



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**DISEÑO DE UNA LÍNEA DE ENFRIAMIENTO PARA EL MEJORAMIENTO DEL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE JAMONES DE PIERNA DE LA EMPRESA
SUBCERCA C.A**

Tutor académico:

Prof. Ixmit López

Tutor industrial:

Ing. Fredis Vadel

Realizado por:

FERRARI Z, Verónica

Valencia, Abril de 2008



RESUMEN:

El objetivo general de la presente investigación consistió en el diseño de una línea de enfriamiento para mejorar el proceso de elaboración de jamón cocido por parte de la empresa SUBCERCA C.A, para llevar a cabo dicho objetivo se definieron los siguientes objetivos específicos: Determinación de las propiedades físico-químicas del jamón que inciden en la etapa de enfriamiento, evaluación del proceso actual de elaboración de producto, investigación de las tecnologías de enfriamiento que mejor se adaptaban al proceso de estudio, dimensionamiento de los equipos necesarios por la tecnología seleccionada y por último el establecimiento de la factibilidad económica de la inclusión del diseño a desarrollar.

Los parámetros que se estudiaron en la presente investigación consistieron en propiedades tanto físicas como químicas del jamón cocido elaborado por la empresa SUBCERCA C.A, tales como: Conductividad térmica, calor específico, concentración de grasas, agua y pH. En cuanto a las variables de proceso analizadas destacan: Humedad relativa de las cámaras de enfriamiento, circulación del fluido refrigerante, tamaño de la cámara de refrigeración y la temperatura de refrigeración.

La investigación se llevó a cabo en la empresa SUBCERCA C.A, específicamente en el área de enfriamiento del proceso de fabricación de jamón cocido, en donde esta área está constituida básicamente por tres cámaras de enfriamiento las cuales consisten en: Una cámara de enfriamiento inicial, cámara de enfriamiento intermedio y una cámara de enfriamiento final, las cuales por igual constan de un recinto aislado provisto de un sistema de refrigeración el cual opera con fluido de refrigeración freón 12, y que de acuerdo a la disposición asignada operan con diferentes temperaturas de enfriamiento las cuales se ajustan a través de un sistema de control.

La metodología que se llevó a cabo se basó inicialmente en la determinación de las propiedades del producto y variables de proceso que afectaban en la etapa de enfriamiento, lo cual se detectó a través de consultas en bibliografía especializada y tras la medición de las mismas, con dicha información se pudo llevar a cabo un diagnóstico del proceso a mejorar, posteriormente se efectuaron investigaciones en cuanto a las tecnologías de enfriamiento más empleadas en la actualidad, y con dicha información adicional a la recolectada del proceso se procedió a la selección de la tecnología de enfriamiento más acorde, para finalmente elaborar el estudio de factibilidad económica respecto de la inclusión de dicha tecnología en el proceso.

Entre las conclusiones que se obtuvieron tras la investigación destacan las siguientes: Las propiedades que inciden en el proceso de enfriamiento, son las propiedades termofísicas tales como conductividad térmica, calor específico y propiedades químicas tales como concentración de agua, grasas, pH, que en



conjunto dependen de las características de la carne de cerdo que es la materia prima para la elaboración del jamón cocido. La variable respuesta del proceso está representada por la velocidad de enfriamiento de las piezas de jamón cocido, mientras que los factores que afectan su comportamiento consisten en: Temperatura de la cámara, velocidad de circulación del aire, humedad relativa y tamaño de la cámara. Las tecnologías de enfriamiento más aplicadas en la actualidad en procesos de enfriamiento en industrias cárnicas, son aquellas que basan su funcionamiento en la criogenia, operando con Nitrógeno como fluido frigorífico. El diseño desarrollado para la etapa de enfriamiento, consistió en un sistema de enfriamiento criogénico conformado por: Un armario criogénico, un tanque criogénico y un sistema de distribución de Nitrógeno líquido y en cuanto a la factibilidad económica del proyecto se obtuvo que este representaba ser atractivo, tras la obtención de beneficios superiores a los costos que éste implica a lo largo del horizonte económico fijado, valores de VAN y TIR de 136.657,62 \$ y 45,6244 % respectivamente y un tiempo de pago de cuatro años el cual es menor al tiempo medio de pago estimado.

Tras la realización de la investigación se puede recomendar lo siguiente: Incentivar con la presente investigación a desarrollar futuros trabajos donde se estudie la aplicabilidad de los sistemas de enfriamiento criogénico y su gran utilidad en diversos procesos industriales ya que en el país se dispone de muy poca información respecto a las aplicaciones industriales de la criogenia, así como también se recomienda el estudio de las condiciones de operación de estos sistemas en especial de los fluidos con los cuales operan para evitar accidentes o inconvenientes que puedan entorpecer el proceso en el cual se esté aplicando tecnologías de este tipo.



ABSTRACT:

This investigation is based on the design of a cooling line to improve the manufacturing process of cooked ham of SUBCERCA C.A enterprise, to get this purpose, was defined the following objectives: Determination of physical-chemical properties that influenced the cooling process, evaluation of the present manufacturing process, investigation of the newest cooling technologies, designing of equipments need by the selected technology and establishment the economical feasibility of the project.

The variables that were studied consisted on the physical and chemical properties of cooked ham, these were: Thermal conductivity, specific heat, pH, concentration of fat, about the variables that influenced the process stand out: Relative humidity, speed of the cooling fluid, size of the cooling room and cooling temperature.

The investigation was carried out in the SUBCERCA C.A enterprise, in the cooling area of the manufacturing process of cooked ham, where this area is formed by three cooling rooms that was consisted on: An initial room, a middle room and a final room of cooling, these rooms operate with Freon 12, as cooling fluid, and also work with different temperatures depending their type.

The methodology that was followed, was based on the definition of the product properties and variables of the process which influenced the cooling, these properties was defined through specialized bibliography and measure of them, with that information was done a diagnostic of the process to improve, later was done investigations about the cooling technologies in the present represent the most used in process like was studied, with all this information was selected the equipments and was made the economical study about instruction of this selection.

The conclusions that was gotten through the investigation were the following:
The properties which affect the cooling process are the thermophysical properties like thermal conductivity, specific heat and chemistry properties as: pH, concentration of fat and water, which all together depend of the characteristics of pork meat that was the main ingredient to make ham. The answer variable of process is represented by the cooling speed of the pieces of ham, while the variables which affect the behavior consisted on: Room temperature, speed of the air, relative humidity and size of the room, the cooling technologies most used in the actual cooling process in meat industries, are based on cryogenic functioning work with Nitrogen as refrigerating fluid. The design developed for the cooling stage consisted in: Cryogenic wardrobe, cryogenic tank and a liquid Nitrogen distribution system, about the economical feasibility of project was obtained that it represents be attractive, through the obtaining benefit superior to the costs that this one implies along the economic horizon, also through the obtaining of economic indicators as VAN and TIR of 136.835,79 \$ y 45,7203 %, respectively and a time of payment of four years which is minor to the time estimated mean of payment.



Resumen



After the accomplishment of the investigation it is possible to recommend the following: To stimulate with the present investigation to develop future works where there is studied the applicability of the systems of cryogenic cooling and its great usefulness in diverse industrial processes since in the country, because in the country arranges of little information with regard to the industrial applications of the criogenia, as well as also there is recommended the study of the conditions of operation of these systems especially of the fluids with which they operate to avoid accidents or disadvantages that could obstruct the process in which there are applied technologies of this type.



I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se dará a conocer el problema en estudio, la situación actual y deseada así como el objetivo general y los objetivos específicos. De igual forma se presentan las razones que justifican la investigación y las limitaciones.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

SUBCERCA, C.A, es una compañía anónima responsable de la fabricación de los productos embutidos Ricci, entre los cuales destacan jamones, chuletas, y salchichas elaboradas a base de carne de cerdo y pollo. Esta compañía está establecida en el municipio San Diego del estado Carabobo, desde el año 2004 y desde esa fecha se encarga de ofrecer a sus clientes productos de alta calidad elaborados bajo un esquema de vanguardia en tecnología de avanzada, en la fabricación de productos embutidos (cocidos y ahumados), y a su vez cumpliendo con todas las normativas de calidad que los productos alimenticios requieren, cabe destacar que sus productos cuentan con el sello COVENIN de calidad.

En la rama de fabricación de jamones en el país, existe competitividad en cuanto a empresas que ofrecen productos embutidos similares al de la empresa SUBCERCA, C.A, cabe destacar que estas otras empresas son organizaciones con mayor tiempo de establecimiento en el país, lo cual le ha permitido todo un desarrollo de infraestructura a mayor escala que propicia el abastecimiento de muchos más clientes de una forma masificada, diferencia con respecto a la empresa SUBCERCA C.A que es una empresa mucho más pequeña que intenta posicionar sus productos cada vez con mayor fuerza en otras regiones del país, más la región central que es la principal región de colocación de sus productos, para lograr dicho objetivo es necesario conocer las estrategias adecuadas a tomar para lograr una mayor producción.

Antes de iniciar con la toma de las decisiones estratégicas es necesario conocer cual es el esquema de producción que se lleva a cabo para la producción del jamón de pierna, partiendo de la premisa de que el jamón de pierna que se fabrica en la empresa antes mencionada es elaborado a base de materia prima tanto nacional como importada, entre las cuales destacan:

- Carne de cerdo de primera.
- Conservantes (Tripolisfosfato de sodio y Fosfato de Sodio).



- Nitrato de Sodio.
- Proteína vegetal.
- Proteína animal aislada de soya.
- Azúcar.
- Sal común.
- Color artificial.
- Plasma desecado.
- Entre otros.

La combinación de los ingredientes antes mencionados en la elaboración del jamón, dependerán de las características del producto final que se desea obtener, ya que existen fórmulas específicas (recetas) para cada jamón que se desee fabricar.

En cuanto al proceso de fabricación del jamón de pierna, éste se inicia con la recepción de las piezas de carne de cerdo, que son surtidas a la planta por proveedores dedicados a la cría y matanza de estos animales, luego estas piezas son sometidas a un proceso de estandarización en donde se toma en cuenta la masa de las piezas y observación de características, para luego una vez reunidos la masa y propiedades óptimas se procede a la aceptación de las piezas, y pasar a la siguiente etapa del proceso en donde las piezas son cortadas, para luego ser almacenadas en congeladores que operan a una temperatura de -18°C . Las piezas de carne se seleccionan del congelador de acuerdo a la cantidad de jamón a producir, una vez seleccionadas las piezas se someten a un proceso de molienda de manera de obtener una especie de pasta de carne, que en la siguiente etapa se empleará para elaborar la mezcla de jamón junto con los ingrediente antes mencionados, que en una primera fase se coloca en un contenedor de aproximadamente 500 L, acoplado a un motor que a medida que se van agregando los ingredientes, éste mediante la fuerza mecánica que genera propicia la homogeneización de los mismos. Cabe destacar que los ingredientes siguen el siguiente orden de adición:

1. Se añade la carne,
2. fosfato,
3. carragenato y azúcar (juntos),
4. sal,
5. nitrito de sodio,
6. condimentos,
7. fécula de papa ,
8. color artificial,
9. humo.



Luego la pasta antes homogeneizada se coloca en un mezclador fabricado de acero inoxidable, el cual opera a través de espas que efectúan giros que duran 10 minutos de operación para un sentido y transcurrido dicho tiempo comienza el giro hacia el otro sentido. En total el proceso de mezclado antes mencionado tiene una duración de 24 horas.

Una vez transcurrido el mezclado, la pasta del mezclador la cual es de color rosado, sale por una compuerta de descarga que éste posee, para ser dirigido hacia una máquina embutidora en donde en esta etapa, como su nombre lo indica se basa en contener la pasta antes fabricada en tripas, las cuales son los recubrimientos usados para contener la pasta de jamón, así como también se utilizan para obtener mayor maleabilidad por parte de la pasta a la hora de darle forma a la pieza de jamón y permitir su mejor manejo y operación. Una vez efectuado el embutido, las piezas cuentan con una temperatura de 7°C a 8°C, luego se colocan en moldes de forma y tamaño estandarizado, y una vez que son colocadas las piezas en los moldes, se procede a disponer de éstos en una estructura de 5 placas en donde en cada placa se colocan aproximadamente 10 piezas, luego esta estructura se fija a través de unas barras apernadas con fuerza, y a través de un gancho mecánico son introducidos en un horno, el cual opera bajo un principio de baño de maría, dentro de este horno se produce el proceso de cocción del jamón a una temperatura constante de 80-82°C, y se lleva a cabo por aproximadamente de 5 a 6 horas (se lleva a cabo a esta temperatura ya que es la óptima a la cual gelifica el carragenato, que es el agente empleado en la fabricación de jamón para captar las moléculas de aguas presentes en la pasta de jamón y si se utilizara una temperatura superior a ésta el jamón experimenta un proceso de caramelizado).

Una vez culminado el proceso de cocción, se abre el horno y con la ayuda de un gancho mecánico, se extrae la estructura contenedora de las piezas de jamón, luego se espera un tiempo prudencial para manipularlas y se emplea agua corriente suministradas por mangueras para tratar de descender la temperatura de las piezas, hasta que sean manipulables por parte de los operadores de la planta, para luego ser transportadas a una cava refrigeradora, en donde las piezas de jamón experimentan un descenso de temperatura de 80°C a 7,5°C, lo cual se logra en tres días aproximadamente. Para finalmente, una vez alcanzada dicha temperatura pasar las piezas a la zona de etiquetado y almacenaje.



En la figura 1.1, se detalla a través de bloques los pasos que forman parte del proceso de producción del jamón de pierna de la empresa SUBCERCA C.A:

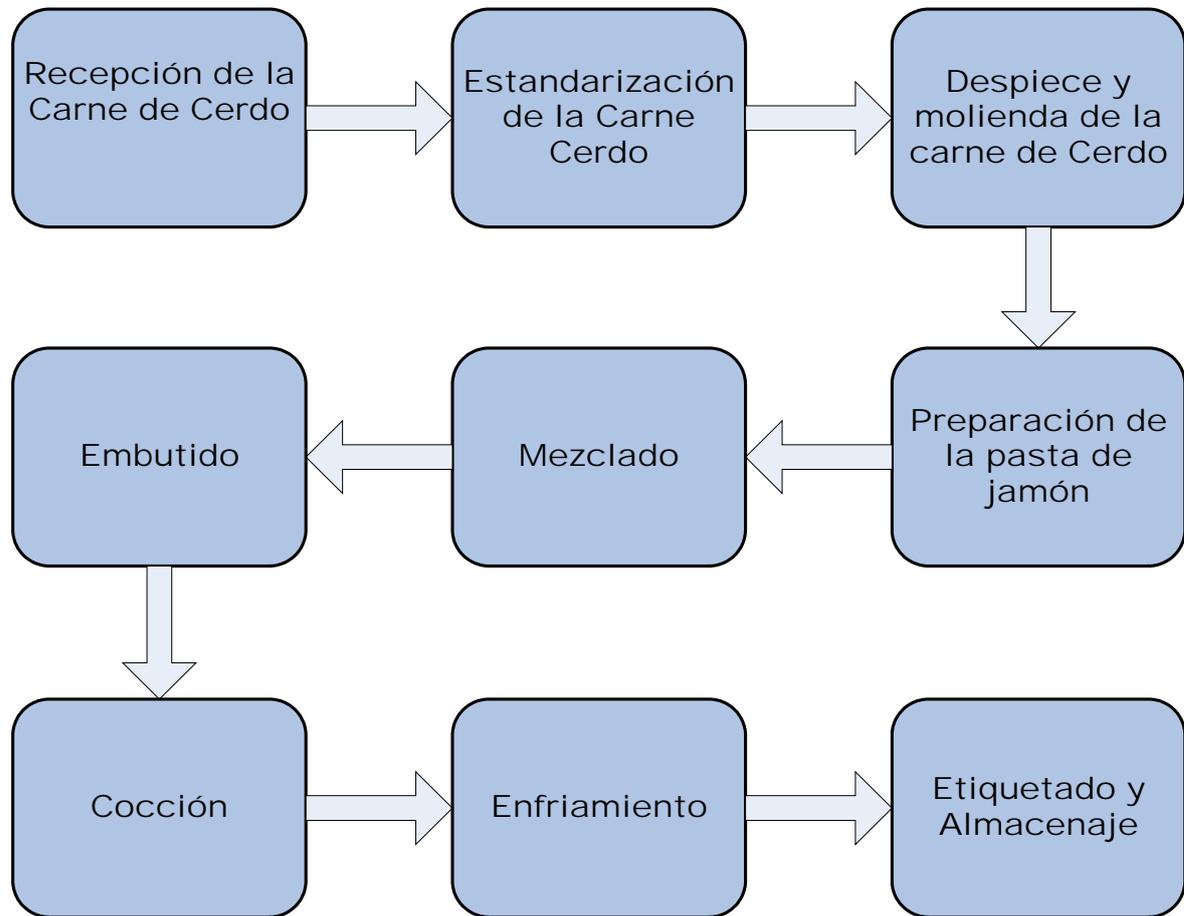


Figura 1.1. Diagrama de Bloques del proceso de producción de jamón de pierna de la empresa SUBCERCA C.A.

Dentro de las etapas de fabricación del jamón de pierna, la etapa de enfriamiento es la más crítica, porque es en ella donde se debe propiciar un descenso progresivo de temperaturas con el objetivo de no alterar las propiedades físicoquímicas en parte de las piezas de jamón; sin embargo para el caso del proceso de fabricación de jamón por parte de la empresa SUBCERCA C.A, la etapa de enfriamiento es prácticamente inexistente ya que no cuentan con una línea de enfriamiento para lograr un descenso gradual de temperaturas de las piezas de jamón, desde que abandonan el horno de cocción hasta lograr una temperatura tal que al ser introducidos en la cava de refrigeración no sufran choques térmicos que originen aglomeraciones en las piezas y su deterioro, además la inexistencia de esta línea de enfriamiento intermedia, genera como consecuencia manejo de una producción limitada por parte de la empresa, ya que la etapa de enfriamiento que en la



actualidad existe implica varios días para su realización, y adicionalmente representa una limitante importante para el incremento de la producción por parte de la organización, que no ha podido aumentarla debido a la problemática antes mencionada respecto a la inexistencia de la línea de enfriamiento, dejando de percibir mayores ganancias por la comercialización de sus productos de jamón en el mercado.

Es importante destacar que la manera como se lleva a cabo el proceso de enfriamiento de las piezas de jamón, implica riesgos desde el punto de vista de seguridad industrial por parte de los operadores, especialmente en la etapa donde se retiran las piezas del horno de cocción y se pasan a la cava de refrigeración, en donde los operadores se exponen al manejo de piezas metálicas (moldes) a altas temperaturas, lo cual es una situación que merece ser corregida.

En atención a lo descrito anteriormente se plantea la necesidad de diseñar una línea de enfriamiento que permita cubrir los requerimientos del proceso de elaboración de jamones de pierna de la empresa SUBCERCA C.A antes descrito, para alcanzar un mejoramiento en la producción, de manera de garantizar un producto de óptima calidad en atención a la inclusión del diseño que se espera realizar.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

En la actualidad la empresa SUBCERCA C.A, emplea un proceso de enfriamiento de las piezas de jamón, basado en irrigación con agua a través de mangueras, de forma manual y directa a los moldes contenedores de las piezas de jamón, este método de enfriamiento resulta un tanto inadecuado, ya que requiere de un tiempo elevado para lograr el descenso de las temperaturas, limita la capacidad de producción, así como también pone en peligro el deterioro de las piezas por los cambios tan bruscos de temperatura a los cuales se someten y la seguridad de los operadores del proceso. Por lo tanto se plantea la necesidad de diseñar una propuesta para una línea de enfriamiento más eficiente que permita solventar las problemáticas antes mencionadas, así como también permita aumentar la producción de la organización.

1.2.1. SITUACIÓN ACTUAL:

La empresa SUBCERCA C.A, cuenta con equipos de calidad para las etapas involucradas en el proceso de fabricación del jamón, sin embargo no cuenta con una etapa de enfriamiento eficiente dentro del proceso de manufactura, lo cual trae como



consecuencia defectos en cuanto a las piezas producidas (choques térmicos), falta de seguridad industrial por parte de los operadores que se deben exponer al manejo de piezas metálicas (moldes) a altas temperaturas y sobre todo gran cantidad de tiempo necesario para el enfriamiento lo cual acarrea retrasos en el proceso, y no permita un aumento de la producción por parte de la organización que le represente mayores beneficios.

1.2.2. SITUACIÓN DESEADA:

Diseñar una línea de enfriamiento dentro del proceso de fabricación de jamón de pierna por parte de la empresa SUBCERCA C.A, que pueda representar una propuesta factible a ser incluido en el proceso de manufactura del jamón, con el objetivo de mejorar las fallas que el proceso actual está presentando en cuanto a los choques térmicos, falta seguridad por parte de los operadores y retrasos en la producción.

1.3 OBJETIVOS:

1.3.1 Objetivo general:

Diseñar una línea de enfriamiento, para el mejoramiento del proceso de fabricación de jamón de pierna, de la empresa SUBCERCA C.A.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físico-químicas del jamón que inciden en la etapa de enfriamiento, a fin de conocer el comportamiento de las mismas.
- Evaluar el proceso actual de producción de jamón de pierna, con la finalidad de determinar la necesidad térmica en el proceso de enfriamiento y las variables que inciden en el mismo.
- Investigar tecnologías de enfriamiento que se adapten al proceso de estudio, con la finalidad de seleccionar la tecnología que mejor se adapte con los requerimientos térmicos del proceso.
- Dimensionar los equipos necesarios por la tecnología seleccionada, en base a los requerimientos térmicos que la misma debe satisfacer.
- Establecer la factibilidad económica de la inclusión del diseño a desarrollar en el mejoramiento del proceso de fabricación del jamón.



1.4. JUSTIFICACIÓN:

La presente investigación posee una relevancia social y ambiental, ya que en cuanto a la relevancia social se puede decir que con la inclusión del diseño a elaborar se establecería un ejemplo a seguir por otras organizaciones en cuanto al proceso de manufactura, así como también puede generar un ambiente más seguro por parte de los operadores quienes laboran en la línea de producción. En cuanto a la relevancia ambiental el hecho de incluir el diseño de una línea de enfriamiento contribuirá a un mejor aprovechamiento de la energía y recursos empleados en el proceso, que desde el punto de vista ambiental es crítico que se lleve a cabo de esa manera, por el hecho de que hoy en día se tiende a la preservación y uso consiente de los recursos.

