ALIMENTOS**

Presentada por:

Jorge Rafael Álava Gutiérrez

Sue Paola González Auhing

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de algún modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a la Ing. Priscila Castillo S. (Directora de Tesis) y al Ing. Edgar Barzola, por su invaluable ayuda.

## DEDICATORIA

A DIOS

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS HERMANOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Priscila Castillo S.  
DIRECTORA DE TESIS

---

Ing. Luis Miranda S.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Jorge Álava Gutiérrez

---

Sue González Auhing

## RESUMEN

El presente proyecto busca mejorar las características sensoriales y físicas del camarón congelado en un sistema combinado de I.Q.F. de una industria camaronera, minimizando los tiempos de residencia en los equipos y manteniendo las temperaturas constantes de proceso, obteniendo un camarón congelado con un alto estándar de calidad.

Entre las determinantes del proceso en el equipo de Salmuera por Aspersión, se considera el porcentaje de cloruros, donde 0,51% corresponde al porcentaje ideal de ganancia de sal en el camarón que puede ser percibido por el consumidor, dicho porcentaje de sal se adquiere bajo condiciones de procesamiento de 300 segundos a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otro criterio a considerar es el exudado, el cual deberá ser de 4 % para que la textura del camarón no se vea afectada.

Por otro lado, mediante una propuesta de mejoramiento del sistema de congelación será posible mantener un proceso estandarizado, además de cubrir los requerimientos del proceso tanto termodinámicos como productivos, puesto que es posible incrementar la producción de 6.000 libras hasta 8.000 libras por hora sin que existan problemas de variabilidad, es decir que existe un incremento del 33% en la productividad. Mediante un análisis de inversión-beneficio de los cambios sugeridos en dicha línea de producción el mejoramiento lograra incrementar la utilidad en un 15%.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	2
1.1.    Materia Prima.....	2
1.1.1. Composición Química del Camarón.....	10
1.1.2. Uso de Metabisulfito y Desinfectantes.....	11
1.1.2.1. Concentraciones Recomendadas.....	12
1.1.2.2. Normativa – Especificaciones.....	12
1.2. Proceso de Congelación.....	13
1.2.1. Sistema I.Q.F.....	14
1.2.1.1. Ventajas en la Industria de Alimentos.....	15

1.2.2. Principios de Refrigeración.....	16
1.3. Producto Final.....	18
1.3.1. Mercados del Camarón Ecuatoriano.....	18
1.3.2. Valor Agregado en Camarón.....	20

## CAPÍTULO 2

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA EMPACADORA DE CAMARÓN.....	23
2.1. Sistema Combinado de Congelación Rápida (Salmuera por Aspersión y Aire Forzado.....	23
2.1.1. Capacidades de Producción Actuales.....	28
2.2. Descripción de Equipos.....	30
2.2.1. Salmuera por Aspersión.....	30
2.2.1.1. Preparación y Recarga de la Salmuera.....	33
2.2.1.2. Propiedades Físicas y Termodinámicas.....	36
2.2.2. Aire Forzado.....	37
2.2.2.1. Temperaturas y Tiempos del Proceso.....	39
2.3. Descripción del Proceso.....	40
2.3.1. Esquema de Línea de I.Q.F.....	44
2.3.1.1. Análisis del Sistema de Frío Actual de la Planta....	48
2.4. Evaluación de los Equipos Combinados frente a las Características de Calidad del Camarón Congelado.....	51



CAPÍTULO 3		
3. EVALUACIÓN FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAMARÓN		
CONGELADO EN EL SISTEMA COMBINADO .....		54
3.1. Estudio de la Concentración de Salmuera Adquirida por el		
Camarón vs Tiempo de Residencia en el Equipo de Salmuera		
por Aspersión.....		56
3.1.1.	Determinación	
	de Cloruros por	
	Método	57
	Químico.....	
	.....	
3.1.2.	Evaluación del	
	Sabor por	
	Método	62
	Sensorial.....	
	.....	
3.2. Análisis del Tiempo de Vida Útil de la Salmuera.....		72
3.2.1. Efecto en el Camarón y su Influencia en el Proceso.....		73
3.3. Evaluación de la Textura del Camarón en el Equipo por Aire		
Forzado.....		77
3.3.1. Formación de Cristales y su Efecto en el Tejido del		
Camarón Congelado .....		78
3.4. Interpretación de los Resultados.....		83
CAPÍTULO 4		
4. PROPUESTA DEL SISTEMA DE FRÍO EN EL EQUIPO		
ASPERSIÓN CON SALMUERA .....		86
4.1. Cálculos del Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor ...		86
4.1.1.	Carga del Refrigerante	
	.....	92

4.1.2.	Potencia Nominal y Utilizada .....	95
4.2.	Análisis de la Potencia de los Compresores Actuales vs lo Requerido por el Proceso.....	98
4.2.1.	Propuesta del Sistema de Compresión.....	107
4.3.	Plano del Sistema de Refrigeración Propuesto.....	115
CAPÍTULO 5		
5.	ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO I.Q.F. DEL SISTEMA.....	116
5.1.	Análisis de los Resultados Obtenidos .....	117
5.2.	Esquema de la Línea Propuesta .....	119
5.3.	Método de Operación.....	121
	...	
5.3.1.	Metodología para el Manejo de la Salmuera.....	123
5.3.2.	Controles Físico-Químicos y Microbiológicos / Salmuera ...	125
5.4.	Análisis Inversión – Beneficio de los Cambios Propuestos.....	128
5.4.1.	Capacidad Teórica de Congelación Alcanzada por el Sistema Combinado .....	129
5.4.2.	Aumento de la Capacidad de Congelación en las Placas...	131
CAPÍTULO 6		
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
ANEXOS		
BIBLIOGRAFÍA		

## ABREVIATURAS

I.Q.F.	Individually Quick Frozen
h	Hora
kg.	Kilogramos
L.	Litros
min.	Minutos
ml	Mililitros
p-h	Presión - Entalpia
p.p.m.	Parte por millón
seg.	Segundos
°T	Temperatura
°B	Grados Baume

## SIMBOLOGÍA

BHP	Brake Horse Power, Energía
Cp.	Calor específico, Energía
HP	Horse Power, Potencia
Kcal	Kilocalorías, Energía
Kw	Kilowatios, Energía
m	Masa
m <sup>2</sup>	Área
P	Presión
P <sub>D</sub>	Presión de descarga
P <sub>S</sub>	Presión de succión
psi	Pulgadas de presión
Q	Calor
Q <sub>L</sub>	Calor latente
Q <sub>S</sub>	Calor sensible
TR	Toneladas de refrigerante
<b>ρ</b>	Densidad
Δh	Delta de entalpía
ΔT	Delta de temperatura
°C	Grados centígrados

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Camarón Blanco <i>Penaeus Vannamei</i> .....	2
Figura 1.2. Tonalidades del Camarón, Crudo y Cocido.....	4
Figura 1.3. Tallas del Camarón sin Cabeza “Cola”.....	7
Figura 1.4. Uniformidades del Camarón según su Talla.....	8
Figura 1.5. Equipos de Congelación.....	14
Figura 1.6. Diagrama de un Sistema Mecánico de Producción de Frío.....	16
Figura 1.7. Diagrama de Flujo de un Sistema Vapor-Compresión.....	17
Figura 1.8. Ciclo Estándar Vapor-Compresión en el Diagrama p-h.....	18
Figura 1.9. Mercados del Camarón Ecuatoriano.....	19
Figura 1.10. Productos de Valor Agregado existentes en el Mercado....	21
Figura 2.1. Temperaturas y Tiempo de Proceso en el Equipo de Salmuera por Aspersión.....	25
Figura 2.2. Temperaturas y Tiempo de Proceso en el Equipo de Aire Forzado.....	26
Figura 2.3. Temperaturas y Tiempos del Sistema Combinado (Salmuera por Aspersión – Aire Forzado).....	26

Figura 2.4.	Equipo de Salmuera por Aspersión.....	31
Figura 2.5.	Sistema por Aspersión, Bandejas por donde cae la Salmuera.....	32
		Pág.
Figura 2.6.	Preparación de Salmuera, utilizando un Mezclador.....	34
Figura 2.7.	Equipo de Aire Forzado.....	37
Figura 2.8.	Flujo de Aire en el Interior del equipo por Aire Forzado.....	38
Figura 2.9.	Diagrama de Flujo de Línea I.Q.F., Combinación (Salmuera por Aspersión – Aire Forzado).....	40
Figura 2.10.	Esquema de la Línea: Salmuera por Aspersión – Aire Forzado.....	43
Figura 3.1.	Ficha Sensorial para Análisis del Sabor por Método de Comparaciones Múltiples.....	66
Figura 3.2.	Sistema de Circulación de Salmuera.....	72
Figura 3.3.	Sistema de Circulación de Aire Frio.....	78
Figura 3.4.	Gráfico de Porcentaje de NaCl vs. Calificación Sensorial..	84
Figura 4.1.	Líneas de Líquido y Vapor Saturado.....	87
Figura 4.2.	Diagrama p-h, Refrigerante Amoniaco.....	87
Figura 4.3.	Ciclo Estándar de Refrigeración.....	89
Figura 4.4.	Ciclo de Refrigeración Básico expresado en el Diagrama p-h de Amoniaco.....	90
Figura 4.5.	(a) Esquema de Doble Compresión con un Evaporador (b) Diagrama p-h para el Sistema de (a).....	91

Figura 4.6.	(a) Sistema de Frío - 2 Ciclos con Intercooler "CoolPack"	
	(b) Sistema Actual en el Diagrama p-h.....	94

		Pág.
Figura 4.7.	Balance de Masa y Energía en un Sistema de Doble Compresión con Enfriamiento de Vapor.....	96
Figura 4.8.	Viaje Térmico Realizado por el Camarón al entrar al Equipo de Aspersión por Salmuera.....	101
Figura 4.9.	Compresores más Usados en el Mercado de la Refrigeración.....	108
Figura 4.10.	Esquema de Doble Compresión con un Economizador....	111
Figura 5.1.	Esquema de la Línea Propuesta: Salmuera por Aspersión – Aire Forzado.....	120
Figura 5.2.	Camarón Antes y Después de la Congelación en el Equipo de Salmuera por Aspersión.....	127
Figura 5.3.	Camarón Antes y Después de la Congelación en el Equipo de Aire Forzado.....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1.	Sabores que puede Presentar el Camarón.....	5
Tabla 1.2.	Defectos más Comunes en el Camarón dentro del Proceso.....	9
Tabla 1.3.	Composición Química del Camarón Blanco <i>P. vannamei</i> ..	10
Tabla 1.4.	Dosis Máxima de Metabisulfito de Sodio para el Proceso..	12
Tabla 2.1.	Capacidades de Congelación en la Línea I.Q.F.....	30
Tabla 2.2.	Propiedades Físicas y Termodinámicas de la Salmuera...	36
Tabla 2.3.	Temperaturas y Tiempos de Proceso Estándar del Equipo de Congelación por Aire Forzado.....	39
Tabla 3.1.	Rangos Operacionales de Tiempo y Temperatura de Proceso en el Equipo de Salmuera por Aspersión.....	55
Tabla 3.2.	Muestras Tomadas a Diferentes Tiempos y Temperaturas del Equipo de Salmuera por Aspersión.....	59
Tabla 3.3.	Cantidad de NaCl en Muestras de Camarón a Diferentes Temperaturas y Tiempos de Permanencia en el Equipo de Congelación de Salmuera por Aspersión.....	60
Tabla 3.4.	Rotulación de las Muestras, Evaluación Sensorial (Sabor)..	65



Tabla 3.5.	Tabulación de Datos, Evaluación Sensorial (Sabor).....	68
Tabla 3.6.	Análisis de Varianza, Evaluación Sensorial (Sabor).....	69

	Pág.	
Tabla 3.7.	Muestras Tomadas a Diferentes Tiempos y Temperaturas del Equipo de Aire Forzado.....	79
Tabla 3.8.	Porcentaje de Exudado en Muestras de Camarón en el Equipo de Congelación de Aire Forzado.....	81
Tabla 3.9.	Resultados Finales de los Experimentos Realizados para Evaluar las Características del Camarón Congelado.....	83
Tabla 4.1.	Calor Requerido por el Producto y por la Salmuera (Kw), Sistema Actual.....	105
Tabla 4.2.	Calor Requerido por el Proceso vs. el Entregado por el Sistema Actual.....	105
Tabla 4.3.	Calor Requerido por el Producto y por la Salmuera (Kw), Sistema Propuesto.....	113
Tabla 4.4.	Calor Requerido por el Proceso vs. el Entregado por el Sistema Propuesto.....	113

## ÍNDICE DE PLANOS

	Pág.
Plano 1 Línea de Frío del Equipo Salmuera por Aspersión, Sistema Actual.....	46
Plano 2 Línea de Frío del Equipo Aire Forzado, Sistema Actual.....	47
Plano 3 Línea de Frío del Equipo Salmuera por Aspersión, Sistema Propuesto.....	115

## INTRODUCCIÓN

La industria empacadora de camarón que se evaluará en este proyecto cuenta con 2 sistemas de congelación rápida (Salmuera por Aspersión y Aire Forzado); ambos equipos fueron combinados con el fin de obtener un mayor volumen de producto congelado y así aumentar la capacidad en la línea de I.Q.F.

No obstante, existe mucha variabilidad en cuanto a parámetros del proceso (tiempos y temperaturas), lo que afecta la calidad sensorial del producto final. Por lo que, en esta tesis se propone un mejoramiento de las características físicas y sensoriales del camarón al final de la congelación, basadas en la estandarización del proceso I.Q.F. del sistema combinado.

En el equipo de Salmuera por Aspersión, se espera reducir los tiempos de residencia en el equipo. Actualmente, se han presentado inconvenientes en este equipo, debido a que al permanecer el producto en la salmuera por mucho tiempo, sus características sensoriales se ven afectadas (sabor).

Al final, la tesis busca mejorar el funcionamiento integrado de los equipos, considerando una capacidad de congelación mucho mayor con el nuevo sistema propuesto y métodos adecuados de operación en cada equipo para

obtener un producto congelado de alta calidad. Se presentará además un análisis de inversión-beneficio de los cambios sugeridos.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES.

### 1.1. Materia Prima.

La materia prima a la que se hace referencia en el presente proyecto es el camarón blanco *Penaeus Vannamei* (Véase Fig. 1.1.).

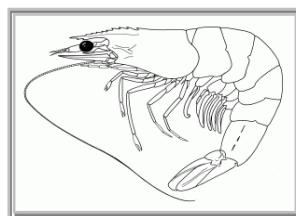


Figura 1.1. Camarón Blanco *Penaeus Vannamei*

Fuente: FAO, Información de Especies Acuáticas (10)

El camarón blanco *Penaeus Vannamei* es uno de los camarones con mayor producción que otras especies debido a sus ventajas en cuanto a su cultivo y a la preferencia de dicha especie en el mercado, por ejemplo:

- ✓ Es una especie que ofrece un amplio rango de tolerancia y puede ser cultivado en muchos tipos de aguas, resiste densidades de cultivo muy elevadas y salinidad (10).
- ✓ La producción de la carne es más alta (66–68%), que para otras especies (10).

Es por tal motivo que el *P. Vannamei* corresponde a una de las especies favoritas de producción en el Ecuador y en otros países.

#### **Características dentro del proceso:**

Es importante conocer acerca de la materia prima que se va a utilizar en un proceso y con mayor razón si se requiere realizar cambios o mejoramientos en una planta. Se debe tomar en consideración parámetros críticos, donde la materia prima podrá ser sometida en algún momento provocando efectos adversos en el producto.

Por lo tanto, el camarón blanco deberá cumplir con ciertas normas y especificaciones para su adecuado procesamiento y aseguramiento de las características óptimas del producto final, dichas especificaciones serán descritas con detalle más adelante.

Desde que el camarón muere debe ser tratado con cuidado en cuanto a la temperatura ( $^{\circ}\text{T} \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), puesto que al tener mayor temperatura, sus características organolépticas se ven afectadas (sabor, olor y textura).

Cuando el camarón es transportado desde las piscinas hasta la recepción de la planta industrial, se lo transporta con hielo y se suele añadir sal; el exceso de sal en el transporte provoca que los melanocitos<sup>(a)</sup> del camarón se descompongan provocando la pérdida de color, por lo que debe ser controlado.

El camarón puede presentar tres distintas tonalidades dentro del proceso (Véase Fig. 1.2.), considerando lo siguiente:

- ✓ Camarón moderadamente pálido (A2)
- ✓ Camarón ligeramente oscuro (A3)
- ✓ Camarón oscuro (A4)

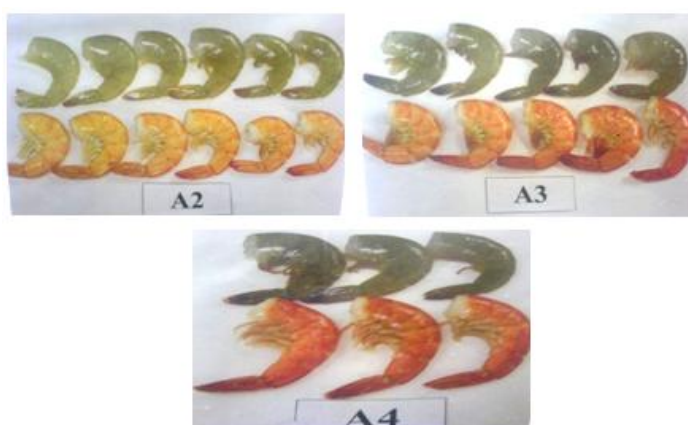


Figura 1.2. Tonalidades del Camarón, Crudo y Cocido

Fuente: Catálogo de la Empresa, Instructivos (5)

---

<sup>(a)</sup> **Melanocitos:** Su principal función es la producción de [melanina](#), un pigmento de la [piel](#).

El camarón es analizado y tratado según convenga el caso con preservantes, con el objetivo de mantener sus características organolépticas dentro del proceso (color, sabor, textura). Por lo cual se realizan algunas pruebas de laboratorio como la del olor y sabor, la que a continuación se explica.

### **Pruebas de Laboratorio**

#### **Cocción:**

El camarón debe ser sometido a cocción durante 3 minutos aproximadamente, además es importante evaluar el color y textura antes y después de la cocción (5).

#### **Olor y Sabor:**

El sabor tiene que ser característico a camarón fresco (a marisco). El sabor y olor del camarón se determina una vez obtenidos los camarones semi cocidos, luego mediante una escala (Véase Tabla 1.1.), se realiza el análisis.

---

**Normal: Característico a marisco**

**Choclo leve o fuerte.**

**Mangle leve o fuerte.**

**Tierra leve o fuerte.**

Tabla 1.1. Sabores que puede Presentar el Camarón

Fuente: Catálogo de la Empresa, Calidad (12)

**Sabor a choclo.-** Se da en variedades del camarón especialmente en épocas de invierno, puesto que en época de lluvia, la concentración de sal disminuye y bajo dichas condiciones se desarrolla el alga llamada *anabaena*<sup>(b)</sup> la cual da el sabor amargo (a choclo) al camarón. El camarón con sabor a choclo es considerado no característico por lo que es rechazado para el proceso (12).

**Sabor a Tierra o Mangle.-** Son sabores característicos de verano, se presenta cuando las concentraciones de sal en el agua son mayores. El sabor a alga (mangle) es característico de un camarón con cabeza amarga (tolerable), sin embargo es un camarón que es aprobado para el proceso (12).

Dentro del análisis también consta, el determinar si el camarón sirve como entero o se lo descabeza para ser procesado como cola, lo cual se determina de la siguiente manera:

- ✓ Si el Rendimiento es > 50% es procesado como entero.
- ✓ Si el Rendimiento es < 50% es procesado como cola.

Dependiendo de los defectos y las exigencias del cliente.



---

<sup>(b)</sup> **Anabaena:** Es un género de alga verde-azul, común en agua dulce (también se encuentra en aguas saladas y en hábitats terrestres). Soporta condiciones ambientales extremas (temperaturas de 73 °C).

Finalizando lo antes expuesto, sobre las condiciones con la que el camarón debe ingresar a la planta procesadora, se definen los siguientes términos:

### **Conteo/Libra:**

Corresponde al número de unidades que existen por envase. Con el conteo se definen las tallas, en caso de ser cola (Véase Fig. 1.3.) las tallas van desde 21-25 hasta el 71-80, mientras que para entero va desde 30-40 a 80-90 (5).

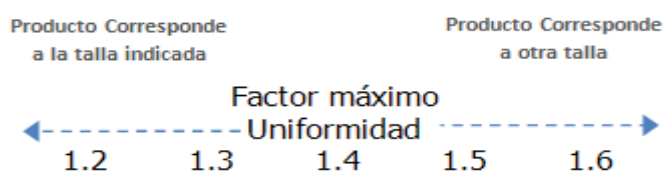


Figura 1.3. Tallas del Camarón sin Cabeza “Cola”

Fuente: Prácticas Laborables por los Autores (1)

### **Uniformidad:**

Es la relación que existe entre los camarones más pequeños y los camarones más grandes (Véase Fig. 1.4.). El factor de uniformidad depende de la talla del camarón.



Presentación	Piezas
Hasta 283.50 gramos	3 mayores/3 menores
284 a 680.40 gramos	6 mayores/6 menores
684.40 a 1134 gramos	8 mayores/8 menores
Mayor de 1138.5 gramos	10 mayores/10 menores

Talla	Límite Máximo
U-10	1.25
U-12	1.25
U-15	1.25
16-20	1.30
21-25	1.30
26-30	1.30
31-35	1.35
36-40	1.35
41-50	1.35
51-60	1.40
61-70	1.40
71-80	1.40
80-Más	1.50

Nota:

Quebrado Grande U-10 a 16-20  
 Quebrado Mediano 21-25 a 26-30  
 Quebrado Chico 31-35 a 41-50

Figura 1.4. Uniformidades del Camarón según su Talla

Fuente: Norma Mexicana: NMX-F-489-1994 (16)

### Defectos Físicos:

Se procede a determinar las características organolépticas del camarón con ayuda visual y del tacto, (Véase Tabla 1.2.).

Existen límites máximos permitidos de defectos en el camarón (%), los cuales deben seguir los criterios de calidad y especificaciones por parte del cliente (12).








TERMINO		SE PRESENTA CUANDO:
Hepatopáncreas Reventado y cabeza floja		El camarón cabeza llega con la cabeza colgando.
Melanosis		Camarón presenta coloración negra en cola o en cualquier otra parte.
Branquias sucias		Camarón cabeza floja y branquias sucias.
Quebrado		Camarón quebrado en cualquier segmento
Flácido		Camarón que presenta textura suave en el exoesqueleto.
Mudado		Camarón que presenta textura blanda resultado del cambio de cáscara.
Manchas negras leves y fuertes		Camarón picado por otros crustáceos.

Tabla 1.2. Defectos más Comunes en el Camarón dentro del Proceso

Fuente: Catálogo de la Empresa, Calidad (12)

### 1.1.1. Composición Química del Camarón.

Los valores nutricionales del camarón y demás crustáceos son de alto contenido en proteínas y bajo en grasas como se puede observar en la Tabla 1.3., donde además se indica los porcentajes de humedad, carbohidratos y cenizas.

<b>Composición del Camarón</b>						
<b>Medida (g)</b>	<b>Humedad (g)</b>	<b>Energía (Kcal/100g)</b>	<b>Proteínas (g)</b>	<b>Grasa Total (g)</b>	<b>CHO total (g)</b>	<b>Cenizas (g)</b>
<b>100</b>	<b>76,6</b>	<b>92</b>	<b>21</b>	<b>0.8</b>	<b>0.1</b>	<b>1.9</b>

Tabla 1.3. Composición Química del Camarón Blanco *P. vannamei*

Fuente: FAO, Composición de los Alimentos (11)

El camarón, junto con los crustáceos, contiene un alto valor nutritivo, además de pocas calorías. Estudios en nutrición, dicen que los camarones son una excelente fuente de proteínas de alta calidad, así como de vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, B6, B12, y ácido pantoténico) y minerales (calcio, cinc, cobre, flúor y fósforo) (18).

A pesar de sus cualidades nutritivas y su buen sabor, durante el proceso puede existir una degradación del sabor o características sensoriales debido a problemas en la cadena de frío u otros factores, lo que se puede evitar mediante el uso de aditivos que permitirán su conservación durante el proceso.

### **1.1.2. Uso de Metabisulfito y Desinfectantes.**

Las concentraciones de metabisulfito son de suma importancia para que el camarón permanezca bajo las condiciones adecuadas (0% de melanosis), puesto que la melanosis es un defecto como se observó en la Tabla 1.2., donde el camarón presenta coloración negruzca causada enzimáticamente por la tirosinasa, la cual se presenta horas después de morir el camarón. Por lo que, el uso de metabisulfito se debe regular y especificar según el proceso final que se requiera.

Para monitorear su concentración, se procede a realizar el análisis de metabisulfito (Véase Anexo 1).

Otro agente que se utiliza en una industria camaronera durante el proceso, es el dióxido de cloro que se lo utiliza para el lavado o desinfección del camarón, dicha solución debe ser colocada en una tolva donde el camarón será sumergido para su lavado.

Las concentraciones del metabisulfito y de los desinfectantes (dióxido de cloro) deberán ser controladas y monitoreadas para el correcto cumplimiento con la norma.