En cuanto a la conveniencia, este proyecto aporta una potencial solución a los problemas de proceso que se presenta en la elaboración de jamón, ya que se pretende diseñar una solución para la etapa de enfriamiento, que es la que demora el proceso de manufactura total, así como también genera más gastos desde el punto de vista de tiempo y energía invertida, lo cual no permite optimizar el proceso y mucho menos aumentar la producción.

Entre las implicaciones prácticas, destaca el hecho de elaborar un diseño atractivo que no amerita un tiempo elevado de desarrollo, y que a su vez puede ser presentado a la organización de manera de que ésta lo pueda poner en marcha lo antes posible y así obtener las mejoras de proceso que tanto desea.

De igual forma la presente investigación representa un aporte metodológico, ya que implica el desarrollo de un diseño de una línea de enfriamiento que no está contemplada en el proceso, y que permitirá su mejoramiento.

Desde el punto de vista teórico, resulta relevante el desarrollo de la presente investigación debido a que su ejecución implica la investigación profunda en cuanto a aspectos relativos al proceso de fabricación de jamón en sí, lo cual era algo totalmente desconocido, así como también investigar y aprender como se puede lograr un mejoramiento del proceso a través del diseño que se desarrolle.

1.5 LIMITACIONES:

El trabajo de investigación que se llevará a cabo presenta como limitación fundamental, la incapacidad de poner en marcha el diseño que se pretende desarrollar, ya que por diversos aspectos de diversa índole entre los que destacan



principalmente costos y tiempo, la investigación está limitada al desarrollo del diseño de una línea de enfriamiento para el mejoramiento del proceso de fabricación del jamón, sin embargo se espera que el diseño sea considerado por la organización para ser incluido como mejoramiento del proceso.



II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En esta sección se exponen como antecedentes de la investigación trabajos vinculados con el área de enfriamiento en la fabricación de productos cárnicos, así como también se incluye información respecto de fundamentos teóricos que sirven de base para la investigación.

2.1. ANTECEDENTES.

- Puente, A. (2004). **“Diseño de un Plan de Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos en el Proceso de Jamón Cocido”**. Universidad de Juárez De Durango. Facultad de Ciencias Químicas.

Este trabajo de investigación se basó en el diseño de un plan de análisis y control dentro de procesos de fabricación de jamón cocido, para llevar a cabo tal desarrollo se estableció como objetivo general el diseño de un plan de análisis de riesgos, identificación y control de puntos críticos en el proceso de fabricación de jamón cocido. En cuanto a los objetivos específicos que se plantearon destacan:

1. Especificar los sistemas de monitoreo de puntos críticos.
2. Desarrollar los mecanismos de control pertinentes para la recolección de la información, como lo son el diseño de hojas de control y materiales.
3. Analizar hojas de control y materiales.
4. Proponer las medidas preventivas necesarias según sea el caso de puntos críticos analizados.

En cuanto a las conclusiones más importantes destaca que la evaluación del índice de calidad en el proceso de producción de jamón resulta un buen indicador del avance de cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura, lo cual está vinculado además con la obtención de mayor control de la producción



dado a la constante inspección de los puntos y variables críticas durante el proceso de fabricación.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en el hecho de que ambas investigaciones se basan en la propuesta de un mecanismo que permita lograr la calidad en el proceso de manufactura del producto en este caso común que es el jamón. La diferencia entre ambas se fundamenta en el hecho de que en esta investigación no se pretende aplicar un sistema de control para un proceso ya preestablecido, sino que más bien se va a evaluar las repercusiones de aplicar un nuevo sistema en cuanto a la calidad de manufactura a obtener con su inclusión.

- Alarcón, A. (2006). **“Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades físicoquímicas de la carne de cerdo”**. Facultad de Zootecnia. Universidad de Chihuahua.

En el trabajo de investigación consultado se estableció como objetivo general de la investigación evaluar el efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades físicoquímicas de la carne de cerdo. En cuanto a los objetivos específicos que se plantearon en la investigación destacan los siguientes:

1. Identificar las variables críticas que afectan en el proceso de sacrificio de cerdos.
2. Analizar el efecto de las variables críticas que afectan las propiedades Físicoquímicas de la carne de cerdo post-mortem.

Entre las conclusiones más importantes de esta investigación sobresale el hecho de que pueden existir variables críticas tales como la cantidad de animales sacrificados, en donde se demostró que al ser igual a cinco el número de cerdos sacrificados y mediante una reducción del tiempo de espera entre la etapa de sacrificio y desangrado de los animales, permitían la obtención de mejores propiedades físicoquímicas de la carne ya que se reducía el factor de stress post-



mortem que tanto afecta a estas propiedades, tan importantes de conservar en óptima calidad a la hora de elaborar productos los cuales poseen como materia prima carne de cerdo.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en el hecho de que en ambas investigaciones resulta importante conocer las características físicoquímicas de la carne de cerdo y las variables que las afectan. La diferencia con la presente investigación radica en el hecho de que en esta investigación no se pretende efectuar experimentos para determinar tales características, tan solo se espera tener un conocimiento de las propiedades físicoquímicas con el objetivo de establecer las relaciones de éstas con el proceso de transferencia de calor involucrado en el proceso de fabricación de piezas de jamón.

- Zea, Z. (2000). **"Evaluación de la calidad microbiológica de los productos cárnicos analizados en el Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel" durante el período 1990-2000"**. Departamento de Microbiología de Alimentos. Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel.

En este trabajo de investigación se planteó como objetivo general evaluar la calidad microbiológica de los productos cárnicos: Cocidos (salami, mortadela, jamón y salchicha), crudo (hamburguesa), madurado (salchichón) y productos cárnicos comercialmente estériles consumidos en Venezuela. En cuanto a los objetivos específicos de la investigación destacan:

1. Determinar los agentes patógenos más comunes en la carne de cerdo en Venezuela.
2. Determinar los agentes microbianos más comunes en la carne de cerdo en Venezuela.
3. Evaluar la calidad de los productos cárnicos en diversos puntos de su proceso de producción, a fin de evaluar su calidad patógena y microbiana.



La similitud con el trabajo en desarrollo radica en el hecho de que en ambas investigaciones resulta importante conocer cual es la calidad desde un punto de vista patógeno y microbiano de la carne utilizada en la elaboración de productos cárnicos, dado a que en los procesos de manufactura de alimentos se debe ser cuidadoso en cuanto al manejo de esta información pues al ser alimentos está implícita la salud de los consumidores. La diferencia con la presente investigación radica en el hecho de que el tipo de carne involucrado en el proceso de estudio es de cerdo específicamente, y sí bien es cierto se desea conocer las propiedades de ésta a nivel microbiano y microbiológico una vez fabricada las piezas de jamón, el objetivo de la investigación es evaluar cual sería el proceso óptimo de fabricación para mantener estas propiedades en óptimas condiciones y que los productos elaborados puedan cumplir con las normas de calidad establecidas en el país.

- Sánchez, M. (1998). “**Tecnología Frigorífica aplicada a industrias Cárnicas**”. Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Ingeniería Agrónoma y de Montes. Universidad de Córdoba.

En la presente investigación se analizaron las tecnologías frigoríficas que en la actualidad se emplean en el ámbito de las industrias cárnicas, para realizar dicho estudio se estableció como objetivo general de la investigación analizar los distintos parámetros a considerar en el diseño de instalaciones frigoríficas para productos cárnicos, así como también los equipos de refrigeración empleados. En cuanto a los objetivos específicos planteados en la investigación destacan:

1. Analizar la importancia de la influencia de parámetros como la humedad relativa, temperatura y velocidad de circulación del aire en el proceso de refrigeración de productos cárnicos.
2. Evaluar las repercusiones del uso de dispositivos de control que permitan mantener bajo condiciones de operación deseadas las variables antes mencionadas.



La similitud con el presente trabajo radica en que la investigación consultada se evaluó el sistema de enfriamiento o refrigeración como etapa crítica del proceso de fabricación de productos cárnicos, y en la presente investigación se realizará tal evaluación. La diferencia con la presente investigación radica fundamentalmente en que el trabajo de investigación a desarrollar, se evaluará la etapa de enfriamiento en el proceso de fabricación de jamones de pierna de carne de cerdo, mientras que en el artículo consultado se basa en analizar el proceso de enfriamiento de productos cárnicos en general.

- Domínguez, M (2004) “**Los Almacenes en las Cadenas del Frío**”. Instituto del Frío. Madrid.

El objetivo fundamental de este trabajo consistió en conocer la función reguladora de los almacenes en la cadena de frío y revisar su evolución en el tiempo, de manera de establecer las bases para el diseño de nuevos almacenes de refrigeración de este tipo en lo que compete a la refrigeración de productos cárnicos. En cuanto a los objetivos específicos que se formularon en la investigación, se pueden mencionar:

1. Revisar las modificaciones que está sufriendo la cadena del frío en España.
2. Ofrecer las tendencias que marcarán a las cadenas de frío en el futuro.

La similitud con la presente investigación se fundamenta en la importancia de dar a conocer la implicación de un diseño correcto de almacenes de refrigeración basado en el estudio de las variables que afecta tal diseño tal como: Tipo de Almacén, Volumen y Número de cámaras, etc; así como también señala la importancia de realizar diseños de almacenes que responda de forma individual los requerimientos térmicos de la carga a tratar ya que éste es un factor crítico. En cuanto a la diferencia con la presente investigación se puede decir que se basa principalmente a que en el artículo analizado se hace mención en la evolución de las cadenas de frío en España pero referido al almacenamiento y refrigeración de



diversos productos como: Leche, quesos, pescado, carne, verduras y frutas, mientras que en la investigación que se está desarrollando se evaluará la actividad de los almacenes de refrigeración, los cuales son empleados para el almacenamiento de las piezas de jamón como parte de la etapa de enfriamiento en la fabricación de las piezas de jamón por parte de la empresa venezolana SUBCERCA C.A .

- Pérez, J. (2003), “**Envasado de carne y productos cárnicos en atmósferas modificadas**”. Departamento de Tecnología Agroalimentaria. División de Tecnología de Alimentos. Escuela Politécnica de Superior de Orichuela. Universidad Miguel Hernández de Elche.

El objetivo general del trabajo consultado consistió en realizar un repaso de las técnicas empleadas en la actualidad dentro de las industrias cárnicas para efectuar el tratamiento de los productos cárnicos en el proceso de envasado y almacenaje, los cuales se realizan bajo la incidencia de atmósferas modificadas donde se utilizan gases tales como Oxígeno, Nitrógeno Dióxido y Monóxido de Carbono a condiciones de presión y temperatura específicas. Entre los objetivos específicos que se plantearon en la investigación destacan:

1. Divulgar las técnicas de tratado de productos cárnicos bajo la acción de atmósferas modificadas.
2. Demostrar las ventajas del uso de atmósferas de tipo modificadas, en cuanto a la acción de éstas respecto a la conservación de las propiedades físicoquímicas de los productos y aumento de su tiempo de vida útil.

La similitud con la presente investigación se fundamenta en el hecho de que el artículo se basa en un tratamiento térmico que implica el manejo de productos cárnicos como es el caso de la presente investigación, además de que se vincula con la presente investigación en el hecho de que en ambas se pretende dar a conocer la importancia de mantener bajo control todas aquellas condiciones



que afectan las propiedades físicoquímicas del producto, durante el proceso de su manufactura. Sin embargo la principal diferencia respecto a la presente investigación se fundamenta en el hecho de que en el artículo analizado se estudia el efecto de aplicar atmósferas modificadas en cuanto al envasado de productos cárnicos, mientras que en la presente investigación se pretende evaluar la sección de enfriamiento en la producción de jamones en donde se puede estudiar además la influencia de este tipo de atmósferas en cuanto a la etapa de enfriamiento, así como también se puede estudiar como el uso de algunos de los gases antes mencionados (O_2 , N_2 , CO_2 y CO), como fluidos refrigerantes puede repercutir en el proceso de enfriamiento.

- Gómez, J. (1999), “**Congelación criogénica con nitrógeno líquido como garantía de calidad**”, Air Liquid España.

El objetivo fundamental de este trabajo consistió en explicar la evolución de la criogenia en cuanto a la conservación de alimentos, y la aplicabilidad del nitrógeno como gas criogénico dentro de los procesos donde intervengan fenómenos de transferencia de calor. Entre los objetivos específicos que se plantearon en la investigación destacan:

1. Explicar la evolución de la ciencia de la criogenia a lo largo de los años, y las implicaciones que hoy en día ofrece en materia de refrigeración de productos.
2. Analizar la aplicabilidad del nitrógeno y la evolución de las tecnologías de criogenia que lo emplean.
3. Evaluar los beneficios que ofrece el uso del nitrógeno como gas criogénico en cuanto a la preservación de las propiedades físicoquímicas y bacteriológicas de los productos que sean sometidos a enfriamiento bajo esta técnica.

En cuanto a la similitud que presenta con la investigación se puede decir que se fundamenta en el hecho de que en el artículo se trata como se mencionó



anteriormente del tópico del uso de nitrógeno como gas criogénico para lograr la conservación de productos alimenticios dado a las ventajas preservativas que esta tecnología ofrece, lo cual es una de las posibilidades a considerar a la hora de evaluar el proceso de enfriamiento de la investigación que se está realizando. En cuanto a las diferencias con la presente investigación destaca el hecho de que en el artículo consultado se trata el tópico de la tecnología criogénica con nitrógeno gas aplicado a la congelación de productos alimenticios (especialmente carnes), como técnica de preservación, mientras que en la presente investigación se enfoca el tema de la criogenia como alternativa a considerar para la sección de enfriamiento del proceso de producción de jamones y no para su congelación como en el caso anterior.

- Bocanegra, B y García, J, (2001). **“Mejoras en la calidad del proceso de producción de un producto embutido según la norma ISO 9000”**, Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

La investigación consultada consistía en la incorporación de mejoras en el proceso de producción de embutidos según las normas de calidad ISO 9000, para ello los autores de la investigación se plantearon como objetivo general aportar mejoras en la calidad del proceso de producción de un producto embutido y preparar la documentación necesaria para desarrollar el manual de Gestión de Calidad basado en la Norma COVENIN-ISO 9002:1995. Entre los objetivos específicos que se formularon destacan:

1. Proponer acciones a fin de mejorar el proceso de producción de embutidos basado en las normas COVENIN-ISO 9002:1995.
2. Efectuar revisiones de manuales y normas de calidad en general y específicas del área de embutidos.



3. Llevar a cabo las acciones necesarias para preparar los documentos necesarios a fin de desarrollar un manual de Gestión de Calidad basado en la Norma COVENIN-ISO 9002:1995.

En cuanto a la similitud que presenta con la investigación, se asemejan en que ambas se propone el mejoramiento del proceso de producción de un producto alimenticio a fin de optimizar su producción. En cuanto a la diferencia que ambas investigaciones presentan se puede decir que en la presente investigación se propone la mejora desde el punto de vista térmico de una sola etapa (etapa de enfriamiento) del proceso productivo de jamón de pierna, mientras que la investigación consultada se propone la mejora desde el punto de vista de la calidad, basado en la Norma COVENIN-ISO 9002:1995, de todo el proceso productivo de embutidos.

2.2. BASES TEÓRICAS.

La industria cárnica a nivel mundial ha experimentado una gran evolución en lo que respecta a las prácticas tradicionales de producción, procesado y distribución bien sea de la carne misma y de los productos que de ella pueden derivar; sin embargo, de las prácticas tradicionales de procesamiento de carne, se han mantenido y utilizado fundamentos para ser aplicados en el desarrollo de nuevas tecnologías en pro de promover mejoras en los procesos de producción.

Gracias a todos los avances que en este ámbito han venido surgiendo, es que se ha desarrollado sectores de la industria dedicados exclusivamente a atender los requerimientos que se generen, en áreas específicas de procesos comprendidos dentro del ámbito de la industria cárnica, con el objetivo de satisfacer las necesidades bien sea a nivel térmico, manufactura, etc, con el propósito de mejorar los procesos de fabricación y garantizar productos de calidad.



2.2.1. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JAMÓN DE CERDO

En las industrias cárnicas especialmente las fabricantes de jamones a base de carne de cerdo, se aplica el siguiente principio: “Antes de fabricar el jamón hay que fabricar el cerdo”, la razón de ello radica en la importancia que tienen ciertos aspectos inherentes al animal como lo son las características anatómicas de los cerdos, alimentación, entrenamiento a que se haya visto sometido el animal, y posteriormente otras de importancia como lo es la edad al sacrificio del animal, la importancia del seguimiento de todas estas características radica en el hecho, de que a medida que los factores mencionados con anterioridad no se desarrollen de forma óptima, aumentan las probabilidades de obtención de carnes de baja calidad que no permitirán por consiguiente obtener productos que ofrezcan calidad, y que resulten atractivos desde un punto de vista alimenticio y económico

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el proceso de elaboración de los jamones empieza, por consiguiente, en el cuidado del propio animal, quien a lo largo de su vida tiene un seguimiento individualizado que llega a culminar con la identificación de cada pieza.

En la industria manufacturera del jamón, destacan en la misma diversos productos (jamones), que difieren unos de otros respecto al proceso de manufactura, tal como se destacan en la siguiente figura:



Figura 2.2.1. Clasificación de los diversos tipos de jamón existentes en el mercado cárnico.

En este caso en particular, el producto cárnico de estudio son piezas de jamón cocido, elaboradas a base de carne de los miembros posteriores de cerdos



criados en suelo venezolano, la aclaratoria de origen de los animales es importante porque como se mencionó con anterioridad, el lugar de crianza es determinante, pues de acuerdo a la región de procedencia dependerá la alimentación y crecimiento de los cerdos, los cuales son factores determinantes en la propiedades físico-químicas de la carne que se procesará.

Fuente: (Sánchez, 1998).

2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LA CARNE DE GANADO PORCINO

El proceso de clasificación de la carne consiste en efectuar una selección de la misma de acuerdo a categorías y según sus diferentes características (organolépticas, físicas y químicas).

En general, se pueden clasificar en carnes Finas o Extras, de Primera, de Segunda y de Tercera. En general, las diferencias entre cada una de tales clasificaciones radica básicamente en la localización del tipo de carne en el animal, así como también de la cantidad de grasa, del corte y su textura.

Es importante destacar que la zona del animal donde la carne tiene mejor textura es aquella donde el animal tenga mayor trabajo.

Las carnes Finas o Extras y de Primera se caracterizan por no presentar hueso en su corte, bajo contenido en grasa, y tener una consistencia blanda y jugosa, por otra parte las carnes de Segunda se caracterizan por ser carnes que poseen fibras musculares muy gruesas y por último las carnes de Tercera se caracterizan por poseer mayor contenido graso y ser de una consistencia más dura.

A continuación se expone en la figura 2.2.2 una representación de la clasificación de los diferentes tipos carne, de acuerdo a la localización de los cortes en la fisionomía de los cerdos:

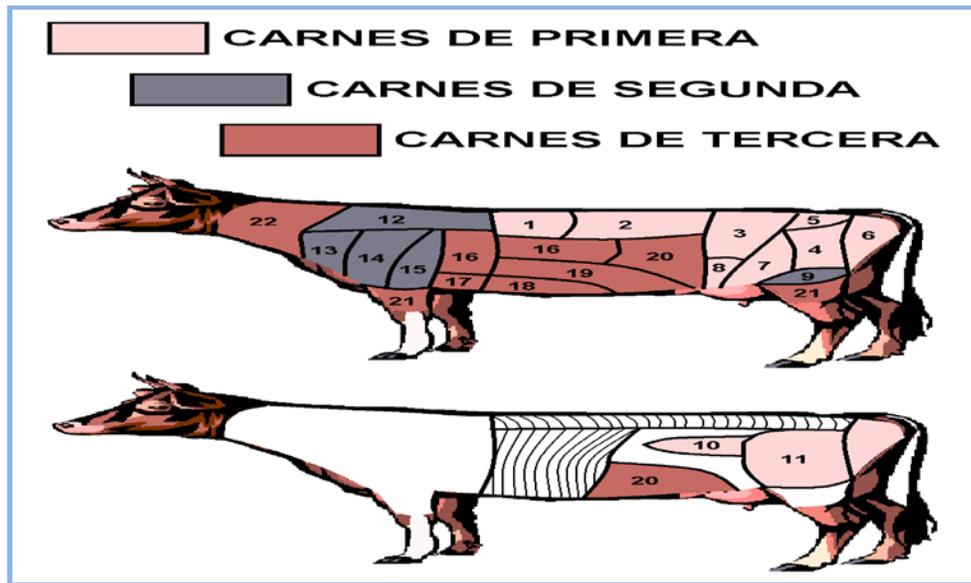


Figura 2.2.2. Clasificación y Ubicación anatómica de los cortes de carne de ganado porcino.

1. Churrasco	8. Colita de Cadera.	15. Huevo de Paletero.
2. Solomo, Lomo Ancho, Chatas	9. Lagarto Tableado.	16. Costilla.
3. Solomo Extranjero, Cadera.	10. Solomito, Lomito.	17. Pecho
4. Posta, Bota.	11. Tabla, Centro de Pierna.	18. Entrepecho.
5. Punta de Anca.	12. Huevo de Solomo, Agujas.	19. Sobrebarrida.
6. Muchacho.	13. Sabaleta, Lomo de Brazo.	20. Falda.

TABLA 2.2.1. Clasificación y Ubicación anatómica de los cortes de carne de ganado porcino.

Fuente: (Pérez, 2003).



2.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CERDO

Entre las principales características de la carne se encuentran los caracteres organolépticos, constantes físicas, características químicas y microbiológicas las cuales se detallan a continuación:

Denominación Comercial	% PLG* Mínimo	% Grasa Máximo	% Humedad Máxima	% Proteína Adicionada	% Carragenina Máximo	% Fécula Máximo
Extrafino	18	6	75	0	1.5	0
Fino	16	6	76	2	1.5	0
Preferente	14	8	76	2	1.5	5
Comercial	12	10	76	2	1.5	10
Económico	10	10	76	2	1.5	10

* PLG Porcentaje libre de grasa incluyendo proteína adicionada

TABLA 2.2.2. Clasificación de las denominaciones comerciales de jamones, características de jamones de acuerdo a las especificaciones de la federación española del jamón.