#### **1.1.2.1. Concentraciones Recomendadas.**

Según el CODEX STAN 92 a cerca de las sustancias conservadoras utilizadas en el camarón (Véase Tabla 1.4.), las concentraciones recomendadas de metabisulfito de sodio son las siguientes:

221	Sulfito de sodio	100 mg/kg de sulfito en la parte comestible
223	Metabisulfito de sodio	del producto crudo o 30 mg/kg en la parte
224	Metabisulfito de potasio	comestible del producto cocido, expresado
225	Sulfito de potasio	como SO <sub>2</sub> solos o en combinación

Tabla 1.4. Dosis Máxima de Metabisulfito de Sodio para el Proceso

Fuente: Codex Stan 92, Aditivos Alimentarios (15).

La cantidad máxima permitida es de hasta 100 ppm (en USA). Para añadir el metabisulfito al producto se requiere que el agua esté a más de 0 °C para obtener mejores resultados.

Por otro lado, el uso de dióxido de cloro deberá permanecer en concentraciones que van de los 10 a 25 ppm en el producto (camarón).

#### 1.1.2.2. Normativa – Especificaciones.

Existen normativas para diferentes países que regulan el proceso de camarones congelados y el uso de conservantes y desinfectantes en el producto, sin embargo cada una de ellas

toma como referencia la norma del Codex Alimentario, algunas de estas normas son:

**Norma:** Norma del Codex: Codex Stan 92-1981, Rev. 1-1995.

**Título:** “Camarones congelados rápidamente”.

**Norma:** Norma Ecuatoriana: NTE 0456:1981

**Título:** Langostinos y Camarones Congelados. Requisitos

**Norma:** Norma Chilena: NCh 571. EOf 69

**Título:** “Camarones – Requisitos generales”.

**Norma:** Norma Mexicana: NMX-F-489-1994

**Título:** Productos de la pesca. Camarón congelado.

Especificaciones.

## **1.2. Proceso de Congelación.**

Los camarones pueden congelarse: enteros o descabezados (cola). El proceso de congelación puede efectuarse: en túneles con corrientes de aire frío ( $^{\circ}\text{T}$  entre  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), por contacto en congeladores de placas ( $^{\circ}\text{T}$  entre  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), o en un procedimiento menos usual, por inmersión en salmueras frías (las temperaturas dependen del tipo de salmuera utilizada).



Para los mariscos, el proceso más recomendable es el conocido como I.Q.F. (Individually Quick Frozen), que significa congelación rápida individual.

A continuación en la Figura 1.5. se muestra un diagrama de flujo, el cual muestra los distintos tipos de congeladores industriales usados en la congelación de productos alimenticios, subrayando aquellos que se analizarán para el proyecto.



Figura 1.5. Equipos de Congelación

### 1.2.1. Sistema I.Q.F.

El I.Q.F. o congelación rápida de manera individual se está imponiendo cada vez más entre los fabricantes de alimentos congelados puesto que el procedimiento garantiza, una vez que se haya descongelado el producto, que éste conserve toda la textura, valor nutritivo e igual sabor al del producto recién cosechado.

Así mismo, para su preservación, el proceso garantiza que los productos no necesiten de ningún tipo de preservantes y que, debido al cambio brusco de temperatura, se reduzca la presencia de microorganismos (17).

#### **1.2.1.1. Ventajas en la Industria de Alimentos.**

La diferencia entre una congelación I.Q.F. y una congelación lenta, es el tamaño del cristal que se forma. En la primera los cristales de hielo que se forma dentro de las células de los tejidos son de tamaño muy pequeño, lo que evitará que las paredes celulares que conforma el tejido se rompa y que al descongelar el producto no exista derrame de fluidos celulares.

En una congelación lenta, el tamaño del cristal que se forma es tan grande que rompe las paredes celulares, permitiendo el derrame de fluidos internos y la consiguiente pérdida de sabor, textura y valor nutritivo cuando se descongela el alimento.

Otra de las ventajas que aporta ésta congelación, es que no necesita descongelarse para la cocción o preparación, directamente puede ser usada en la cocción.

### 1.2.2. Principios de Refrigeración.

Termodinámicamente el sistema de refrigeración por compresión de vapor tiene los siguientes componentes: un compresor, un condensador, un receptor de líquido, una válvula de expansión y serpentines evaporadores o de enfriamiento (Véase Fig. 1.6.).

Hoy en día existen 4 cuatro tipos de compresores básicos: reciprocantes, centrífugo, rotatorio de aletas deslizantes y el más reciente de tornillo giratorio helicoidal.

El compresor más usado en refrigeración es el compresor de Tornillo, debido a que posee un rendimiento energético superior a los otros tipos de compresores y contribuye con la producción (9).

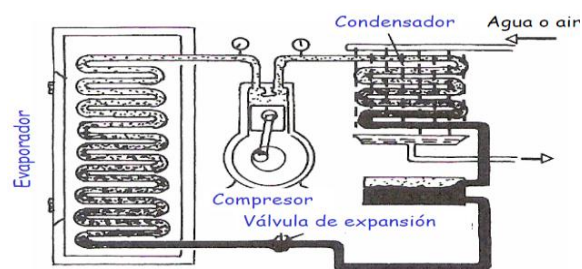


Figura 1.6. Diagrama de un Sistema Mecánico de Producción de Frío

El refrigerante fluye desde la válvula de expansión hacia los serpentines evaporadores, donde absorbe calor y se convierte en gas o vapor. Luego fluye hacia el compresor donde es comprimido a la presión del condensador. En el condensador pierde calor y el vapor refrigerante se convierte en líquido, fluye entonces hacia el receptor, el que va hacia la válvula de expansión para reanudar el ciclo (Véase Figs. 1.7. – 1.8.) (9).

El refrigerante que está a baja presión desde la válvula de expansión, a través del evaporador y hasta la succión del compresor, se le llama “lado de baja”.

Mientras que el refrigerante que está a alta presión desde el compresor, a través del condensador, el receptor de líquido hasta la válvula de expansión se le llama “lado de alta”.

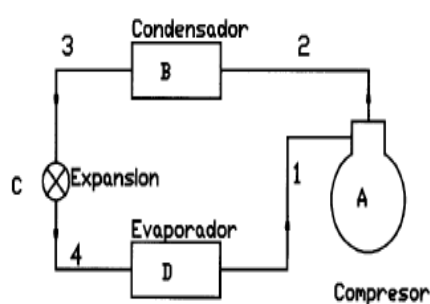


Figura 1.7. Diagrama de Flujo de un Sistema Vapor-Compresión

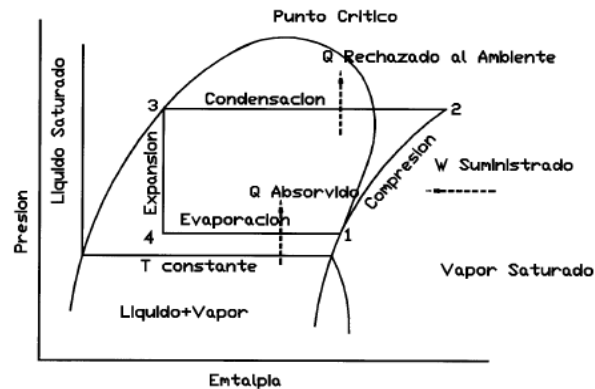


Figura 1.8. Ciclo Estándar Vapor-Compresión en el Diagrama p-h

Fuente: Catálogo MYCOM: Principios Básicos de Refrigeración (7)

### 1.3. Producto Final.

#### 1.3.1. Mercados del Camarón Ecuatoriano.

Ecuador exporta anualmente el camarón congelado a más de 30 países en el mundo y aproximadamente el 52% de estas ventas se destinan a los Estados Unidos (Véase Fig. 1.9.).

La Unión Europea es su segundo mercado en importancia, el cual captó el 43% de estas exportaciones entre el período 2003-2007 (8).

Otros países que tienen importancia para el camarón ecuatoriano con participaciones entre el 2% y 1% son Japón, Chile y Canadá (8).

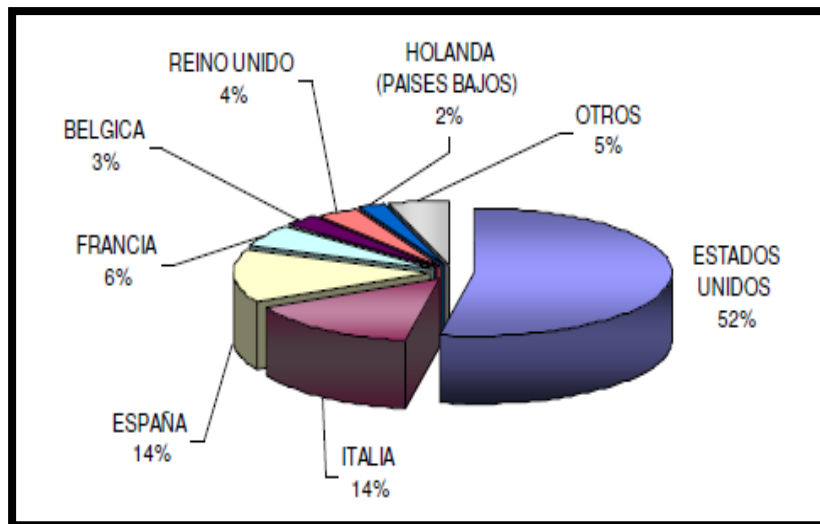


Figura 1.9. Mercados del Camarón Ecuatoriano

Fuente: CORPEI (8)

Las exportaciones corresponden un rubro importante en el ámbito camaronero, sin embargo, en el mercado local también incursiona dicho producto pero en menor impacto que las mismas exportaciones.

Por tal motivo, la industria camaronera en general busca ampliar su mercado elaborando productos de mayor calidad y brindando mejores alternativas para el consumidor a fin de competir con grandes países exportadores de camarón como los países asiáticos.

### **1.3.2. Valor Agregado en Camarón.**

En la actualidad existen muchas exigencias con respecto a los productos que se ofrecen en el mercado y el camarón no es una excepción, por lo tanto han surgido un sin número de maneras de comercializar el camarón como producto final y se le denomina " Producto de Valor Agregado".

En la industria Camaronera a la que se hace referencia en el presente proyecto, el producto final (camarón congelado) será dirigido tanto como materia prima, para elaborar productos de valor agregado, como producto final.

Entre los productos de valor agregado que se elabora en el país están: el camarón tipo Butterfly, P&D Tail off, Cooked rings, P.P.V, camarón pelado, descabezado, en brochetas, en anillo y camarón apanado (Véase Fig. 1.10.). Además se busca agregar atractivos adicionales al producto congelado, como el sabor a ceviche, a curry, a picante y otras especies. Es importante mencionar que en los productos de valor agregado se requiere de una congelación "individual" y no al granel, debido a las propias características del producto, puesto que congelado de esta forma el producto no se estropea y se obtiene un producto final más agradable.

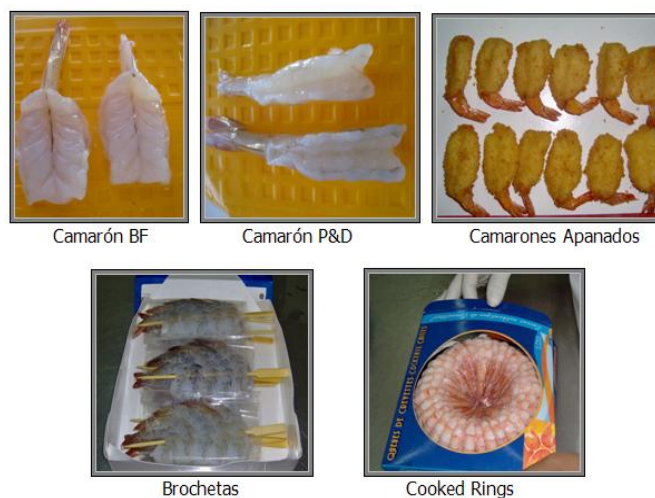


Figura 1.10. Productos de Valor Agregado existentes en el Mercado

Fuente: Catálogo de la Empresa, Procedimientos (6)

El beneficio de procesar un producto con valor agregado es doble, debido a que reduce las mermas y tiempo de mano de obra para los consumidores como las cadenas de restaurantes, puesto que los platillos que ofrecen requieren de camarones pelados y desvenados.

Por otra parte, existe ya una tendencia de adquirir productos de valor agregado en forma de producto final listo para el consumo. Es así que el camarón con valor agregado sería la nueva oportunidad para abrir mercados a nivel internacional, para los productores camaroneros ecuatorianos y la alternativa de competir con países exportadores de dicho producto.



### **Justificación del tema**

Una vez mencionadas las características del camarón como materia prima y como producto final, complementados con ciertos principios básicos del proceso físico al que serán sometidos, en el siguiente capítulo se procederá a la descripción de la situación actual de la empresa en mención; a fin de conocer características y parámetros más específicos del proceso, tales como: capacidades de producción, temperaturas y tiempos de cada equipo de congelación rápida (Salmuera por Aspersión y Aire Forzado), sistema de frío, métodos de operación de los equipos, entre otros; con el objetivo de estudiar el impacto que tienen las diferentes condiciones del proceso antes mencionadas sobre el producto final, tanto en sus características físicas, químicas y sensoriales.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA EMPACADORA DE CAMARÓN.**

#### **2.5.Sistema Combinado de Congelación Rápida (Salmuera por Aspersión y Aire Forzado).**

Debido a la gran demanda que existe en el mercado internacional de este tipo de producto (Camarones Congelados) la industria empacadora de camarón, de la que se está refiriendo en el proyecto, busca incrementar la producción en la línea de I.Q.F. mediante la combinación de dos de sus equipos de congelación rápida (Salmuera por Aspersión y Aire Forzado).

Ambos equipos congelan de manera individual; el equipo de Salmuera por Aspersión es utilizado para congelar el camarón que se utiliza como materia prima para otros procesos (valor agregado / productos especiales), es decir que a una temperatura de -15 °C es almacenado en cámara y después es utilizado para otros procesos.

Sin embargo, con este tipo de congelación el camarón permanece mucho tiempo en el equipo (aproximadamente 10 minutos), por lo que la ganancia de sal debido a la salmuera es considerable (1.2 % de cloruros), obteniendo un producto muy salado afectando las características sensoriales (sabor) del producto final.

Por otro lado, el equipo de Aire Forzado se utiliza para congelación final del camarón, puesto que opera a temperaturas de  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , logrando obtener un producto a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  listo para ser empacado como producto terminado y ser guardado en cámaras de almacenamiento.

No obstante, el camarón se expone mucho tiempo al aire frío (8 -10 minutos) que circula dentro del equipo, puesto que para obtener un producto congelado a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  la temperatura del equipo debería tener temperaturas más bajas para así disminuir los tiempos de residencia y adquirir un producto congelado sin dañar la superficie del camarón.

A continuación se describe con detalle el funcionamiento individual y combinado de los equipos en cuestión.

### Condiciones iniciales de cada equipo:

El equipo de Salmuera por Aspersión recibe el camarón que proviene en gavetas de: 45 libras si es cola y 26.5 libras si es entero, a una temperatura de 6 °C; después se disponen de gavetillas para entrar al equipo que posee 4 carriles donde se colocarán dichas gavetillas (por cada gaveta: si es cola 4 gavetillas, si es entero 3 gavetillas). El equipo debe mantener una temperatura de operación entre -15 °C y -16 °C (Véase Fig. 2.1.), con el fin de obtener un producto congelado que pueda ser usado como materia prima para procesos de valor agregado a  $^{\circ}T = -15$  °C (4).

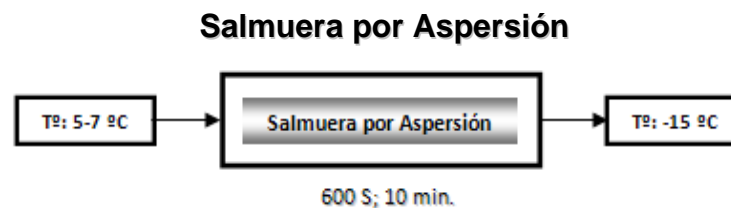


Figura 2.1. Temperaturas y Tiempo de Proceso en el Equipo de Salmuera por Aspersión

El equipo de Aire Forzado recibe de igual manera el camarón, la variante para este proceso es el uso de aire en vez de salmuera (Véase Fig. 2.2.), además de alcanzar temperaturas más bajas de proceso de -35 °C, de tal forma que el camarón se congele a una temperatura de -18 °C al final de la línea (3).



Figura 2.2. Temperaturas y Tiempo de Proceso en el Equipo de Aire Forzado

Conociendo el funcionamiento individual de cada equipo mencionado, se puede definir que el problema radica en los tiempos de congelación; puesto que, al pasar el camarón más tiempo en los equipos se tiene un porcentaje de productividad bajo, además del problema que se mencionó inicialmente (sensorial). Por tal motivo, la combinación de ambos equipos se realiza por medio de una banda transportadora (Véase Fig. 2.3.), teniendo como congelación previa al equipo de Salmuera por Aspersión y al equipo de Aire Forzado como congelación final.

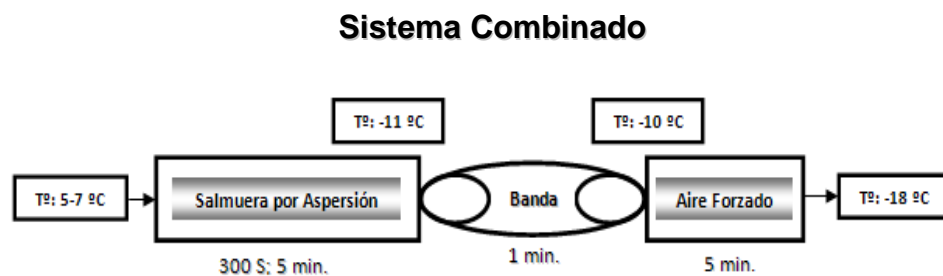


Figura 2.3. Temperaturas y Tiempos del Sistema Combinado (Salmuera por Aspersión – Aire Forzado)

Como se observa en el esquema de la Figura 2.3., los parámetros del proceso cambian en los equipos, debido que al combinarse el equipo de Salmuera por Aspersión solo necesita congelar el producto a una temperatura negativa considerable (temperatura del camarón al final de  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para su temperatura de proceso ( $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), con un menor tiempo de recorrido (banda) aproximadamente de 5 minutos (1).

Por su lado el equipo por Aire Forzado se beneficiará puesto que la temperatura con la que ingresa el camarón al equipo es  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (se estima ganancia de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  de equipo a equipo); lo que significa que el equipo requiere menos tiempo de residencia por banda (5 minutos) para lograr alcanzar una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1), debido que el camarón se encuentra a temperaturas menores a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (no pasa por el calor latente donde se necesita más potencia para quitar el calor del producto).

Más adelante se presenta el esquema de la línea de frío de los sistemas combinados, además de describir cada uno de los equipos en cuestión.

### 2.5.1. Capacidades de Producción Actuales.

En la línea de I.Q.F. se cuenta con una capacidad de producción diaria aproximadamente de 120.000 libras de camarón congelado, es decir 60.000 libras por turno, capacidad medida con el sistema combinado que se detalló anteriormente (Salmuera por Aspersión – Aire Forzado), todo lo mencionado siempre y cuando los parámetros del proceso (temperaturas y tiempos) se mantengan dentro del rango, como se mostró en la Figura 2.3.

Cada turno trabaja 12 horas al día, considerando el tiempo del personal para almorzar y el defrost<sup>(c)</sup> de los equipos que se realiza con el fin de operar eficientemente durante el proceso (al final de cada turno), se obtiene un tiempo productivo aproximado de 10 horas, lo que da un valor promedio de 6.000 libras de camarón congelado por hora.

La capacidad nominal del equipo de Salmuera por Aspersión congelando individualmente es aproximadamente 2.500 libras por hora en un tiempo de 10 minutos con una temperatura de salmuera de -15 °C.

---

<sup>(c)</sup> **Defrost:** Es un procedimiento que se realiza periódicamente en los frigoríficos y congeladores para mantener su eficacia operativa.

Considerando además que la temperatura del equipo (operación) se mantenga dentro del rango (-16 °C), caso contrario si la temperatura varía desfavorablemente el tiempo de residencia del camarón en el equipo aumenta lo que disminuye la productividad.

El equipo de Aire Forzado posee una capacidad de producción mayor, aproximadamente de 3.000 libras por hora operando por unos 8 minutos a una  $\Delta T$  de -35 °C. De igual manera, estos valores se obtienen sino existe un cambio significativo en la temperatura del equipo para no alterar los tiempos.

Analizando entonces el sistema combinado referente a las capacidades se puede concluir que la combinación logra disminuir el delta de transferencia de calor para cada equipo, es decir que el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada disminuye considerablemente a unos 10 minutos de proceso pasando por los dos equipos.

Según registros en el esquema combinado, las capacidades aumentan a 6.000 libras por hora (Véase Tabla 2.1.). Dicha cantidad no satisface la producción que se desea obtener, puesto que ambos equipos individualmente trabajando daban



en conjunto 5.500 libras por hora (considerando que las 2.500 libras provenientes del equipo por aspersión son solo para materia prima); y al obtener 6.000 libras con el proceso combinado no representa un cambio considerable (6).

<b>EQUIPO</b>	<b>CAPACIDAD (libras/h)</b>	<b>CAPACIDAD (libras/turno)</b>
Salmuera/Aspersión	2.500	25.000
Aire Forzado	3.000	30.000
Combinado	6.000	60.000

Tabla 2.1. Capacidades de Congelación en la Línea I.Q.F.

Fuente: Catálogo de la Empresa, Procedimientos (6)

Por tal razón, más adelante se propone ajustar el sistema combinado para lograr la mayor producción posible manteniendo las características del camarón congelado a lo largo de la línea. Se estima congelar unas 8.000 libras por hora para justificar el sistema planteado (Véase capítulo 4).

## **2.6. Descripción de Equipos.**

### **2.6.1. Salmuera por Aspersión.**

**Equipo:** La congelación rápida se da por contacto directo de la salmuera que se encuentra a bajas temperaturas, la congelación puede ser por inmersión o por aspersión.

La industria camaronera cuenta con un equipo de aspersión con salmuera (Véase Fig. 2.4.) el cual presenta un diseño con dos módulos con recirculación de salmuera cada uno, congelados por placas (bucos) que se encuentran ubicadas por debajo de cada módulo las cuales son enfriadas con refrigerante amoniaco para que la salmuera alcance una temperatura baja ( $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y pueda congelar el camarón sin pasar mucho tiempo en el equipo.

El camarón no puede pasar al granel, solo en gavetillas que pueden contener hasta 12 libras puesto que las bandas transportadoras se presentan como carriles.

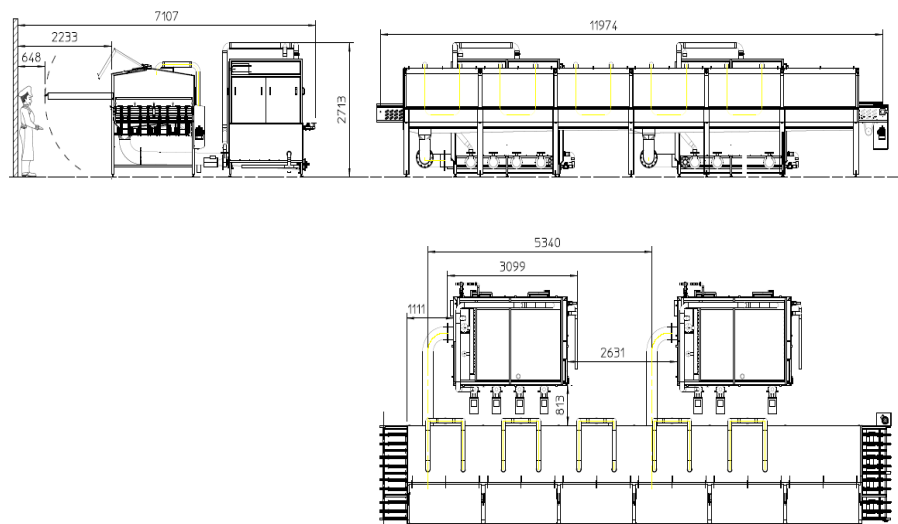


Figura 2.4. Equipo de Salmuera por Aspersión

Fuente: Catálogo del Equipo, Salmuera por Aspersión (4)

Se observa en la Figura 2.4., un equipo de congelación de Salmuera por Aspersión formado por dos módulos, en cada módulo hay aspersores, donde la salmuera va a fluir hasta llegar a la cabina, que se bombea al iniciar el proceso de congelación; en el primer módulo hay tres tuberías principales las cuales poseen individualmente dos secundarias para poder fluir por todo el equipo (Véase Fig. 2.5.), mientras que en el segundo módulo se encuentran dos.

La razón por la que el primer módulo cuenta con tres tuberías es debido a que en la primera sección del equipo el producto pasa a calor latente (mayor energía), por lo que se requiere de más congelación (4).