Fuente: (Pérez, 2003).

2.2.3.1. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LA CARNE DE CERDO

2.2.3.1.1. Color:

De las propiedades organolépticas es la que más fácilmente puede ser estandarizada su evaluación. Existen escalas de colores bien definidas que permiten comparar el color de soluciones líquidas y sólidos, y espectrofotómetros especializados en la determinación del color. No obstante se debe describir el color de los productos ya que hay matizaciones que sólo el ojo humano es capaz de hacer.

En el caso de la carne el color de la misma, se debe básicamente a la presencia del pigmento muscular mioglobina, cuyo contenido en la carne de cerdo es muy bajo; no obstante la mioglobina de la musculatura del jamón experimenta un aumento paulatino al reducirse el contenido acuoso. En el caso de la carne de



cerdo a diferencia de la carne de res el color característico tiende a un rosa, debido a la baja cantidad del pigmento antes mencionado en la carne de estos animales; pero la coloración de la carne de estos animales tiende a oscurecer hacia un rojo más intenso cuando se tratan de procesos de curado, cuando al tiempo de ser incrementado la concentración de sal se producen modificaciones químicas que dan lugar a una coloración roja.

Entre los principales factores que alteran el color de la carne se encuentran:

- En las primeras edades, el color de la carne es blanco y al irse desarrollando el animal, la carne se oscurece.
- Si el animal consume alimentos verdes fuertemente clorofílicos, intervienen en la obtención de carnes de tono rojo oscuro, mientras que por el contrario la ingesta de almidones y alimentos concentrados intervienen en la obtención de carnes de un tono rojo más claro.
- La raza del animal se observa en la peculiaridad del color externo y está directamente relacionada con el color de la carne, por ejemplo en el caso de los cerdos de pelaje oscuro producen carnes oscuras, en cambio las reses trigueñas o albinas producen carnes blancas.
- La actividad muscular depende principalmente de la edad del animal, por ejemplo en el caso de la carne de cerdos jóvenes es blanca, mientras que en los animales adultos la canal es más oscura; esto debido a que ha tenido mayor actividad muscular.

2.2.3.1.2. Veteado o Marmorizado:

La edad es importante para el modo de engrasamiento, pues los animales adultos poseen una mayor facilidad para deponer grasa entre las fibras musculares, ocasionándose así el deseado veteado tan característico de nuestros exclusivos jamones de calidad. Se debe a la presencia de grasa que se localiza entre los fascículos musculares y que se observa a simple vista al corte. La



cantidad de veteado es una característica propia de las razas y suele aumentar con la edad del animal. Su mayor o menor cantidad influye en la concentración de mioglobina de las fibras. Existe pues, relación entre el veteado y el color de la carne.

2.2.3.1.3. Jugosidad:

Esta propiedad es originada por dos componentes: la humedad que se produce al iniciarse la masticación debida a la liberación de jugo procedente de la carne y el efecto estimulante de la grasa sobre el flujo salivar, siendo esta última más duradera que la inicial. La sensación de jugosidad está, por lo tanto, más relacionada con el contenido graso que con la capacidad de retención de agua de la carne. La jugosidad esta también influenciada por la sal, que estimula la secreción salivar y actúa en sentido similar al contenido graso.

Fuente: (Alarcón, 2006).

Adicionalmente a las propiedades organolépticas, es importante mencionar que existe otro tipo de propiedades de mucha importancia de considerar a la hora de analizar procesos de manufactura que impliquen el manejo de carne, este tipo de propiedades son las microbiológicas. En los procesos de manufactura de productos cárnicos las propiedades microbiológicas son igualmente importantes de procurar, tomando en cuenta procesos de elaboración que cumplan con las normativas sanitarias (Norma COVENIN 1602:1996 Jamón Cocido).

A continuación se especifican rangos permisibles de microorganismos patógenos, en productos cárnicos en la tabla 2.2.3:



Características	n	c	Límite		Método de Ensayo
			m	M	
Salmonella en 25g*	5	0	0	-	COVENIN 1291
Staphylococcus aureus ($\mu\text{fc/g}$)*	5	2	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	COVENIN 1292
Mesofílicos aeróbicos ($\mu\text{fc/g}$ **)	5	2	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	COVENIN 902
Coliformes fecales (NMP/g)**	5	2	$<3.0^{***}$	10	COVENIN 1104
Mohos ($\mu\text{fc/g}$ **)	5	2	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	COVENIN 1337
Levaduras ($\mu\text{fc/g}$ **)	5	2	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	COVENIN 1337
Clostridium perfringens ($\mu\text{fc/g}$ **)	5	2	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	COVENIN 1552
Bacillus cereus ($\mu\text{fc/g}$ **)	5	2	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	COVENIN 1644

TABLA 2.2.3. Especificaciones microbiológicas en procesos de manufactura de jamón de pierna.

*Requisito de carácter obligatorio

** Requisitos con carácter de recomendación

Donde:

N: Número de muestras de lote.

C: Número de muestras defectuosas.

m: Límite mínimo o único.

M: Límite máximo.

Por último es importante mencionar ciertas especificaciones claves a considerar, en cuanto la elaboración de piezas de jamón, en atención a aditivos que se pueden adicionar con el objetivo de preservar o mejorar sus propiedades



organolépticas y microbiológicas, a continuación se resumen de la siguiente manera:

Aditivo	Límite Máximo
Endulcolorantes [%]	2
Antioxidantes [%]	0.05
Retenedores de humedad (Fosfatos) [%]	0.5
Conservadores [%]	0.1
Nitratos y nitritos [mg/Kg]	156

TABLA 2.2.4. Especificaciones establecidas por la norma COVENIN 1602:1996, para la adición de aditivos en la fabricación de jamones de pierna.

Fuente: (Norma venezolana COVENIN para Jamón cocido,1996).

2.2.3.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA CARNE DE CERDO

La composición química de los diversos tejidos que conforman la carne y subproductos (conjuntivo, graso, muscular, óseo, etc.), se diferencian en la cantidad y calidad de la carne, tanto en la vida del animal como en los cambios post – mortem del músculo. Estos cambios son la causa de una modificación bioquímica que transforma el músculo en carne comestible.

2.2.3.2.1. Agua:

De manera similar que los seres humanos, en los animales este vital líquido puede representar entre un 70%-80% de la constitución de los mismos.

La importancia de la presencia de este líquido en la constitución de los animales, radica en el hecho de que de él dependen la formación y buen funcionamiento de los tejidos que lo constituyen, así como también la concentración del mismo rige el



comportamiento de varias de las propiedades químicas. Es importante mencionar que la concentración de agua depende de varios factores que se resumen a continuación:

- Especie del animal.
- Edad del animal (las reses jóvenes poseen mayor cantidad de agua).
- Estado de nutrición.
- Actividad muscular (la edad y movimiento de una res disminuye la cantidad de agua que ésta posee).

2.2.3.2.2. Proteínas:

Las proteínas son sustancias nitrogenadas formadas por una reunión de aminoácidos, que constituyen un factor importante en la alimentación humana, puesto que suministran elementos básicos indispensables para la producción de tejidos vivos.

En la carne, las proteínas están en un porcentaje del 15%-23%, donde las más valiosas son el miógeno (pigmento muscular) y la asociación de miosina – actina que provoca la rigidez muscular y tiene una gran importancia en la aparición del rigor – mortis de la canal.

2.2.3.2.3. Grasas:

Las grasas y aceites juegan un papel muy importante en el desarrollo de sabores anormales por oxidación. La autooxidación de los lípidos y otras reacciones de degradación dan lugar a la formación de aldehídos y cetonas volátiles que son los que confieren a los alimentos sabores a pintura, grasos, metálicos, papel, cera, entre otros, cuando su concentración es suficientemente alta. Sin embargo, muchos de los gustos y olores más deseables en los alimentos, proceden de concentraciones modestas de estos mismos compuestos. En los productos cárnicos, especialmente en los productos curados como el jamón, longaniza, fuet, etc., los sabores identificativos de la calidad del producto son



debidos esencialmente a los compuestos de la degradación de las grasas, generados por microorganismos, autooxidación o reacciones químicas.

Cabe destacar que en las carnes se diferencian dos grupos principales de grasas; la orgánica que es una grasa blanda que se funde para la obtención de manteca, y la grasa inherente a los tejidos, como por ejemplo la de la papada la cual es muy resistente al corte.

2.2.3.2.4. Cenizas:

Las cenizas representan a los minerales presentes en la carne, es importante mencionar que estos minerales se encuentran generalmente en forma de sales; las principales sales presentes están constituidas por: Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y el Fósforo (PO_4).

2.2.3.2.5. pH:

Esta propiedad ejerce una influencia importante en el comportamiento de las propiedades tanto químicas como físicas de la carne. Cuando el animal está vivo su carne tiene un pH entre 7,3 y 7,5, poco después del sacrificio baja a 7, y luego se presenta la rigidez cadavérica, donde el pH llega a un mínimo de 5,3 y 5,5. Posteriormente, el pH asciende lentamente hasta 6,3, entrando a la fase de maduración. Para entender un poco mejor la influencia las variaciones de esta propiedad química de la carne, resulta necesario describir un poco el comportamiento de los procesos bioquímicos de la misma una vez que se sacrifica a los animales:

Fuente: (Alarcón, 2006).

PROCESOS BIOQUÍMICOS DE LA CARNE DE CERDO

Una vez sacrificado el animal, la carne del mismo comienza a experimentar una serie de cambios, dado al desarrollo de una serie de procesos bioquímicos, los



cuales pueden afectar otras características en la carne. A continuación se detallan estos procesos:

- **Fase de Contracción:**

Como su nombre lo indica consiste en la contracción de los músculos de los animales recién sacrificados, como resultado de esta etapa se produce la salida parcial del agua, que se presenta con el cambio de color y un aspecto seco que modifica la estructura de la carne; así como también por un cambio de pH. Este proceso se conoce con el nombre de rigidez muscular.

- **Fase del Rigor – Mortis:**

Se produce en el periodo de oreo, cuando el músculo se vuelve rígido. Esta etapa se caracteriza por la pérdida de agua, oscurecimiento y mayor acidez de la carne lo que la hace poco digerible, de baja calidad y valor nutritivo.

- **Maduración:**

Es la combinación de transformaciones que se originan en el músculo de un animal de abasto, posterior al sacrificio y faenado, proporcionándole a la carne propiedades de color, terneza, desarrollo del aroma y cambios de textura. El tiempo necesario para la maduración de la carne es variable y depende de la temperatura del local, la edad y sexo del animal, cuanto más elevada sea la temperatura del establecimiento más rápido de desarrolla la maduración. El tiempo mínimo de maduración de la canal es de 12 horas.

2.2.3.2.6. Péptidos:

Los péptidos pueden contribuir a proporcionar sabores (gusto+olor) favorables y desfavorables. Más allá de las reacciones que puedan producirse en un medio complejo, en presencia de otros compuestos, los péptidos de 2 a 10 aminoácidos pueden en función de su carácter hidrófilo o hidrófobo presentar sabores amargos, dulces, salados y "umami" (sabor característico del glutamato



monosódico). Cabe destacar que los péptidos hidrófilos son usualmente dulces, y los hidrófobos amargos o agrios.

La estructura y composición en aminoácidos de los péptidos tiene importancia en el sabor que confieren a los alimentos. Se sugiere en la bibliografía que las cadenas laterales de los péptidos y la presencia de aminoácidos básicos (arginina, histidina, etc) como N-terminal, influyen potencialmente en el sabor amargo.

La hidrofobicidad de los aminoácidos no es la única razón de la presencia de gusto amargo. En el peptídicas de L-aminoácidos por DL-aminoácidos reduce o modifica el gusto amargo, lo que indica la importante estereoespecificidad del gusto amargo.

2.2.3.2.7. Aminoácidos:

Péptidos y aminoácidos son el resultado de la hidrólisis de las proteínas. Los aminoácidos sufren diversos tipos de degradación durante la hidrólisis, formándose derivados por desaminación ($-NH_2$) o descarboxilación, produciéndose modificaciones en la calidad nutricional de los hidrolizados y en sus propiedades organolépticas.

Los aminoácidos son muy reactivos y contribuyen por diferentes vías a la generación de gustos, olores, colores, etc.

Los aminoácidos puros contribuyen también al sabor por sus propios gustos individuales.

La formación de sales de los aminoácidos también pueden generar modificaciones del gusto. Variaciones en el pH y la concentración o presencia de otros aminoácidos altera el sabor individual. Así, por ejemplo, ácido glutámico+ácido aspártico se emplean como sustituto de la sal. En productos



fermentados de pescado (anchoas y otros) los aminoácidos libres, conjuntamente con la creatinina y nucleótidos son responsables del sabor.

La glicina, glutámico, alanina y arginina son los principales contribuyentes al gusto de las carnes rebosadas y fritas. Estos ejemplos y múltiples otros que se podrían dar, sirven para afirmar la importancia de la contribución de los aminoácidos al sabor de los alimentos, no sólo para humanos sino también en alimentación animal. Los sabores cárnicos, los sabores a carne asada o hervida son debidos a reacciones de aminoácidos sulfurados como la cistina con carbohidratos o la serina y la treonina reaccionan con la glucosa en el tostado del café para formar pirazinas.

En resumen, los aminoácidos contribuyen al sabor por múltiples vías, sabor propio, degradación, reacciones con carbohidratos, lípidos, entre otros.

Fuente: (Zea, 2000).

2.2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CARNE DE CERDO

2.2.3.3.1. Peso Específico:

Una vez que la carne es sometida a diversos procesos (sudoración, tostado, refrigeración, etc.) ocurre la modificación de varias propiedades como la jugosidad, composición, consistencia, etc, y al ser modificadas todas estas se ve afectada de forma implícita otra propiedad considerable que es el peso específico.

2.2.3.3.2. Conductividad Térmica:

La conductividad térmica es una de las propiedades fundamentales a la hora de realizar estudios de transferencia térmica que compete a carne o productos derivados de la misma. Esta propiedad se establece fundamentalmente de acuerdo a la clase de tejido del animal, lo cual guarda relación a su vez con el contenido de grasa en la carne, en el caso de animales con contenido graso elevado se presenta entorpecimiento en cuanto a los procesos de transferencia pues la existencia de adiposidades genera altas



resistencia para los flujos de transferencia de calor, es por ello importante el control de la alimentación de los animales así como también la edad de los mismos ya que estos factores afectan de manera notoria en alto contenido de grasa en la carne. Otro aspecto importante que afecta el comportamiento de la conductividad térmica es la condición de matanza de los animales ya que un ambiente de stress a la hora de su muerte, puede generar extrema retracción de las fibras que componen los músculos de los animales, y al morir estas permanecen tan contraídas que a la hora de ser procesada la carne resulta sumamente engorroso su tratado, debido al alto nivel de rigidez y adicionalmente resulta problemático por el hecho de que el fenómeno de transferencia de calor se vé entorpecido debido a la contracción de tejidos y fibras de la carne, las cuales deberían permanecer de forma relajada de manera de permitir una mejor transito de los flujos de calor y no relajadas que sería lo ideal para permitir el flujo de calor.

Algunos modelos para estimar esta propiedad se resumen de la siguiente manera:

Modelos	Condiciones	Referencia
$k = 2,44X_a + 0,26(1 - X_a)$	$T \leq T_{ic}$	Comini y Bonacina,1974)
$k = 1,745X_a(1 - T_{ic}/T) + 0,233$	$T \leq T_{ic}$	(Finkiin,1974)
$k = 0,08 + 0,52X_a$	$0 \leq T \leq 60^\circ C$ $0,6 \leq X_a \leq 0,8$	(Sweat,1975)
$k = 0,344X_a - 0,0644X_p - 0,1334X_g + 0,0008T$	$T \geq T_{ic}$	(Hermans,1979)
$k = k_c + (k_d - k_c)(T_0 - T_{ic})/(T_0 - T)$ $k = k_c + m(T_{ic} - T) + (k_d - k_c)(T_0 - T_{ic})/(T_0 - T)$	$T \leq T_{ic}$	(Schawartzberg,1981)
$k = -0,28 + 1,8X_a - 0,0092T$	$-40 \leq T \leq 5^\circ C$ $0,65 \leq X_a \leq 0,85$	(Sweat,1995)
$k = k_{ic} + a(T - T_{ic}) + c\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ic}}\right)$	$T \leq T_{ic}$	(Willix et al,1998)
$k = k_{ic} + d(T - T_{ic})$	$T \geq T_{ic}$	(Willix et al,1998)

TABLA 2.2.5. Modelos matemáticos empleados para el cálculo de la conductividad térmica de la carne de cerdo.



2.2.3.3.3. Calor Específico:

El calor específico es otra de las propiedades físicas de la carne importante de conocer, y aún más si se estudian procesos de transferencia de calor, ya que para calcular en que momento se deposita en las cámaras de refrigeración los productos, es importante conocer previamente a cuanto equivale esta propiedad.

2.2.3.3.4. Difusividad térmica:

Es otra propiedad física importante a la hora de estudiar procesos de transferencia térmica, para el caso de esta propiedad existen los siguientes modelos para poder ser calculada:

Modelos	Condiciones	Referencia
$\alpha = 0,088x10^{-6} + (a_w - 0.088x10^{-6})X_g$	$T \geq T_{ic}$	(Riedel, 1969)
$\alpha = (0,0572X_a + 0,0138X_g + 0,0003T)x10^{-6}$	$T \geq T_{ic}$	(Hermans, 1979)

Figura 2.2.6. Modelos matemáticos empleados para el cálculo de la conductividad térmica de la carne de cerdo.

En general algunos valores de los rangos de ciertas propiedades físicas de la carne de cerdo se pueden resumir de la siguiente manera:



Propiedad Física	Rango de variación
Calor específico sobre punto de congelación [Kcal/Kg °C]	0.48-0.54
Calor específico bajo punto de congelación [Kcal/Kg °C]	0.30-0.32
Calor latente de congelación [Kcal/Kg]	30
Contenido de agua [%]	35-42
Temperatura de Congelación [°C]	-2.2 -- -1.7
Temperatura de Almacenamiento [°C]	0-2
Humedad Relativa [%]	85-90
Período de Almacenamiento aproximado [día]	4-10

TABLA 2.2.7. Especificaciones sobre propiedades físicas, rangos de variación de calores específicos e información general sobre carne de cerdo.

Fuente: (Ochoa, 2005).

2.2.4. CONSERVACIÓN DE LA CARNE DE CERDO Y SUS PRODUCTOS DERIVADOS

La conservación de la carne y de sus productos derivados, por medio del frío representa el más importante procedimiento de preservación aplicado a estos artículos sin que pierdan calidad. Al contrario de lo que sucede con otros métodos de conservación como el salazonado, desecación, calentamiento o ahumado, en la preservación por el frío, se conserva muy bien el estado fresco original de los artículos. Sin que se alteren sustancialmente propiedades como su aspecto, color, olor, sabor, consistencia, etc.

El desarrollo de las tecnologías frigoríficas, ha tomado un gran auge en el sector de la industria cárnica, representando una solución poderosa en cuanto a la



conservación de carne y sus productos, para que luego éstos puedan abastecer las demandas alimenticias crecientes de la población a nivel mundial.

Fuente: (Sánchez, 1998).

2.2.5. TECNOLOGÍA FRIGORÍFICA APLICADA AL SECTOR CÁRNICO

Los equipos de refrigeración se aplican para mantener las condiciones internas de almacenamiento en recintos o cámaras refrigeradas. Las condiciones que se deben mantener normalmente se reducen a tres parámetros de control los cuales son: Temperatura, humedad relativa y velocidad de circulación del fluido refrigerante (aire). Estas condiciones están regidas además por el funcionamiento del equipo de refrigeración y pueden modificarse cambiando las condiciones de operación.

Para controlar las condiciones internas de almacenamiento, las plantas frigoríficas deben contar con una serie de elementos sensores que indican cualquier modificación de las condiciones de almacenamiento, y con mecanismos de regulación que son activados para oponerse a los cambios que motiven la alerta.

En términos generales, las condiciones físicas (temperatura, humedad y en cierto modo velocidad de circulación del aire) que se establecen en una cámara o en una zona de una cámara no son estrictamente constantes durante períodos más o menos largos de tiempo, sino que oscilan entre dos valores límite, superior e inferior; estos cambios se reproducen periódicamente siguiendo un modelo más o menos regular. Este ciclo puede ser dividido en dos períodos: En el primero el equipo de distribución del refrigerante se encuentra en funcionamiento y en el segundo período de instalación se encuentra en parada. El modelo antes mencionado conocido como modo de operación “todo-nada” (on-off), es el que normalmente se encuentra en las plantas de refrigeración convencionales.



2.2.6. PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS.

- **Temperatura:**

La distribución de temperaturas dentro de una cámara frigorífica es una de las características más fáciles de controlar. Como su valor puede ser diferente en distintas zonas del recinto, la distribución de temperaturas dependerá de una serie de factores tales como: Buen diseño de la cámara, velocidad de circulación del aire, etc.

La temperatura del ambiente y del producto se controlan directamente colocando un termostato en el interior de la cámara refrigerada (o sobre el propio producto, aunque éste no se suele hacer en el caso de productos cárnicos para evitar contacto de estos equipos con los productos, y que puedan ocasionar alteraciones de los mismos); sin embargo, estas dos temperaturas se pueden controlar indirectamente fijando en sensor del termostato sobre el mismo evaporador o enfriador, y de esta forma se controla directamente la temperatura.

El primer método es indicado para aplicaciones en las que es necesario un control estricto de la temperatura del ambiente y del producto, como es el caso de la carne refrigerada. EL segundo método es probablemente mejor cuando pequeñas fluctuaciones de temperatura en el ambiente no representan un problema y sin embargo es conveniente asegurar un total descarchado del evaporador; se emplea en aplicaciones con temperaturas por encima de la temperatura de congelación.

Para el control automático del nivel de temperatura en la cámara refrigerada, se utilizan termostatos cuya función es hacer arrancar y parar la planta de refrigeración, controlando el motor eléctrico que mueve el compresor del condensador y también activando la válvula de solenoide.



Un enfriamiento rápido de productos cárnicos se puede llevar a cabo en cámaras de pequeña capacidad o bien en túneles de enfriamiento. En las cámaras frigoríficas el enfriamiento de la carne se ejecuta en dos o tres fases.

Durante la primera fase la temperatura de la cámara se mantiene alrededor de 0°C, con un control cuidadoso para evitar que se produzcan congelaciones superficiales; el movimiento del aire se mantiene al máximo de circulación, y esta operación se puede mantener alrededor de 10 y 12 horas, luego en la segunda fase se reduce la circulación del aire en el interior de la cámara pero se mantienen las condiciones de humedad y temperatura, esta fase puede durar alrededor de 10 a 6 horas, tras este periodo se transfieren los productos a cámaras de almacenamiento frigorífico donde el mismo se mantiene por ciertos períodos para su posterior distribución.

El almacenamiento congelado conviene para largos períodos, pero incluso a muy bajas temperaturas se produce cierto grado de deterioro de la calidad, estos periodos serán limitados, aunque tantos más largos cuanto más baja sea la temperatura. Las temperaturas usuales de almacenamiento oscilan entre -18°C-30°C, cuando se pretende conservar productos durante un año o más, sin embargo cada tipo de carne demanda sus condiciones específicas de almacenamiento para el periodo elegido.

- **Humedad Relativa:**

La humedad relativa en una cámara frigorífica, es un índice de equilibrio entre el agua presente en el producto, y su eliminación del aire cuando éste pasa por el evaporador. La humedad relativa de la atmósfera de una cámara frigorífica influye sobre la pérdida de peso de los productos cárnicos durante su almacenamiento. Esta pérdida de masa puede ser importante tanto desde el punto de vista económico, como del aspecto nutritivo.

Las condiciones de humedad relativa recomendadas para el almacenamiento refrigerado son las que en la práctica se han mostrado más



eficaces para proteger al producto del desarrollo microbiano, pero generan ciertas pérdidas de masa debido al agua que se evapora de la superficie del producto, pérdida del agua que se acepta como inevitable.

Las pérdidas totales de masa de un producto se fijan en un mínimo cuando las condiciones de humedad relativa se mantienen en un rango más bien breve entre el 80%-90%. Sin embargo, una humedad relativa más elevada, no es condición suficiente para disminuir las pérdidas de peso debidas a la evaporación.

La humedad relativa se debe mantener bastante elevada durante la operación de enfriamiento para impedir excesivas pérdidas de peso. Las condiciones recomendadas van del 85% al 95%, pero es importante destacar que éste es el factor más difícil de controlar.

En el caso de cámaras frigoríficas de conservación en refrigeración la humedad relativa se mantiene entre el 80% y 90%, estableciendo una relación entre las pérdidas de peso y el desarrollo microbiano.

Durante la conservación en estado congelado la humedad relativa debe ser lo más alta posible, entre 95%-98%, ya que en esta situación no se presentan riesgos de desarrollo microbiano, y además de esta forma se impedirá la deshidratación de la carne.

La humedad relativa en la cámara frigorífica se controla por muchos factores tales como: Características físicas y biológicas del producto, cantidad de producto en la cámara, tipo y método de embalado, movimiento del aire, tiempo de funcionamiento del sistema, tipo de control del sistema de refrigeración, diferencia de temperatura de la cámara, cantidad de superficie de producto expuesta al ambiente, infiltraciones de calor y de vapor de agua, condiciones del aire exterior, duración de los ciclos de funcionamiento de la instalación de refrigeración.

De todos ellos la diferencia de temperatura (DT) es el factor más importante, el cual se entiende como la diferencia entre la temperatura del aire



que entra al evaporador y la temperatura de saturación del fluido refrigerante correspondiente a la presión existente a la salida del evaporador. Cuanto más pequeña sea la diferencia de temperatura entre la superficie del evaporador y el ambiente, más alta será la humedad relativa en la cámara frigorífica y viceversa.

La pérdida de peso en la carne no solo se produce por la baja humedad relativa de la cámara, sino también está afectada por la circulación del aire y por la duración de los ciclos de funcionamiento de la maquinaria de refrigeración, los cuales a su vez influyen en la humedad relativa.

Los diferentes procedimientos para controlar y mantener una humedad relativa alta en la cámara son efectivos solamente entre ciertos límites.

Por ejemplo: El envoltorio hermético de un producto congelado puede inducir una progresiva formación de hielo en el interior del paquete, a una velocidad que dependerá de la temperatura de almacenamiento y del intervalo y de la frecuencia de la fluctuación de la temperatura. Por lo tanto, los pasos para reducir la formación de hielo son: Bajar la temperatura de almacenamiento y el diferencial de temperaturas, y limitar las variaciones de la temperatura de almacenamiento.

Existen algunos métodos para aumentar la humedad relativa en una cámara, aunque solo temporalmente: Rociar o nebulizar agua; hacer fluir aire a través de una torre de relleno. Estos métodos deben ser considerados solamente como una emergencia o una operación complementaria, ya que el agua incorporada pasa en su mayoría directamente al evaporador, aumentando inútilmente el consumo de energía y haciendo necesarios descarches más frecuentes del evaporador.

El nivel de humedad en una cámara puede ser medido y controlado por medio de higróstatos e higrómetros, los cuales deben ofrecer una respuesta rápida para el control.



- **Circulación de aire:**

El aire es el refrigerante secundario que elimina el calor del producto y su entorno, y lo transporta al evaporador donde se enfría y se desenvuelve al espacio refrigerado. El calor, tanto sensible como latente debido a la condensación del vapor de agua, se absorbe en la superficie del evaporador. El movimiento del aire dentro del almacén frigorífico tiene fundamentalmente dos objetivos: En primer lugar, se homogenizan las condiciones de temperatura y humedad relativa atmosféricas para conseguir una uniformidad razonable; en segundo lugar se mejora la eficacia del evaporador, pues el coeficiente de transmisión de calor aumenta a medida que se eleva la velocidad del aire.

El movimiento del aire aumenta por sus diferencias de densidad, lo que se conoce como convección natural, o puede ser aumentando por acción mecánica, lo que se llama convección forzada; en este caso se usan ventiladores o sopladores que regulan la velocidad del aire en la cámara y también sobre el evaporador.

En ambos casos se establece un modelo de circulación del aire en el interior de la cámara, cuyo punto focal es el evaporador, mientras que el resto de la cámara está regulado por pequeñas fuerzas que dirigen el aire cuando éste se mueve a través de las distintas pilas de producto y espacios de recirculación.

La uniformidad de la circulación del aire esta expresada por la medida de la diferencias de temperaturas presentes en las distintas zonas de la cámara refrigerada. Cuanto más pequeñas sean estas diferencias, mejor es la distribución del aire.

La distribución de aire en la cámara se puede conseguir usando ventiladores de largo impulso o por medio de canalizaciones. El impulso del aire a la salida debe ser de suficiente alcance para ventilar adecuadamente todos los puntos de la cámara. El funcionamiento adecuado de una distribución de aire



a través de canalizaciones requiere un buen diseño de los conductos, una instalación correcta y un mantenimiento regular.

Hoy día se usa frecuentemente el sistema de chorro libre de aire impulsado horizontalmente y a alta velocidad por los ventiladores, pues se ha comprobado que es una solución bastante eficiente y nada costosa, sobre todo cuando se instala apropiadamente y se ha establecido un buen plan de instalación dejando suficiente espacio entre pilas de tarimas.

El factor más importante en la distribución de aire, no importa el sistema que se use, es el diseño de la estiba. Se debe respetar además una anchura de canal de circulación de aire de 10 cm en el sentido del flujo principal; la distancia transversal entre apilamientos no es tan importante. No se debe presentar ningún obstáculo entre el techo y el nivel tangencial inferior de la salida del aire, que permite la formación del chorro de aire.

En cámaras de enfriamiento la velocidad de aire se estima entre 0,25 a 3,0 m/s; sin embargo las velocidades comúnmente establecidas por razones económicas son entre 0,75 a 1,5 m/s referidas a la sección libre de la cámara frigorífica; mientras que para el caso de cámaras de congelación el aire se hace circular a alta velocidad entre 2 y 4 m/s, e incluso 6 m/s.

En cámaras de almacenamiento refrigerado la proporción de aire en el interior de una cámara frigorífica industrial debe encontrarse en el intervalo de 20 a 35 veces el volumen de la cámara vacía. Cuando las cámaras están destinadas a almacenar vísceras comestibles, se aconseja emplear circulación natural para ayudar a mantener altos niveles de humedad relativa.

Es importante destacar, que cuando se introduce un producto que se encuentra a una temperatura diferente al del almacén, dicho producto deberá ser distribuido por toda la cámara en lugar de concentrarlo en un solo lugar.

Fuente: (Sánche,1998).



2.2.7. PRINCIPALES EQUIPOS FRIGORÍFICOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA CÁRNICA

- **Evaporadores:**

Un evaporador es cualquier intercambiador de calor en donde el fluido refrigerante se evapora a baja temperatura, por tanto a baja presión, aunque usualmente por encima de la presión atmosférica para evitar la entrada de gases y/o vapor de agua en el circuito de baja presión, también es el elemento del circuito a través del cual se absorbe calor del entorno que está siendo enfriado.

Después del compresor el evaporador es el elemento principal de la planta de refrigeración. En efecto, incluso se podría decir que el evaporador es el más importante porque es el que transmite “el frío” directamente al material que se quiere enfriar. Es el componente que determina finalmente el éxito del proceso.

Los evaporadores de enfriamiento de aire pueden operar en condiciones de convección natural o forzada. Los evaporadores de convección forzada o de flujo forzado se prefieren por el mayor coeficiente global de transmisión de calor que se consigue y por la rápida circulación del aire sobre los serpentines.

Esto permite una drástica reducción de las áreas del evaporador. Además, tienen una gran capacidad de refrigeración. Los serpentines de los evaporadores son de tubo aleteado, para conseguir grandes superficies de intercambio térmico con elementos compactos.

Los elementos de convección forzada se colocan donde haya un buen acceso a la unidad y a sus complementos auxiliares (válvulas de expansión, equipo de descarchado y particularmente el motor del ventilador). La posición se decidirá con arreglo a la capacidad del enfriador. Las unidades enfriadoras de alta capacidad se colocan sobre el suelo contra una pared; el aire se distribuye a través de boquillas que apuntan en distintas direcciones, y el recorrido de retorno no irá a lo largo de las paredes y del suelo. En cada cámara



se colocará solamente un pequeño número de unidades ubicadas estratégicamente; mientras que las unidades se distribuyen a lo largo del eje central de la cámara o a lo largo de las paredes; también se pueden montar en la pared.

El flujo y retorno del aire no debe ser obstaculizado y estarán libres zonas de almacenamiento. En cámaras refrigeradas de gran tamaño se suelen instalar varias unidades, recomendándose una por cada 500 m³.

Cuando el evaporador funciona a temperatura por debajo de 0°C, se deposita una capa de escarcha sobre la superficie de intercambio térmico, cuyo espesor aumenta con el tiempo. La escarcha o hielo, una fase sólida, es el resultado de la condensación de la humedad del aire y su posterior congelación, que se depositan como consecuencia de la circulación en el espacio refrigerado.

La humedad se origina fundamentalmente en la evaporación de agua del producto, en la carga de humedad de la atmósfera, (ya que el aire exterior tiene un contenido en agua superior al interior), y en el personal que trabaja en el almacén frigorífico, aunque este aporte es mínimo. A pesar de todas las precauciones que se toman el depósito de escarcha sobre el evaporador es inevitable.

El depósito de hielo sobre el evaporador reduce en primer lugar el coeficiente global de transferencia de calor debido a la resistencia térmica del hielo, y en segundo lugar dificulta la circulación de aire; ambos factores reducen el rendimiento del evaporador y de la instalación frigorífica. Es por tanto necesario realizar un descachado periódico del evaporador, por que el rendimiento del equipo frigorífico se deteriora con el aumento del espesor de hielo, lo que afecta en primer lugar al libre paso del aire a través de los serpentines del evaporador.

El descachado presenta tres problemas:



- Elegir el método para suministrar el evaporador de calor necesario para derretir el hielo: Gases calientes, refrigerante líquido caliente, resistencias eléctricas.
- Reducir las pérdidas de calor.
- Fijar la frecuencia de descarchado buscando un valor óptimo.

Es necesario determinar la frecuencia óptima de descarchado. Sí la frecuencia es muy baja el coeficiente de transmisión de calor y la circulación del aire se reducen y la eficacia del equipo desciende; por el contrario sí la frecuencia es muy alta la carga térmica aportada aumenta y la eficacia total del sistema se reduce.

Cuando los evaporadores trabajan en convección natural necesitan ser descarchados solo una vez al día, iniciándose el ciclo de descarchado alrededor de medianoche y durará varias horas. Las unidades de convección forzada con serpentines aleteados se deben descarchar al menos una vez cada 3 a 6 horas.

- **Compresores:**

El compresor es el elemento activo del circuito de enfriamiento. Cumple dos funciones: Reduce la presión en el evaporador hasta que el líquido refrigerante se evapora a la temperatura fijada, y mantiene esta presión retirando los vapores y elevando su temperatura y presión hasta un punto en el que el vapor puede ser condensado a la temperatura normal del medio de condensación.

La idea clásica de un compresor es la de la máquina constituida por un cilindro cerrado en cuyo interior desliza un pistón el cual es accionado por un motor que se desplaza merced al mecanismo biela-manivela. Sin embargo, en la evolución de la tecnología de producción de frío han ido apareciendo otros sistemas de compresión, que en su constitución mecánica en nada se asemejan a esta idea, llegando a no tomar presencia física el elemento compresor, consiguiéndose la reducción volumétrica de los vapores gracias a la fuerza centrífuga.



Los compresores se clasifican en alternativos, rotatorios, de tornillo y centrífugos. Los tres primeros entran dentro de la denominación de máquinas de desplazamiento positivo, mientras que el último se conoce como compresor cinemático.

Los compresores alternativos son, con gran margen de diferencia, los más comúnmente utilizados. Las modernas unidades son multicilíndricas. Este diseño aumenta la flexibilidad, permitiéndole adaptarse a caudales muy grandes aunque esto representa una de sus desventajas. Además, pueden producirse relaciones de compresión muy altas.

Cuando se evalúa la carga térmica total de una planta de refrigeración se deben elegir condiciones de operación tales que representen cargas térmicas extremas, por ejemplo, la capacidad frigorífica durante el periodo de enfriamiento será de dos a cuatro veces esta capacidad en el periodo de almacenamiento en condiciones ordinarias. Esto significa que si la capacidad del compresor es mayor que la carga térmica en el evaporador, el sistema no estará en equilibrio y no funcionará satisfactoriamente.

Para ajustar el funcionamiento del compresor a las condiciones reales carga térmica, tendrá que trabajar descargado o en condiciones de capacidad reducida.

Esta forma de trabajo reduce la eficacia del compresor y consecuentemente es una situación que se debe evitar, para lo cual se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda el uso de varios compresores que trabajen a plena capacidad, que uno grande a capacidad parcial.
- Es necesario asegurar especialmente las instalaciones centralizadas, que los compresores propuestos sean de un tamaño apropiado y que trabajen a plena capacidad en los distintos supuestos de carga térmica.



Cuando las plantas de refrigeración trabajan a baja temperatura es conveniente y económicamente recomendable usar un sistema de compresión en dos etapas, conocido como doble salto, especialmente cuando las plantas son de alta capacidad, como los congeladores industriales o las grandes cámaras de almacenamiento de productos congelados, a pesar de la complejidad de su instalación y operación, ya que el consumo de energía es mucho más bajo. El fluido usado para enfriar los motores térmicos que mueven los compresores, y el calor recuperado de sus gases de escape, se puede emplear para satisfacer diferentes demandas térmicas de la instalación, por ejemplo agua caliente sanitaria. La recuperación de energía es un punto clave que debe ser cuidadosamente estudiado cuando se diseña y se hace funcionar un matadero.

- **Condensadores:**

Los condensadores son básicamente intercambiadores de calor en los cuales los vapores de refrigerante son enfriados y licuados después de la compresión. La carga térmica del evaporador más el calor de compresión son evacuados al ambiente a través del condensador con ayuda de un fluido, normalmente agua o aire, es decir, el condensador está enfriado por agua o aire.

La elección del medio de condensación es difícil, pero la disponibilidad y naturaleza del suministro de agua es de primordial importancia a la hora de decidir, pues el agua es un excelente medio transmisor de calor con una capacidad térmica muy elevada. Los condensadores se clasifican en tres grupos: enfriados por agua, por aire o mixtos.

Cuando los condensadores son enfriados por agua pueden trabajar en circuito abierto, lo que se consigue cuando el agua caliente, después de pasar por el condensador, se envía directamente al desagüe como agua residual. Por el contrario, cuando se trabaja en circuito cerrado, el agua que abandona el condensador se bombea hacia una torre de enfriamiento donde la temperatura del agua se reduce hasta la temperatura de entrada de la misma en el condensador.



El primer método se suele evitar, no solo por el precio del agua sino también por su escasez.

Las torres de recuperación o enfriamiento trabajan bombeando agua caliente desde el condensador a la parte superior de la torre desde donde cae o se pulveriza hacia la parte inferior de la misma. La temperatura del agua se reduce y cede calor al aire que circule a través de la torre.

El condensador evaporativo es una combinación de un condensador y una torre de recuperación. Es un condensador atmosférico con una circulación forzada de agua y flujo de aire. Este tipo de condensador se ha impuesto por la necesidad de reducir el elevado consumo de agua de condensación que presentan los otros tipos de condensadores.

Tanto aire como agua son empleados en este condensador, entrando el aire por la parte inferior, bien impulsando o aspirado, recorriendo los serpentines de condensación y saliendo por la parte superior. El agua, simultáneamente se introduce por unas tuberías situadas sobre los tubos en forma de lluvia, humedeciendo toda su superficie para conseguir una eficacia máxima.

Los condensadores enfriados por aire operan normalmente en condiciones de convección forzada, dotándolos de ventiladores de flujo, que son ruidosos o sopladores centrífugos, que son más costosos, para mover el aire a alta velocidad sobre una bancada de tubos aleteados. Las velocidades de aire oscilan entre 2.5 y 5.0 m/s. Sin embargo, como el consumo de la potencia aumenta con el cuadrado de la velocidad del aire, 3 m/s se considera una velocidad adecuada.

2.2.8. ELEMENTOS DE CONTROL Y REGULACIÓN EN INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

Hoy día la mayoría de las plantas de refrigeración funcionan, por lo menos en cierto grado, automáticamente, debido a que el control manual para ejecutar diversas funciones es difícil y no muy preciso.



Las operaciones que más necesitan un control automático son: Regulación de la temperatura y humedad relativa en la cámara, alimentación del evaporador con líquido refrigerante, adecuación de la capacidad de refrigeración de la planta a la carga térmica de la cámara en diferentes condiciones ambientales, regulación de la temperatura de condensación, inicio de la secuencia operativa del compresor, e inicio de la secuencia del ciclo de descarchado.

Entre los elementos de control y regulación se encuentran:

- Presostato de seguridad de alta presión.
- Presostato de baja presión.
- Control de presión del aceite lubricante.
- Termostato de descarga.
- Válvula de regulación de agua.
- Válvula de expansión termostática.
- Válvula de expansión electrónica.
- Válvula solenoide.
- Termostatos.

Hoy día la automatización de una planta de refrigeración controla las siguientes funciones: Arranque y detención del compresor con la secuencia automática adecuada, regulación de la capacidad del compresor, conexión y desconexión del ciclo de enfriamiento de la cámara, e iniciación de la secuencia de automatización.

Un control automático debe proporcionar toda la información útil para una correcta supervisión del trabajo de la planta. Todos los elementos sensores deben estar asociados a luces indicadoras, dispositivos de medida, señales sonoras de alarma, etc., que se deben mostrar en la sala de máquinas.

Fuente: (Domínguez, 2004).



2.2.9. COMPORTAMIENTO DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE JAMÓN COCIDO

La etapa de enfriamiento en el proceso de elaboración de jamones cocidos, es una de las etapas más importantes y críticas. Esta etapa prosigue a la etapa de cocción, y resulta de suma importancia por dos razones:

- Permite garantizar la calidad del producto desde un punto de vista sanitario, ya que mediante el proceso de transferencia de calor que en esta etapa ocurre se logran eliminar o inhibir el crecimiento bacteriano (especialmente bacterias termófilas) en el producto.
- Permite acentuar las propiedades organolépticas, físicas y químicas del producto.

En base a lo explicado anteriormente, hoy en día gran parte de las empresas dedicadas a la elaboración de productos cárnicos, están enfocadas a la aplicación de mecanismos que les permitan controlar puntos críticos a lo largo de los procesos de manufactura de estos productos (Análisis de riesgos y puntos críticos), en donde en la mayoría de estos procesos las etapas más críticas consisten en aquellas donde están implicados procesos de transferencia de calor, ya que dado a los cambios de temperatura que ocurren en éstas se ven alteradas propiedades tanto como físicas, químicas, organolépticas en estos productos; lo cual en muchos casos resulta una problemática considerable, la cual puede traer como consecuencia no solo productos en mal estado, sino que pueden comprometer la salud de los consumidores de los mismos.

Como se hizo referencia con anterioridad, las etapas que suelen ser las críticas para el control del proceso de manufactura son las siguientes:

- **Etapa de Mezclado:**

En esta etapa se lleva a cabo el contacto de los ingredientes de la mezcla de jamón, es decir sucede el mezclado de la carne de cerdo junto con ciertos



ingredientes tales como sales, azúcar, etc, esta etapa se lleva a cabo en bombos fabricados con mecanismos internos de mezcla (mezcladores), que al estar en contacto con la masa del jamón, mediante movimientos rotatorios propicia el aumento de temperatura de la mezcla, tal aumento puede crear grandes inconvenientes, puesto que altas temperaturas favorecen las condiciones para la multiplicación microbiana de una forma muy rápida, logrando alterar las características de producto, en atención a lo descrito anteriormente se aplican bajas temperaturas para retardar o inhibir las reacciones químicas, enzimáticas y la actividad microbiana.