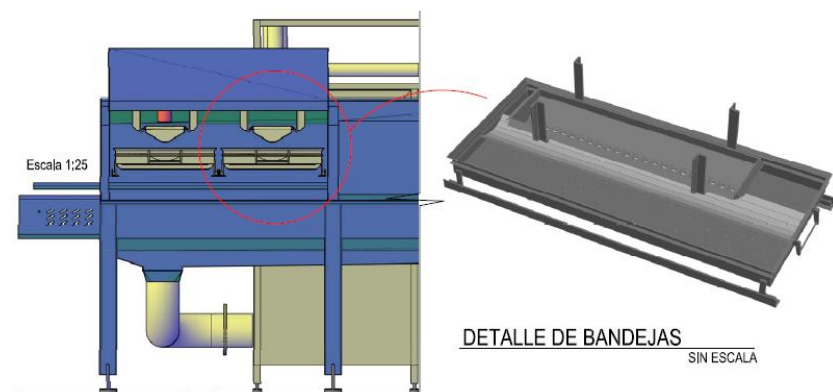


Figura 2.5. Sistema por Aspersión, Bandejas por donde cae la Salmuera

Fuente: Catálogo del Equipo, Salmuera por Aspersión (4)

**Salmuera:** La salmuera utilizada para la congelación en el equipo de aspersión, es una solución acuosa de sales que tienen un punto de congelación inferior al del agua pura. Así mismo, cualquier líquido que se utiliza en el sistema de refrigeración para transferir calor se denomina salmuera.

Una salmuera eutéctica es una solución compuesta por una o más sustancias disueltas en agua en proporciones tales, que se obtiene el punto de congelación más bajo posible con esas sustancias. En el presente proyecto se trabaja con una mezcla de sal y azúcar para disminuir en cierto punto el sabor salado del camarón al final de este equipo.

#### **2.6.1.1. Preparación y Recarga de la Salmuera.**

##### **Preparación de la Salmuera:**

Para la preparación de la salmuera hay que considerar que la capacidad del equipo es de 7.500 litros por los dos módulos. A continuación se detalla el proceso (5).

1.- Se prepara en el mezclador la salmuera con sal fina (solo sal), bombeando en 400 litros de agua 150 Kilos de sal, se lo deja agitando unos 10 minutos, después se abre la llave que

va desde el agitador hasta el módulo posterior (donde sale el producto), para lo cual se requiere mantener baja la temperatura de la salmuera ( $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

2.- Se realizan unas tres bombeadas y se limpia el mezclador, así sucesivamente hasta obtener una solución de 15 % sal (Véase Fig. 2.6.). Se prende la bomba para que comience a circular la solución dentro del equipo por unos 30 minutos.

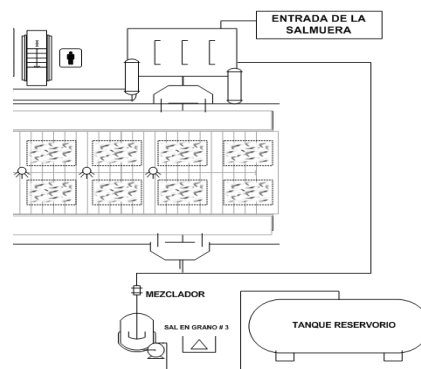


Figura 2.6. Preparación de Salmuera, utilizando un Mezclador

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

3.- Luego que se ha preparado la solución de salmuera con sal, se procede a la preparación del jarabe (azúcar y agua) donde por cada 132 kilogramos de azúcar se necesitará 120 litros de agua (se debe mezclar a una temperatura de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente). Por lo tanto, para la preparación se requiere unos 900 kilogramos de azúcar.

4.- Cuando la solución de azúcar este lista ( $^{\circ}T = 14 \text{ }^{\circ}C$ ) se procede a verter en los módulos por medio de las rejillas de recargas lo que representaría 12 % de jarabe en la solución.

5.- Una vez realizado este proceso (el nivel de salmuera correcto), se dosifica 750 ml de Dióxido de cloro (5–10 ppm) para mantener la solución limpia (antimicrobiano).

Con todo lo explicado, la salmuera posee un tiempo de vida útil de 15 días aproximadamente.

#### **Recarga de la Salmuera:**

La salmuera debe ser renovada cada hora debido que, al pasar grandes cantidades de camarón por hora la concentración de sal se va perdiendo, por lo tanto es de considerar que al no tener la misma concentración inicial la temperatura de congelación no será la misma ( $^{\circ}T > -15 \text{ }^{\circ}C$ ). A continuación se detallará como preparar dicha solución (5).

Las cantidades de azúcar y sal son las siguientes:

- ✓ 10 litros solución de azúcar / módulo = 20 litros / h de solución de azúcar total

Solución de azúcar = 1.5 de azúcar para 1 de agua

- ✓ 16.5 kg. de sal / módulo = 33 Kg. / hora de sal total para el equipo

### 2.6.1.2. Propiedades Físicas y Termodinámicas de la Salmuera.

Considerando que la salmuera se prepara con una mezcla de sal y azúcar (jarabe), las características físicas de la salmuera cambia al no ser ésta una sustancia pura, por lo tanto no puede ser relacionada con una tabla de salmuera con cloruro de sodio. Según registros (Tabla 2.2.), para lograr ajustar la nueva fórmula de salmuera con la de una sustancia pura, se obtuvo los siguientes valores:

°T de Operación	°T de Salmuera	Densidad Baume	% de Sal	% de Azúcar	Peso por Lt		
					NaCl Kg/Lt	Azúcar Kg/Lt	Agua Kg/Lt
-18 °C	-15 °C +/- 1 °C	21 <sup>0</sup> +/- 1 °B	15 +/- 1	12 +/- 1	0.2 +/- 0.02	0.12 +/- 0.01	0.64 +/- 0.01

Tabla 2.2. Propiedades Físicas y Termodinámicas de la Salmuera

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Con estos valores se opera el equipo por aspersión para congelar el camarón, además se deben considerar otros parámetros, como la cristalización.

Una salmuera eficiente debe permanecer en estado líquido a la temperatura más baja en que vaya a usarse, puesto que si se congela formaría hielo afectando la eficiencia del evaporador por lo que reduciría la capacidad de transmitir calor.

Las concentraciones de los sólidos deben manejarse con mucho cuidado para lograr una mezcla eutéctica adecuada para mantener la solución de salmuera a las temperaturas más bajas sin llegar a la cristalización (9).

### 2.6.2. Aire Forzado.

**Equipo:** Tiene forma de cabina, el equipo puede ser transportado fácilmente por su diseño (Véase Fig. 2.7.). La congelación en este equipo se da por el ingreso de aire que está a muy bajas temperaturas ( $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el aire es obtenido por los grandes ventiladores (evaporadores) que se encuentran en la parte interna del equipo (3).

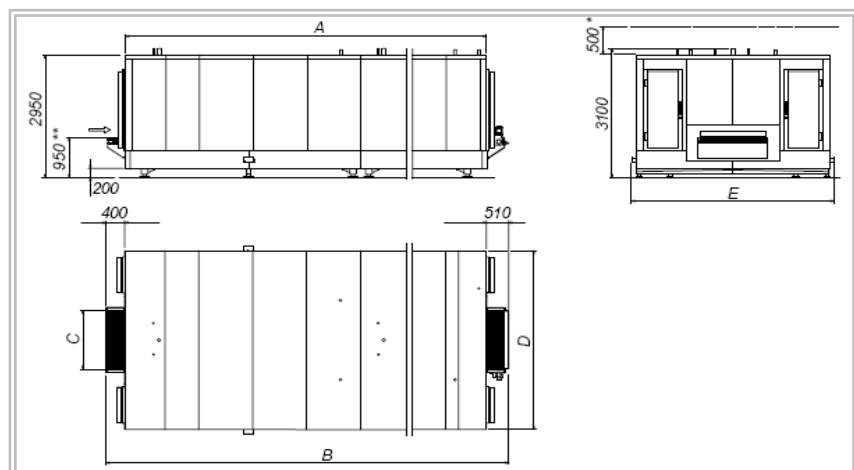


Figura 2.7. Equipo de Aire Forzado

Fuente: Catálogo del Equipo, Aire Forzado (3)



Este equipo permite operar según la presentación del producto que se desea congelar, ya sea al granel o en bloque cambiando así tiempos y temperaturas, en caso de ser en granel el tiempo y la temperatura son ( $^{\circ}T = -35^{\circ}C$ ,  $t = 5$  min.); por otro lado, si es en bloque los tiempos son mayores (alrededor de 10 minutos).

El congelador de aire forzado ofrece todas las velocidades y la calidad de la congelación criogénica (Véase Fig. 2.8.), utilizando un sistema de evaporación potente con ventiladores que circulan en el interior de la cabina (3), lo que asegura que la forma y la apariencia del producto se conserve.

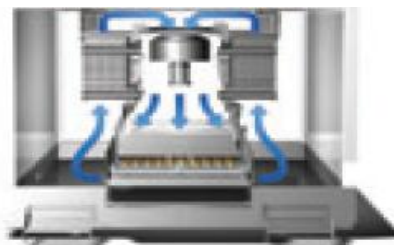


Figura 2.8. Flujo de Aire en el Interior del equipo por Aire Forzado

Fuente: Catálogo del Equipo, Aire Forzado (3)

Además el congelador está diseñado para permitir la plena inspección visual de todas las superficies (3), eliminando el riesgo oculto de la higiene y los riesgos inesperados.

### 2.6.2.1. Temperaturas y Tiempos del Proceso.

El equipo de congelación por Aire Forzado opera bajo las siguientes condiciones (3):

- ✓ Temperatura del equipo: -35 °C
- ✓ Temperatura del amoniaco: -37 °C
- ✓ Velocidad de la banda: 5 min
- ✓ Temperatura de entrada del producto: -10 °C
- ✓ Temperatura de salida del producto: -18 °C

Se debe considerar que tanto tiempo como temperaturas operacionales dependen de la temperatura con la que ingresa el camarón al equipo, teniendo como objetivo alcanzar una temperatura de -18 °C al final de la línea.

Según registros se puede establecer un estándar para el equipo (temperatura final de referencia -18 °C), presentando la siguiente tabla (Tabla 2.3.).

Producto		Equipo		Tiempos (minutos)
°T inicial	°T final	°T proceso	°T amoniaco	
-10 °C +/- 1.5 °C	-18 °C	-34 °C +/- 2 °C	-37 °C +/- 2 °C	5 +/- 1 °C

Tabla 2.3. Temperaturas y Tiempos de Proceso Estándar del Equipo de Congelación por Aire Forzado

## 2.7. Descripción del Proceso.

En la línea de I.Q.F. se realizan varias presentaciones de producto terminado al granel. Por tal motivo, el diagrama que se presenta a continuación (Véase Fig. 2.9.) será aplicado para las distintas presentaciones que se realizan en la línea de productos congelados.

### Diagrama de Flujo del Proceso Combinado de I.Q.F.

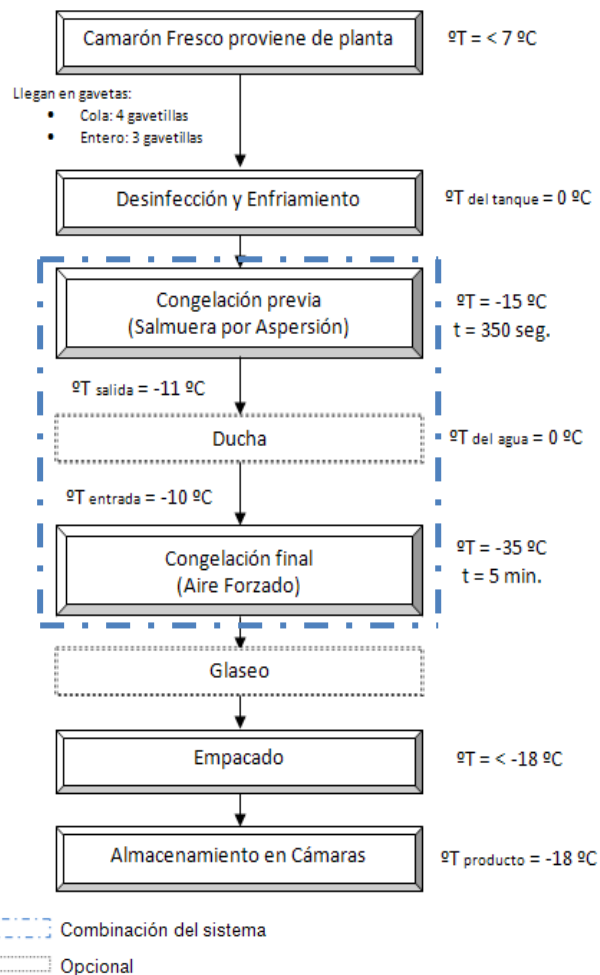


Figura 2.9. Diagrama de Flujo de Línea I.Q.F., Combinación (Salmuera por Aspersión – Aire Forzado)

A continuación se detalla cada etapa del proceso:

✓ **Ingreso de la Materia Prima a la Planta.-**

El camarón fresco ingresa a la línea de productos congelado (I.Q.F.) clasificado por tallas; se debe considerar también que la temperatura con la que ingresa el camarón a la línea es  $< 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , caso contrario se pueden presentar problemas organolépticos (melanosis).

✓ **Desinfección.-**

Se lo realiza en tanques de lavado de 800 litros con 200 ml de dióxido de cloro (10 - 25 ppm). En esta etapa se debe asegurar de remover el hielo de la gaveta.

✓ **Pre enfriamiento.-**

Se ubica el camarón en gavetillas (dependiendo si es cola o entero) luego se sumergen las gavetillas en el tanque con agua helada a fin de que el camarón alcance una temperatura aproximada de  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

✓ **Congelación Previa (Salmuera por Aspersión).-**

El camarón puesto en gavetillas (no más de 12 libras c/gavetilla), es ingresado al equipo seteado a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  para que la salmuera alcance los  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El camarón pasa durante 300 seg. +/- 50 seg., logrando así una temperatura final del camarón de  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

✓ **Ducha.-**

Saliendo el camarón del equipo por aspersión es opcional, dependiendo del proceso, el uso de una ducha cuya función principal es la de eliminar el exceso de sal en el producto.

✓ **Congelación Final (Aire Forzado).-**

El camarón ingresa a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (se gana  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la banda), el equipo se encuentra seteado a  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  a un tiempo de 5 minutos para que el camarón congelado salga a temperaturas menores a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

✓ **Glaseo.-**

La técnica del “glaseado” o “hielo” consiste en el recubrimiento del producto congelado con una pequeña capa de agua a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

✓ **Empaque.-**

Esta etapa varía según los requerimientos del cliente. Dependiendo del proceso se estima la mano de obra y material de empaque.

✓ **Almacenamiento en Cámaras.-**

El producto congelado una vez empacado es transportado a las cámaras de almacenamiento las cuales se encuentran a temperaturas por debajo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A continuación se presenta un esquema del sistema combinado (Figura 2.10.), indicando temperaturas y tiempos de proceso.

# DISTRIBUCIÓN PRELIMINAR DEL SISTEMA COMBINADO (SALMUERA POR ASPERSIÓN – AIRE FORZADO)



Figura 2.10. Esquema de la Línea: Salmuera por Aspersión – Aire Forzado

Elaborado por: Jorge Álavay Sue González, 2009

### **2.7.1. Esquema de Línea de I.Q.F.**

Actualmente la línea de frío del equipo de Salmuera por Aspersión cuenta con 3 compresores de pistón de 58 BHP c/u (174 BHP totales), los cuales operan, ya desde 25 años aproximadamente, en la planta procesadora (cabe destacar que los compresores también son utilizados por las placas cuando el equipo por aspersión no esta operando); por lo cual la eficiencia a disminuido hasta en un 70% (4). Cada compresor posee un Intercooler, el cual hace un efecto de doble etapa de compresión facilitando así el trabajo realizado (mayor detalle en el capítulo 4).

La potencia consumida por los 3 compresores debe ser suficiente para comprimir las 90 toneladas de refrigerante que el sistema de evaporación (Buco) posee como capacidad de refrigeración.

El refrigerante amoniaco que es comprimido por el sistema de 3 compresores con Intercooler, es llevado a un condensador de tubos por donde pasa agua fría para poder transferir calor y pasar de estado gaseoso a líquido el refrigerante; por lo que se emplea 2 torres de enfriamiento para mantener el agua fría en el condensador.

El ciclo continua con la válvula de expansión cuyo trabajo es el de bajar la presión hasta llegar a la temperatura de evaporación (-25 °C). Más adelante se indica con detalle lo antes expuesto, mostrando las líneas de conexión entre los equipos de frío (Véase Plano 1).

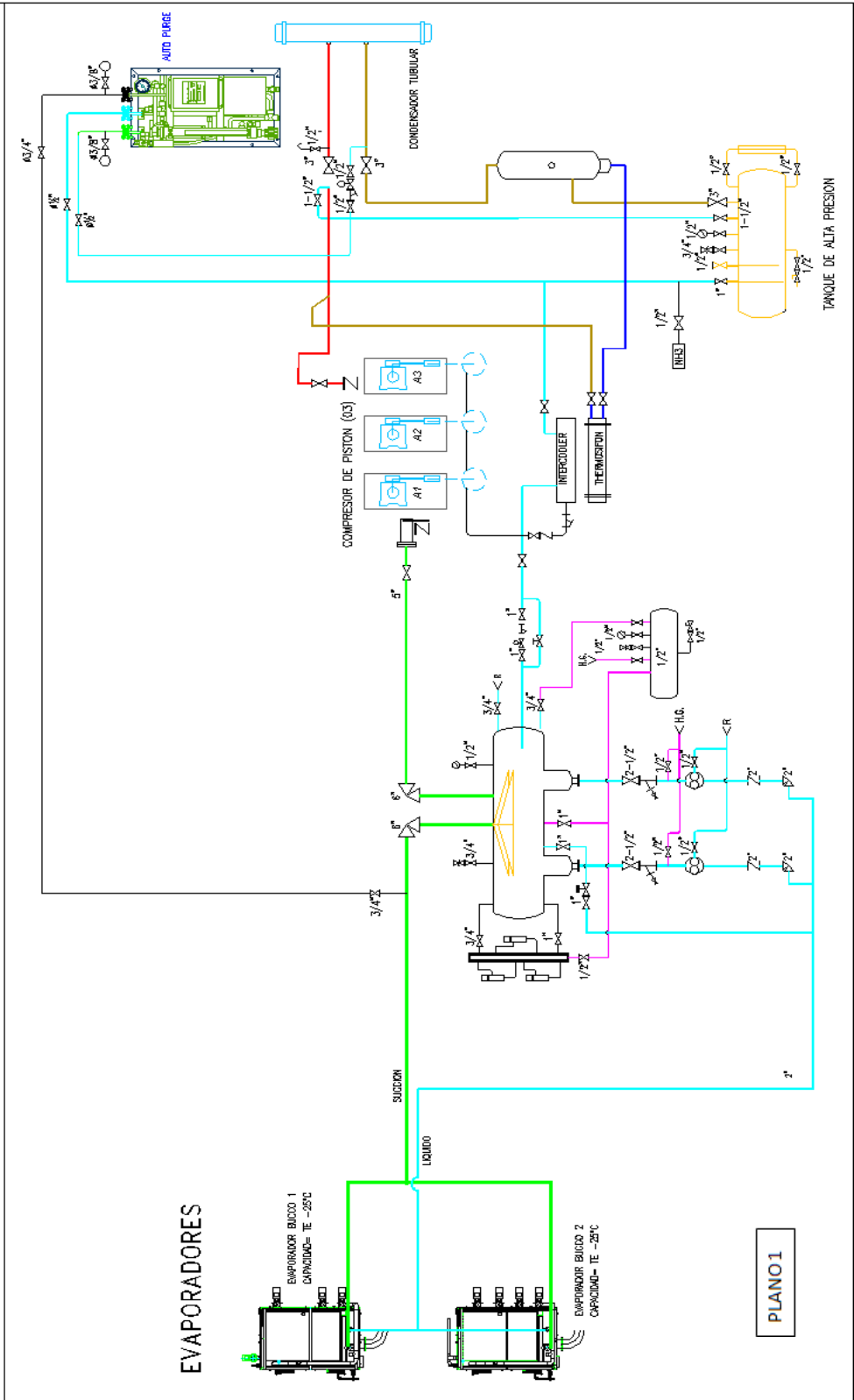
Por otro lado, el equipo de Aire Forzado muestra un sistema de línea de frío totalmente diferente trabajando con un solo compresor de tornillo cuya potencia consumida es de 243.5 BHP, lo cual es suficiente para recibir la carga refrigerante proveniente de los evaporadores de serpentín (sistema combinado con ventiladores que permiten la circulación homogénea y total dentro de la cabina).

Además el sistema comprende un condensador evaporativo el cual brinda una eficiencia ideal para el proceso, debido a su diseño el cual hace de condensador y torre de enfriamiento; logrando obtener así temperaturas más bajas facilitando el enfriamiento para después seguir con el ciclo respectivo hasta llegar nuevamente a los evaporadores.

De igual manera en el Plano 2 se puede apreciar con detalle el esquema de la línea de frío en el equipo de Aire Forzado.

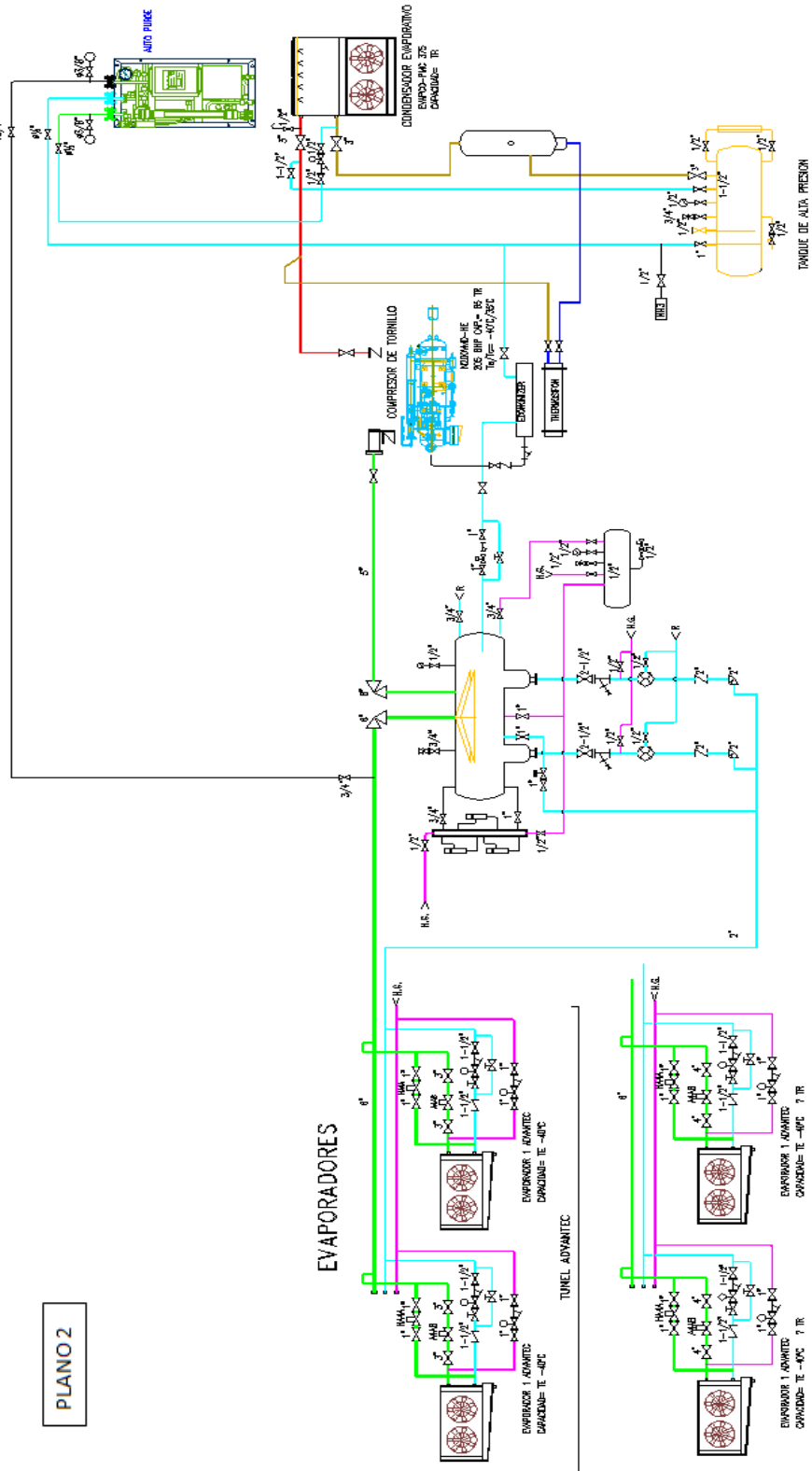


# SALMUERA POR ASPERSION



# AIRE FORZADO

PLANO 2



### **2.7.1.1. Análisis del Sistema de Frío Actual de la Planta.**

El sistema combinado de Salmuera por Aspersión y Aire Forzado muestra una mejor productividad comparada con el uso individual de cada uno de los equipos. Habiendo expuesto las condiciones y parámetros de los mismos para que operen conjuntamente, y mostrando además el esquema de las líneas de frío se analiza cada equipo con el objetivo de ajustar el proceso para poder brindar un producto de calidad al menor tiempo posible logrando así aumentar la productividad.

#### **Análisis del equipo Salmuera por Aspersión:**

Según lo expuesto anteriormente, dicho equipo presenta algunos puntos importantes a considerar, como: los cambios de temperatura de la salmuera, potencia de los compresores, características de la salmuera (físicas), entre otras.