Además las altas temperaturas no solo favorecen las posibilidades de desarrollo bacteriano, sino que reducen la liberación de proteínas y en consecuencia disminuyen la capacidad de ligazón de agua.

En este caso, se sugiere llevar el masajeador a una cámara más fría, o disminuir la temperatura de la cámara en donde se encuentra. A veces puede incluso utilizarse Nitrógeno líquido si las condiciones lo permiten.

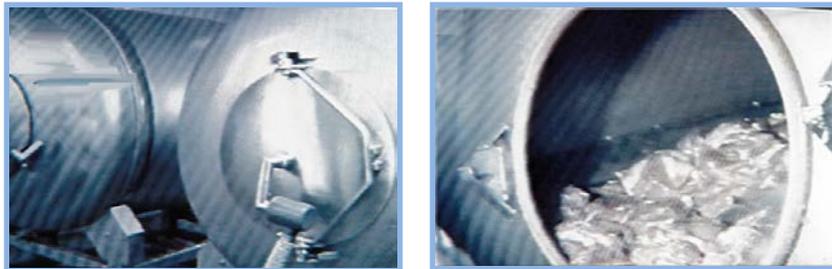


Figura 2.2.3. Vista de un bombo de mezclado, utilizado en la industria cárnica.

El empleo de bajas temperaturas se aplica, ya que se ha determinado que la velocidad de reacción de todos los procesos enzimáticos disminuye rápidamente cuando desciende la temperatura, de hecho la velocidad de este tipo de reacciones puede disminuir entre dos a tres veces por cada 10°C, que



experimente de descenso, lo cual además se traduce en un alargamiento del tiempo de vida útil del producto.

- **Etapas de Cocción:**

Esta etapa juega un papel muy importante en la elaboración de los productos, porque durante la cocción se logra el desarrollo de ciertas reacciones, en cuanto a los ingredientes de la mezcla de jamón que permiten obtener las características tan particulares de esta clase de productos, de hecho esta etapa es quien marca la diferencia en cuanto a otros procesos de manufactura de jamones, y de allí deriva el nombre de jamones cocidos.

Es importante destacar que existen casi tantos métodos de cocción como variedades de jamón y en muchos casos cada empresa desarrolla y aplica su propio método de cocción, la razón de ello puede obedecer a factores tales como el consumo de energía y el tiempo de cocción.

Sin embargo el método más fácil y rápido de cocción, consiste en alcanzar la temperatura interna deseada en el menor tiempo posible, en donde la temperatura interna de los jamones de menor calidad (mayor porcentaje de grasa) deberá estar alrededor de 68°C, y en el caso de jamones con mayor calidad (jamones con menor porcentaje de grasa), deberán tener una temperatura interna de 72 °C, ello por dos razones:

- Los ingredientes que ligan el agua tales como los carragenatos, comienzan a ser efectivos a partir de esta temperatura. De otra forma, las posibilidades de humectación y separación de gel son altas.
- Se detectará un valor de “aw” (water activity o actividad del agua) considerablemente más elevado en jamones de alto rendimiento. Por lo cual es importante cocinar a temperaturas elevadas para aumentar la duración del producto.



No es particularmente necesario comenzar la fase del desarrollo de color en la cocción, debido al tamaño relativamente grande de los jamones embutidos en bolsas o en tripas, al cocinarlos, la temperatura se incrementará poco a poco, permitiendo además el desarrollo del color deseado en la carne.

Se recomienda además que la temperatura del horno se programe desde el principio en 8°C por encima de la temperatura interna final deseada, usando además 100% de humedad relativa, es decir, cocción con vapor, porque no es lo mismo hablar de la temperatura interna que de acuerdo a las normativas agroalimentarias los jamones deben alcanzar para una óptima cocción, y la temperatura a la que se debe llevar a cabo la cocción. Conociendo claramente la diferencia entre ambas, es posible ahorrar energía y tiempo, ya que los hornos en la mayor parte de las empresas raramente están vacíos.

Es importante destacar que se debe permitir la evaporación del exceso de agua de enfriamiento antes de trasladar los jamones a la cámara de refrigeración.

- **Etapas de Enfriamiento:**

La etapa de enfriamiento junto con la etapa de cocción, son las etapas de mayor importancia y cuidado durante el proceso de elaboración de jamones cocidos, esto se debe al hecho de que a través del tratamiento térmico que en ellas se da lugar, no solo se logra definir las propiedades que caracterizan a los jamones de este tipo, sino que además a lo largo de su desarrollo se logran completar reacciones que se inician en la etapa de cocción, así como también con el intercambio térmico que en ella ocurre se logra reducir la posibilidad de crecimiento microbiano, pues al alcanzar bajas temperaturas se superan los rangos de temperaturas críticos para el crecimiento microbiológico, bacteriológico, etc. entonces las posibilidades de proliferación de estos organismos se reducen.

La etapa de enfriamiento termina representando la etapa concluyente y decisiva del proceso de manufactura del jamón, y de allí radica su importancia.



Dada la importancia de esta etapa es que se han desarrollado diversas tecnologías a nivel mundial, en lo que respecta al área de enfriamiento, y en especial en el sector de productos cárnicos, ya que etapa de enfriamiento en este tipo de procesos suele representar una etapa crítica para el control.

En la actualidad el aumento de los costos de la energía, transporte, etc. han impulsado a la evolución de los sistemas destinados a la conservación en frío de los alimentos, y obligado además a desarrollar soluciones que permitan de una forma rápida obtener grandes producciones en el menor tiempo posible.

Es importante destacar que existen tantas tecnologías de enfriamiento como requerimientos a satisfacer en la industria de refrigeración cárnica, resultando alguna de ellas muy novedosas y atractivas, mientras que algunas aún aplicadas no son tan efectivas, lo importante es conocer los requerimientos propios del proceso, para en base a éstos y al presupuesto disponible se pueda seleccionar la tecnología que mejor se adapte a estos procesos de enfriamiento. Es por ello que a continuación se describe los procedimientos de enfriamiento más comúnmente utilizados en estos procesos.

2.2.9.1. Ducha de Enfriamiento:

Este procedimiento de enfriado, consiste en desplazar mediante carros de transporte a las piezas de jamón hacia una sección de la planta provista de surtidores de aguas (duchas), tal como se aprecia en la figura 2.2.4:

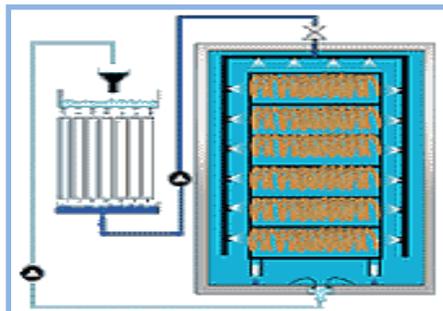


Figura 2.2.4. Vista de duchas de enfriamiento empleadas en procesos de manufactura de productos cárnicos.



El principio de funcionamiento de estos sistemas consisten en proveer un fluido de refrigeración en aspersión, en este caso para este tipo de sistemas el fluido utilizado es agua, la cual se aplica a los productos a enfriar a través de aspersores, que se encuentran dirigidos a las piezas de jamón, de manera de lograr una transferencia de calor uniforme en todas las piezas que se desean enfriar. A continuación se presenta en la figura 2.2.5 una representación de la cámara interna de las duchas de enfriamiento con sus aspersores.

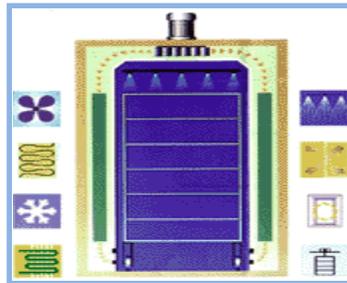


Figura 2.2.5. Vista de la cámara interna de una ducha de enfriamiento.

Estos sistemas son utilizados una vez completada la etapa de cocción, en donde los jamones tras esta etapa deben llevarse a duchado, en el caso de que el horno no tenga la función para pasar automáticamente de cocción a duchado. Ello dependerá del tipo de horno empleado en la etapa de cocción, del programa seleccionado para cocción y de criterios técnico económicos de la planta de proceso en cuanto a ahorro energético.

Los jamones se deben duchar tanto tiempo como sea necesario hasta alcanzar una temperatura interna de 28°C. Es importante alejar a los jamones del rango de temperatura crítica bacteriológica, el cual se encuentra entre 30°C y 40°C, ya que las bacterias poseen un enorme potencial de crecimiento en este rango de temperatura y podrían tener influencia negativa en la conservación del producto.

El uso de duchado continuo o intermitente es sólo cuestión de disponibilidad de agua y de temperatura. El duchado intermitente se recomienda para ahorrar una gran cantidad de agua fresca y acelerar el intercambio de calor.



Se considera que el proceso de duchado ha terminado cuando se alcance una temperatura interna del jamón de 28°C. Se sugiere una pausa antes de llevar los jamones a la cámara. Durante este tiempo, el agua contenida en la superficie de los moldes se evaporará, evitando así un incremento de la humedad en la cámara de enfriamiento, lo cual no es conveniente para el resto de productos almacenados allí.

2.2.9.2. Piscinas de Enfriamiento:

Esta técnica de enfriamiento, consta de la utilización de contenedores de gran volumen, los cuales se llenan con agua hasta un cierto nivel (depende del diseño de la piscina), luego en ellos se depositan los moldes de los productos a enfriar (jamones cocidos), con el objeto de propiciar la transferencia de calor entre las piezas de jamón y el fluido. Los productos cuentan con una temperatura superior a la del fluido de enfriamiento que en este caso consiste en agua. El agua al contar con una temperatura por debajo de la temperatura de cocción de temperatura, ya que de esta forma al existir mayor gradiente de temperatura ocurre una mayor transferencia de calor. Cabe destacar que el proceso de enfriamiento con este método se detiene cuando se alcanza la temperatura de óptima de almacenamiento de los jamones, condición que se controla mediante la medición de temperaturas bien sea de forma manual, o través de la instalación de equipos indicadores de temperaturas, accionados mediante controladores.

Sin embargo se establece que como mínimo los jamones deben permanecer al menos durante 24 horas en una cámara de enfriamiento antes de proceder al tajado o a su comercialización, ya que se considera que este tiempo es conveniente para que la proteína de la carne ligue ante posible exceso de humedad en el producto.

Fuente: (Domínguez, 2004).



2.2.9.3. Cámaras Frigoríficas:

Las cámaras frigoríficas de temperatura, son aparatos diseñados específicamente para realizar procesos de enfriamiento acelerado en todo tipo de productos.

Estas cámaras pueden ser de mantenimiento, de congelados o cámaras congeladoras.



Figura 2.2.6. Vista de cámaras frigoríficas empleadas para refrigeración en industrias cárnicas.

Estas instalaciones se encargan de obtener temperaturas de ultracongelación con posibilidad de variar mediante un variador de velocidad, el modo de ventilación tanto del evaporador y el condensador.

Estos aparatos realizan un tratamiento térmico al producto durante la fase de congelación, garantizando su conservación por un mayor período de tiempo.

Una de las ventajas principales de estas instalaciones es la reducción del tiempo dedicado a la producción, ya que se eliminan fases de manipulación y limpieza al agrupar la elaboración del producto en ciclos semanales o mensuales.

2.2.9.4. Sistemas de Congelación:

Los sistemas de enfriamiento por congelación emplean equipos con principios de enfriamiento distintos pero que en el fondo todos se caracterizan por cuidar las características organolépticas del producto, produciendo un descenso



abrupto de las temperaturas que provoca una congelación rápida, lo cual favorece la formación de cristales que no dañan los tejidos celulares.

A continuación se detallan los diversos equipos empleados por este tipo de tecnologías:

2.2.5.4.1. Congeladores de aire:

En este tipo de equipos se utiliza aire como medio refrigerante, en cámaras con o sin circulación forzada. En aquellos espacios donde no existe una adecuada velocidad de circulación del aire, la congelación es lenta y los resultados poco satisfactorios. Algunos de los más eficientes son:

2.2.9.4.1.1. Túneles de Congelación:

Estos equipos pueden funcionar en forma discontinua, donde el producto se coloca en bandejas fijas; o de manera continua, donde las bandejas atraviesan el túnel. Se componen de un sistema de impulsión de aire frío y serpentines para refrigeración. Son versátiles y se adaptan a productos de múltiples formas y tamaños, envasados o no (aunque es preferible que estén protegidos para evitar daños por frío, pérdida de peso y adherencia a las bandejas). La velocidad de congelación en éstos equipos oscila entre 0.5 y 0.3 cm/h. Siendo una vista de estos equipos similar a la mostrada en la figura 2.2.7:

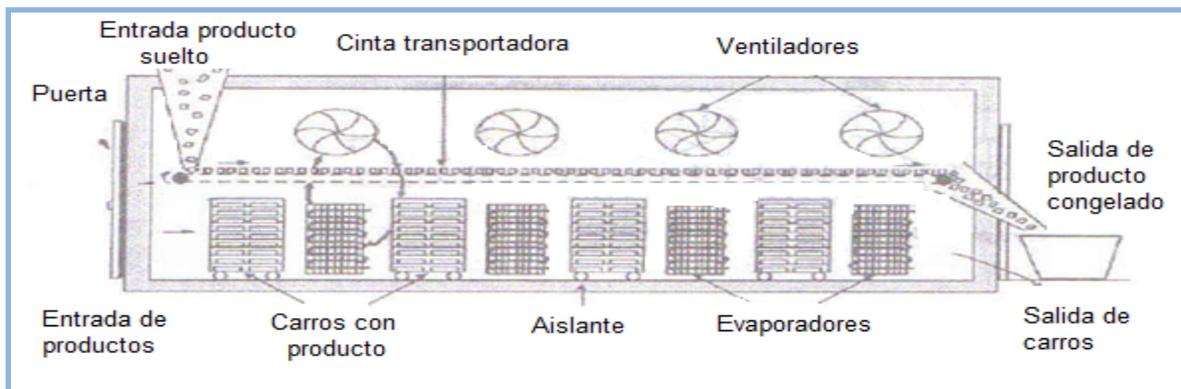


Figura 2.2.7. Vista del mecanismo interno de funcionamiento de un túnel de congelación.



2.2.9.4.1.2. Congeladores de Cinta:

Son sistemas continuos, en donde la cinta puede estar dispuesta en forma lineal o en espiral, ocupan poco espacio y son eficientes en la utilización del aire frío. En general se utilizan con temperaturas entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, y velocidades que no superen los 20 m/s. Siendo una vista de estos equipos similar a la mostrada en la figura 2.2.8:

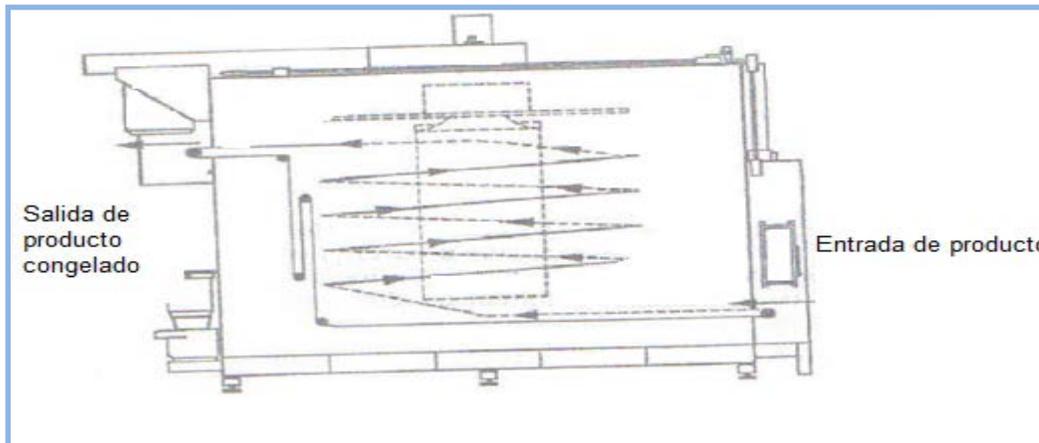


Figura 2.2.8. Vista frontal de un equipo congelador de tipo cinta.

2.2.9.4.1.3. Congeladores de Lecho Fluidizado:

El sistema se basa en un flujo de aire frío, que congela las partículas de alimento en forma individual rápidamente (Individually Quick Freezing-IQF). Esto permite su flujo libre y facilidad en el manipuleo y reempaque. Es adecuado para alimentos de tamaño pequeño y uniforme. La velocidad del gas frío, debe ser tal que permita la fluidización de las partículas, sin que se escapen del sistema.

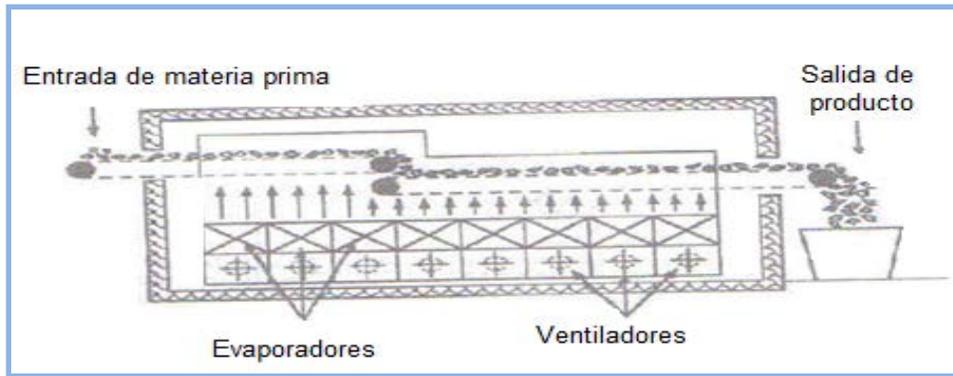


Figura 2.2.9. Vista frontal de un congelador de lecho fluidizado.

2.2.9.4.2. Congeladores por Contacto:

2.2.9.4.2.1. Congeladores por Placas:

La transferencia de calor se produce por conducción, el producto es colocado entre placas a través de las cuales circula el refrigerante. Se logra el contacto adecuado ejerciendo presión contra el objeto, mediante un sistema hidráulico. Se usa en general, para alimentos de geometría plana, de no más de 5 cm. Asimismo, la eficacia de la transferencia calórica depende del buen contacto entre la placa y el paquete, y de los bolsones de aire que queden. Existen congeladores de placas horizontales y verticales.

2.2.9.4.2.2. Congeladores Criogénicos:

Al hablar de este tipo de tecnologías, es importante considerar los siguientes fundamentos como son los siguientes:

La palabra criogenia proviene de los vocablos griegos “crios” y “genea” que significan, respectivamente, “frío” y “nacimiento”. En la práctica, la criogenia se define como la ciencia dedicada a la producción de temperaturas entre 100 y 273 °C bajo cero (la más baja de ambas, equivale al cero absoluto de la escala Kelvin).

Fuente: (Sánchez, 1998).



En la actualidad, cuando se habla de criogenia se habla además de frío originado en la aplicación de gases licuados, lo cual ha permitido el desarrollo y gran auge de las tecnologías de frío que lo aplican en un número considerable de sectores industriales.

Aunque existen once gases básicos que pueden licuarse a temperaturas inferiores a -100°C , solo cuatro se disponen en abundancia, y son: Nitrógeno, Oxígeno, Helio y Hidrógeno. La elección del gas licuado se hace en función de la técnica a emplear, de la temperatura requerida y del comportamiento físico-químico del gas.

El Oxígeno, por ejemplo, promueve la combustión, lo cual constituye un factor muy importante a tener en consideración en su aplicación, ya que por ejemplo el Hidrógeno es combustible, sin embargo el Nitrógeno y el Helio no son ni combustibles ni comburentes, en cuanto al punto de licuación de este último es el más bajo de todos los gases, -296°C (a solo 4 grados Kelvin del cero absoluto).

Pero la desventaja es que el Helio existe en el aire en proporciones minúsculas, lo cual reduce la capacidad de su uso en sistemas criogénico, además de que su proceso de obtención mediante licuación de los gases naturales que lo contiene resulta un poco costoso. Mientras que el Oxígeno y el Nitrógeno se obtienen por licuación del aire y destilación fraccionada de éste.

Por lo tanto, de estos cuatro gases por su abundancia, disponibilidad y por tartarse de un gas inerte el Nitrógeno líquido es el más utilizado en procesos criogénicos de conservación así como también se utiliza Dióxido de Carbono (CO_2), por las ventajas que estos fluidos ofrecen a la hora de ser aplicados en estos sistemas, es por ello que a continuación se describe un poco acerca del comportamiento de ambos:

Dióxido de Carbono: Se puede utilizar sólido, pero se hace difícil el contacto en este estado del mismo con el alimento, es por ello que lo usual es usarse como líquido en este tipo de sistemas de refrigeración. El CO_2 líquido



se almacena en recipientes aislados, presurizados y refrigerados para prevenir pérdidas. Cuando se descarga a la presión atmosférica, se solidifica y cae como una nieve. La dosificación del mismo se realiza mediante boquillas que aseguran la circulación del gas frío entre los alimentos. La temperatura del sistema y la velocidad de inyección son controladas por una válvula solenoide. En general se utiliza a una temperatura de -68°C , para asegurar que el gas no arrastre nieve. Los sistemas de congelación pueden ser gabinetes de operación discontinua (armarios criogénicos), túneles lineales (Túneles criogénicos) o túneles en espiral.

Nitrógeno:

El Nitrógeno licuado es un líquido incoloro, con punto de ebullición de -195.8°C a presión de 760 mm Hg, con un calor latente de vaporización de 47.74 Kcal/Kg y calor sensible 49 Kcal/Kg (entre -196°C y 0°C).

Tomando en cuenta la densidad del Nitrógeno líquido (0.808 L/Kg), la vaporización de un litro del mismo suministra unas 80 calorías a 0°C y 680 litros de gas a una atmósfera de presión. Además que el Nitrógeno es elemento más abundante del aire (78% del aire lo constituye el Nitrógeno) y para obtenerlo en estado líquido, se licúa previamente el aire, para ello, se comprime y se enfría sucesivas veces (efecto de Joule-Thomson) por debajo de su temperatura crítica que es -114°C de su presión crítica que es de 38 Kg/cm^2 , y una vez que se tiene el aire en estado líquido, se separan sus tres componentes principales: Nitrógeno, Oxígeno y Argón, por destilación. El primero que se separa es el Nitrógeno, ya que tiene el punto de ebullición más bajo (-196°C), a continuación el Argón (-185°C) y finalmente el Oxígeno (-183°C).