La temperatura de proceso se debe mantener a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  como se mencionó anteriormente para que no exista cambio en la temperatura de salmuera, dicha temperatura de proceso se mantiene siempre y cuando el sistema de frío (compresor, evaporador, condensador) operen adecuadamente según los requerimientos del equipo.

El equipo no presenta un sistema individual de frío, sino que comparte los compresores de la línea de placas (3 compresores de pistón de solo 58 BHP c/u); lo cual infiere mucho en el proceso puesto que al no tener una compresión lo suficientemente alta (necesario durante el proceso), la temperatura de salmuera durante el día irá variando ( $T > -15$  °C), además de que la producción disminuiría debido que necesitaría más tiempo de residencia por el equipo para cubrir la necesidad del producto, por lo que las proyecciones de libras congeladas durante el día no serán constantes.

Al principio se pensaba que se debía a la temperatura de ingreso del camarón, sin embargo el calor sensible es fácil de remover. Se pensó entonces en los compresores debido a la potencia que éstos poseen, además de considerar el tiempo que llevan operando y la potencia que brindan en conjunto para poder comprimir el refrigerante.

A medida que pasa el camarón en el equipo, las presiones de los compresores aumentan y por consiguiente las temperaturas, ocasionando que la temperatura de salmuera aumente.

**Análisis del equipo Aire Forzado:**

El equipo presenta menos problemas que los expuestos en el otro equipo de frío, las temperaturas con las que opera son considerablemente bajas (-35 °C), sin embargo considerando su sistema de frío el cual presenta un compresor de tornillo de alta potencia y un condensador evaporativo, se piensa en lograr temperaturas más bajas (-37 °C) con el fin de reducir los tiempo de residencia en el túnel.

Según análisis realizados por parte de la industria empacadora se llegó a la conclusión de que se podría obtener dicha temperatura si se cambiaba las válvulas en la entrada y salida del compresor, las cuales eran relativamente pequeñas para las tuberías, por tal motivo no alcanzaba la temperatura nominal de operación.

Con este cambio realizado se logró establecer la temperatura del aire a -37 °C con una temperatura operacional de -40 °C, garantizando la reducción del tiempo de residencia a 4 minutos, por lo tanto el sistema combinado podrá operar más rápidamente y así mejorar la producción (libras / hora).

## **2.8. Evaluación de los Equipos Combinados frente a las Características de Calidad del Camarón Congelado.**

En el enunciado anterior se evaluó el comportamiento de cada uno de los equipos según su sistema de frío. Considerando lo analizado anteriormente, se pretende en ésta parte evaluar las características del camarón congelado durante todo el proceso y las variaciones que pueda tener durante la línea.

Por un lado, el equipo de Salmuera por Aspersión presenta problemas actualmente con respecto a las temperaturas de proceso debido a los cambios de presión dados con el sistema de compresión de vapor, causando que las características del camarón varíen desfavorablemente (sabor, textura).

Cuando la temperatura de operación varía, el tiempo de residencia también, ocasionando variaciones en la temperatura del camarón al final del proceso lo cual no garantiza que el producto salga a igual temperatura del equipo, es decir, a mayor tiempo de permanencia en el equipo, el producto ganará mayor cantidad de sólidos (sal); por lo tanto el camarón estará salado y es lo que se quiere demostrar experimentalmente mediante un método cuantitativo (análisis de cloruros) y método sensorial, que se detallará más adelante en el capítulo 3.

Otro motivo por el que el producto puede ganar concentración de sal puede ser por el método de realizar las recargas, puesto que al recargar la sal y el jarabe, la sal al no ser diluida correctamente puede concentrarse en un solo lugar provocando que exista camarones con mayor concentración de sal que otros.

Las recargas se las realiza cuando se estima una pérdida de sal en la composición de la salmuera que provoca que la temperatura de la solución aumente. Si el balance entre jarabe y sal no son los adecuados hay riesgo para que hongos aparezcan y se desarrollen, además de existir corrosión en el equipo (9).

Por lo que, se debe determinar el tiempo de vida útil de la salmuera adecuado para evitar los aspectos antes mencionados, además de utilizar de manera adecuada el uso de dióxido de cloro en la fórmula para asegurar la inocuidad.

Respecto al equipo de Aire Forzado se estudiará la formación de cristales que se podría dar por los tiempos de residencia y las temperaturas con las que se operaba el equipo ( $^{\circ}T = -35 \text{ }^{\circ}C$ ,  $t = 5$  minutos).

Dicho experimento se detalla más adelante en el capítulo 3, donde se busca establecer si existe o no un cambio considerable en la textura del producto final.

Después se evaluarán los resultados obtenidos respecto a la textura del camarón y la formación de cristales con los datos que se obtenga una vez realizado el cambio de válvulas en el equipo de Aire Forzado el cual se detalló en el enunciado anterior.

Las temperaturas alcanzadas por el equipo, con el cambio de válvulas, alcanza temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  del refrigerante y  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$  de proceso, para lo cual se estima un tiempo de residencia por el equipo menor (4 minutos), mejorando el proceso de congelación.



## CAPÍTULO 3

### **4. EVALUACIÓN FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAMARÓN CONGELADO EN EL SISTEMA COMBINADO.**

El presente capítulo tiene como objetivo principal, medir los principales problemas que se presentaron en el capítulo 2, como la concentración de cloruros y exudado en el producto final. Con la medición de dichas variables se espera mejorar las características del camarón, ajustando el proceso de congelación.

Para evaluar física y sensorialmente el camarón, se requiere de la adecuada elección de una metodología para la experimentación, en este proyecto se ha elegido un diseño de experimentos utilizando el modelo  $2^k$  (donde k es el número de variables). En primer lugar se obtienen las variables más representativas (temperatura, tiempo y densidad de la salmuera), de las cuales la densidad se deja como constante. Por ende, el modelo  $2^k$  tendría 4 datos (2 de temperatura y 2 de tiempo).

Las variables (tiempo y temperatura) atribuyen cambios en el producto tanto en la textura (exudado) como en el sabor, por lo tanto según registros de tiempos y temperaturas del proceso en el equipo de Salmuera por Aspersión se encontraron los siguientes rangos de operación (Véase Tabla 3.1.), teniendo en cuenta que dicho análisis servirá para evaluar el proceso cuando se encuentre a  $^{\circ}T = -15^{\circ}C$ ,  $t = 300$  segundos.

Tiempo		Temperatura	
Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima
200 seg.	400 seg.	-14 °C	-16 °C

Tabla 3.1. Rangos Operacionales de Tiempo y Temperatura de Proceso en el Equipo de Salmuera por Aspersión

Fuente: Catálogo del Equipo, Salmuera por Aspersión (4)

Se evalúa características físicas y sensoriales (cloruros) del camarón en el equipo de Salmuera por Aspersión, mientras que en el equipo de Aire Forzado se analiza el producto respecto a sus características físicas (exudado).

La evaluación del camarón en el equipo de Salmuera por Aspersión se realiza procesando el camarón bajo los rangos de proceso mencionados en la Tabla 3.1., donde se quiere observar el efecto del tiempo de residencia en el equipo por duchas de salmuera.

Por otro lado, en el equipo de Aire Forzado la evaluación se logra haciendo pasar el camarón previamente por el equipo de Salmuera por Aspersión, manteniendo los rangos operacionales; para después congelar el producto a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , analizando principalmente el exudado.

A continuación se detalla el estudio del camarón en los equipos en cuestión y el impacto de las variaciones del proceso en sus características como producto final.

#### **4.1. Estudio de la Concentración de Salmuera Adquirida por el Camarón vs Tiempo de Residencia en el Equipo de Salmuera por Aspersión.**

El camarón al ser congelado mediante aspersiones de salmuera adquiere una cantidad determinada de sal (cloruro de sodio), la cual se incrementará en función del tiempo que permanezca en el equipo.

La concentración de sólidos ganados durante el proceso se obtiene mediante la toma de muestras a diferentes tiempos y a las diferentes temperaturas de proceso que se presenta en el equipo de salmuera por aspersión durante una jornada entera de trabajo (Tabla 3.1.).

El método químico, en conjunto con la evaluación sensorial, servirá para establecer cuáles serán las condiciones más adecuadas del proceso ( $t$  y  $^{\circ}\text{T}$ ) para obtener un producto congelado sin alteración

de una de sus características sensoriales principales como es el sabor.

Se desea determinar hasta que punto la ganancia de sólidos es aceptable para el consumidor, lo cual involucra el tiempo ideal de permanencia en el equipo de congelación de salmuera por aspersión.

#### **4.1.1. Determinación de Cloruros por Método Químico.**

En productos alimenticios como el camarón, el sabor es muy importante y por tal motivo se requiere conocer la concentración de sal (cloruro de sodio) que adquiere luego de un proceso en donde entra en contacto con una solución de salmuera que aunque sirve para su congelación, la cual incorpora sólidos en la composición del producto, por lo que es necesario realizar un análisis.

Los cloruros se determinarán mediante una prueba cuantitativa que indica la cantidad de cloruro de sodio que se encuentra presente en el camarón.

Dicha prueba puede determinarse por el método de Mohr que consiste en una titulación directa con nitrato de plata 0.01085N en presencia de indicador Cromato de Potasio (Ver Anexo 2).

Más adelante se presenta la fórmula para hallar el porcentaje de cloruro de sodio (NaCl). A continuación se detalla la fase experimental para la determinación de cloruros en el camarón congelado por salmuera.

### **Fase Experimental**

#### **Datos:**

En el experimento se tomaron muestras de camarones congelados en el equipo de Salmuera por Aspersión a 2 diferentes temperaturas y 2 tiempos de proceso, es decir, se obtendrán 4 tratamientos o condiciones a la que someterá el camarón durante el proceso, para cada tratamiento se tomarán 4 camarones de muestra para la jornada de trabajo. Se realizó el experimento durante 3 jornadas de trabajo, obteniendo así un total de 48 muestras para el análisis de cloruros.

Para realizar las distintas pruebas (cloruros, evaluación sensorial y exudado), se toma en consideración la talla más representativa en la producción, la cual es 31-35.

A continuación se presenta en la Tabla 3.2. los datos obtenidos de las muestras tomadas:

	Parámetros		Datos	
	T equipo (°C)	t pasaje (seg.)	T inicial del producto (°C)	T final del producto (°C)
<b>Prueba 1</b>	-14	200	7	-9
	-14	400	6,8	-12
	-16	200	7,2	-11
	-16	400	8	-14
<b>Prueba 2</b>	-14	200	7	-8
	-14	400	7	-11
	-16	200	6,9	-11
	-16	400	7,9	-14
<b>Prueba 3</b>	-14	200	7,5	-9
	-14	400	7,0	-11
	-16	200	7,5	-11
	-16	400	8,0	-13

Tabla 3.2. Muestras Tomadas a Diferentes Tiempos y Temperaturas del Equipo de Salmuera por Aspersión

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Una vez obtenidos los datos de los distintos tratamientos, según los rangos de temperatura y tiempo, se realiza los cálculos para obtener el porcentaje de cloruros en cada tratamiento (Véase Tabla 3.3.).

### Cálculos:

$$\% \text{ Cloruro de Sodio} = \frac{\text{consumo nitrato de plata} \times \text{su normalidad} \times \text{miliequivalente de cloruro} \times 100 \times 100}{\text{peso de muestra} \times \text{alícuota de la muestra}} \quad (\text{ec. 3.1.})$$

Normalidad del AgNO<sub>3</sub> = 0,01085

Miliequivalente del NaCl = 0,05845

Alícuota de la muestra (ml) = 5

## Resultados:

	Condiciones del Proceso				Resultado de Cloruros		
	T equipo (°C)	t pasaje (seg.)	T inicial del producto (°C)	T final del producto (°C)	Peso inicial de muestra (g)	Volumen consumido de AgNO <sub>3</sub> (ml)	NaCl (%)
<b>Prueba 1</b>	-14	200	7	-9	2,35	0,9	0,486
	-14	400	6,8	-12	2,18	1,6	0,931
	-16	200	7,2	-11	2,34	0,9	0,488
	-16	400	8	-14	2,14	1,8	1,067
<b>Prueba 2</b>	-14	200	7	-8	2,33	0,8	0,435
	-14	400	7	-11	2,05	1,4	0,866
	-16	200	6,9	-11	2,3	0,9	0,496
	-16	400	7,9	-14	2,15	1,7	1,003
<b>Prueba 3</b>	-14	200	7,5	-9	2,33	0,9	0,490
	-14	400	7,0	-11	2,13	1,5	0,892
	-16	200	7,5	-11	2,32	0,9	0,492
	-16	400	8,0	-13	2,31	1,9	1,043

Tabla 3.3. Cantidad de NaCl en Muestras de Camarón a Diferentes Temperaturas y Tiempos de Permanencia en el Equipo de Congelación de Salmuera por Aspersión

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Considerando que el camarón fresco presenta un porcentaje de cloruros entre 0.25 - 0.3 %, se observa en la Tabla 3.3. que aquellos tratamientos donde el tiempo de residencia es de 200 segundos, el porcentaje de cloruros se encuentra en 0.45 %; mientras que con un tiempo de residencia mayor (400 seg.), el porcentaje se encuentra en 1 %.

Respecto a las temperaturas de proceso, se observa en la Tabla 3.3. que a -14 °C hay menos ganancia de sólidos que a temperaturas de -16 °C, lo cual se da debido a que el punto de congelación para la salmuera es de -15 °C, por lo tanto a temperaturas más bajas (-16 °C) empieza la salmuera a

cristalizarse, por lo que el producto será congelado con una solución de salmuera más espesa, estimando más ganancia de sólidos al producto.

Según la Tabla 3.3. el tiempo y temperatura más adecuado es a  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 200 segundos, por lo que se obtiene un producto con bajo porcentaje de cloruros (0.45 %); sin embargo debido al tiempo de residencia, la temperatura final del producto no es lo suficientemente baja ( $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Con una temperatura de  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  a la salida del equipo de Salmuera por Aspersión, el equipo de congelación final (Aire Forzado) tendrá que pasar por más tiempo en la banda (5 min) a una temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  para lograr una temperatura menor a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Por lo tanto, considerando lo expuesto en el capítulo anterior sobre tiempos de residencia en el equipo de Salmuera por Aspersión, se realiza un tratamiento a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 300 segundos obteniendo un porcentaje de cloruros de 0.51 %, lo que se encuentra dentro del rango establecido, además que el producto sale a  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  del equipo. Con dicha temperatura el equipo de Aire Forzado solo deberá operar con 4 minutos para lograr una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  o menos.



Para complementar el estudio de ganancia de cloruros, se presenta a continuación una evaluación sensorial del sabor, tomando los mismos parámetros de la Tabla 3.2., en cuanto a tiempos y temperaturas se refiere.

#### **4.1.2. Evaluación del Sabor por Método Sensorial.**

Obtenidos los resultados de la concentración de cloruros adquiridos para las diferentes muestras, se procede a realizar la evaluación sensorial de dichos productos, a fin de establecer si la cantidad de cloruro de sodio determinada cuantitativamente mediante el método químico de análisis de sal, va a incidir en la aceptación del camarón como producto final, es decir con la evaluación sensorial se podrá comprobar si el producto con mayor cantidad de sólidos (NaCl) es detectado, en cuanto a su sabor, como el producto con mayor alteración sensorial y por lo tanto menor preferencia por parte del consumidor.

Se debe utilizar una metodología adecuada para el tipo de evaluación sensorial que se desea realizar y dependerá del número de muestras a ser analizadas y de la precisión de los resultados que se desea obtener.

### **Parte experimental**

La evaluación sensorial se realiza por el método de comparaciones múltiples, con 8 jueces entrenados. Para el análisis se necesita comparar una muestra que posee un grado de aceptación adecuado en condiciones de proceso optimas ( $T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 300$  segundos), la cual va a servir de referencia a otras muestras que han sido procesadas a diferentes condiciones de proceso (Véase Tabla 3.2.).

La prueba de comparaciones múltiples brinda la facilidad de realizar un análisis del parámetro sensorial que se desea evaluar de una manera más rápida que otras pruebas (2), puesto que en el análisis se cuenta con 4 muestras que se desea evaluar. Utilizando otro tipo de pruebas como la dúo trío implicaría el uso de mayor número de muestras y por ende cierto hastío por parte de los jueces.

Por tal motivo, la prueba sensorial de comparaciones múltiples es la más indicada para el análisis del sabor (salado) para las 4 muestras bajo las condiciones más severas de tiempo de residencia en el equipo de salmuera por aspersión.

A continuación se describe brevemente el diseño de la prueba sensorial (las fotos ver en Anexo 3):

### **Tipo de Prueba: Prueba de Comparaciones Múltiples**

**Objetivo:** Determinar si existe diferencia entre un grupo de muestras de camarón con distintas concentraciones de sal y diferentes condiciones de proceso (temperaturas y tiempos), frente a un camarón de referencia que posee una concentración de sal ideal (0.50 %).

**Tiempo de duración de la prueba:** 45 minutos

**Jueces:** Los jueces que intervienen en la prueba sensorial deben ser personas entrenadas, es decir, aquellas personas que trabajan en el área de calidad, supervisión y analistas las cuales poseen mucha experiencia en cuanto a la diferenciación de sabores y características organolépticas del camarón como producto final. Se solicitó la participación de 8 personas, entre ellas el Gerente de producción, Supervisores de producción y de calidad.

**Cantidad de muestra:** 1 porción (1camarón).

**Número de muestras totales por juez:** 5 camarones; 1 camarón de referencia y 4 muestras de camarones que se requieren analizar (distintos tratamientos).

**Materiales:**

- ✓ Vasos pequeños
- ✓ Agua potable
- ✓ Papel toalla
- ✓ Vasos medianos

**Preparación de las muestras:** Los camarones, una vez que han sido congelados en el proceso IQF (-18 °C), son llevados al laboratorio para su respectiva preparación; los camarones son descongelados y puestos a cocción a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 20 segundos, hasta tomar una coloración rosácea.

**Rotulación de las muestras:** Las 5 muestras que se distribuirán a cada juez constarán de una codificación, la cual diferencia cada muestra. La siguiente tabla (Tabla 3.4.) identifica cada una de las muestras y sus respectivos códigos.

Código	Muestra
<b>R</b>	Camarón de Referencia t= 300 seg °T= -15°C
<b>813</b>	Camarón congelado a: t= 200 seg °T= -14°C
<b>549</b>	Camarón congelado a: t= 400 seg °T= -14°C
<b>467</b>	Camarón congelado a: t= 200 seg °T= -16°C
<b>298</b>	Camarón congelado a: t= 400 seg °T= -16°C

Tabla 3.4. Rotulación de las Muestras, Evaluación Sensorial (Sabor)

### Ficha Sensorial Utilizada:

<b>FICHA SENSORIAL</b>				
Nombre: _____				Fecha: _____
<b>PRODUCTO CAMARÓN</b>				
Frente a usted hay 5 muestras de camarón, para que las compare en cuanto a su sabor. Una de las muestras está marcada con <b>R</b> y las otras tienen códigos. Se le pide que pruebe cada una de las muestras y las compare <b>R</b> . Según su criterio indique con una "X" donde corresponda.				
<b>Muestra</b>	<b>549</b>	<b>298</b>	<b>467</b>	<b>813</b>
Más salada que R	_____	_____	_____	_____
Igual que R	_____	_____	_____	_____
Menos salada que R	_____	_____	_____	_____
Indique cual es la diferencia:				
Nada	_____	_____	_____	_____
Ligera	_____	_____	_____	_____
Moderada	_____	_____	_____	_____
Mucha	_____	_____	_____	_____
Muchísima	_____	_____	_____	_____
<b>Observaciones:</b>	_____			
	_____			

Figura 3.1. Ficha Sensorial para Análisis del Sabor por Método de Comparaciones Múltiples

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

**Resultados:** Una vez culminada la prueba sensorial se procede a tabular los datos para posteriormente analizar el grado de significancia de los datos obtenidos de las 4 muestras mediante un análisis de varianza.

**Tabulación de Datos:** Para poder establecer una correcta interpretación de la percepción de cada juez en la prueba sensorial se requiere de la tabulación de los datos, es decir, las calificaciones que han dado los jueces en frases o palabras serán transformadas a números que permita el análisis de los resultados.

Las respuestas han sido transformadas de la siguiente manera:

1. **Muestra Igual que R:** Cuando el juez indicó que no había diferencia entre la muestra y el estándar, se le asignó a dicha muestra una calificación de **5**.

2. **Muestra más salada que R:** Calificación entre **6 y 9** puntos. Donde se asignó la puntuación de:

**6** si la diferencia es ligera.

**7** si la diferencia es moderada.

**8** si la diferencia es mucha.

**9** si la diferencia es exagerada.

3. **Muestra menos salada que R:** Cuando el juez indicó esta opción como respuesta, entonces se le dio a la muestra una calificación entre **1 y 4** puntos. Donde se asigna:

**4** si la diferencia es ligera.

**3** si la diferencia es moderada.

**2** si la diferencia es mucha.

**1** si la diferencia es exagerada.

En la Tabla 3.5. se muestra los valores dados por los jueces expertos para cada tratamiento.

Tabulación de datos					
Juez #	Muestras				
	549	298	467	813	TOTAL
1	6	9	6	4	25
2	6	8	5	5	24
3	7	8	6	5	26
4	6	8	5	5	24
5	7	7	5	5	24
6	7	8	5	5	25
7	7	8	5	4	24
8	7	9	6	5	27
TOTAL	53	65	43	38	199

Tabla 3.5. Tabulación de Datos, Evaluación Sensorial (Sabor)

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Los cálculos y resultados obtenidos, para encontrar el valor F (variable de estudio), se presenta en el Anexo 4. A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos.

**Análisis:** Los datos obtenidos se someten a un análisis de varianza y mediante los cálculos establecidos se construye la tabla de análisis de varianza (Tabla 3.6.), determinando la significancia de cada fuente de variación que puede existir en la prueba sensorial.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Varianza Estimada	F	F tabla	
					1%	5%
<b>Tratamientos</b>	3	53,3	17,781	63,22	4,87	3,07
<b>Jueces</b>	7	2,22	0,317	1,13	3,66	2,495
<b>Residual</b>	21	5,91	0,281			
<b>Total</b>	31	61,47				

Tabla 3.6. Análisis de Varianza, Evaluación Sensorial (Sabor)

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

El valor  $F_t$  se obtiene mediante la tabla de distribución F para pruebas de comparación múltiple (Ver Anexo 5), para evaluar los resultados en la tabla se entra con los grados de libertad de los tratamientos en el numerador y los grados de libertad del error en el denominador.

En la tabla de distribución F, para pruebas de comparaciones múltiples, se observa niveles de significancia (del 1% y 5%); con éstos niveles se desea comparar el valor de F calculado para determinar si existe diferencia significativa. Si  $F_c$  es mayor a  $F_t$ , entonces si existe diferencia significativa caso contrario no existirá tal diferencia.

Respecto a los tratamientos, para un 1% de significancia se obtuvo  $F = 4.87$  y para un nivel del 5% un  $F = 3.07$ , es decir que tanto para un 1 % como para una % 5 existe diferencia



significativa en cuanto a los tratamientos, puesto que el valor de F calculado fue mayor (63.22).

La diferencia entre los valores de F calculado y F por tabla es muy alta, lo que a su vez se refleja en el análisis de varianza, obteniendo un valor de  $V_t = 17,781$ .

Evaluando cada tratamiento se logra determinar que los valores, con tiempos de residencia de 400 seg., son los que presentan una varianza del 85 % del total de la prueba; en otras palabras aquellos tratamientos donde se congela el producto en contacto con la salmuera a 400 seg., revela un grado de significancia muy elevado el cual es percibido claramente por los jueces al momento de realizar la prueba sensorial.

Por otro lado, para evaluar a los jueces con el 1 % de significancia se obtuvo  $F = 3.66$  y para un nivel de significancia del 5 % un  $F = 2.495$ , por ende para un 1 % como para un 5 % no existe deferencia significativa en cuanto a la evaluación de los jueces, puesto que el valor de F calculado fue menor que el F de tablas.

En el caso de los jueces se observa que no existe diferencia significativa en sus resultados, lo que asegura que los datos obtenidos en la evaluación son confiables.

Por lo tanto, se logra confirmar lo expuesto en análisis de cloruros, donde se determinó que procesos de congelación con salmuera, con largos tiempos de residencia (400 seg.), provoca en el producto (camarón) pérdidas en sus características sensoriales (sabor), cuya concentración está fuera del rango (1 % de cloruros); además de ser detectable por los jueces como un producto no apto por su gran contenido de sal.

Se determina entonces que el tiempo de residencia en el equipo de Salmuera por Aspersión, para que el camarón conserve sus características sensoriales (sabor), sea de 300 segundos a una temperatura de -15 °C.

#### 4.2. Análisis del Tiempo de Vida Útil de la Salmuera.

Cuando se evalúa las características tanto físicas como sensoriales del producto en un proceso, también es de mucha importancia analizar los componentes del sistema que establecen un contacto directo con el producto, puesto que en cierto grado pueden afectar las características del producto final.

La salmuera constituye un aspecto primordial en el proceso, debido a que es el medio de enfriamiento del camarón, y de su tiempo de vida útil dependerá la eficiencia de congelación del producto (Véase Fig. 3.2.).