Los primeros experimentos sobre la utilización del Nitrógeno líquido para congelación de productos alimenticios, datan de 1930. En aquel entonces, eran muy limitadas las cantidades disponibles de Nitrógeno líquido y el precio resultaba considerablemente alto para considerar su utilización en la congelación



de alimentos. Sin embargo, en los últimos 20 años han venido surgiendo por doquier utilizaciones de Nitrógeno líquido como fluido frigorígeno.

Asimismo, se acometió su producción en instalaciones de gran tamaño, con las consiguientes reducciones de costos de fabricación. Los actuales precios del Nitrógeno líquido en el mercado internacional, sitúan este producto en condiciones de franca competencia frente a cualquier otro sistema convencional de refrigeración.

Los sistemas más modernos preenfrian el producto con Nitrógeno gaseoso, y en la sección final del equipo, realizan la inyección del spray. Los más utilizados son los equipos de cinta continua. Al tomar el calor del alimento el Nitrógeno se evapora, y el gas formado se utiliza para preenfriar los productos antes de su congelado; para que el gradiente de temperatura formado no sea tan grande y brusco. Puede provocar agrietamientos, ya que se forma una coraza superficial de cristales muy pequeños, y cuando ocurre el aumento de volumen por el congelamiento del agua que se encuentra en el centro, se generan fuerzas internas en el producto que superan la resistencia del material congelado en la superficie.

En base al estudio de los fluidos criogénicos se han podido desarrollar, diversos sistemas criogénicos tales como son los siguientes:

2.2.9.4.2.2.1. Túnel Lineal:

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en utilizar algún fluido criogénico (tal es el caso del Nitrógeno líquido) como fluido criogénico, que se inyecta directamente en el interior del túnel a través de un conjunto de pulverizadoras con caudal proporcional a las cantidades de productos que lo atraviesan. El líquido se pulveriza directamente sobre los productos, vaporizándose al contacto con ellos. El gas frío, más denso, se desliza hacia la entrada del túnel, siendo impulsado por un conjunto de ventiladores de circulación.

De esta forma, tiene lugar un intercambio térmico en contra-corriente, entre



el gas que se calienta y el producto que se enfría. De aquí resulta un prerrefrigeración superficial del producto tratado en la primera parte del túnel, antes de recibir la lluvia de Nitrógeno líquido. El producto se congela entonces, y seguidamente equilibra sus temperaturas entre el centro y la superficie, lo cual tiene lugar en la zona llamada de estabilización.

La gran diferencia de temperaturas entre producto y Nitrógeno líquido, permite lograr, además grandes velocidades de congelación y, con ello, un producto congelado que retiene inalteradas sus propiedades organolépticas siendo por lo tanto, de la más alta calidad.

A continuación se muestra en la figura 2.2.10, una vista frontal de un túnel criogénico de diseño lineal:

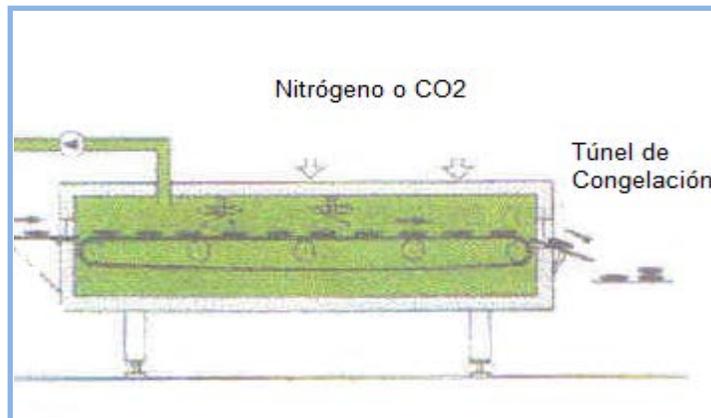


Figura 2.2.10. Vista frontal de un túnel criogénico de diseño lineal.

2.2.9.4.2.2.2. Armario de congelación con carro:

Es un sistema ideal para pequeñas y medianas producciones, por su bajo costo de inversión y funcionamiento sencillo. La introducción del producto a congelar se realiza mediante un carro porta-bandejas. Se puede prefijar la temperatura y el tiempo de ciclo, ya que estos equipos están provistos de sistemas de control automatizado a través de termostatos y temporizadores, que permiten regular el ciclo de enfriamiento que en ellos se desea llevar a cabo. Es importante



destacar, que este tipo de equipos son mayoritariamente utilizados para producciones moderadas, discontinuas o como se conocen también tipo batch.

A continuación se muestra en la figura 2.2.11, una vista frontal de un armario criogénico de diseño con carro:

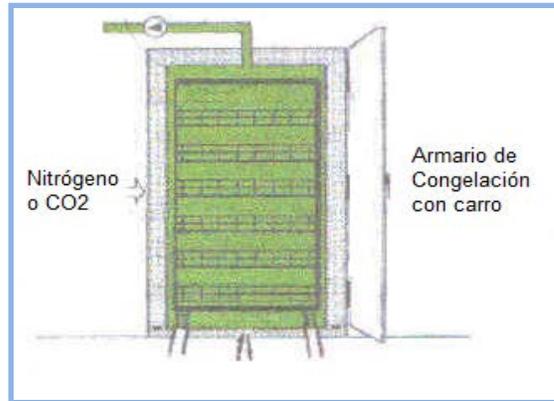


Figura 2.2.11. Vista frontal de un Armario criogénico de diseño con carro.

2.2.9.4.2.2.3. Congelador por Inmersión:

En este tipo de instalación, el producto es sumergido en el líquido refrigerante, por lo que el tiempo de congelación es sumamente corto. Ocupa poco espacio en función de su gran capacidad de producción. Es indicado para productos de tamaño pequeño.

A continuación se muestra en la figura 2.2.12, una vista frontal de un congelador criogénico por inmersión:

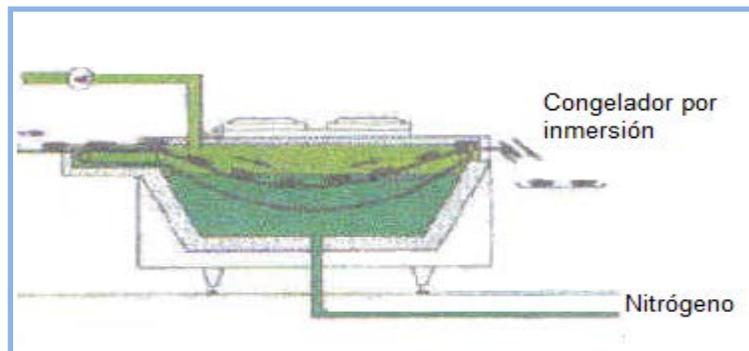


Figura 2.2.12. Vista de un Congelador criogénico por inmersión.



Fuente: (Domínguez, 2004).

2.2.10. FRÍO CRIOGÉNICO Y LA ESTRUCTURA DE LOS ALIMENTOS EN LA INFLUENCIA DE LA RAPIDEZ DE ENFRIAMIENTO

A la hora de estudiar la influencia de los procesos de refrigeración y congelación sobre los productos alimentarios, es necesario establecer una distinción entre:

- Alimentos de estructura celular, que son la mayoría (carnes, pescados, verduras, frutas, legumbres, etc.)
- Alimentos sin estructura celular (algunas salsas).

La unidad básica del primer tipo de alimentos es la célula. Un cuerpo unicelular, correspondiente a una bacteria, que nos puede ilustrar muy bien sobre los componentes de la citada unidad básica de la vida.

La estructura celular consta de:

- Un núcleo central que contiene la información genética que controla sus procesos de reproducción y desarrollo vital.
- El citoplasma o sustancia básica de la célula, compuesto por agua, hidratos de carbono, proteínas, etc.

La membrana celular, que en el caso de las células de origen animal está compuesta por una serie de capas lipoproteínicas, y que en el caso de las células vegetales puede intervenir también una capa de celulosa para dar consistencia a la célula. Los flagelos les sirven a los seres unicelulares para desplazarse en su medio vital. Las células de los tejidos no suelen tener flagelos.

La función de la membrana celular es básica para la vida de la célula ya que es la encargada de dejar pasar nutrientes hacia el interior y de permitir la salida de



las sustancias tóxicas resultantes de su metabolismo. La membrana ejerce por lo tanto una función permeable selectiva. Esto es muy importante durante los procesos de refrigeración y congelación de los alimentos.

Asimismo, para explicar los cambios que se producen en la estructura de los alimentos durante su congelación, es muy importante saber como se encuentra el agua en los tejidos. Tenemos:

- Agua ligada a proteínas, lipoproteínas, etc. que no sufre cambios durante el enfriamiento o congelación.
- Agua retenida en las estructuras celulares e intercelulares que es la que se transforma en cristales de hielo durante el proceso de enfriamiento por debajo de cero grados centígrados.

Básicamente podemos diferenciar dos procesos de congelación:

- Congelación lenta, conseguida con sistemas tradicionales.
- Congelación muy rápida, conseguida con gases criogénicos y sobre todo, con nitrógeno líquido, que es el gas criogénico por excelencia.

Cuando la congelación es lenta, el agua retenida se congela formando cristales grandes. Pero hay que distinguir entre el agua retenida en el interior de las células y el agua retenida en los espacios intercelulares.

El agua presente en los espacios intercelulares tiene una concentración menor de nutrientes que la que hay en el interior de la célula. Por ello congela antes haciendo que el fluido extracelular se concentre en nutrientes, lo que provoca una salida de agua de las células circundantes para compensar esa concentración. Esto provoca una concentración de las células, una deshidratación y desnaturalización de las proteínas contenidas en ellas, rotura de la membrana celular, etc. En resumen, con la congelación lenta se provoca la ruptura de la estructura celular de los alimentos.



Cuando la congelación es muy rápida, como cuando se utiliza nitrógeno líquido, se congela el agua presente en el interior de la célula formando pequeños cristales, antes de que se formen cristales más grandes extracelulares. De esta forma se preserva la estructura celular del producto congelado.

Fuente: (Gómez, 1999).

2.2.11. VENTAJAS DE LA CONGELACIÓN CRIOGÉNICA (EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y CALIDAD FÍSICA)

La primera y principal ventaja de la congelación criogénica, sobre todo con nitrógeno líquido, es la calidad del producto. Como ya se mencionó con anterioridad, la calidad en la congelación depende de la rapidez del proceso y se presenta bajo un doble aspecto:

- **Calidad Bacteriológica:** Mediante la acción de bajas temperaturas sobre los alimentos, se consigue reducir o eliminar las actividades microbianas o enzimáticas que provocan su destrucción. Los microorganismos, al igual que el hombre, necesitan unos elementos nutrientes. Una de las maneras de defendernos contra esa competencia es mediante la aplicación del frío a los alimentos. Efectivamente, al igual que el hombre encuentra su temperatura óptima para vivir entre los 15 y 25°C, la mayoría de esos microorganismos se desarrollan a temperatura de 23 a 30°C. Por ello, si descendemos a temperaturas de 2°C/-40°C podemos inhibir o detener totalmente su crecimiento. A este respecto es interesante conocer la siguiente clasificación de los microorganismos:

- Microorganismos psicrófilos
- Microorganismos psicrófilos
- Microorganismos mesófilos



- Microorganismos termófilos

Los dos primeros son los que pueden desarrollarse a bajas temperaturas, entendiéndose por tales las comprendidas entre 0°C y 7°C para los psicrófilos y 7°C a 18°C para los psicrófilos siendo estos microorganismos los menos abundantes. Para temperaturas de 0°C a -10°C la inhibición del crecimiento es casi total para cualquier tipo de microorganismo. Y para temperaturas de -18°C/-40°C, la inhibición es total e incluso se produce la destrucción de la mayoría de los microorganismos presentes en el producto de forma que este apenas experimenta cambio alguno de tipo microbiológico mientras permanezca congelado a bajas temperaturas. En la descongelación posterior si se pueden presentar infecciones microbianas si no se cuida la asepsia en su manipulación. Las atmósferas inertes en estos procesos de manipulación son muy favorables para evitar infecciones.

Se pueden diferenciar dos sistemas de conservación por frío desde el punto de vista microbiológico:

- Refrigeración a temperatura de 0 a 8° C, que inhibe el desarrollo de los microorganismos mesófilos y termófilos, pero que aún permite en parte el de los psicrófilos (7 a 18°C). Con este procedimiento no se frena el desarrollo de los organismos psicrófilos (0 a 7°C).
- Congelación o ultracongelación a temperaturas -18/-40°C, que frena casi totalmente el desarrollo de los cuatro grupos de microorganismos citados anteriormente.

De todo esto se deduce que cuanto más baja sea la temperatura de conservación del alimento y cuanto más rápidamente se efectúe el descenso de la temperatura, más rápida y completamente se detiene el desarrollo de los microorganismos presentes.



- **Calidad física:** Cuando el enfriamiento es lento, se provoca la formación de cristales de hielo gruesos en los espacios intercelulares que rompen la estructura de los tejidos del alimento. Si la velocidad de congelación es rápida, se forman cristales de hielo más pequeños tanto en las células como en los espacios intercelulares, conservándose así mucho mejor las estructuras del alimento. Esto lleva consigo una serie de ventajas de orden físico.

Fuente: (Zea, 2000).

2.2.12. VENTAJAS DE LA CONGELACIÓN CON NITRÓGENO LÍQUIDO SOBRE OTROS SISTEMAS (ANHÍDRIDO CARBÓNICO O FRÍO MECÁNICO)

Es importante tomar en consideración las características entre sistemas de congelación con Nitrógeno con los restantes sistemas que básicamente son:

- Congelación con Anhídrido Carbónico.
- Congelación por sistemas mecánicos.

Y es por ello que a continuación se presenta una comparación entre la congelación por N_2 y CO_2 .

- El Nitrógeno pasa de líquido a gaseoso a $-196^\circ C$ mientras que el Anhídrido Carbónico lo hace a $-79^\circ C$, lo que supone una diferencia de $117^\circ C$, que le confiere al Nitrógeno líquido una mayor rapidez de congelación. Como ejemplo se puede citar que un túnel de CO_2 de iguales características que uno de Nitrógeno proporciona $2/3$ de la producción de éste último.
- El Nitrógeno es un gas produciendo ácido carbónico, que puede dar un cierto sabor picante, cambiando las características del citado alimento.
- El Nitrógeno al pasar de $-196^\circ C$ a $-20^\circ C$ (temperatura normal de congelación de los alimentos), cede 72 Kilocalorías/litro. Por su parte, un



kilo de CO₂ al pasar del estado líquido (forma en que está almacenado) al sólido (nieve carbónica) proporciona 60 kilocalorías/Kilo.

- Para el mismo precio de un litro de Nitrógeno líquido que un litro de CO₂ este último tendría un coste como fluido de congelación del orden del 20% más, ya que el N₂ proporciona 72 Kilocalorías/litro mientras que el CO₂ proporciona 60 kilocalorías/Kilo.
- Los tanques de almacenamiento de Nitrógeno líquido van superaislados a temperatura ambiente, con unas pérdidas diarias para un depósito de 20.000 litros del orden del 0.4% de su capacidad, solo cuando no existe consumo. Los tanques de CO₂ llevan un equipo de frío a fin de licuar los gases que se producen por la evaporación de CO₂, como consecuencia del calor que entra por las paredes. No existen pérdidas de CO₂ en estos tanques, pero en cambio necesitan el equipo de frío mencionado y consumen energía. Por ejemplo, un depósito de 20.000 kilos de CO₂ lleva un equipo de frío que equivalente a un consumo de energía eléctrica de 4.5 Kw/h, lo que supone un coste algo mayor que el equivalente por pérdidas en el depósito de N₂.
- El Nitrógeno ofrece mayor seguridad ya que al ser inerte y respirarlo continuamente no presenta ningún riesgo para la salud, mientras que el CO₂ es tóxico y a dosis superiores al 4.6% acaba por producir muerte por asfixia.
- El Nitrógeno se almacena a baja presión (unos 3Kg/cm²) lo que presenta muchos menos riesgos que el CO₂ que se conserva a 20Kg/cm² y a una temperatura de -20°C, donde la vigilancia y la seguridad debe controlarse muy cuidadosamente en el caso del CO₂. Si el tanque baja de 5.12 Kg/cm² (presión del punto triple), todo el CO₂ líquido pasa a CO₂ sólido, tardándose días en deshacer el bloqueo, para lo que hay que tomar sus debidas precauciones, pues se corre el riesgo de explosión en los circuitos.



- El CO_2 es mucho más pesado que el aire, lo que hace que se acumule en el fondo de los depósitos creando situaciones de peligro y haciendo difícil su evacuación. El N_2 es menos pesado que el aire.
- El CO_2 líquido puede producir atascos en la canalización, debido a que se puede formar nieve carbónica que bloquea la conducción al pasar de 20 Kg/cm^2 a la presión atmosférica, por lo que la congelación puede sufrir interrupciones.
- Los túneles de congelación de CO_2 , son difíciles de regular. Es normal ver salir del túnel junto con el producto, trozos de nieve carbónica. Esto se debe a un mal intercambio térmico entre el CO_2 y el producto a congelar y como consecuencia de ello, el consumo aumenta considerablemente.

Finalmente tras las comparaciones establecidas anteriormente, se puede decir que las ventajas de la congelación con N_2 sobre la congelación con CO_2 , son evidentes.

A continuación se compara la congelación por Nitrógeno líquido con la efectuada por sistemas mecánicos.

- Debido a la rapidez de congelación, las pérdidas de peso son inapreciables (menos del 0.1%) en la congelación con N_2 , mientras que con frío mecánico estas pérdidas son 30 veces mayores.
- La velocidad es mucho mayor con el nitrógeno ya que se puede conseguir que un alimento esté congelado en solo unos minutos (3 a 15 normalmente) mientras que en los túneles de frío mecánico, el tiempo de permanencia del producto en los mismos hasta alcanzar la temperatura fijada, puede ser de 20 minutos a 3 horas.
- El Nitrógeno que se inyecta a una temperatura muy baja (-196°C), mientras que en los túneles de frío mecánico, es el aire el que circula a temperaturas más altas ($-25/-40^\circ\text{C}$). Además, la intensa circulación de aire sobre los



productos no es buena ya que puede contribuir a la oxidación de los mismos.

- El precio de un túnel con equipo incorporado de frío es cuatro veces más caro que un túnel de nitrógeno. También el mantenimiento es lógicamente más caro (4-6% aproximadamente).
- Los gastos anuales (fijos más variables) en los que se incluyen gastos financieros, mantenimiento, electricidad, coste del frío, etc, son un 35-45% superiores en el caso del frío mecánico.
- Un factor importantísimo de comparación representa la calidad microbiológica. Debido a la velocidad más rápida de congelación con el Nitrógeno líquido, la detención del crecimiento microbiano también es mucho más rápida que cuando se utiliza el frío mecánico. Además, el Nitrógeno es inerte, mientras que el aire en circulación que se utiliza en los túneles mecánicos contiene oxígeno que es necesario para la vida de los microorganismos.
- Otro importante punto de comparación resultó: la calidad física. En el túnel de Nitrógeno líquido se consigue una congelación rápida que mantiene muy bien las características iniciales del producto (color, olor, sabor, textura, frescura). Incluso al descongelar, apenas si se produce exudado (pérdida de agua). Con los túneles de frío mecánico, la congelación es más lenta lo que puede favorecer la formación de cristales gruesos en los espacios intercelulares de los tejidos de los alimentos. Esto lleva consigo una destrucción mayor de la estructura inicial del producto, dando lugar a pérdidas del agua en su posterior congelación. También se pueden producir cambios sensibles en otras características físicas del alimento (pardeamiento, oxidación por el aire, etc.).

Fuente: (Gómez, 1999).



III. MARCO METODOLÓGICO

A continuación se describe el tipo de investigación a ser desarrollada y se presentan de forma ordenada las estrategias metodológicas que permiten obtener, clasificar, comprender y organizar la información necesaria para el logro de cada uno de los objetivos planteados.

La presente investigación según el nivel de profundidad es de tipo proyectiva (proyecto factible), ya que con ella se pretende crear una propuesta de un diseño de una línea de enfriamiento que permita el mejoramiento de la etapa de enfriamiento, que forma parte del proceso de producción de jamones de pierna fabricados por parte de la empresa SUBCERCA C.A.

En cuanto a la estrategia o diseño metodológica la investigación es de tipo de campo, ya que se basa en la recolección de datos que se tomarán del proceso actual, para ser analizados y con la información obtenida tomar las acciones necesarias de manera de solventar el problema que se presenta en la sección de enfriamiento en el proceso de fabricación de jamones por parte de la empresa SUBCERCA C.A.

De acuerdo a lo descrito anteriormente la investigación es de tipo Proyectiva-De Campo, dado que implica un diseño (propuesta) de manera de solventar los problemas térmicos y de seguridad que se presenta en la etapa de enfriamiento del proceso de fabricación de jamones de pierna; la recolección de datos de las variables que intervienen en el proceso se realiza para conocer la situación actual y en base a ello poder llevar a cabo las acciones necesarias a fin de solventar la situación de problema.

Para el desarrollo sistemático de la investigación (DSI) se plantean las siguientes fases:

- Determinación de las propiedades físico-químicas del jamón de pierna.



- Evaluación del proceso actual de producción de jamón de pierna.
- Investigación de las tecnologías de enfriamiento que se adaptan al proceso de fabricación de jamón, con el fin de seleccionar la tecnología que mejor se adapte al mismo.
- Dimensionamiento de los equipos necesarios por la tecnología seleccionada, en base a los requerimientos que la misma debe cubrir.
- Establecimiento de la factibilidad económica de la tecnología seleccionada.

3.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL JAMÓN DE PIERNA QUE INCIDEN EN EL PROCESO DE ESTUDIO:

Para el logro de este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.1.1. Identificación de las propiedades físico-químicas del jamón de pierna que inciden en el proceso de estudio:

Para lograr identificar las propiedades físico-químicas que afectan en el proceso de enfriamiento durante la fabricación de jamones, se procedió a efectuar una revisión exhaustiva de bibliografía especializada relacionada con carne de porcinos y productos cárnicos derivados de la misma; así como también en sitios web especializados en el área, de manera de obtener principalmente conocimientos respecto del área de estudio, con la ayuda de la información recolectada, para finalmente poder realizar tal identificación.