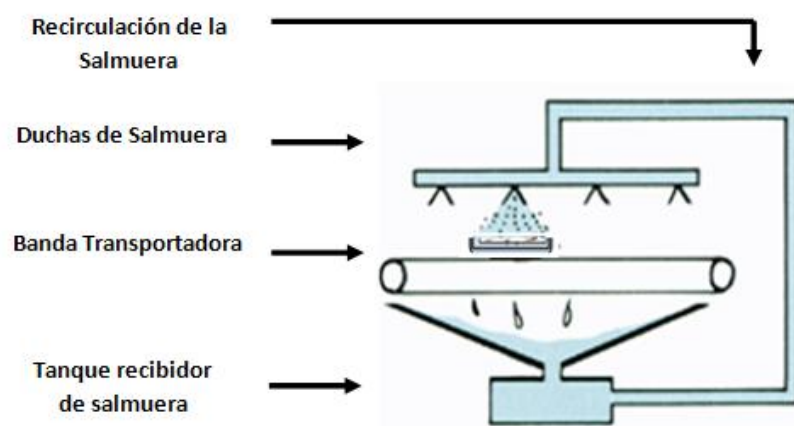


Figura 3.2. Sistema de Circulación de Salmuera

#### **4.2.1. Efecto en el Camarón y su Influencia en el Proceso.**

Como se indicó en el capítulo 2, la salmuera presenta varias consideraciones con respecto al cuidado de sus características termodinámicas y físicas que deberán ser óptimas para asegurar el funcionamiento del proceso.

La salmuera deberá permanecer en un rango de temperatura, a fin de que la congelación sea la adecuada y la temperatura final del producto no se vea afectada. Si la temperatura de la salmuera llega a ser superior al del rango óptimo (-15 °C) durante el proceso, entonces se necesitará que el camarón esté más tiempo en el equipo para tratar de lograr la temperatura final que se requiere (-11 °C) a la salida del equipo de Salmuera por Aspersión.

Por lo tanto, la ganancia de sólidos se irá incrementando a medida que el tiempo transcurra en el equipo de salmuera por aspersión; sin embargo, a pesar del aumento del tiempo de permanencia en el equipo no se asegura que el producto final llegue a la temperatura deseada, como se analizó anteriormente en la determinación de cloruros.

Dicha modificación de la temperatura de la salmuera se puede dar por la insuficiencia de un sistema de frío, que no cumpla los requerimientos de temperatura en el proceso.

Por otro lado, cuando la salmuera trabaja durante un tiempo determinado, la concentración de sólidos comienza a disminuir debido a que estas sales fueron cedidas al camarón que ha sido congelado. Por tal motivo, se establece un tiempo de utilización de la salmuera determinando su tiempo recomendable de vida útil para el proceso.

Mientras se está procesando, la salmuera debe ser homogenizada continuamente para evitar la precipitación de cristales de cloruro de sodio, además es importante reforzar la salmuera cada hora a fin de mantener estable el equilibrio de sal y azúcar en la solución.

Las recargas son de vital importancia en el proceso, sin embargo es un factor que también podría incidir en el producto final si no se realiza una correcta dilución, debido a que los cristales de cloruro de sodio no diluidos tienden acumularse, dando como resultado un proceso no homogéneo que podría significar que algunos camarones adquieran mayor concentración de sal que otros.

La renovación total de la salmuera asegura el punto de congelación adecuado para el camarón y si se sobrepasa el uso de dicha salmuera se disminuirá la productividad y las características del producto final.

Cuando el tiempo de vida de la salmuera concluye, sus condiciones microbiológicas también se deterioran. Durante cada una de las operaciones se debe asegurar la desinfección de la salmuera por medio del uso de dióxido de cloro para asegurar el control microbiológico del proceso.

La ausencia del agente desinfectante en la solución de salmuera implicaría el desarrollo de microorganismos que básicamente son los hongos (debido al uso de dióxido de cloro el ph de la solución disminuye, por lo que la presencia de ciertos microorganismos se elimina).

Al ser un equipo por aspersión (duchas), las gotas de salmuera tienden a salpicar y acumularse en las paredes del equipo, lo que favorece un ambiente para el desarrollo de agentes microbiológicos, puesto que la salmuera está constituida por azúcar (fuente de nutrientes para microorganismos).

Además en una salmuera renovada o nueva no se observa la presencia de espuma, debido a la concentración. Por el contrario, una salmuera con un largo periodo de utilización presenta problemas en las concentraciones, por lo que la presencia de espumación se puede dar.

Por tal motivo, se ha establecido que el tiempo de vida útil de la salmuera es de 1 mes aproximadamente, considerando principalmente la concentración de sólidos y factor microbiológico.

El tiempo de un mes de vida útil de la solución de salmuera se cumple siempre y cuando la producción de libras por día sea mayor a 5.000 libras/h. En caso de mostrar una productividad menor, el tiempo aumenta hasta 15 días más (controlando concentraciones y ph para evitar crecimiento microbiano).

#### **4.3. Evaluación de la Textura del Camarón en el Equipo por Aire Forzado.**

Como se ha explicado anteriormente, los equipos de congelación de la industria camaronera de la que se hace el estudio en este proyecto, corresponden a un sistema de congelación rápida individual (I.Q.F.), dicho sistema puede llegar a ser tan rápido que el efecto de la alteración del frío sobre el producto es muy leve, además que posee la ventaja de asegurar la formación de cristales de pequeño tamaño en el producto y minimizar la alteración en la estructura de los tejidos del camarón como producto final.

Sin embargo, se necesita conocer el efecto de los tiempos y temperaturas del equipo de congelación por aire forzado para establecer en qué medida son importantes tales parámetros de proceso sobre el producto, puesto que no solo podría afectar la productividad del proceso sino que también se estima que provocaría cierto efecto sobre características sensoriales principalmente la textura del producto.

Para poder justificar lo mencionado se realiza una serie de experimentos, alterando los tiempos en el equipo de Aire Forzado, con el objetivo de ajustar un rango de operación sin que exista cambio en la textura del producto congelado.



#### 4.3.1. Formación de Cristales y su Efecto en el Tejido del Camarón Congelado.

En el equipo de aire forzado a medida que el camarón pasa por la banda transportadora a través del equipo, el aire frío rodea al producto congelándolo de manera casi instantánea, formando cristales que serán de un tamaño muy pequeño (Véase Fig. 3.3.).

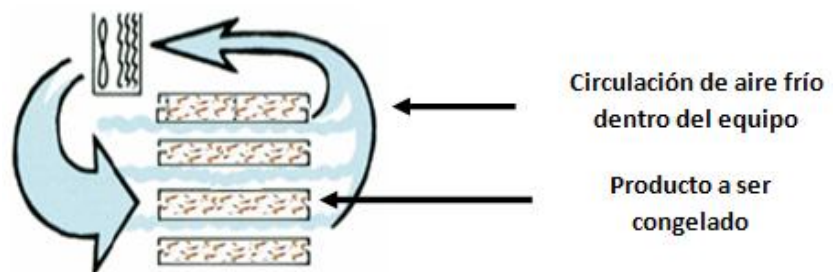


Figura 3.3. Sistema de Circulación de Aire Frio

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Dichos cristales que se forman en el interior del camarón al ser pequeños no dañarían las paredes celulares, de tal manera se evitaría la perforación de los tejidos. Si existiera dicho daño en el momento de la descongelación, se liberan sustancias solubles como proteínas, que le brindan valor nutritivo y atribuyen valor sensorial al producto que se va a consumir.

Para el análisis que se desea exponer en esta parte del proyecto, se requiere conocer la cantidad de agua exudada por el camarón una vez que ha sido congelado por los dos equipos de congelación rápida.

En primer lugar, los camarones que se analizan deben ser congelados por los equipos con los mismos parámetros de tiempo y temperatura con los que se analizó porcentaje de cloruros y evaluación sensorial.

A continuación en la Tabla 3.7. se presenta los datos en la congelación por Aire Forzado.

	Parámetros		Datos	
	T equipo (°C)	t pasaje (min)	T inicial del producto (°C)	T final del producto (°C)
Prueba 1	-40	5	-8	-18
	-40	4	-11	-20
	-40	5	-10	-19
	-40	4	-13	-21
Prueba 2	-40	5	-8	-18
	-40	4	-10	-20
	-40	5	-10	-19
	-40	4	-13	-21
Prueba 3	-40	5	-8	-18
	-40	4	-10	-19
	-40	5	-10	-18
	-40	4	-12	-20

Tabla 3.7. Muestras Tomadas a Diferentes Tiempos y Temperaturas del Equipo de Aire Forzado

En la Tabla 3.7. se observa los distintos tiempos y temperaturas en el equipo de Aire Forzado. Los rangos tomados (4 y 5 minutos) dependen de la temperatura del camarón al ingreso del equipo, además hay que considerar que aquel camarón que pasa por el equipo de Salmuera por Aspersión con tiempos de residencia hasta de 400 segundos, absorbe más salmuera. Lo que aumenta la posibilidad de obtener cristales más grandes al final de la congelación.

Cada muestra congelada es pesada, luego se descongela al ambiente y se toma los pesos del producto descongelado con el objetivo de determinar el porcentaje de agua que pierde.

La pérdida de agua que presenta cada muestra ayuda a interpretar la formación de los cristales que se han formado en la congelación combinada de los equipos, el tamaño de los cristales depende del agua libre que se encuentre en el producto al momento de congelarlo.

Por lo tanto, se dice que cristales de mayor tamaño dañan el tejido del camarón debido a que el agua libre (adquirida por la salmuera) se cristaliza en el equipo de congelación rápida (Aire Forzado).

En la Tabla 3.8. se muestra los resultados obtenidos de las muestras evaluadas en el equipo de Aire Forzado.

	Salmuera por Aspersión			Aire Forzado			Resultados
	t pasaje (seg)	T inicial del producto (°C)	T final del producto (°C)	t pasaje (min)	T inicial del producto (°C)	T final del producto (°C)	
<b>Prueba 1</b>	200	7	-9	5	-8	-18	<b>3,64</b>
	400	6,8	-12	4	-11	-20	<b>5,85</b>
	200	7,2	-11	5	-10	-19	<b>3,68</b>
	400	8	-14	4	-13	-21	<b>5,99</b>
<b>Prueba 2</b>	200	7	-8	5	-8	-18	<b>3,65</b>
	400	7	-11	4	-10	-20	<b>5,56</b>
	200	6,9	-11	5	-10	-19	<b>3,77</b>
	400	7,9	-14	4	-13	-21	<b>5,77</b>
<b>Prueba 3</b>	200	7,5	-9	5	-8	-18	<b>3,15</b>
	400	7,0	-11	4	-10	-19	<b>5,64</b>
	200	7,5	-11	5	-10	-18	<b>3,70</b>
	400	8,0	-13	4	-12	-20	<b>5,71</b>

Tabla 3.8. Porcentaje de Exudado en Muestras de Camarón en el Equipo de Congelación de Aire Forzado

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Según la Tabla 3.8., los camarones que pasaron por un proceso de 200 segundos en el equipo de Salmuera por Aspersión (línea blanca), muestra un porcentaje de exudado de 3.7 % el cual no influye en la textura del camarón, puesto que el tejido no presenta daño en la descongelación.

Por otro lado, los camarones procesados con un tiempo de 400 segundos en el equipo de Salmuera por Aspersión (línea oscura), presenta un valor de exudado de 5.75 %.

Según registros de la empresa, los camarones mantienen su calidad respecto a la textura cuando el exudado en la descongelación no supere el 4.5 %, por lo tanto aquellos camarones que superen dicho porcentaje tendrán problemas en la textura.

Los camarones, con un proceso de 400 segundos, son evaluados para observar algún defecto en el tejido superficial, dando como resultado un camarón con características físicas con problemas en la textura.

#### 4.4. Interpretación de los Resultados.

En la Tabla 3.9. se muestra el cuadro final de los experimentos realizados durante todo el capítulo.

Determinación de Cloruros				Evaluación Sensorial		Textura		
Muestra	T equipo (°C)	t pasaje (seg.)	NaCl (%)	Calificación promedio	Interpretación	T equipo (°C)	t pasaje (min.)	Exudado (%)
1	-14	200	0,486	5	Sabor tolerable (sabor ideal)	-40	5	3,64
2	-14	400	0,931	7	Sabor salado	-40	4	5,85
3	-16	200	0,488	5*	Sabor moderadamente salado	-40	5	3,68
4	-16	400	1,067	8	Sabor muy salado	-40	4	5,99

\* El valor promedio se acerca a 6

Tabla 3.9. Resultados Finales de los Experimentos Realizados para Evaluar las Características del Camarón Congelado

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Según los resultados obtenidos en el experimento, se logra comprobar que los tiempos de residencia en cada uno de los equipos tiene un efecto en las características físicas y sensoriales en el camarón.

Como lo muestra la Tabla 3.9. los valores con menor tiempo de residencia (200 seg.) son aquellos que muestra una menor concentración de cloruros, a razón de 0.48 %, además se demuestra mediante evaluación sensorial que dicho porcentaje presenta un sabor tolerable para el consumidor. Sin embargo, para procesos de 200 seg. con temperatura de -16 °C el camarón presenta, respecto a lo evaluado sensorialmente, un sabor moderadamente salado.

Mientras que a condiciones de  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  con 200 seg. de tiempo en el equipo por aspersión de salmuera, el camarón sensorialmente es aceptado; no obstante de acuerdo con las temperatura de salmuera ( $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el camarón no alcanza la temperatura final deseada ( $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a la salida del equipo de Salmuera por Aspersión.

Por otro lado, para los procesos en condiciones de mayor tiempo de residencia (400 seg.), el camarón resulta no apto tanto en sus características físicas, químicas y sensoriales.

A continuación se presenta en la Figura 3.4. una gráfica que muestra el valor de cloruros y los valores promedios de la escala sensorial.

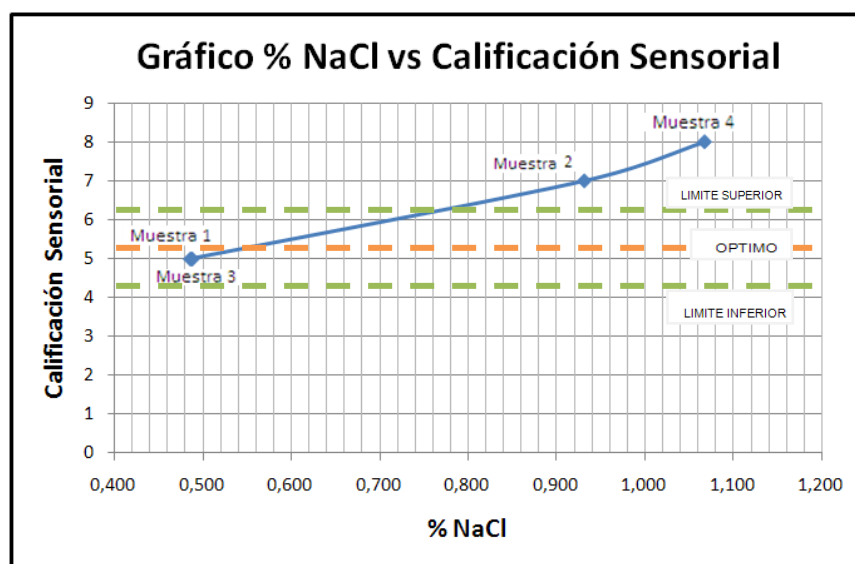


Figura 3.4. Gráfico de Porcentaje de NaCl vs. Calificación Sensorial

Según la Figura 3.4. se puede observar claramente la relación que existe entre el porcentaje de cloruros presente en el camarón y la calificación dada por los jueces sensorialmente.

Es decir, que el consumidor puede percibir el sabor salado cuando la concentración de sal sea mayor a 0.5 %; no obstante el sabor salado no tolerable se presenta a partir de 0.7 % en donde los jueces califican la muestra como un producto muy salado.

Finalizando el análisis, con todo lo expuesto en este capítulo, se estima que las características físicas y sensoriales del camarón congelado se mantienen a una temperatura de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de residencia de 300 segundos para el equipo de Salmuera por Aspersión, mientras que el equipo de Aire Forzado mantiene las condiciones del producto al operar a  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 4 minutos, obteniendo así un camarón congelado de alta calidad.

Según lo expuesto en el capítulo 2, el equipo de Aire Forzado se encuentra operando bajo las condiciones antes mencionadas, sin embargo el equipo de Salmuera por Aspersión presenta muchas variaciones de tiempo y temperatura.

Es por eso que en el siguiente capítulo se propone un sistema de frío más eficiente para lograr obtener las condiciones de proceso.



## **CAPÍTULO 4**

### **5. PROPUESTA DEL SISTEMA DE FRÍO EN EL EQUIPO ASPERSIÓN CON SALMUERA.**

#### **5.1. Cálculos del Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor.**

En la actualidad muy pocas empresas utilizan tablas asociadas con refrigerantes para realizar los cálculos del sistema de compresión de vapor, ya sea por falta de conocimiento o sencillamente porque lo ven complicado. En este capítulo se estudiará el sistema de compresión del equipo de Salmuera por Aspersión mediante el diagrama p-h de Molliere (presión – entalpia), el cual hace referencia a un mapa (comportamiento de un refrigerante) donde se aplican datos de temperaturas y presiones absolutas para representar el ciclo de compresión de vapor y poder definir valores como: carga refrigerante, masa de refrigerante, potencia total requerida, entre otros valores asociados con el sistema de frío además de definir fácilmente las fases de un equipo de refrigeración.

El diagrama muestra un domo en el cual se especifica las líneas de saturación tanto del líquido como del vapor. Los puntos que se encuentren dentro del domo serán aquellos donde exista una mezcla de liquido-vapor (Véase Fig. 4.1.) (14), los puntos que se encuentren fuera del domo serán: vapor sobrecalentado (línea de vapor) o subenfriamiento (línea de líquido).



Figura 4.1. Líneas de Líquido y Vapor Saturado

Fuente: MYCOM – Refrigeración: Principios, Diseño, Aplicaciones (14)

Se muestra además en el diagrama líneas de entalpia, entropía, volumen específico, energía interna, entre otras. En la Fig. 4.2. se presenta un modelo simplificado del diagrama p-h.

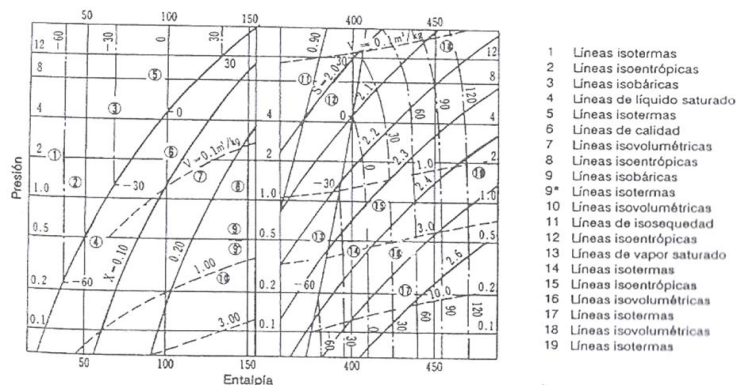


Figura 4.2. Diagrama p-h, Refrigerante Amoníaco

Fuente: MYCOM – Refrigeración: Principios, Diseño, Aplicaciones (14)

Para realizar los cálculos que se requieren en este proyecto es necesario conocer ciertos puntos los cuales se irán mencionando y aclarando según el funcionamiento de los equipos en cuestión.

En primer lugar se debe contar con el diagrama de p-h del refrigerante que se vaya a emplear, el equipo de Salmuera por Aspersión trabaja con refrigerante amoniaco. Con el gráfico se pretende describir gráficamente lo que ocurre en el sistema, para lo cual se requiere la siguiente información:

- ✓ Temperatura de evaporación
- ✓ Condiciones del vapor succionado por el compresor
- ✓ Temperatura de succión del compresor
- ✓ Temperatura de descarga del compresor
- ✓ Temperatura de condensación
- ✓ Temperatura del líquido de salida del recibidor de líquido

Con dicha información se empieza a graficar en el diagrama, el punto de referencia es la succión del compresor donde el vapor puede encontrarse como vapor saturado o sobrecalentado.

Localizando dicho punto se obtiene también la presión de succión, la cual se lee horizontalmente y se entiende dicha presión por escala absoluta.

El segundo paso es subir, por medio de las líneas isoentrópicas, hasta la temperatura de descarga del compresor y anotar la presión de descarga. La temperatura del condensador determina la línea donde el calor va a ser rechazado, el cual va desde la temperatura de descarga del compresor hasta llegar a la línea de líquido.

Para cerrar el ciclo se baja la presión por medio de una válvula de expansión, con el fin de tener una temperatura baja al entrar al evaporador nuevamente. Se muestra a continuación un esquema (Véase Fig. 4.3.) para entender mejor lo antes expuesto.

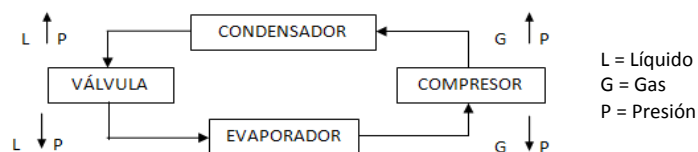


Figura 4.3. Ciclo Estándar de Refrigeración

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Al final se presenta el diagrama con todos los puntos para luego empezar los cálculos respectivos partiendo de las entalpías que estarán dadas por cada uno de los puntos que representa el ciclo de compresión de vapor (Véase Fig. 4.4.). Los valores de entalpia dan a conocer: calor absorbido y rechazado además de trabajo realizado, lo que da lugar al análisis de los equipos para saber si pueden entregar dicha energía (14).

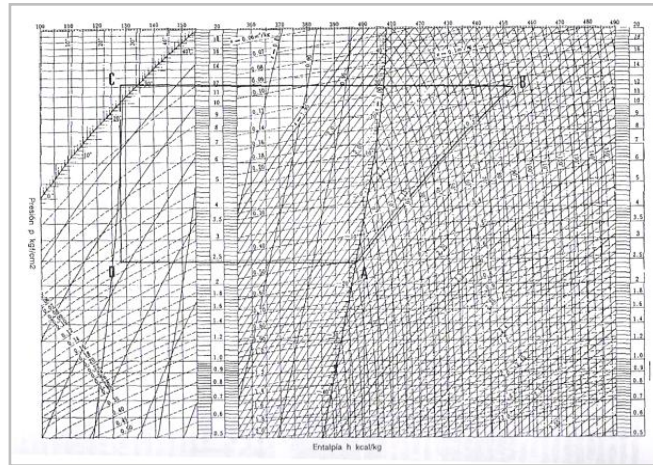


Figura 4.4. Ciclo de Refrigeración Básico expresado en el Diagrama p-h de Amoniaco

Fuente: MYCOM – Refrigeración: Principios, Diseño, Aplicaciones (14)

En el presente proyecto se requiere conocer el sistema de presiones múltiples, como se explico en el capítulo 2 (esquema de la línea de I.Q.F.), debido que los compresores operan en doble etapa; a continuación se explica dicho sistema.

### **Sistemas de presiones múltiples:**

Un sistema de presiones múltiples significa que se trabaja en un sistema de refrigeración que tiene dos o más bajas presiones (19), este proyecto requiere estudiar tal información debido a que los compresores que se encuentran instalados en el sistema de Salmuera por Aspersión operan en doble etapa (Véase Fig. 4.5.), lo que significa que posee un sistema integrado de doble compresión

en un solo equipo además de un Intercooler<sup>(d)</sup> (enfriamiento de vapor por refrigerante amoniaco) obteniendo como resultado una compresión que requiere de menor potencia consumida.

El enfriamiento de vapor con refrigerante líquido reduce la potencia y la temperatura a la salida del compresor de alta siempre y cuando el refrigerante sea amoniaco (19).

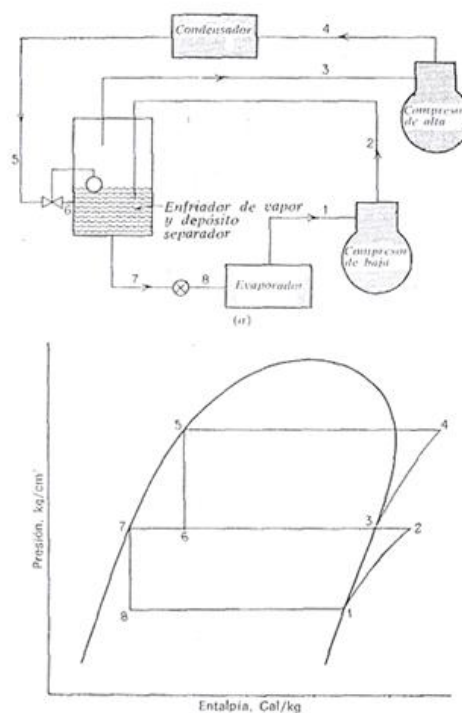


Figura 4.5. (a) Esquema de Doble Compresión con un Evaporador  
(b) Diagrama p-h para el Sistema de (a).

Fuente: Stoecker, W.F.: Refrigeración y acondicionamiento de aire. McGraw-Hill. (19)

<sup>(d)</sup> **Intercooler:** Es un intercambiador de calor pero esta usualmente localizado entre dos compresores en un sistema de toma multietapas, o inmediatamente después de una unidad simple de compresión.

Por último, para los distintos cálculos que se realizarán se requiere de una tabla de conversiones para trabajar bajo un mismo sistema, a continuación se presenta las conversiones más representativas.