Lográndose identificar en primer lugar que las propiedades tanto físicas como químicas de la carne de cerdo, definen el comportamiento de forma análoga de las piezas de jamón cocido, que se estudiaron en el proceso. En segundo lugar una vez que se obtuvo esta importante información, se procedió a definir en sí cual eran dichas estas propiedades, obteniéndose lo siguiente:

Propiedades Físicas: Este tipo de propiedades en el jamón cocido, corresponde a aquellas relacionadas con atributos o características inherentes a la carne de carne, las cuales son perceptibles a simple vista tales como: Conductividad térmica, capacidad calorífica, peso específico.



Propiedades Químicas: Este tipo de propiedades son aquellas correspondientes, a la constitución interna de la carne, es decir son propiedades definidas por el tipo de especies que constituyen, y están representadas por: pH, agua, proteínas, grasas.

3.1.2. Revisión de las normas COVENIN, y material referente a las propiedades físico-químicas del jamón:

La revisión de las normas COVENIN, (norma 1602-1996 relacionada a Jamón Cocido), se llevo a cabo para consultar respecto de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas que se establecen como normativa en el país para la manufactura de los productos de denominación de tipo jamón cocido, de manera de cumplir con los estándares de calidad.

Al llevarse a cabo tal revisión y tras el análisis de dicha norma, se pudo identificar que se enfocaba mayoritariamente a la descripción y control microbiológico de jamones cocidos; dicha información consultada aunque sirvió de utilidad en cuanto a material referencial tanto para la investigación, como propio en cuanto al conocimiento de medidas de control microbiológico, de productos de este tipo, permitió además poder recaudar información sustancial y detallada en cuanto a datos referentes al tipo de bacterias que mayoritariamente proliferan en productos de denominación de jamones cocidos, como las concentraciones en que éstos se permiten existir en los productos, así como también las pruebas que se pueden aplicar para la determinación de concentración de éstos y las medidas de seguridad que se pueden adoptar para inhibir el crecimiento y reproducción acelerado de los mismos.

3.1.3. Establecimiento de los modelos matemáticos:

Se llevó a cabo una revisión en material especializado respecto del área de fenómenos de transferencia de calor en procesos de fabricación de productos cárnicos, de manera de obtener modelos matemáticos que permitieran describir el comportamiento de las propiedades que inciden en estos procesos de intercambio térmico, así como también se llevó a cabo la selección de los modelos que mejor se aproximaban a la descripción del proceso en estudio.



De la información recolectada, se pudo obtener principalmente modelos matemáticos, de las propiedades más influyentes en los procesos de transferencia de calor de este tipo de productos, encontrándose que estas propiedades correspondían a las propiedades termofísicas, tales como:

Conductividad térmica, difusividad térmica y capacidad calorífica, en cuanto a la obtención de estos modelos, se pudo observar que era posible la aplicación de diversas ecuaciones para realizar tales estimaciones, y la razón de ello obedecía al hecho de que en el área de transferencia de calor referida a procesos de intercambio térmico en la manufactura de productos cárnicos, la información y establecimiento de ecuaciones para tales estimaciones, es muy confusa y dispersa, debido a la diversidad de criterios que existen a nivel mundial por parte de los científicos e ingenieros especializados en esta área. Así como también, la diversidad de criterios de manufactura de este tipo de productos a nivel mundial, la cual varía de un lugar a otro, razón que dificulta aún más el establecimiento de un criterio unificado.

En función de lo descrito con anterioridad, se seleccionó un compendio de estos modelos, de manera de contar con una información matemática suficiente, de manera de poderse realizar la estimación de las propiedades, con cierto fundamento y grado de confiabilidad.

3.1.4. Interpretación de las variables involucradas en los modelos matemáticos:

Tras el establecimiento de los modelos matemáticos que permitían describir el comportamiento de las propiedades termofísicas del jamón identificadas como influyentes en los procesos de transferencia de calor, se procedió a analizar e interpretar cada una de las variables y parámetros implicados en los modelos matemáticos seleccionados, de manera de tener conocimiento del comportamiento de la interacción de tales parámetros en los modelos recolectados.

Pudiéndose identificar para cada uno de los modelos de estimación de estas propiedades, que el parámetro más representativo en todos ellos era la temperatura, lo cual se sospechaba ya que al tratarse de propiedades de tipo termofísico, este parámetro debía incidir de forma considerable en la determinación de éstas, es decir tanto la conductividad térmica, difusividad térmica como el peso específico,



dependían su valor de las variaciones de temperatura, de hecho fue posible encontrar modelos que se aplicaban de acuerdo a los rangos de variación de temperatura a los cuales se deseaba estimar una de estas propiedades, lo cual exhibía la importancia de los descrito en cuanto a la incidencia de este parámetro.

3.1.5. Investigación de los rangos de variación de las propiedades físico-químicas del jamón:

Tal investigación implicó una consulta en bibliografía especializada respecto de los valores característicos de las propiedades determinadas como influyentes en los procesos de transferencia de calor, además que la consulta implicó la adquisición del conocimiento necesario para poder interpretar los valores de las mismas tras su incidencia en estos procesos.

Tras las consultas realizadas se logró recaudar información en cuanto a los rangos de variación de estas propiedades; dicha información se sintetizó y se tabuló con el objeto de incluirse en la presente investigación tanto como material referencial, como también para ser utilizado de manera propia en cuanto a las estimaciones y cálculos pertinentes al diseño de la línea de enfriamiento a desarrollar.

3.1.6. Determinación de la incidencia de las propiedades físico-químicas en el proceso de estudio:

El estudio de la incidencia del comportamiento de las propiedades que influyen en el proceso de estudio, se realizó de manera cualitativa, lo cual implicó un análisis de la formulación del producto, a fin de determinar en base a éste, como resultaría el comportamiento en de las propiedades definidas como influyentes en los procesos de transferencia de calor en base a las proporciones de participación de los ingredientes que intervienen en la formulación del producto.

El análisis de formulación se llevó a cabo gracias al suministro de una hoja de composición facilitada por parte del maestro charcutero de la empresa SUBCERCA C.A, la cual contenía información muy próxima a las cantidades y porcentajes de ingredientes empleados, en la realidad para la elaboración de la mezcla de jamón



que se manufactura en dicha empresa, una vez obtenida la información, se procedió a la identificación detallada de ingredientes de manera de estudiar el comportamiento e incidencia de cada uno de ellos en la mezcla o pasta de jamón de la cual participaban, con el objeto de estudiar el grado de interacción y posterior definición de propiedades de éstas respecto al producto de estudio, una vez culminado el análisis se procedió a la identificación de las propiedades que incidían en los procesos de transferencia térmica, en función de la información de composición de producto recaudada y de las consultas especializadas efectuadas, lográndose identificar en primer lugar que las propiedades físico-químicas del jamón de pierna están determinadas por las propiedades físico-químicas de la carne de la cual se manufactura, y luego se identificó que de estas propiedades, las que influenciaban en el proceso de estudio eran las propiedades termofísicas, dado su estrecha relación tanto con la composición de los en base a los cuales se fabrican, como su comportamiento ante la incidencia de la temperatura.

3.2. EVALUAR EL PROCESO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE JAMÓN DE PIERNA CON LA FINALIDAD DE DETERMINAR LA NECESIDAD TÉRMICA EN EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y LAS VARIABLES QUE INCIDEN EN EL MISMO:

Para el logro de este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.2.1. Evaluación del proceso actual de fabricación de jamón de pierna:

Se realizó un recorrido de todas las etapas del proceso de fabricación del jamón, para estudiar al detalle cada una de las etapas de manera de adquirir conocimiento preciso de las mismas, y de esta forma poder entender el comportamiento del producto de fabricación en la etapa de enfriamiento.

La evaluación del proceso total de producción de jamones de pierna, se llevó a cabo a través de la elaboración de unas hojas de especificación y descripciones de cada una de las etapas, mediante la elaboración individual de éstas se pudo registrar información relevante de cada uno de los subprocesos, referentes a condiciones de operación, variables manipuladas, medidas de seguridad, entre otras especificaciones.



La recolección de dicha información se llevó a cabo, con el objeto de contar con una data suficiente de proceso, que sirviera como sustento para el desarrollo de las etapas subsiguientes del trabajo de investigación que se realizó (ver tablas anexo d).

3.2.2. Selección de la variable respuesta o variable dependiente:

Una vez que se realizó el recorrido del proceso, y se entendió la interacción de cada una de las etapas del mismo, se procedió a la identificación y selección de la variable respuesta del proceso de estudio, lo cual al igual que en la actividad anterior implicó la realización de una hoja de descripción en este caso exclusivo de la etapa de enfriamiento, el empleo de esta herramienta se llevó a cabo con el objetivo de ser utilizada para el registro de la información considerada como relevante en cuanto a el comportamiento de la etapa de enfriamiento, así como también de las variables y factores que la afectaban, y finalmente a través del análisis de la información recaudada, referida a los factores que afectaban en el comportamiento de la etapa de enfriamiento, se logró la identificación de la variable respuesta del proceso, siendo ésta la velocidad de enfriamiento de las piezas de jamón cocido.

3.2.3. Selección de los factores que afectan a la variable dependiente:

Para poder determinar el comportamiento de la variable definida como respuesta en el proceso de estudio, fue necesario determinar los agentes o factores que incidían en la misma, y para ello se procedió a aplicar técnicas cualitativas para el análisis de problemas tales como son:

3.2.3.1. Tormenta de ideas:

La aplicación de esta herramienta consistió en proponer opciones o sugerencias respecto de los posibles factores que inciden en el comportamiento de la variable respuesta, a fin de contar con un universo más amplio que permitió entender mejor la problemática y que además facilitó el proceso de toma de decisiones para la solución del problema.



3.2.3.2. Elaboración de un diagrama causa- efecto:

Esta herramienta se aplicó para determinar los factores que incidían en el comportamiento de la variable respuesta del proceso, dado que representa una herramienta útil para el análisis cualitativo de procesos. La elaboración de este diagrama fue posible de desarrollar gracias a la información de proceso recaudada tanto en las hojas de especificación mencionadas en la actividad anterior, como por la información obtenida a través de la aplicación de la tormenta de ideas (Brainstorm), luego con toda la información recolectada mediante estas dos vías, se llevó un análisis de la misma y posterior identificación de las causas o factores que afectaban el comportamiento de la variable respuesta del proceso, lográndose identificar los siguientes factores: Circulación del fluido refrigerante, Humedad relativa, tamaño de la cámara de refrigeración, temperatura de refrigeración.

Adicionalmente para cada uno de estos factores se identificaron subfactores que los afectaba, los cuales se detallaron para cada uno de la siguiente manera:

Circulación del fluido refrigerante: Anchura del canal de circulación, velocidad de circulación del aire.

Humedad relativa: Presencia de dispositivos de control de humedad, monitoreo de humedad.

Tamaño de la cámara de refrigeración: Asinamiento de las piezas de jamón, Espacio disponible para la refrigeración.

Temperatura de refrigeración: Presencia de dispositivos de control de temperatura, monitoreo de temperatura.

Una vez recaudada la información suficiente para la definición formal de las causas y efectos, detectados en el proceso que se analizó, se procedió a la aplicación de la herramienta cualitativa de análisis de problemas Diagrama de Ishikawa (Diagrama de “Espina de Pescado”), la cual implicó la representación gráfica de la variable respuesta junto con los



factores que inciden en la misma, a través de un diagrama en forma de espina de pescado, en donde en este diagrama tan peculiar por su forma se dispone de un lado la causa a analizar (cabeza de pescado), y en forma de ramas simulando espinas los factores que afectan que en un orden jerárquico afectan el comportamiento de la variable respuesta, por tanto los factores que afectan directamente al comportamiento de la variable respuesta se representan como ramales directamente enlazados con la línea que lleva a la problemática, y los factores que en segundo plano la afectan se enlazan a los factores de incidencia de primer orden, con el objeto de establecer como se mencionó anteriormente una relación jerárquica, y además facilitar el entendimiento en cuanto al análisis de causas y efectos del proceso de estudio.

3.3. INVESTIGAR TECNOLOGÍAS DE ENFRIAMIENTO QUE SE ADAPTEN AL PROCESO DE ESTUDIO, CON LA FINALIDAD DE SELECCIONAR LA TECNOLOGÍA QUE MEJOR SE ADAPTE CON LOS REQUERIMIENTOS TÉRMICOS DEL PROCESO.

Para el logro de este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.3.1. Revisión de antecedentes, textos y material referente a las tecnologías que se adapten al proceso de estudio:

Se investigaron las tecnologías de enfriamiento más aplicadas en las industrias de productos cárnicos, a través de consultas de páginas web especializadas, así como también revistas técnicas en el área; con tal investigación se logró recolectar información preliminar que permitió tener un indicio respecto del principio de funcionamiento básico de las tecnologías de enfriamiento tradicionalmente utilizadas, así como también de las tecnologías más novedosas que en la actualidad se aplican, es decir con la realización de las consultas bibliográficas preliminares se pudo obtener cierta información y una idea muy general respecto de las tecnologías de enfriamiento utilizadas en el sector de las industrias cárnicas.



Una vez llevada a cabo la fase de investigación y recaudación de la información preliminar sobre las tecnologías de enfriamiento más utilizadas en procesos como el de estudio, se procedió a llevar a cabo una investigación más profunda y detallada. El motivo de tal investigación se debió a la necesidad de recaudar información más detallada de aquellas tecnologías que se perfilaban como las más atractivas a ser aplicadas, mediante la realización de dichas consultas se pudo obtener, que dentro de las tecnologías más novedosas respecto a sistemas de enfriamiento en la industria cárnica, se encontraban las tecnologías de enfriamiento basadas en la criogenia, las cuales son desarrolladas a nivel mundial por una empresa pionera en tales desarrollos la cual se conoce internacionalmente, con el nombre de PRAXAIR.

Una vez obtenida tal información, se procedió a consultar de forma más profunda a través de la web, el sitio oficial de tal corporación, de manera de indagar un poco respecto de los productos, servicio y aplicaciones que esta corporación ofrece, lográndose obtener de tales consultas información sustanciosa que permitió no solo el desarrollo del objetivo planteado de definir las tecnologías más empleadas en el área de enfriamiento de productos alimenticios, sino que adicionalmente con tales consultas se logró recaudar suficiente material que permitiera utilizarse como base de la selección de la tecnología más adecuada a implementarse en el diseño a desarrollar.

3.3.2. Consulta con expertos en el área de enfriamiento:

Una vez recolectada la información respecto de las tecnologías de enfriamiento, se planteó la necesidad de acordar consultas en primer lugar de forma directa, con personas que tuvieran conocimientos respecto al área de enfriamiento en general y en aplicaciones alimenticias, el objetivo de tal acción se debió a la necesidad de despejar ciertas dudas respecto al área que se estaba tratando, en cuanto a estas consultas básicamente se realizaron a personas que laboraban en el proceso de enfriamiento de la empresa SUBCERCA C.A, las consultas que se realizaron se llevaron a cabo tanto a especialistas en el área como a los mismos operadores; se realizó de esta manera con diversidad de personas y criterios, ya que



de esta manera se pudo obtener información desde un punto de vista técnico lo que ocurría en proceso respecto de este tipo de tecnologías, y desde un punto de vista no tan formal por parte de los operadores pero muy valioso ya que éstos aportaron la experiencia y la práctica de proceso a través de las consultas realizadas, lo cual permitió aclarar aún más las interrogantes que se tenían.

En segundo lugar y gracias a visitas efectuadas en el sitio web oficial de la empresa PRAXAIR, se pudieron acordar consultas tanto vía correo electrónico como telefónico, con especialistas de dicha en los procesos de enfriamiento a nivel de industrias alimenticias, de manera de adquirir conocimientos sobre aspectos básicos, y otros más profundos respecto de las etapas de enfriamiento en diversos procesos de manufactura de productos alimenticios, así como también de productos cárnicos especialmente jamón que era el punto de interés donde se pretendía adquirir mayores conocimientos. La realización de dichas consultas fue posible gracias a la gran disponibilidad de la empresa por ofrecer el servicio de asesoría, lo cual sirvió de valiosa ayuda ya que a través del contacto realizado se proporcionaron a los especialistas las condiciones del proceso de estudio, los cuales las analizaron posteriormente, proporcionando la asesoría específica en cuanto a los requerimientos específicos tanto térmicos, como de los sistemas equipos que mejor se adaptaban de proceso. Tal ayuda, influyó luego de forma notoria en la formulación de propuestas además de una guía considerable para emplear la metodología de diseño y dimensionamiento de la empresa PRAXAIR, como base para el diseño y dimensionamiento de los equipos de la propuesta que se desarrolló en la presente investigación.

3.3.3. Obtención de conocimientos respecto a los proceso de enfriamiento en el área de alimentos:

Como se describió, a lo largo de la realización de las actividades se desarrolló de forma paralela a cada una ellas el proceso de recolección de la información pertinente a las tecnologías de enfriamiento, y no solo se logró tal recolección ya que a lo largo de las consultas tanto en la web, como a expertos en el área, se contó con



la oportunidad de adquirir conocimientos en cuanto a equipos utilizados por cada una de las tecnologías, fundamentos de operación, variables de control, etc.,.

Una vez recolectada la información respecto a las tecnologías de enfriamiento más utilizadas en el tipo de proceso de estudio, se procedió además a la selección de aquellas que representaban ser las más idónea a implementar, así como también a través de las consultas con expertos en el área de enfriamiento, se procedió a analizar y ordenar la información recaudada a fin de afianzar los conocimientos necesarios para poder estudiar y entender a profundidad el comportamiento de la etapa de enfriamiento en el proceso de fabricación de jamones de pierna.

3.3.4. Descripción de cada tecnología de enfriamiento:

Para llevar a cabo la descripción de las tecnologías se empleó como referencia la información recolectada en las actividades anteriores, ya que con ésta se contaba con suficiente sustento para llevar una descripción de las propuestas de una forma más formal y precisa a fin de establecer a plenitud los requerimientos e implicaciones de cada una, y para ello se procedió a efectuar lo siguiente:

3.3.4.1. Representación de cada una de las tecnologías de enfriamiento:

Se procedió a detallar cada una de las tecnologías a través de representación de las mismas, en primer lugar desde una forma gráfica, pues se consideró que de esta forma resultaría mucho más fácil el entendimiento y visualización de los equipos, que incluían las tecnologías consultadas, ya que a través del empleo de imágenes y gráficos encontrados de estos equipos a través de la web, revistas técnicas, etc. se contó con la oportunidad de detallar información técnica respecto de éstos, a través de descripciones de sus partes haciendo referencia a las imágenes utilizadas, lo cual resultaba beneficioso no solo desde el punto de vista del autor del presente trabajo sino también para quienes los llegarán a consultar en un futuro, ya que a través de su lectura podían



asociar de forma fácil la información especializada con la representación de los equipos que se estaba ofreciendo.

Respecto de las descripciones realizadas de las propuestas consultadas, básicamente se abordaron tópicos de éstas referentes a:

- Equipos esenciales constitutivos de las tecnologías consultadas.
- Fundamentos teóricos y principio de funcionamiento de las tecnologías.
- Costos y accesibilidad de las tecnologías.
- Capacidad de tratamiento de productos por parte de las tecnologías.
- Entre otros aspectos.

3.3.4.2. Selección de los criterios y ponderación:

En esta etapa se procedió a establecerse de forma preliminar ciertos criterios para llevar a cabo una selección también de forma preliminar de las propuestas más atractivas a ser implementadas.

A través de las descripciones de las tecnologías investigadas, se contó con cierto fundamento desde el punto de vista técnico, económico, operativo, etc. El cual representó ser de mucha utilidad para seleccionar los aspectos más influyentes de cada una de las propuestas, y de esta manera poder construir un criterio de selección propio el cual era uno de los objetivos que se buscó alcanzar; cabe destacar que la construcción de éste se realizó gracias a la consideración de opiniones y criterios de expertos y organizaciones especialistas en el ámbito de enfriamiento en industrias alimenticias, así como también de productos cárnicos.

Una vez que se definieron dichos criterios se procedió a la selección de escalas de valoración que permitieran llevar a cabo la ponderación de los mismos aplicados a cada una de las propuestas seleccionadas.

Dichas ponderaciones consistieron en la asignación de los valores para cada uno de los criterios de acuerdo a escala numéricas de calificación, de



manera de que una vez definidas las ponderaciones asignadas a cada uno de los criterios, se establecieran mediante operaciones matemáticas. La totalización de los valores obtenidos por cada una de las tecnologías, y de esta manera se logró definir la propuesta más idónea. Sin embargo en esta etapa tales asignaciones no se llevaron a cabo de una forma tan detallada y formal, con asignaciones reales a cada uno de los criterios considerados, sino que más bien en esta etapa se estudiaron los posibles porcentajes a asignar de acuerdo al grado de importancia por parte de los criterios de selección, así como también se llevó a cabo la selección de las escalas de calificación más oportunas de aplicar de forma futura en lo que representaría el proceso de selección final de la propuesta a ser empleada.

3.3.4.3. Análisis técnico de cada alternativa:

Este análisis consistió en evaluar desde un punto de vista técnico cada alternativa posible a aplicar.

El análisis consistió básicamente en comparar requerimientos, especificaciones y características que desde el punto de vista de proceso la tecnología y equipos implicados en ella deben cubrir, a fin de satisfacer las necesidades existentes. Una vez que se culminó el análisis técnico se procedió a asentar las ventajas y desventajas que cada una de las tecnologías era capaz de ofrecer.

3.3.5. Análisis de las alternativas de enfriamiento:

Una vez recolectada la información necesaria y afianzado los conocimientos necesarios, se procedió a la formulación de propuestas en base a la información recolectada, de manera de que a través de éstas se lograra solventar la problemática presentada en la etapa de enfriamiento, al surgir las propuestas se procedió a aplicar herramientas que permitieran realizar la selección de la propuesta más adecuada pero con cierto fundamento es por ello que se llevó a cabo lo siguiente:



3.3.5.1. Establecimiento de los criterios y ponderación:

Una vez recolectada la información respecto de las tecnologías y propuestas de enfriamiento que se investigaron, las cuales fueron propuestas basadas en el enfriamiento a través de a criogenia, entre las cuales se encontraban: Túneles lineales criogénicos, Armarios criogénicos y Congeladores criogénicos por inmersión.