#### **Factores de Conversión**

$$1 \text{ Kgf/m}^2 = 14.22 \text{ psi}$$

$$1 \text{ TR} = 3,516 \text{ kW}$$

$$1 \text{ TR} = 4.717 \text{ HP}$$

$$1 \text{ TR} = 3024 \text{ Kcal/h}$$

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ Kcal/h}$$

$$1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ HP} = 641 \text{ Kcal/h}$$

#### **6.1.1. Carga del Refrigerante.**

El equipo de Salmuera por Aspersión posee una capacidad frigorífica de aproximadamente 331 Kw, cuando la temperatura del refrigerante en la evaporación es -25 °C (4). Para hallar la carga refrigerante se plantea una fórmula la cual se expone a continuación:

$$\text{Carga refrigerante} = \text{Masa del refrigerante} * (\Delta h_{\text{evap}}) \quad (\text{ec. 4.1.})$$

$$\text{Kw} = \text{Kg/s} * \text{kJ/Kg}$$

La capacidad de 331 Kw representa el calor que da el equipo para congelar tanto el producto como la salmuera, por lo tanto dicho calor debe ser mayor para que las temperaturas del proceso no varíen.

El análisis de calor se expone más adelante, con el fin de determinar la cantidad de producto que puede pasar en una hora sin sobrepasar el límite de congelación.

Para empezar con los cálculos se utiliza la fórmula anterior, donde se desea conocer la masa de refrigerante. Con dicha masa se obtiene la potencia requerida por el compresor de baja, y sirve como punto de referencia para calcular la segunda masa (compresor de alta).

A continuación se explica con detalle el método a seguir, partiendo de los datos del sistema de frío.

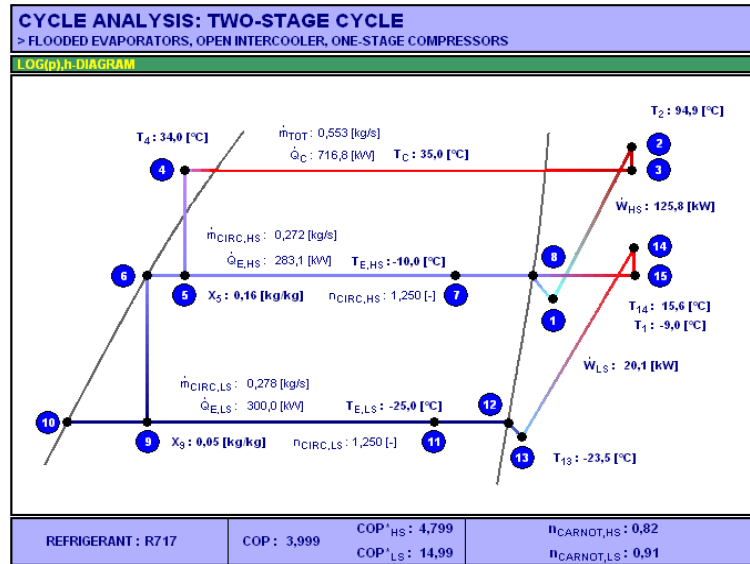
En primer lugar se requieren las temperaturas y presiones del proceso, para lo cual se emplea el programa “CoolPack”, donde se emplearán los datos del sistema de frío por compresión de pistón.

### Datos:

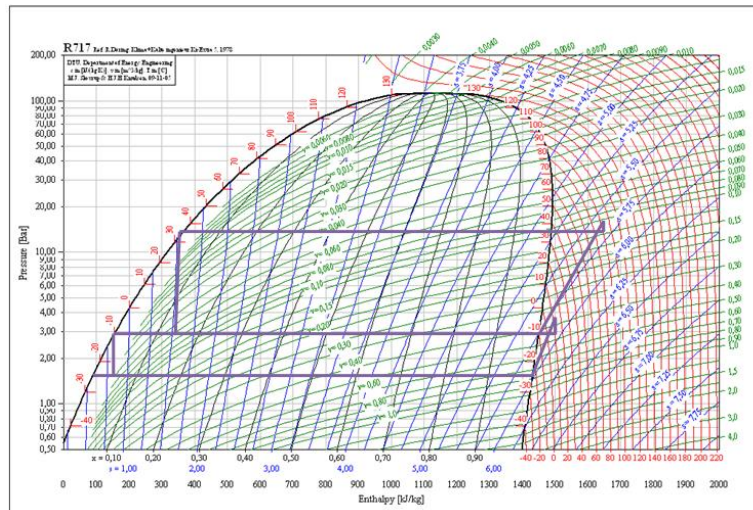
TEMPERATURE LEVELS				PRESSURE LOSSES			
HS: $T_{E,HS}$ [°C]:	-10,0	$X_{OUT}$ [kg/kg]	0,8	$\Delta p_{SL,HS}$ [k]:	0,2	$\Delta p_{SL,LS}$ [k]:	0,2
LS: $T_{E,LS}$ [°C]:	-25,0	$X_{OUT}$ [kg/kg]	0,8	$\Delta p_{DL,HS}$ [k]:	0,2	$\Delta p_{DL,LS}$ [k]:	0,2
$T_C$ [°C]:	35,0	$\Delta T_{SC}$ [k]:	1,0				
CYCLE CAPACITY				COMPRESSOR PERFORMANCE			
HS: Mass flow $\dot{m}_{HS}$ [kg/s]	0,26	HS: Isentropic efficiency $\eta_{IS,HS}$ [-]	1	LS: Isentropic efficiency $\eta_{IS,LS}$ [-]	1		
LS: Cooling capacity $\dot{Q}_{EL,LS}$ [kW]	300						
COMPRESSOR HEAT LOSS				REFRIGERANT			
HS: Heat loss factor $f_{Q,HS}$ [%]	10						
LS: Heat loss factor $f_{Q,LS}$ [%]	10						R717



Con estos valores se procede a graficar en el diagrama p-h para refrigerante amoniaco (Véase Fig. 4.6.)



(a)



(b)

Figura 4.6. (a) Sistema de Frío de dos Ciclos con Intercooler “CoolPack”  
(b) Sistema Actual en el Diagrama p-h

Los distintos valores de entalpia en la entrada y salida de cada equipo de frío ver en Anexo 6, los cuales servirán para realizar los cálculos de masa refrigerante, además de determinar la potencia requerida por el proceso.

Obtenidos todos los valores se procede a calcular la masa de refrigerante (ec.4.1.).

$$\text{Carga refrigerante (Kw)} = \text{Masa del refrigerante (Kg/s)} * \Delta h_{\text{evap}} \text{ (kJ/Kg)}$$

$$\text{Carga Refrigerante} = 331 \text{ kW}$$

$$\text{Carga Refrigerante} = \text{Masa de refrigerante} * (\Delta h_{\text{evap}})$$

$$\text{Masa de refrigerante} = 331 \text{ Kw} / (h_{12} - h_9) \text{ kJ/Kg}$$

$$\text{Masa de refrigerante} = 331 \text{ Kw} / 1280,8 \text{ kJ/Kg}$$

$$\text{Masa de refrigerante} = 0,278 \text{ Kg/s}$$

### 6.1.2. Potencia Nominal y Utilizada.

La potencia final requerida por el proceso, se la obtendrá mediante el análisis de sistemas de compresión múltiple por lo cual se requiere de dos valores de compresión: compresión baja y compresión alta, puesto que el sistema de compresión poseen un Intercooler.

Mediante un balance, en la parte media del diagrama (donde se encuentra el Intercooler), se calcula la masa de refrigerante en el “lado de alta” del compresor (Ver Fig. 4.7.).

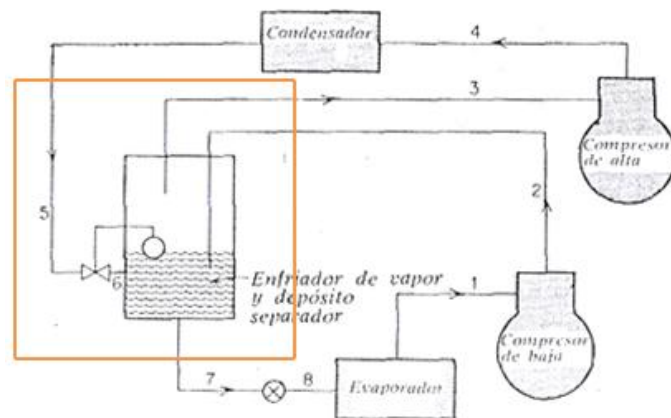


Figura 4.7. Balance de Masa y Energía en un Sistema de Doble Compresión con Enfriamiento de Vapor

Fuente: Stoecker, W.F.: Refrigeración y acondicionamiento de aire. McGraw-Hill. (19)

### Balance:

#### Balance térmico en el evaporador:

$$m_{13} = m_{15} = m_6 = 0,278 \text{ Kg/s} \quad \text{Masa I}$$

#### Balance térmico y de masa en el enfriador de vapor:

$$m_{15}h_{15} + m_5h_5 = m_8h_8 + m_6h_6$$

$$m_5 = m_8 \quad m_{15} = m_6$$

$$(0,278)(1494,8) + m_5(345,4) = m_8(1434,1) + (0,278)(133,2)$$

$$m_{II} = 0,553 \text{ Kg/s} \quad \text{Masa II}$$

Obteniendo la masa de refrigerante para la compresión de alta (masa II) se procede a realizar el cálculo de potencia mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia}_{(Kw)} = \text{Masa del refrigerante}_{(Kg/s)} * \Delta h_{\text{comp}}_{(kJ/Kg)} \quad (\text{ec. 4.2.})$$

#### **Potencia de baja:**

$$\begin{aligned} \text{Potencia de compresor de baja} &= \text{Masa I} * (\Delta h_{\text{comp } 14-13}) \\ \text{Potencia de baja} &= 0,278 \text{ Kg/s} * (1494,6 - 1417,5) \text{ kJ/Kg} \\ \text{Potencia de baja} &= 20,1 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### **Potencia de alta:**

$$\begin{aligned} \text{Potencia de compresor de alta} &= \text{Masa II} * (\Delta h_{\text{comp } 2-1}) \\ \text{Potencia de alta} &= 0,553 \text{ Kg/s} * (1641,5 - 1436,8) \text{ kJ/Kg} \\ \text{Potencia de alta} &= 125,8 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### **Potencia total requerida:**

$$\begin{aligned} \text{Potencia Total} &= \text{Potencia de baja} + \text{Potencia de alta} \\ \text{Potencia Total} &= 145,9 \text{ Kw} \\ &= 196 \text{ HP} \end{aligned}$$

Con estos valores se define que, la potencia necesaria para comprimir el refrigerante es de 196 HP (potencia nominal).

Por otro lado la potencia utilizada (real) por los compresores de pistón es aproximadamente de 135 BHP (considerando el 70 % de efectividad dentro del sistema de frío).

## **5.2. Análisis de la Potencia de los Compresores Actuales vs lo Requerido por el Proceso.**

Según los cálculos realizados para poder determinar la potencia nominal, se obtuvo como resultado un valor de 196 HP de potencia consumida, además se determinó la potencia real con la que está operando el equipo actualmente (135 HP) lo que permite determinar que la potencia requerida no está siendo aportada por los compresores de pistón, los cuales trabajan con una eficiencia muy baja debido al tiempo que tienen operando.

Registros del sistema de compresión indica que la carga de refrigerante que se puede manejar para una potencia real de 135 HP es de 80 Toneladas de refrigerante o 282 Kw.

Además se debe considerar la eficiencia total del ciclo de compresión de vapor, debido que las presiones varían al no tener una potencia constante y alta para el proceso de congelación lo que a su vez afecta la condensación, por lo que se estima una eficiencia del 85% total del ciclo operando con los tres compresores de pistón, además de no contar con un sistema más efectivo de condensación como el caso de un condensador evaporativo, el cual garantiza un mejor rendimiento.

Para aclarar mejor la situación actual del sistema de compresión de vapor se presenta a continuación un cálculo del calor requerido por el proceso y lo que el equipo puede ofrecer según lo antes expuesto.

### **Calor Requerido**

El calor requerido para el proceso está dado por el calor del producto (camarón) y el calor de salmuera, ambos valores sumados dan la energía necesaria para el proceso. El equipo debe brindar una energía mayor o igual a lo requerido por el proceso para tener constancia de que el sistema de frío funciona adecuadamente.

A continuación se presenta los datos y cálculos realizados, de igual manera un cuadro comparativo que ilustra claramente lo que se quiere demostrar en este proyecto.

### **Calor del Producto**

Para realizar los cálculos respectivos a fin de obtener el calor que requiere el camarón se deben tener datos como: cantidad de camarón que pasa por hora, calor específico del producto congelado y no congelado, y un delta de temperaturas (inicial y final del producto). Se evalúa dos procesos donde la única variable es la cantidad de producto que se encuentra pasando por el equipo de Salmuera por Aspersión.

Como se mencionó en el capítulo 2 (capacidades de congelación) actualmente el equipo combinado puede congelar hasta 6.000 libras/h, que es lo que se desea mantener con el fin de justificar la combinación realizada; sin embargo, en la práctica el equipo presenta dificultades para procesar 6.000 libras de camarón por hora (durante las 10 horas de trabajo), por lo que se obtiene temperaturas del producto no deseadas ( $T > -11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), que afecta el proceso en cuanto a producción y al producto en cuanto a calidad.

Por tal motivo, se estima un promedio de 5.000 libras/h sin que el equipo presente cambios en temperaturas y tiempos de proceso para trabajar durante el turno.

Para poder realizar los distintos cálculos se requiere conocer el comportamiento del producto al pasar de un estado no congelado a congelado utilizando fórmulas de calor sensible y calor latente, las cuales se presenta a continuación.

$$Q_{\text{sensible}} = \text{masa (Kg/h)} * cP_{\text{(Kcal/Kg }^{\circ}\text{C)}} * \Delta T_{\text{(}^{\circ}\text{C)}} \quad (\text{ec. 4.3.})$$

$$Q_{\text{sensible}} = \text{Kcal/h}$$

$$Q_{\text{latente}} = \text{masa (Kg/h)} * \lambda_{\text{(Kcal/Kg)}} \quad (\text{ec. 4.4.})$$

$$Q_{\text{latente}} = \text{Kcal/h}$$

Para realizar los cálculos de calor requerido por el producto se debe primero conocer el “viaje térmico” que realiza el camarón al pasar por el equipo (Véase Fig. 4.8.), para así determinar el calor sensible y latente presente en la práctica. Para evaluar dicho comportamiento se estudia el proceso con temperaturas óptimas con la que el camarón debe ingresar y salir del equipo por aspersion.

Con una temperatura de entrada de 5 °C y de salida de -12 °C se obtiene el siguiente viaje térmico.

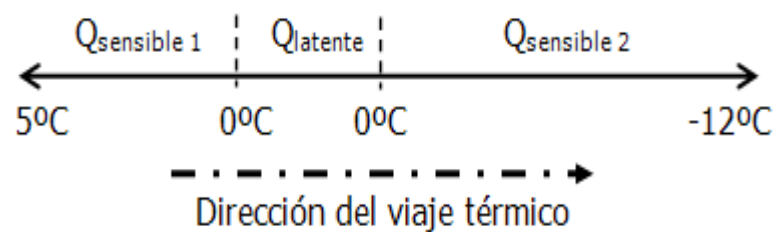


Figura 4.8. Viaje Térmico Realizado por el Camarón el entrar al Equipo de Aspersion por Salmuera

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

A continuación se presenta el calor del producto obtenido mediante los distintos cálculos para 5.000 libras/hora y 6.000 libras/hora de proceso.



## 5000 Libras / hora

### DATOS:

$$\begin{aligned} \text{Masa} &= 5000 \text{ Lb/h} \\ &= 2272,73 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa}_{\text{H}_2\text{O}} &= 3830 \text{ Lb/h} \\ &= 1740,9 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

$c_P$  (calor específico)

$$\text{no congelado} \quad c_P = (P/100) + (0,2 (100 - P)/100) \quad , P = \% \text{ humedad}$$

$$\text{congelado} \quad c_P = 0,5 (P/100) + (0,2 (100 - P)/100) \quad , P = \% \text{ humedad}$$

$$\%H \text{ no congelado} = 76,6 \quad c_P = 0,813 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$\%H \text{ congelado} = 75 \quad c_P = 0,425 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

Temperaturas del producto

$$^{\circ}\text{T entrada del camarón} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$^{\circ}\text{T salida del camarón} = -12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Cálculos:

$$Q_{S_1} = \text{masa} * c_{P \text{ no cong.}} * \Delta T$$

$$Q_{S_1} = 2272,73 \text{ Kg/h} * 0,813 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (0^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})$$

$$Q_{S_1} = 9,24\text{E}+03 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{L_1} = \text{masa}_{\text{H}_2\text{O}} * \lambda$$

$$Q_{L_1} = 1740,9 \text{ Kg/h} * 80 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{L_1} = 1,39\text{E}+05 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{S_2} = \text{masa} * c_{P \text{ cong.}} * \Delta T$$

$$Q_{S_2} = 2272,73 \text{ Kg/h} * 0,425 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} * (-12^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$Q_{S_2} = 1,16\text{E}+04 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{\text{Producto}} = Q_{S_1} + Q_{L_1} + Q_{S_2}$$

$$Q_{\text{Producto}} = 1,60\text{E}+05 \text{ Kcal/h}$$

$$186,16 \text{ kW}$$

## 6000 Libras / hora

### DATOS:

$$\begin{aligned} \text{Masa} &= 6000 \text{ Lb/h} \\ &2727,27 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa}_{\text{H}_2\text{O}} &= 4596 \text{ Lb/h} \\ &2089,1 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

Datos como el calor específico y temperaturas permanecen constantes. Por lo tanto, según los cálculos realizados con las ecuaciones 4.3. y 4.4., se obtiene el calor total de congelar 6.000 libras de camarón por hora, el cual da 223.40 Kw.

### Calor de la Salmuera

Para determinar el calor por salmuera, que será congelada por el refrigerante para después congelar al producto, es necesario conocer el flujo de salmuera que se requiere para las libras de camarón que pasarán durante una hora de proceso. Una vez calculado el flujo de salmuera, se requieren de datos como la densidad de la solución de salmuera y el calor específico de la misma a fin de obtener el calor requerido por la solución.

Finalmente se estima un tiempo de residencia por el equipo de 300 segundos para mantener constantes los parámetros con los que se ha venido trabajando. Con dicho tiempo de residencia, según ensayos realizados, se estima que la salmuera pasa de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  después de transferir calor al producto (1).

A continuación se presenta datos y cálculos para determinar el calor de salmuera requerido.

**DATOS:**

$\rho$  de salmuera = 1,18 g/ml

Flujo de aspersion = 35,00 ml/s por ducha

Volumen total = 12600000 ml/h

Equipo cuenta con 5 cabinas, cada cabina tiene 2 bandejas y cada bandeja tiene 50 orificios

Masa = 14868000 g/h

14868 Kg/h

$c_P$  (calor específico)

$c_P$  Salmuera = 0,6 Kcal/Kg °C

**Temperaturas del proceso**

$^{\circ}T$  inicial de salmuera -15 °C

$^{\circ}T$  final de salmuera -13 °C

**Cálculos:**

$$Q_{\text{salmuera}} = \text{masa} * c_P * \Delta T$$

$$Q_{\text{salmuera}} = 14868 \text{ Kg/h} * 0,6 \text{ Kcal/Kg } ^{\circ}\text{C} * (-13^{\circ}\text{C} - (-15^{\circ}\text{C}))$$

$$Q_{\text{salmuera}} = 1,78\text{E}+04 \text{ Kcal/h}$$

$$20,75 \text{ kW}$$

Realizado todos los cálculos se procede a mostrar un cuadro comparativo de calores requeridos para el proceso de congelación de camarón en un sistema combinado (Véase Tabla 4.1.) y el calor dado por el equipo considerando valores nominales y reales según la eficiencia del ciclo (Véase Tabla 4.2.).

Cantidad (Lb/h)	Calor Producto (Kw)	Calor Salmuera (Kw)	Calor Requerido (Kw)
5000	186.16	20.75	206.91
6000	223.4	20.75	244.14

Tabla 4.1. Calor Requerido por el Producto y por la Salmuera (Kw), Sistema Actual

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Cantidad (Lb/h)	Calor Requerido (Kw)	Calor Entregado teórico (Kw)	Calor Entregado Real (Kw)	Eficiencia del sistema (%)
5000	<b>206.91</b>	282	<b>239.1</b>	85
6000	<b>244.14</b>	282	<b>239.1</b>	85

Tabla 4.2. Calor Requerido por el Proceso vs. el Entregado por el Sistema Actual

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

En la Tabla 4.2. se puede observar claramente lo que se ha venido explicando durante todo el capítulo con respecto al funcionamiento del sistema de compresión actual de la industria empacadora (compresores de pistón doble etapa), donde se aprecia que al pasar 5.000 libras de camarón por hora de proceso, el calor requerido (206.91 Kw) es menor al entregado (239.1 Kw).

Por tal razón, el proceso se mantiene constante, siempre y cuando las temperaturas de proceso no varíen (-15 °C) y el tiempo de residencia se mantenga a 300 segundos.

Sin embargo, la capacidad que se esperaba era mínimo 6.000 libras por hora, nuevamente en la Tabla 4.2. se aprecia que al pasar 6.000 libras de camarón por hora el proceso requiere un calor mayor al requerido por el producto y la salmuera que en conjunto dan 244.14 Kw, el equipo solo puede entregar 239.1 Kw logrando demostrar que el sistema de compresión no es el adecuado para operar de manera eficiente, es decir que la temperatura final del camarón no llegaría a lo previsto (-12 °C).

Suponiendo que la temperatura final sea mayor a -12 °C, se dice que el proceso siguiente (congelación por aire forzado) no podrá llegar a la temperatura deseada (-18 °C) manteniendo el tiempo de residencia de 4 minutos. En otras palabras, si se desea llegar a una temperatura de -18 °C se requiere un tiempo de residencia en el equipo por aire forzado aproximado de 6 - 7 minutos.

En el presente proyecto se propone el uso de un compresor de tornillo para reemplazar los compresores ya existentes, y así lograr igualar y superar la potencia nominal antes calculada (196 HP) para poder mantener la temperatura de salmuera constante a -15 °C.

### **5.2.1. Propuesta del Sistema de Compresión.**

Para esta parte del capítulo se quiere lograr como principal objetivo la potencia nominal que requiere el sistema de congelación en el equipo de Salmuera por Aspersión.

Para lograrlo el presente proyecto propone mejorar o reemplazar el sistema de compresión de 3 compresores de pistón, por lo que se presenta a continuación las propuestas.

Una propuesta sencilla sería complementar el sistema de compresión con un compresor de pistón extra, con el objetivo de aumentar la potencia requerida. Sin embargo, según la eficiencia de los otros 3 compresores, el nuevo sistema no cumpliría con lo requerido (mantener constante los parámetros).

Por otro lado existe la posibilidad de realizar un Bypass a la línea de frío, con ayuda de un compresor de tornillo que se encuentra disponible en la planta. No obstante, el propósito para la industria, es implementar un sistema de compresión lo suficientemente efectivo que alcance la potencia requerida actualmente por el proceso, incluso que pueda ser capaz de utilizarse para nuevos procesos de congelación (menores temperaturas de congelación).

Por lo tanto, con la finalidad de poseer un sistema de compresión adecuado para el proceso actual y que pueda ser utilizado para otros requerimientos de expansión de la línea en la empresa, se dispone del siguiente tipo de compresor:

Compresor tipo doble tornillo helicoidal, para uso industrial, marca MYCOM, sistema de economizador<sup>(e)</sup> con capacidad de 79.1 TR y potencia consumida al freno de 243.5 BHP, con °T de evaporación de -40°C y °T de condensación de 35°C.

Antes de realizar los cálculos de potencia para este compresor, se expone a continuación una comparación sobre los compresores alternativos (pistón) y el compresor de tornillo (Véase Fig. 4.9.).

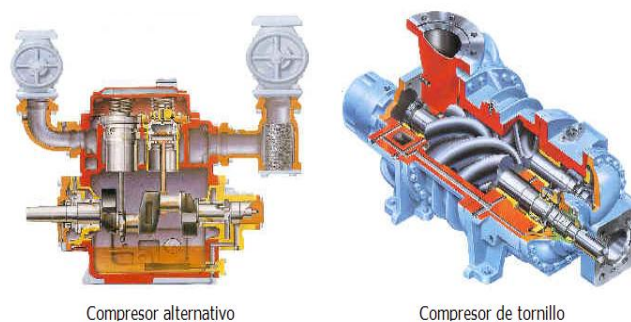


Figura 4.9. Compresores más Usados en el Mercado de la Refrigeración

Fuente: MYCOM: Criterios para la elección del compresor frigorífico (13)

---

<sup>(e)</sup> **Economizador:** Sistema de compresión doble etapa que utiliza un solo compresor. Consiste en comprimir el gas a la presión en que este se produce.

## **Compresor Alternativo**

### Ventajas del compresor alternativo (13)

- ✓ Precio hasta un 50% más barato que su equivalente en compresor de tornillo.
- ✓ Mantenimiento frecuente pero sencillo y conocido por prácticamente todo el personal mecánico.
- ✓ Sigue siendo el compresor que más se emplea en el frío comercial.

### Inconvenientes del compresor alternativo (13)

- ✓ Regulación de capacidad por etapas.
- ✓ Frecuentes mantenimientos: Relación 2.5 = 1.
- ✓ Temperaturas de descarga más elevadas lo que implica más consumo de aceite.

## **Compresor de Tornillo**

### Ventajas del compresor de tornillo (13)

- ✓ Compresor más empleado en refrigeración industrial.
- ✓ Cuenta con menos partes móviles.
- ✓ Mejor COP al 100% de capacidad.

### Inconvenientes del compresor de tornillo (13)

- ✓ Precio
- ✓ Mano de obra especializada para su mantenimiento



**Resumen:**

- ✓ **Fiabilidad mecánica:** El compresor de tornillo cuenta con menos piezas en desgaste y menos mantenimiento.
- ✓ **Rendimiento energético:** El compresor de tornillo tiene un rendimiento superior al alternativo cuando la instalación se encuentra a plena producción.
- ✓ **Precio:** El precio del compresor alternativo es menor que el del compresor de tornillo.

Las características generales del compresor han permitido establecer la fiabilidad del mismo, sus pautas de mantenimiento y su vida útil así como sus prestaciones (13).

Para poder calcular la potencia del compresor de tornillo es necesario conocer el diagrama p-h del sistema de doble compresión con economizador, para lo cual se presenta en la Figura 4.10. tanto el esquema como el diagrama.

El uso de un sistema de compresión con economizador aumenta la eficiencia del equipo, logrando disminuir considerablemente el trabajo realizado por el compresor y por ende la temperatura de descarga que va hacia el condensador (7).

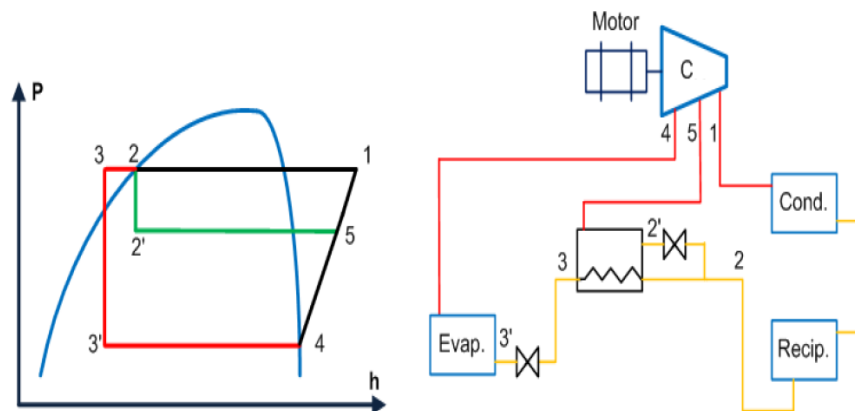


Figura 4.10. Esquema de Doble Compresión con un Economizador

Fuente: Catálogo MYCOM: Principios básicos de refrigeración (7)

Una vez realizado el análisis comparativo y esquematizar el ciclo de compresión de doble efecto con economizar; se procede a efectuar los cálculos para conocer la capacidad de congelación con el nuevo sistema y la potencia nominal requerida para después comparar con la potencia real entregada por el compresor propuesto.

Según registros de la compañía, el sistema de compresión de doble etapa con economizador posee un COP (valor de eficiencia) de 1.83, dando como resultado un valor de 184 HP de potencia total requerida por el sistema de frío con un compresor de tornillo. La potencia calculada se obtuvo como base de los 331 Kw, que es la capacidad frigorífica.

Con estos valores se define que, la potencia necesaria para comprimir el refrigerante es de 184 HP (potencia nominal), por lo que se requiere un compresor que posea una potencia igual para poder trabajar adecuadamente (temperatura de salmuera constante a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

El compresor de tornillo propuesto es nuevo, sin embargo a fin de asegurar el proceso se asume una efectividad de 85% dando como resultado una potencia consumida de 206 HP.

Comparando lo que requiere el proceso (184 HP) para lo entregado por el compresor de tornillo (206 HP), se observa que la potencia entregada es mayor a la requerida por lo tanto el proceso brinda seguridad para mantener las temperaturas del sistema.

Para constatar lo antes mencionado se realiza el mismo análisis de calor que se utilizó para los datos del sistema por compresión de pistón, comparando con 6.000 libras de camarón por hora y 8.000 libras de camarón por hora que es lo que se desea alcanzar.

Según las ecuaciones 4.3. y 4.4. el calor requerido para congelar 8.000 libras de camarón por hora es 297.86 Kw.

Realizando todos los cálculos se procede a mostrar un cuadro comparativo de calores requeridos para el proceso de congelación de camarón (Véase Tabla 4.3.) y el calor dado por el equipo considerando valores nominales y reales según la eficiencia del ciclo (Véase Tabla 4.4.).

Cantidad (Lb/h)	Calor Producto (Kw)	Calor Salmuera (Kw)	Calor Requerido (Kw)
6000	223.4	20.75	244.14
8000	297.86	20.75	318.61

Tabla 4.3. Calor Requerido por el Producto y por la Salmuera (Kw), Sistema Propuesto

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Cantidad (Lb/h)	Calor Requerido (Kw)	Calor Entregado teórico (Kw)	Calor Entregado Real (Kw)	Eficiencia del sistema (%)
6000	<b>244.14</b>	331	<b>324.38</b>	98
8000	<b>318.61</b>	331	<b>324.38</b>	98

Tabla 4.4. Calor Requerido por el Proceso vs. el Entregado por el Sistema Propuesto

Elaborado por: Jorge Álava y Sue González, 2009

Según la Tabla 4.4. se puede observar que el calor entregado por el equipo (324.38 Kw) es suficiente para congelar tanto 6.000 libras por hora de camarón como 8.000 libras que es lo que se quería plantear con esta inversión de un sistema nuevo de compresión por medio de un compresor de tornillo.

Para poder congelar 8.000 libras/h, el calor total requerido es de 318.61 Kw y considerando que el equipo puede ofrecer un calor de 324.38 Kw, por ende el proceso puede llevarse a cabo sin existir cambios en los parámetros de proceso como la temperatura de salmuera (-15 °C) y evitar que las presiones en la descarga de compresión aumenten (> 80 °C).

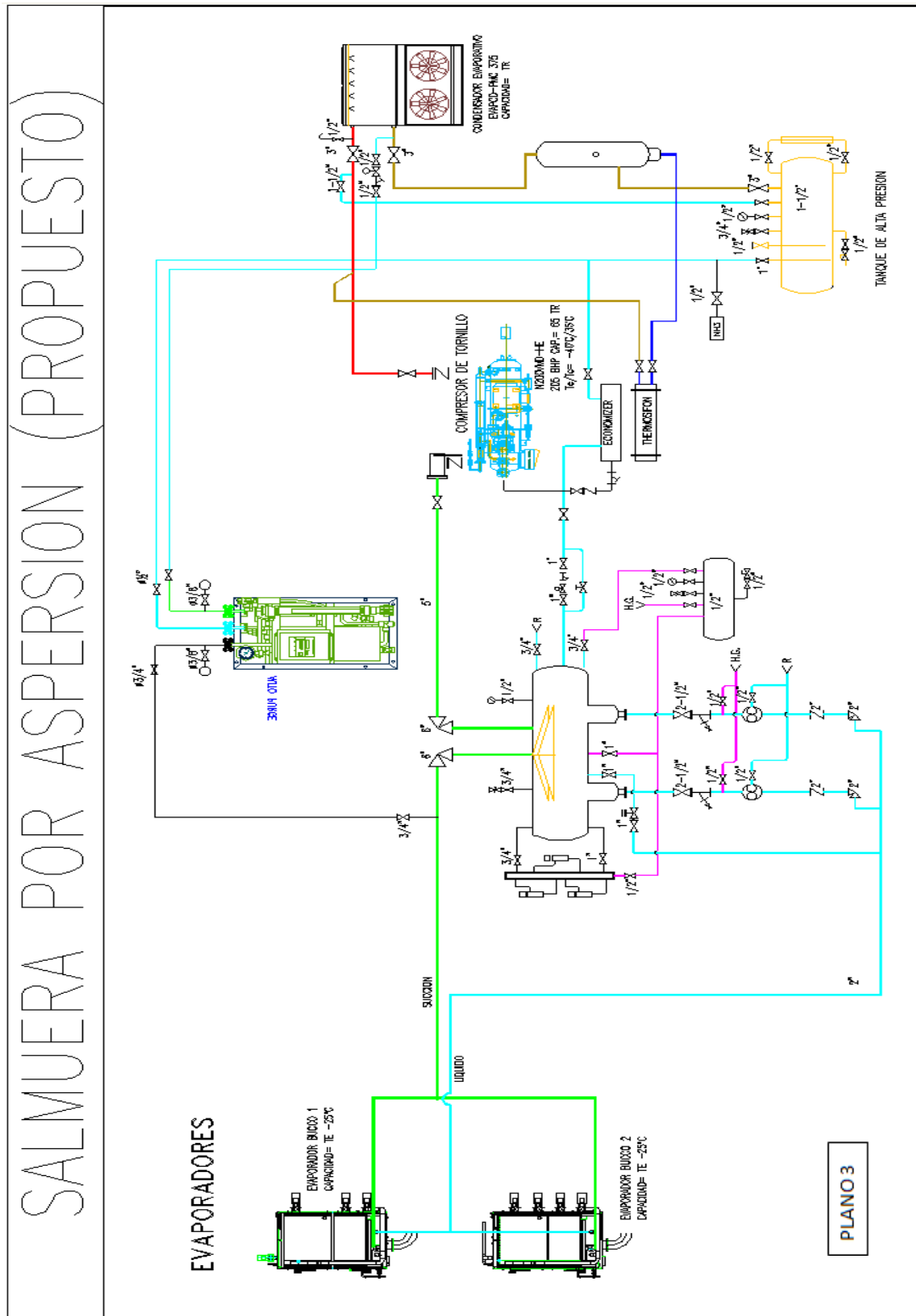
El sistema propuesto cumple con las expectativas en cuanto a capacidad de producción y de frío, con lo cual se asegura un proceso constante durante toda la producción en la línea de congelación.

En el capítulo 3, según varios experimentos realizados, se pudo constatar que el producto (camarón) conserva todas sus características tanto físicas como sensoriales, cuando la temperatura se mantiene a -15 °C en un tiempo de 300 seg.

Las nuevas condiciones de proceso para el sistema combinado se exponen en el siguiente capítulo, donde se desea estandarizar el proceso con el objetivo de cumplir con lo antes expuesto en el capítulo 3 y el presente capítulo.

Para concluir con el capítulo se presenta a continuación el plano del sistema de refrigeración propuesto (Plano 3).

5.3.Plano del Sistema de Refrigeración Propuesto.



## **CAPÍTULO 5**

### **5. ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO I.Q.F. DEL SISTEMA COMBINADO.**

Este capítulo da lugar a la estandarización del sistema combinado de los equipos de congelación (Salmuera por Aspersión y Aire Forzado), donde se desea demostrar que los cambios sugeridos del sistema de frío de ambos equipos da lugar a un proceso mucho más eficiente, manteniendo las características del producto final.

Se mostrará el esquema de la línea propuesta con los tiempos y temperaturas que se logra obtener, con la propuesta del sistema de compresión en el equipo de Salmuera por Aspersión y con las mejoras realizadas en la línea de frío en el equipo de Aire Forzado.

Además se presenta la metodología de operación para ambos equipos con el objetivo de mantener las características del camarón congelado; en especial al equipo de Salmuera por Aspersión, el cual durante todo el proyecto a sido el más evaluado debido a sus variaciones de tiempo y

temperatura, causando en el producto cambios en su temperatura y por ende en sus características físicas como sensoriales.

Finalmente se realizará un análisis de la inversión realizada, al proponer un sistema de compresión nuevo, versus los beneficios alcanzados en cuanto a las capacidades de producción logradas con el ajuste del sistema.

### **5.1. Análisis de los Resultados Obtenidos.**

El desarrollo de este proyecto logra alcanzar los tiempos y temperaturas óptimos para cada uno de los equipos de congelación rápida de los que se ha venido refiriendo. El principal objetivo ha sido ajustar un estándar de congelación para que las características físicas y sensoriales del camarón congelado mejoren y se mantengan durante toda la línea de producción.

El equipo de Aire Forzado ha logrado mantener sus parámetros de tiempo y temperatura de proceso ( $T = -37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 4\text{ min.}$ ) con los cambios de válvulas que se realizó en el sistema de frío. Sin embargo, el equipo de Salmuera por Aspersión presentaba muchas variaciones y tanto tiempo como temperatura de proceso no eran constantes durante la producción de un turno.



La temperatura y el tiempo de proceso en el equipo de Salmuera por Aspersión, que logra en el camarón características físicas y sensoriales aceptables, es a  $^{\circ}T = -15^{\circ}C$  durante 300 segundos.

Con dichos parámetros el producto, a la salida del equipo, logra congelarse a  $-11^{\circ}C$  mostrando además un sabor salado tolerable como se mostró en el capítulo 3, considerando también el tiempo de vida útil de la solución de salmuera con le objetivo de mejorar el proceso y mantener limpia la solución para que no exista crecimiento microbiano.

Por lo tanto, con dicho tiempo y temperatura de proceso, el nivel de cloruros (0.51 %) fue detectado como aceptable por los jueces en la evaluación sensorial realizada en el capítulo 3.

Además como se explicó, la temperatura lograda es de  $-11^{\circ}C$  a la salida del equipo por aspersión de salmuera, lo que indica que el equipo de Aire Forzado solo tenga que operar a  $^{\circ}T = -37^{\circ}C$  durante 4 minutos para obtener un camarón congelado a temperaturas menores a  $-18^{\circ}C$ .

Para poder mantener los parámetros de operación, en el equipo de Salmuera por Aspersión, se propuso en el capítulo 4 un sistema de frío nuevo (compresor de tornillo).

Según los resultados obtenidos se pudo conseguir la potencia necesaria para mantener estable la temperatura de salmuera (-15 °C), por lo que el tiempo de pasaje permanecerá constante.

Con lo expuesto en este análisis se logra mejorar y mantener las características del camarón congelado en el sistema combinado de Salmuera por Aspersión y Aire Forzado.

## **5.2. Esquema de la Línea Propuesta.**

Para finalizar con el análisis de los resultados obtenidos, se expone a continuación un esquema de la línea de congelación combinada con los nuevos tiempos y temperaturas de proceso, según los cambios propuestos en el sistema de frío (Véase Fig. 5.1.).

Según el esquema propuesto, se pretende mantener un estándar de producción de 8.000 libras por hora de camarón congelado, con las condiciones de tiempo y temperaturas antes mencionadas en ambos equipos de congelación.

Con el ajuste del sistema, se logra una congelación más rápida y eficiente con lo que el camarón congelado mejora las características de calidad antes descritas.

# PROPUESTA DEL SISTEMA COMBINADO (SALMUERA POR ASPERSIÓN – AIRE FORZADO)

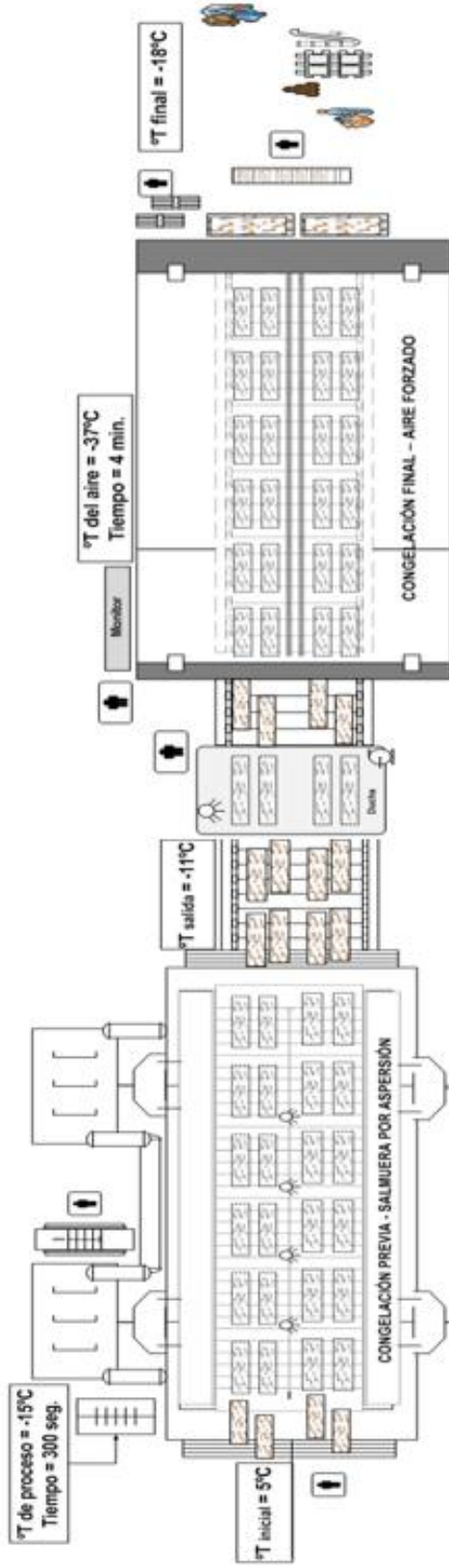


Figura 5.1. Esquema de la Línea Propuesta: Salmuera por Aspersión – Aire Forzado

Elaborado por: Jorge Álavay Sue González, 2009

### **5.3. Método de Operación.**

Con el objetivo de mantener las condiciones de operación para los dos equipos de congelación rápida, se expone a continuación la metodología con la que deben operar cada uno de los equipos.

Respecto al equipo de Aire Forzado el método de operación consiste principalmente en el control del arranque del equipo, ventilación en la cabina de congelación y el defrost realizado.

Cuando se enciende el equipo el primer paso es setearlo en el monitor, con el tiempo y temperatura antes descritos especificando que es al granel. También se debe considerar el monitoreo y control de temperatura y presiones en el sistema de frío, puesto que las variaciones pueden inferir en la temperatura de congelación por lo que la operación de congelación cambiaría.

El siguiente punto a considerar en el equipo de aire Forzado es la ventilación. El equipo posee ventiladores de alta potencia que operan en conjunto con el sistema de evaporación, la que hace posible una congelación homogénea en toda la banda donde el camarón se congela. En el monitor del equipo se puede medir la eficiencia de cada uno de los ventiladores a fin de asegurar una misma congelación en cada parte del equipo.

Debido a que el equipo opera a temperaturas muy bajas ( $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), la formación de escarcha en los ventiladores es inevitable. Considerando que la formación de escarcha en las paredes del ventilador y de las aspas reduce la eficiencia de congelación en el equipo, puesto que el flujo de aire se ve afectado causando que la congelación no sea total.

Por lo tanto, para evitar que la formación de esta escarcha en los ventiladores se haga presente, se debe realizar por parte del operador del equipo un defrost parcial, con el objetivo de mantener las temperaturas de operación estables sin tener que parar la línea de producción. La operación no puede durar más de 10 minutos, la que se realizará al medio día para aprovechar la hora de almuerzo del personal del trabajo donde la producción tiende a disminuir.

Sin embargo, como se trabaja en dos turnos, el equipo debe encontrarse en óptimas condiciones a lo largo de toda la jornada de trabajo, por lo que al finalizar cada turno se realiza un defrost total de aproximadamente 35 minutos, utilizando vapor caliente en el menor tiempo posible y agua a temperatura ambiente con alta presión para que el procedimiento sea rápido.

Con todas estas condiciones, el equipo de Aire Forzado opera eficientemente durante toda la producción en la línea de I.Q.F.

Por otro lado el equipo de Salmuera por Aspersión posee otro sistema de congelación, donde se evaluará principalmente la solución de salmuera considerando los controles físico-químicos y microbiológicos.

### **5.3.1. Metodología para el Manejo de la Salmuera.**

Para mantener una salmuera estable se tiene que considerar principalmente temperaturas y concentraciones de sólidos con la que opera en el equipo de congelación.

Como se detalló en el capítulo 2, la solución de salmuera presentaba una fórmula con sal y azúcar (jarabe) donde las concentraciones representaban: para sal un 15 % y para el jarabe un 12 %.

El uso de azúcar en esta solución de salmuera se da para disminuir en cierto modo el exceso de sal que capta el camarón al salir del equipo de Salmuera por Aspersión.

Para la preparación de salmuera es importante tener en cuenta que primero se deben formular las cantidades, una vez formulada primero se prepara la solución con pura sal (ver capítulo 2 en la parte de preparación de salmuera).

La preparación adecuada de la salmuera da lugar a una congelación más eficiente, donde las concentraciones juegan un papel importante para indicar el punto eutéctico y por ende conocer el punto de cristalización. Además de evitar sedimentos en el equipo que son causados cuando la salmuera no ha sido diluida correctamente.

Se detalló también la importancia que tiene la recarga de la salmuera, puesto que las concentraciones van variando y con las recargas se logra mantener un estándar de concentración de sólidos en el equipo debido que el tener concentraciones más altas, influye en la captación de cloruros en el camarón cuando éste se encuentre pasando por el equipo y por ende la aceptación no será la misma.

Es por esto, que el monitoreo de los grados Baume se debe hacer siempre que se recargue la salmuera con el objetivo de mantener el rango de 20 a 22 °B (considerando las concentraciones de sólidos antes mencionadas).

### **5.3.2. Controles Físico-Químicos y Microbiológicos de la Salmuera.**

Una salmuera eficiente debe permanecer en estado líquido a la temperatura más baja en que vaya a usarse, puesto que si se congela formaría hielo afectando la eficiencia del evaporador, por lo que reduciría la capacidad de transmitir calor, es decir que las concentraciones de los sólidos debe manejarse con mucho cuidado para lograr una mezcla eutéctica adecuada para mantener la solución de salmuera a las temperaturas más bajas sin llegar a la cristalización (8).

Otro punto de suma importancia para mantener la concentración de salmuera dentro del rango, con la finalidad de una congelación constante durante todo el proceso, es la sedimentación.

La recirculación que brinda el equipo para mantener la salmuera circulando por el equipo tiene que ser controlada periódicamente, puesto que al tener sedimentos significaría que el porcentaje de sólidos circulando por el proceso disminuya, lo que aumentaría la temperatura de congelación y por ende varía temperaturas y tiempos de congelación (8).



Además es de suponer que el sedimento que se forma, al no preparar bien la fórmula con el tipo de sal correcto (sal fina), puede ser el causante de corrosiones que afectaría al equipo y a la solución de salmuera.

Para finalizar con este análisis se habla de la espumación, la cual se puede formar cuando la salmuera está recién preparada o cuando se refuerza la salmuera vieja. El aire contenido en la salmuera y el agua es la causa principal de la espuma (8). Por ende, para detener la espumación se utiliza un antiespumante, donde se dosifica por cada metro cubico de salmuera 40 ml; por ende se necesita 300 ml para mantener estable la salmuera en el equipo.

Por otro lado realizando una preparación por etapas (como se explico anteriormente), además de realizar recargas periódicas para mantener la salmuera estable, se disminuiría el riesgo de espumación.

Respecto a la parte microbiológica de la salmuera, se tiene que tomar en consideración el perfecto uso del dióxido de cloro en la solución (5-10 p.p.m.), con el uso de este agente se desea mantener un ph bajo (4 -6) para evitar el crecimiento microbiano.

Finalmente se presenta a continuación en las Figuras 5.2. y 5.3., fotos del camarón antes y después de pasar por cada uno de los equipos en cuestión, considerando lo antes expuesto respecto al método de operación.



**Camarón de entrada a 7 °C**



**Camarón de salida a -11 °C**

Figura 5.2. Camarón Antes y Después de la Congelación en el Equipo de Salmuera por Aspersión.



**Camarón de entrada a 10 °C**



**Camarón de salida a -18 °C**

Figura 5.3. Camarón Antes y Después de la Congelación en el Equipo de Aire Forzado

#### **5.4. Análisis Inversión-Beneficio de los Cambios Propuestos.**

Para finalizar con este capítulo se presenta a continuación un análisis de la inversión realizada en la propuesta del nuevo sistema de frío para el equipo de Salmuera por Aspersión, con la finalidad de comparar la inversión de dicho sistema de frío versus el beneficio de haber realizado el cambio, refiriéndose a las nuevas capacidades de congelación.

Recordando que el equipo de Salmuera por Aspersión opera con un sistema de frío comprendido por 3 compresores de pistón, los cuales no daban la potencia necesaria para congelar las libras estimadas (8.000 libras por hora) debido a la eficiencia de operación. Además que comparten el sistema de frío con la línea de congelación por Placas. Cuando el equipo de Salmuera por Aspersión era utilizado, para congelar en conjunto con el equipo de Aire Forzado, las Placas no operaban debido que los tres compresores eran utilizados, por lo que se perdía capacidad de congelación en los plaqueros.

Por esa razón fue también que se propuso un nuevo sistema de frío conformado por 1 compresor de tornillo de alta potencia, con el objetivo de aumentar la capacidad de congelación en el Equipo de Salmuera por Aspersión además de permitir que las Placas operen sin problemas con los tres compresores de pistón.

Según registros de la empresa, sobre los cambios sugeridos y realizados, la inversión total del nuevo sistema de frío (compresor y accesorios) fue de aproximadamente \$100.000 (incluyendo la mano de obra, entre otros factores).

Para conocer los nuevos márgenes de utilidad que tendrá la empresa con el nuevo sistema de congelación rápida, se analizará las capacidades alcanzadas por el equipo de Salmuera por Aspersión y el aumento de la capacidad de la línea de congelación por Placas, con el objetivo de justificar la inversión realizada además de conocer el tiempo que se demoraría en pagar dicha inversión y conocer la utilidad alcanzada.

#### **5.4.1. Capacidad Teórica de Congelación Alcanzada por el Sistema Combinado.**

Según se ha venido explicando en este trabajo, la capacidad de producción para el sistema combinado de Salmuera por Aspersión y Aire Forzado es de 8.000 libras por hora, por lo tanto considerando los dos turnos (10 horas c/u), se estima una producción de camarones congelados de 160.000 libras por día. Dando un margen de efectividad del 90 % se tiene una producción real por día de 144.000 libras de camarón congelado (en aguaje).

Teniendo en cuenta que por mes tan solo 11 días +/- 1 son de aguaje (más camarón como materia prima), se considera éstos días como los más productivos donde se puede congelar las 144.000 libras. Y en días de quiebra (poco camarón) se estima una producción, con la misma efectividad del 90 %, de 90.000 libras por día.

Por lo tanto, para la congelación en la línea de I.Q.F. del sistema combinado Salmuera por Aspersión y Aire Forzado, se espera una producción mensual de 3'300.000 libras aproximadamente.

Para efecto de conocer la utilidad alcanzada al producir más camarón congelado por hora, se tiene que especificar aquellos valores que intervienen en los costos de producción, como lo son materia prima, mano de obra, energía de congelación, material de empaque.

Para congelar 6.000 libras de camarón por hora se estima los siguientes costos de producción: la materia prima \$1 x libra, mano de obra \$0.02 x libra, energía \$0.02 x libra y material de empaque \$0.02 x libra. Por ende, para obtener un margen de utilidad de \$0.1 x libra de camarón congelado, se estima obtener una utilidad de \$280.000.

Con la nueva capacidad alcanzada por el sistema combinado de Salmuera por Aspersión y Aire Forzado (8.000 libras/h), se desea obtener un mayor margen de ganancia para justificar la inversión realizada. Considerando una mayor capacidad de congelación, los costos por libra de mano de obra y energía frigorífica se reducen a \$0.015, debido a que las libras procesadas satisfacen la demanda del sistema combinado.

Por lo tanto, con una capacidad de 8.000 libras/h de camarón congelado, se obtiene un margen de utilidad del \$330.000 con esto se puede observar una ganancia de \$20.000 al mes (considerando otros costos de producción).

#### **5.4.2. Aumento de la Capacidad de Congelación en las Placas.**

Como se especificó anteriormente, las Placas eran deshabilitadas cuando el equipo de congelación rápida de Salmuera por Aspersión operaba, debido que compartían el sistema de frío conformado por 3 compresores de pistón.

Sin embargo, ahora con el sistema propuesto de un compresor de tornillo para el sistema de frío del equipo de Salmuera por Aspersión, las Placas pueden operar sin tener que parar su línea de congelación.

El sistema de frío que comprende los 3 compresores de pistón, sirven para pasar refrigerante amoníaco en 2 plaqueros que congelan camarón en bloques (caja display). La capacidad de congelación para cada plaquero es de 3.200 libras de camarón por ciclo (cargado, congelado, empacado), lo que equivale a 810 cajas. Las cajas son congeladas por aproximadamente 4 horas, alcanzando temperaturas menores a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; luego son empacadas a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y llevadas a cámara. El proceso de empacar y volver a llenar o cargar los plaqueros es de 1 hora, por lo que el ciclo total es de unas 5 horas.

Por ende, entre los dos turnos se estima unos 4 ciclos, dando un total de 23.000 libras por día con los dos plaqueros, con una eficiencia del 90 % para mantener un rango de operación en el proceso de congelación.

Según los días de aguaje (11 días / mes), la producción de congelación por Placas al mes sería de 576.000 libras. Para congelar en las Placas se estima los siguientes costos de producción x libra de camarón: la materia prima \$1, mano de obra \$0.04, energía \$0.02 y material de empaque \$0.04.

Por ende, para obtener un margen de utilidad de \$0.07 x libra de camarón congelado, se estima obtener una utilidad de \$40.500.

Según los cálculos realizados, donde se observa una utilidad alcanzada por el sistema combinado del 10 % dando como resultado un beneficio de \$20.000 al mes, además del beneficio de utilizar las placas lo cual da un margen de utilidad de \$40.500, se estima pagar la inversión realizada de \$100.000 en aproximadamente 3 meses (congelando con un 85 % de lo antes calculado).

En los siguientes años de pagada la inversión, se estima una ganancia cerca del 15 % en toda la industria empacadora de camarón.



## CONCLUSIONES

1. Para asegurar un proceso de congelación por aspersión de salmuera, la concentración de la solución (sal - azúcar) debe ser monitoreada y controlada para estar en un rango de 20 – 22 °Baume, logrando así una temperatura de cristalización de -16 °C (punto eutéctico) y una temperatura de operación de -15 °C.
2. En el equipo de Salmuera por Aspersión (°T de proceso de -15 °C), el camarón es congelado hasta -11 °C sin que adquiera mucha sal (% de cloruros) y por ende no afecte las características sensoriales (sabor) del camarón congelado. Obteniendo un producto congelado con sabor salado tolerable para el consumidor.
3. Para congelar 8.000 libras de camarón por hora de proceso, se requiere un potencia aproximada de 196 HP en el sistema de compresión del equipo de Salmuera por Aspersión, manteniendo estable la temperatura de congelación de la solución de salmuera para poder operar a °T = -15 °C durante un tiempo de recorrido de 300 segundos en el equipo.

4. El empleo de un compresor de tornillo es una mejor opción en lugar del sistema de compresión actual que está conformado por 3 compresores de pistón, puesto que podrá contribuir al aumento de la productividad (8.000 libras/h), además de contar con una potencia necesaria para futuros proyectos en la línea de congelación.
5. Considerando las nuevas capacidades de producción (8.000 libras/h), además de las características sensoriales (sabor) y físicas del camarón congelado, el sistema combinado se ajusta según los requerimientos termodinámicos del camarón dando como resultado un proceso de congelación durante toda la jornada de trabajo en el equipo de Salmuera por Aspersión de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 300 segundos, y en el equipo de aire Forzado un proceso a  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 4 minutos para congelar el camarón a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  en menos de 10 minutos.
6. La evaluación sensorial realizada, respecto al sabor salado del camarón congelado en el equipo de Salmuera por Aspersión, sirve para complementar el análisis de cloruros con el objetivo de medir la aceptabilidad del consumidor para cada concentración de cloruros, dando como resultado un valor de aceptabilidad (salado tolerable) de 5 puntos (escala medida sobre 9 puntos, ver pagina 67) para los camarones que se congelaron a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 300 segundos.

7. El uso de azúcar en la solución de salmuera del equipo de aspersión, brinda al producto una protección en la superficie formando una película que lo protege de las temperaturas bajas en el equipo de Aire Forzado, evitando la deshidratación. Además la solución de azúcar neutraliza el sabor salado en el camarón, lo que infiere en la aceptación sensorial.
8. El camarón congelado en el equipo de Salmuera por Aspersión adquiere una cantidad de cloruros de 0.51 % a  $T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 300 segundos, lo cual es considerado como aceptable por el consumidor. Sin embargo, según los experimentos realizados, se obtiene un menor porcentaje de cloruros (0.45 %) a 200 segundos de tiempo recorrido en el equipo, no obstante la temperatura del camarón al final del equipo no es lo suficientemente baja para la congelación final por aire forzado ( $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), por lo que se requerirá de más tiempo en el equipo.
9. El tiempo de vida útil de la solución de salmuera se logró aumentar de 20 días a 1 mes (con producción de 8.000 libras por hora) manteniendo los grados Baume de 20 a 22  $^{\circ}\text{B}$ . Considerando controles, como: concentraciones de sal y azúcar (monitoreo en las recargas realizadas), uso controlado de dióxido de cloro para concentrar la solución limpia (libre de microorganismos), además del uso del antiespumante para que la concentración de la solución no varíe.

10. En el equipo de Aire Forzado se evaluó la textura del camarón al final de la congelación mediante el experimento realizado de porcentaje de exudado, dando como resultado un valor máximo de 4 % +/- 0.5. Se logró comprobar que aquellos camarones congelados en el equipo de Salmuera por Aspersión a 400 segundos, obtienen un exudado de 5.7 % +/- 0.2 por la ganancia de solución de salmuera, lo que significa que nutrientes ligados al tejido del camarón migraron como agua exudada, debido a la formación de los cristales de mayor tamaño causados por los tiempos largos de recorrido en el equipo de Salmuera por Aspersión, presentando variables en la textura.
  
11. Según la inversión realizada (\$100.000), se estima mediante cálculos de utilidad, considerando las nuevas capacidades alcanzadas por el sistema combinado y la congelación por Placas, que la inversión se pagará aproximadamente en 3 meses (sin que varíe la producción estimada). Además se estima obtener un margen de utilidad del 15 % más, con los cambios sugeridos durante la realización del proyecto.

## RECOMENDACIONES

1. Las temperaturas iniciales del camarón antes de entrar al equipo de salmuera por aspersión deberán ser de 5°C para asegurar una congelación óptima dando un producto terminado con temperatura final alrededor de -18°C.
2. Se recomienda controlar el proceso para la recarga de la salmuera utilizando registros u hojas de control, indicando el uso de dióxido de cloro (concentración 5-10 ppm), a fin de mantener la salmuera libre de agentes microbianos que pueden invadir las paredes del equipo ocasionando molestias durante el proceso. Además de lograr tiempos de vida útil en la solución de salmuera hasta de un mes.
3. Finalmente se recomienda continuar con el estudio de las salmueras como medio para una congelación rápida en equipos por aspersión, debido al poco uso en la industria de los alimentos para congelación final de diversos productos. Por otro lado, innovar soluciones combinadas como la expuesta (sal – azúcar) a fin de mejorar un proceso.

# **A N E X O S**

## ANEXO 1

### DETERMINACIÓN DE METABISULFITO

#### Procedimiento:

1. Se toma de 5 a 6 camarones del lote.
2. Descascarar el camarón y cortar en pequeños cuadros.
3. Colocar en un balón de 800 ml: 30 gramos de muestra + 150 ml de agua destilada + 10 ml de HCl.
4. Preparar en una fiola 90 ml de agua destilada + 10 ml de peróxido + 2 gotas de rojo de metilo + 3 gotas de NaOH 0. 1N. (amarillo leve).
5. Colocar en el equipo Kendhal el balón y al extremo inferior colocar la fiola, la cual recibirá los gases de la muestra.
6. Cuando la fiola llegue a 200 ml de volumen de filtrado (color rosa), se procede a titular con NaOH hasta obtener nuevamente una coloración amarillo leve, anotar el volumen inicial del hidróxido (lectura1) y el volumen final o consumo (lectura2).
7. Realizar los cálculos:

$(\text{Lectura 2} - \text{Lectura 1}) * \text{Constante [10.67]} - \text{blanco [1.2]} = \text{p.p.m. de metabisulfito.}$

## ANEXO 2

### DETERMINACIÓN DE CLORUROS (MÉTODO DE MOHR)

1. La muestra que va ser analizada previamente debe ser descongelada durante un tiempo de 20 minutos, una vez descongelado el camarón se procede a remover (pelar) la cáscara para procesar la muestra.
2. Licuar alrededor de 4 camarones para cada muestra, luego la pasta obtenida pesar hasta completar de 2- 2,5 gramos de muestra.
3. En un vaso precipitado colocar la muestra pesada y Llevar hasta 50 ml con agua destilada para cocinarla durante 20 minutos.
4. Filtrar la muestra y completar hasta 100 ml con agua destilada.
5. Tomar 5 ml de la alícuota, llevar hasta 50 ml y colocar 10 gotas de Cromato de potasio.
6. Titular la muestra hasta obtener el punto final de la reacción donde se manifiesta un color anaranjado-marrón. Anotar el volumen consumido y realizar los cálculos respectivos.



## Esquema del Procedimiento



(1)

Descongelado de la muestra



(2)

Preparación de materiales



(3)

Pesado de la muestra



(4)

Cocción de la muestra



(5)

Filtrado de la muestra



(6)

Adición del indicador



(7)

Titulación de la muestra



(8)

Resultado

## ANEXO 3

### EVALUACIÓN SENSORIAL (SABOR SALADO DEL CAMARÓN)

(1)

**FICHA TÉCNICA**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**PRODUCTO CAMARÓN**

Trabaja a color rojo. Evita el uso de colorantes que sean los colores en cuestión o de color similar a los mismos para evitar el efecto de color que altere el sabor.

Se le pide que analice cada día de los productos y los compare. PL.

Según su criterio indique con una "X" dentro correspondiente.

Muestra	040	030	027	012
Color rojo que PL				
Sabor que PL				
Alimento sólido que PL				

Indique por sí la siguiente:

Sabor				
Color				
Alimento sólido				
Alimento				
Alimento líquido				

Observaciones: \_\_\_\_\_

Ficha Técnica



Muestras



Preparación de la muestra



Evaluación Sensorial

## ANEXO 4

### CALCULOS DE VARIANZA PARA DETERMINAR EL VALOR “F” DE LA EVALUACIÓN DE COMPARACIONES MULTIPLES (SABOR)

#### Grados de libertad:

Grados de libertad de Variable (Glv):

$$Glv = m - 1$$

$$Glv = 4 - 1$$

$$Glv = 3$$

Donde:

m= niveles de la variable bajo estudio

Grados de libertad de Jueces (Glj):

$$Glj = n - 1$$

$$Glj = 8 - 1$$

$$Glj = 7$$

Donde:

n= número de jueces

Grados de libertad Totales (Glt):

$$Glt = (m)(n) - 1$$

$$Glt = (4)(8) - 1$$

$$Glt = 31$$

Grados de libertad de Residual (Glr):

$$Glr = Glt - Glv - Glj$$

$$Glr = 31 - 3 - 7$$

$$Glr = 21$$

#### Suma de cuadrados:

SCv = suma de los cuadrados de la variable

$$SCv = \frac{[(T_{c1})^2 + (T_{c2})^2 + \dots + (T_{cm})^2]}{n} - FC$$

$$SCv = 53.3$$

Donde; T<sub>cj</sub> son los totales de cada columna, j=1,2,...m

SCj = suma de los cuadrados de jueces

$$SCj = \frac{[(T_{r1})^2 + (T_{r2})^2 + \dots + (T_{rn})^2]}{m} - FC$$

$$SCj = 2.22$$

Donde; T<sub>ri</sub> son los totales de cada renglón, i= 1,2,...n

SCt = suma de los cuadrados totales

$$SCt = [(X_{11})^2 + (T_{12})^2 + \dots + (T_{mn})^2] - FC$$

$$SCt = 61.47$$

SCr = suma de cuadrados residual

$$SCr = SCt - SCv - SCj$$

$$SCr = 5.91$$

Factor de corrección:

$$FC = \frac{TT^2}{[(n)(m)]} \quad \begin{array}{l} TT = \sum x_{ij} \\ TT = 199 \end{array}$$

$$FC = 1237.53$$

Después se calcula la varianza, la cual se obtiene de la siguiente manera:

**Vv = varianza debida a la variable**

$$Vv = \frac{SCv}{Glv}$$

$$Vv = \frac{53.3}{3}$$

$$Vv = 17.781$$

**Vj = varianza debida a los jueces**

$$Vj = \frac{SCj}{Glj}$$

$$Vj = \frac{2.22}{7}$$

$$Vj = 0.317$$

**Vr = varianza debida al residual**

$$Vr = \frac{SCr}{Glr}$$

$$Vr = \frac{5.91}{21}$$

$$Vr = 0.2814$$

Finalmente se calcula los valores F para jueces y tratamientos, según los datos obtenidos de varianza:

**Fv = Tratamientos**

$$Fv = \frac{Vv}{Vr}$$

$$Fv = \frac{17.781}{0.281}$$

$$Fv = 63.22$$

**Fj = Jueces**

$$Fj = \frac{Vj}{Vr}$$

$$Fj = \frac{0.317}{0.281}$$

$$Fj = 1.13$$

## ANEXO 5

### TABLA DE DISTRIBUCIÓN DEL VALOR “F” PARA 1 % Y 5 % DE GRADO DE SIGNIFICANCIA

LA EVALUACION SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS										
Tabla 1. Valores de F para un nivel de significancia del 5%										
$n_1$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	$\infty$
$n_2$										
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,02	1,83	1,61	1,25
$\infty$	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

Tabla 2. Valores de F para un nivel de significancia del 1%										
$n_1$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	$\infty$
$n_2$										
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,55	3,18	2,75
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,79	3,45	3,08	2,65
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,37	3,00	2,57
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,63	3,30	2,92	2,49
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,23	2,86	2,42
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,51	3,17	2,80	2,36
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,45	3,12	2,75	2,31
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,41	3,07	2,70	2,26
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,36	3,03	2,66	2,21
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,32	2,99	2,62	2,17
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,29	2,96	2,58	2,13
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,26	2,93	2,55	2,10
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,23	2,90	2,52	2,06
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,20	2,87	2,49	2,03
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,84	2,47	2,01

N1 = Grados de libertad de tratamientos / Jueces  
 N2 = Grados de libertad de residual

## ANEXO 6

**RESULTADOS OBTENIDO DEL PROGRAMA “COOLPACK” PARA EL SISTEMA DE FRÍO CON 3 COMPRESORES DE PISTÓN**

STATE POINTS						
	STATE POINT	TEMPERATURE [°C]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m <sup>3</sup> ]	Additional information
HIGH PRESSURE	2	94,9	1361,7	1641,5	8,1	
	3	94,9	1353,9	1641,8	8,1	
	4	34,0	1353,9	345,4	588,9	
INTERMEDIATE PRESSURE	5	-10,0	290,9	345,4	-	Pressure ratio ( $p_2 / p_1$ ): 4,719 Pressure ratio ( $p_{14} / p_{13}$ ): 1,956
	6	-10,0	290,9	133,2	651,9	
	7	-10,0	290,9	1173,9	-	
	8	-10,0	290,9	1434,1	2,4	$T_{2,IS}: 103,6 \text{ [°C]}$ $T_{2,W}: 103,6 \text{ [°C]}$
	1	-9,0	288,6	1436,8	2,4	$T_{14,IS}: 19,2 \text{ [°C]}$ $T_{14,W}: 19,2 \text{ [°C]}$
	15	15,6	290,9	1494,8	2,1	
LOW PRESSURE	14	15,6	293,3	1494,6	2,2	
	9	-25,0	151,3	133,2	-	$T_{IS}$ is the temperature of the discharge gas assuming reversible and adiabatic compression
	10	-25,0	151,3	65,1	671,1	
	11	-25,0	151,3	1144,2	-	$T_{W}$ is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression
	12	-25,0	151,3	1414,0	1,3	
13	-23,5	149,9	1417,5	1,3		

CYCLE SPECIFICATION						
TEMPERATURE LEVELS			PRESSURE LOSSES		REFRIGERANT	
HS: $T_{E,HS}$ [°C]:	<input type="text" value="-10,0"/>	$X_{OUT}$ [kg/kg]: <input type="text" value="0,8"/>	$\Delta P_{SL,HS}$ [K]: <input type="text" value="0,2"/>	$\Delta P_{SL,LS}$ [K]: <input type="text" value="0,2"/>	R717	
LS: $T_{E,LS}$ [°C]:	<input type="text" value="-25,0"/>	$X_{OUT}$ [kg/kg]: <input type="text" value="0,8"/>	$\Delta P_{DL,HS}$ [K]: <input type="text" value="0,2"/>	$\Delta P_{DL,LS}$ [K]: <input type="text" value="0,2"/>		
$T_C$ [°C]:	<input type="text" value="35,0"/>	$\Delta T_{SC}$ [K]: <input type="text" value="1,0"/>				
CYCLE CAPACITY						
HS: Mass flow $\dot{m}_{HS}$ [kg/s]:	<input type="text" value="0,26"/>	$\dot{Q}_{E,HS}$ : 283,1 [kW]	$\dot{m}_{HS}$ : 0,553 [kg/s]	$\dot{V}_{S,HS}$ : 843,3 [m <sup>3</sup> /h]		
LS: Cooling capacity $\dot{Q}_{E,LS}$ [kW]:	<input type="text" value="300"/>	$\dot{Q}_{E,LS}$ : 300,0 [kW]	$\dot{m}_{LS}$ : 0,234 [kg/s]	$\dot{V}_{S,LS}$ : 662,4 [m <sup>3</sup> /h]		
COMPRESSOR PERFORMANCE						
HS: Isentropic efficiency $\eta_{IS,HS}$ [-]:	<input type="text" value="1"/>	$\eta_{IS,HS}$ : 1,000 [-]	$\dot{W}_{HS}$ : 125,8 [kW]	$\dot{W}_{TOT}$ : 145,8 [kW]		
LS: Isentropic efficiency $\eta_{IS,LS}$ [-]:	<input type="text" value="1"/>	$\eta_{IS,LS}$ : 1,000 [-]	$\dot{W}_{LS}$ : 20,1 [kW]			
COMPRESSOR HEAT LOSS						
HS: Heat loss factor $f_{Q,HS}$ [%]:	<input type="text" value="10"/>	$f_{Q,HS}$ : 10,0 [%]	$T_2$ : 94,9 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS,HS}$ : 12,6 [kW]		
LS: Heat loss factor $f_{Q,LS}$ [%]:	<input type="text" value="10"/>	$f_{Q,LS}$ : 10,0 [%]	$T_{14}$ : 15,6 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS,LS}$ : 2,0 [kW]		
SUCTION LINES						
HS: Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL,HS}$ [K]:	<input type="text" value="1,0"/>	$\dot{Q}_{SL,HS}$ : 1467 [W]	$T_1$ : -9,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL,HS}$ : 1,0 [K]		
LS: Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL,LS}$ [K]:	<input type="text" value="1,5"/>	$\dot{Q}_{SL,LS}$ : 834 [W]	$T_{13}$ : -23,5 [°C]	$\Delta T_{SH,SL,LS}$ : 1,5 [K]		

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Álava, J. y González, S. **Prácticas Laborales**. Previo a la titulación de Ingenieros de Alimentos. Año 2009.
  
- [2] Anzaldúa M., Antonio. **La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica**. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza, España. Año 1994. Paginas: 79, 84-87, 163-167.
  
- [3] Catálogo del Equipo Advantec, Aire Forzado.
  
- [4] Catálogo del Equipo Cabinplant, Salmuera por Aspersión.
  
- [5] Catálogo de Instructivos de la Empresa: “Métodos, dosificación de aditivos alimentarios, fichas técnicas”.
  
- [6] Catálogo de Procedimientos de la Empresa: “Procesos para materia prima, producto en proceso y producto terminado”.

- [7] Catálogo MYCOM: Principios Básicos de Refrigeración.
- [8] CORPEI: **Mercado Ecuatoriano y Mundial del Camarón**. Disponible en: <http://www.corpei.org/contenido.ks?contenidold=7005>.
- [9] Elonka, S. y Minich Q. “**Refrigeración y Acondicionamiento de Aire: Preguntas y Respuestas**”. Editorial McGraw Hill. Tercera edición. México. Año 1989. Páginas: 45-47, 333-346.
- [10]FAO: **Programa de Información de Especies Acuáticas**. Camarón Blanco *Penaeus vannamei* “Producción, Cultivo y Mercados”. Disponible en: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus\\_vannamei/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/es).
- [11]FAO: **Tablas de Composición de Alimentos de Uruguay**. Año 2009. Disponible en: [http://www.fao.org/infoods/tables\\_latino\\_es.stm](http://www.fao.org/infoods/tables_latino_es.stm).
- [12]Manual de Calidad de la Empresa: “Criterios de calidad del camarón, especificaciones”.
- [13]MYCOM: **Elección del Compresor Frigorífico**. Disponible en: <http://www.mycomspain.com/articulo.htm#compresor%20alternativo>.



- [14]MYCOM–Refrigeración: **Principios, Diseño, Aplicaciones**. ILDIMP Publicidad. México D.F. Año 1993. Páginas: 61-81.
- [15]Norma Codex Stan 92-1981. “**Aditivos Alimentarios**”. Disponible en:  
[http://www.codexalimentarius.net/download/standards/.../CXS\\_092s.pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/standards/.../CXS_092s.pdf).
- [16]Norma Mexicana: NMX-F-489-1994 “**PRODUCTOS DE LA PESCA. CAMARÓN CONGELADO. ESPECIFICACIONES**”. Disponible en:  
<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas.PDF>.
- [17]Revista La Barra: “**I.Q.F. NOVEDAD/CONGELACIÓN**”. Disponible en:  
<http://www.revistalabarra.com.co/.../i-q-f-novedad-en-congelacion.htm>.
- [18]SEAFOOD TODAY. **Revista Internacional del Canal de Comercialización de Pescados y Mariscos**. Disponible en:  
[http://www.seafood-today.com/noticia.php?art\\_clave=4984](http://www.seafood-today.com/noticia.php?art_clave=4984).
- [19]Stoecker, W.F. **Refrigeración y Acondicionamiento de aire**. “Sistema de Presiones Múltiples”. McGraw-Hill. Año 1982. Páginas 56-74.