Se procedió al establecimiento de los criterios y parámetros de análisis de cada una de éstas en función de la información recolectada, los conocimientos adquiridos a través de las consultas realizadas, así como también de las requerimientos técnicos expuestos por parte de la empresa donde se desarrolló la investigación, en cuanto a la satisfacción de las necesidades térmicas del proceso que se estudió.

Básicamente como se mencionó con anterioridad entre las propuestas consideradas, se encontraban tecnologías afines al empleo de la criogenia como base de su funcionamiento, una vez definido esto, se pudieron seleccionar los criterios de evaluación en función de las siguientes consideraciones: Se planteó la necesidad de establecerse criterios de selección tanto para la tecnología de enfriamiento y equipos asociados a la misma, como para los fluidos de trabajo más empleados en éstas, dado que tras la investigación se pudo obtener que la selección de éstos juega un papel muy importante en funcionamiento óptimo de la tecnología a implementar, en el caso particular de la presente investigación las propuestas de fluido de trabajo se centraron en dos opciones las cuales fueron el Nitrógeno líquido y el Dióxido de Carbono.

En función de lo explicado anteriormente se procedió a establecerse criterios de selección tanto para los equipos de las tecnologías de enfriamiento investigadas, como para los fluidos de trabajo que se encontraron como posibles a aplicarse en éstas, obteniéndose lo siguiente:



1. Criterios de selección para los equipos de las tecnologías de enfriamiento:

- Costo.
- Espacio requerido.
- Tipo de producción.
- Inocuidad.

2. Criterios de selección para el fluido de trabajo:

- Costo.
- Peligrosidad.
- Capacidad Refrigerante.
- Inocuidad.

Una vez establecidos los criterios de selección, se procedió al establecimiento de dos escalas de ponderación, el motivo por el cual se emplearon éstas dos se debió lo siguiente:

La primera escala que se seleccionó, se empleó para la ponderación de los criterios de selección netamente, el criterio de ponderación se fundamentó en la asignación de porcentajes de valoración a cada de los criterios y de su influencia en función de un 100%; en función se realizó dicha asignación una vez analizada la incidencia de cada uno de los factores considerados tanto para los equipos como para el fluido de trabajo, lográndose obtener lo siguiente:

1. Asignación de los porcentajes de ponderación para los criterios de selección de los equipos de las tecnologías de enfriamiento a evaluar:

- Costo 30%.
- Espacio requerido 25%.
- Tipo de producción 25%.
- Inocuidad 15%.



2. Asignación de los porcentajes de ponderación para los criterios de selección de los fluidos de trabajo:

- Costo 35%.
- Peligrosidad 25%.
- Capacidad Refrigerante 25%.
- Inocuidad 15%.

La segunda escala empleada se aplicó con el objetivo de poder llevar a cabo el proceso de selección tanto para la tecnología de enfriamiento como para el fluido de trabajo a utilizarse, ya que con ésta se pudo ponderar a cada uno de las propuestas respecto a los parámetros de selección establecidos, a través de la asignación de valores que de acuerdo a una escala representaban una ponderación específica. La escala que se utilizó fue una en donde se emplearon valores del 1 al 5, en donde en orden ascendente cada uno representaba una valoración como la siguiente:

- 1: muy malo.
- 2: malo.
- 3: regular.
- 4: bueno.
- 5: muy bueno.

La selección de dicha escala se aplicó, tras consultas en bibliografía especializada en la utilización de criterios de evaluación, así como también se aplicó tras haber sido empleada en oportunidades anteriores en procesos de evaluación habiéndose obtenido resultados confiables, dado a que a pesar de que es una criterio de relativa facilidad a ser aplicado, cuenta con un fundamento aceptable para a través de él poder llevar a cabo un proceso de selección de cualquier tipo.

3.3.5.2. Análisis de cada alternativa planteada:

Se procedió a efectuar un análisis minucioso respecto de las opciones tecnológicas seleccionadas como posibles propuestas a



implementar, a fin de tener conocimiento pleno de las ventajas y desventajas que cada una es capaz de ofrecer, para ello con la información recolectada en actividades previas en cuanto a la descripción de las tecnologías, se procedió a ordenar la información de cada propuesta, así como también se investigó sobre aspectos más específicos de las mismas, de manera de ampliar respecto de datos particulares de cada una y de este modo poder contar con una mayor visión a la hora de llevar a cabo la selección.

3.3.5.3. Aplicación de la matriz de selección:

Se empleó una matriz como herramienta de selección, pues con esta útil herramienta se pudo incluir cada una de las propuestas consideradas como posibles soluciones a la problemática, y al mismo tiempo en ella se pudo evaluar de forma simultánea los criterios considerados para la selección, lo cual representaba una ventaja pues se podía visualizar de forma más clara cada una de las ponderaciones finales correspondientes a cada una de las tecnologías ya que al totalizarse estos valores se pudo determinar cuál de las propuestas obtuvo la mayor puntuación, de acuerdo al criterio de selección escogido.

Como se mencionó con anterioridad, se llevó a cabo un doble proceso de selección, ya que a lo largo de la investigación de las tecnologías se encontró la necesidad de seleccionarse el fluido de trabajo a ser utilizado, para ello se aplicaron dos matrices de selección.

La primera a ser aplicada correspondió a la selección del fluido de trabajo, básicamente su aplicación consistió en el empleo de un cuadro en donde de un lado de éste se dispusieron los criterios de selección fijados en cuanto al fluido de trabajo incluyendo en cada uno el porcentaje de valoración en escala de 100%, y del otro lado del cuadro (matriz de selección), se dispusieron las opciones de los fluidos de trabajo a ser seleccionados, de esta manera se valoraron cada uno de



las opciones de fluidos respecto de los criterios seleccionados, a través de la asignaciones de valores entre 1 y 5, que fue la escala que como se mencionó en la actividad anterior se empleó para llevar a cabo la selección, lo cual implicó la multiplicación de estos valores respecto al porcentaje de ponderación asignado a los criterios de selección, para finalmente efectuar una sumatoria de todos los valores obtenidos, en donde esta debía ser menor o igual a 5, que era el valor máximo a obtener, de forma análoga se construyó otra matriz para llevar a cabo la selección de la tecnología de enfriamiento, aplicando de la misma manera los criterios y escalas de ponderación descritas anteriormente, con la particularidad que en esta matriz se incluyeron los criterios de selección correspondientes a las tecnologías de enfriamiento, así como las propuestas de enfriamiento a ser aplicadas.

3.3.6. Selección de la alternativa de enfriamiento:

La selección de la tecnología de enfriamiento representó la finalización del objetivo planteado en cuanto a la definición de las propuestas de enfriamiento estudiadas, con el objetivo de determinar las características, ventajas y desventajas de las mismas, a fin de contrastar éstas con los requerimientos propios del proceso, para finalmente escoger la opción que mejor adaptaba al proceso de estudio.

El proceso de selección de la alternativa de enfriamiento consistió en un análisis basado en los resultados obtenidos a través del desarrollo de las actividades antes descritas, durante las cuales de diversa manera y enfoques se persiguió estudiar de forma profunda cada una de las propuesta, considerando de forma constante los requerimientos térmicos del proceso de enfriamiento que se estaba estudiando, lo cual en ningún momento se dejó a un lado ya que éste era el requerimiento primordial a cumplir.

La selección de la tecnología de enfriamiento representó sencillamente la escogencia de la propuesta a ser implementada en el diseño de la línea de enfriamiento a proponer, en función de los análisis preliminares, así como también a través de los análisis más formales, llevados a cabo a través de la aplicación de



herramientas evaluativas como lo representaron la aplicación de matrices de selección.

Con los resultados obtenidos para ambos casos fue posible determinar la propuesta que mejor se adaptaba al proceso de estudio en función de los valores obtenidos por cada una, una vez llevado a cabo el proceso de evaluación, se pudo obtener como propuesta a ser implementada a los armarios criogénicos ya que después de haber sido analizados sus ventajas y características, y habiendo sido evaluada además a través de una matriz de selección, se obtuvo que ésta alcanzó un valor muy próximo a 5 que superaba a los obtenidos por las otras propuestas, y que además se acercaba al valor máximo de la escala de ponderación utilizada; así como también se logró seleccionar como fluido de trabajo al Nitrógeno líquido, ya que al ser sometido esta propuesta a un proceso de análisis al igual que en el caso de los armarios criogénicos se obtuvo un valor también muy próximo a 5, que superó además al valor obtenido por parte de la otra opción que era Dióxido de Carbono.

Finalmente en función de los resultados y análisis obtenidos se logró seleccionar como propuesta a ser implementada a los Armarios criogénicos, operando con Nitrógeno líquido como fluido de trabajo.

3.4. DIMENSIONAR LOS EQUIPOS NECESARIOS POR LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA, EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS TÉRMICOS QUE LA MISMA DEBE SATISFACER.

Para el logro de este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.4.1. Investigación de los modelos matemáticos que apliquen para el dimensionamiento de los equipos de la tecnología seleccionada:

Se llevó a cabo una investigación respecto de las herramientas de cálculo que se podían aplicar para poder diseñar los equipos de la línea de enfriamiento a implementar, en función de los requerimientos que el proceso requería; tal investigación implicó consultas en bibliografía especializada en procesos de transferencia de calor, termodinámica, así como también en empresas expertas en el área de enfriamiento en industrias alimenticias, tal era el caso de la empresa



PRAXAIR por parte de la tecnología criogénica y la empresa OXICAR por parte de consultas en cuanto a los fluidos criogénicos, para finalmente llevar a cabo lo siguiente:

3.4.1.1. Selección de los modelos matemáticos:

Una vez recolectada la información referente a las ecuaciones matemáticas, físicas, termodinámicas, etc. que se obtuvieron tras la investigación realizada, se procedió a un análisis de la misma, a fin de determinar cuáles de éstos se podían aplicar para la determinación de los requerimientos del proceso, así como también en función de éstos se emplearon los modelos pertinentes que permitieron dimensionar los equipos requeridos por el sistema o tecnología seleccionada para la refrigeración en el proceso de fabricación de jamones.

Básicamente se emplearon ecuaciones muy sencillas para determinar por ejemplo el área de los armarios criogénicos (equipo principal de la línea de enfriamiento diseñada), la cual se calcula en función de las dimensiones de los carros de cocción por ejemplo, y tal consideración se aplicó tras las investigaciones y consultas tanto en sitios oficiales de empresas proveedoras de estos equipos, como en bibliografía especializada en donde fue posible conocer los criterios de diseño en base a los cuales se basa el dimensionamiento de los sistemas de enfriamiento criogénico.

Una vez llevado a cabo el proceso de estandarización de las dimensiones de los armarios en función, de las opciones éstos se aplicaron ecuaciones para el cálculo de volumen de las cámaras internas, considerando la geometría de estos armarios, ya que con el volumen de las mismas se pudo dimensionar en función de otras ecuaciones los tanques de almacenamiento criogénicos, así como también el sistema de accesorios y equipos que junto con éste se debían instalar.



3.4.1.2. Establecimiento de las variables que intervienen en el dimensionamiento de los equipos:

Una vez seleccionados los modelos matemáticos necesarios para el dimensionamiento de los equipos, se procedió a precisar las variables o parámetros característicos que en cada uno de éstos intervenían, ya que resultó importante tener conocimiento, y con éstos se logró determinar los parámetros de diseño más relevantes de cada uno de los equipos que se diseñaron.

Mediante la aplicación de los modelos matemáticos se pudo observar que las variables asociadas a los mismos, consistían en dimensiones de instrumentos empleados en el proceso (carros de cocción), tales variables se pudieron identificar tanto por el análisis de los modelos empleados, como por requerimientos de variables por parte de la empresa consultada para el dimensionamiento, la cual colaboró con el diseño que se estaba desarrollando, y para ello solicitó cierta información de variables de proceso básicamente: Masa de las piezas de jamón estudiadas, área de las piezas de jamón, número de piezas fabricadas, temperaturas de entrada y salida del proceso de enfriamiento, ya que ésta empresa aunque no facilitó las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento del sistema completo, colaboraron suministrando recomendaciones o tips para llevar a cabo la selección de los equipos que mejor se adaptaran a los requerimientos propios del proceso de estudio.

3.4.1.3. Aplicación de los modelos matemáticos:

Los modelos matemáticos que se obtuvieron tras las revisiones efectuadas se aplicaron una vez conocidos a plenitud, así como también habiendo definido las variables que en ellos intervenían, se emplearon logrando tras su aplicación la determinación de los requerimientos térmicos del proceso, y posteriormente con estos requerimientos calculados se logró dimensionar los equipos necesarios.



Como se mencionó con anterioridad fue posible la aplicación de ciertos modelos, muchos de ellos relacionados con el cálculo de área y volumen de los armarios criogénicos, tiempo de residencia de los jamones cocidos dentro de las cámaras, etc, sin embargo tras consultas realizadas con especialistas de la empresa PRAXAIR, se pudo conocer que las modelaciones empleadas para el diseño del sistema que se deseaba aplicar como propuesta, son de cierta forma información que no cuenta con fácil acceso, ya que las corporaciones especializadas en el desarrollo de estas tecnologías ofrecen asesoramiento personalizado para cada tipo de proceso y ofrecimiento de las mejores propuestas, pero sin proporcionar la metodología de diseño que llevan a cabo para tal fin.

Sin embargo a pesar de las limitantes encontradas respecto de los modelos matemáticos a aplicar para el dimensionamiento de equipos, se investigaron y consultaron criterios de diseño y selección para los equipos que requería el diseño propuesto, de manera de con estos criterios consultados se pudo contar con la información necesaria para llevar a cabo el dimensionamiento completo de los equipos requeridos por la tecnología seleccionada.

3.4.1.4. Dimensionamiento de los equipos:

Una vez determinados los requerimientos de los equipos del diseño a incluir, de acuerdo a lo descrito anteriormente, se pudo llevar a cabo el proceso de dimensionamiento y estandarización de los equipos de acuerdo a la disponibilidad de éstos en el mercado.

Se procedió a efectuar el dimensionamiento de los mismos en base a las especificaciones de tamaño, energía, etc que éstos implicaban y criterios de diseño y selección que aplicaban para el caso específico de cada uno de los equipos que implicaba el diseño de la línea de enfriamiento; así como también en base a la disponibilidad de la planta donde se lleva a cabo el proceso.



En cuanto a la estandarización de los equipos, se pudo llevar a cabo gracias a catálogos ofrecidos por parte de la empresa PRAXAIR referente a los armarios criogénicos, gracias a esta información fue posible el proceso de selección de estos equipos de acuerdo a las dimensiones y requerimientos calculados, en función de los carros de cocción y las estimaciones realizadas. Por otra parte la misma empresa PRAXAIR así como también la empresa OXICAR proporcionó manuales en cuanto a los sistemas de tanques criogénicos de almacenamiento de Nitrógeno líquido, y accesorios requeridos por parte de este tipo de sistemas para el suministro del fluido de trabajo a los armarios criogénicos, dicha información al igual que la anterior fue sustanciosa en sentido de que pudo ser aplicada para llevar a cabo el proceso de selección tanto del tanque criogénico contenedor en función del volumen de Nitrógeno líquido que se calculó como el requerido por el proceso, así como también del conjunto de accesorios necesarios y adecuados para llevar a cabo la operatividad óptima del proceso de suministro del fluido criogénico de trabajo al proceso.

3.5. ESTABLECER LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA INCLUSIÓN DEL DISEÑO A DESARROLLAR EN EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL JAMÓN.

Para el logro de este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.5.1. Aplicación de modelos para la estimación de los costos que implica la inclusión de la tecnología seleccionada:

Se realizaron consultas en bibliografía especializada en la estimación de costos de proyectos, así como también a especialistas en el área, de manera de recaudar la información necesaria para llevar a cabo las estimaciones de costos del proceso, tras la investigación se obtuvo lo siguiente:

- Se requirió la investigación de los modelos financieros para el cálculo de los costos del diseño a implementar, y una vez recolectados se



procedió al proceso de selección de aquellos que mejor se adaptaran con el proceso de estudio.

- Se llevó a cabo una investigación exhaustiva en cuanto a los costos que implicaban cada uno de los equipos a ser implementados en el diseño, así como también energía, mano de obra, mantenimiento.

3.5.2. Aplicación de modelos para estimar los beneficios proporcionados por la tecnología:

Una vez investigados los modelos económicos para la estimación de los costos y demás cálculos financieros inherentes en el proyecto, se llevó a cabo un estudio de factibilidad económica, para la determinación del impacto económico de la propuesta a incluir, en función de un horizonte estimado para el desarrollo del proyecto, el cual se fijó en un tiempo de 10 años (Horizonte económico del proyecto), para luego de acuerdo a la metodología seleccionada llevar a cabo de forma sistemática la estimación de los costos iniciales del proyecto, inversión inicial, en cuanto al primer año de éste, y luego para los 9 años subsiguientes las estimaciones de los costos operativos, etc. en conjunto con la estimación de los egresos e ingresos al proyecto, y posteriormente con éstos se pudo determinar la relación de flujos o balance año a año del proyecto, ya que en función de éstos se pudo llevar a cabo el estudio de rentabilidad del proyecto.

3.5.3. Determinar la influencia de los costos implícitos con la tecnología seleccionada, en cuanto a los beneficios a obtener:

Una vez que se calcularon los costos implícitos a la línea de enfriamiento, y los beneficios proporcionados por tal inclusión, se emplearon modelos financieros para establecer la relación entre los costos implicados y los beneficios que eran posibles de obtener, y de esta manera se logró establecer la influencia entre ambos factores, lo cual permitió establecer cuan atractivo representaba el diseño a incluir en función de los costos que este implicaba.

La aplicación de estos modelos consistieron en ecuaciones para la estimación de indicadores económicos tales como el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa



Capítulo III. Marco Metodológico



Interna de Retorno), el cual es un indicador que en el ámbito de ingeniería económica, permite determinar la rentabilidad de un proyecto, en función de los flujos de cajas que se estiman obtener por concepto de éste y de esta manera se pudo determinar cuan atractivo resulta la propuesta que se desarrolló.



IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presenta y analizan los resultados obtenidos, tras la realización de los objetivos planteados en la investigación.

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL JAMÓN DE PIERNA QUE INCIDEN EN EL PROCESO DE ESTUDIO

El conocimiento del comportamiento de las materias primas, para la fabricación del jamón, representó el punto de partida, para poder identificar las propiedades físico-químicas y otras del producto, que afectan en la etapa de enfriamiento, la cual representa la etapa de interés para el desarrollo de la investigación.

Al analizarse una a una las materias primas que intervienen en la composición del producto, se obtuvo que la materia prima más importante dentro de la fórmula de jamón es la carne de cerdo, ya que es el ingrediente más abundante de la mezcla. Aunque no era objeto de estudio el análisis detallado de la carne fue necesario realizar un estudio de las características tanto generales como específicas de la misma, para obtener no solo conocimiento de las mismas, sino que también se realizó para poder explicar qué tipo de propiedades en el producto estaban determinadas por la carne.

De acuerdo a información suministrada por el maestro charcutero de la empresa SUBCERCA C.A, el jamón de pierna elaborado por la misma, se fabrica a base de una mezcla conformada en un 50% aproximadamente de carne de cerdo molida, el otro 50% de la mezcla está representado por otros ingredientes esenciales tales como sal, azúcar, conservantes, fécula de papa o yuca, carragenato entre otros más, la existencia de estos otros ingredientes en la mezcla se deben a formulaciones que los maestros charcuteros que asesoran los procesos de manufactura de estos productos, proponen de manera de satisfacer las necesidades existentes en el mercado y además propiciar los siguientes procesos:

- Reacciones de fijación (coagulación) en la mezcla de ciertas especies como proteínas.



- Retardar procesos de crecimiento microbiológico y bacteriales.
- Propiciar aparición de propiedades organolépticas características tales como: olor, color, sabor.
- Reacciones de ablandamiento de grasas en la carne.
- Entre otras más.

Sin embargo para el desarrollo de la investigación, se tomó como base una hoja de formulación de producto muy cercana a la que en la realidad se emplea en la etapa de fabricación del mismo, el motivo de tal acción obedeció a razones de políticas de la empresa, las cuales establecen que la información de formulación de productos es confidencial. El motivo del uso de esta fórmula casi real, se aplicó como guía para comprender el comportamiento de ciertas propiedades que interfieren en los procesos de transferencia de calor, que son el motivo de estudio, dado a la inquietud de comprender como estas propiedades afectan los proceso de enfriamiento de estos productos.

Una vez que se conocieron los porcentajes de formulación de la mezcla de jamón, se determinó el tipo de corte de carne utilizado para la fabricación del producto, ya que de acuerdo al corte variaban las propiedades de producto a fabricar. En este caso el tipo de corte corresponde a las extremidades traseras o miembros posteriores del animal, los cuales se caracterizan por ser carnes de tipo Finas o Extras y de Primera, que se caracterizan además por no presentar hueso en su corte, bajo contenido en grasa, y tener una consistencia blanda y jugosa, tal denominación del tipo de corte, tiene una incidencia directa en el comportamiento de las propiedades físico-químicas de la misma, porque en general la carne de cerdo presentan las mismas propiedades, pero el comportamiento de la mismas está determinado por la constitución anatómica de las fibras, ligamentos, tejido graso que las constituyen.

Es por ello que tras efectuar el análisis de los cortes de carne empleados en el proceso de manufactura de jamón, se obtuvo que las propiedades que inciden mayoritariamente en los procesos de transferencia de calor son propiedades químicas y termofísicas las cuales son propiedades que como su nombre lo



indican dependen de características propias (físicas) de la materia y que adicionalmente se ven afectadas ante la incidencia de la temperatura, y de este hecho proviene su nombre es por ello que se conocen con el nombre de propiedades termofísicas. Pero de los dos tipos de propiedades las que más influyen en el comportamiento de los procesos de transferencia son las propiedades termofísicas y en un segundo plano las propiedades químicas.

Cabe destacar que las propiedades termofísicas de la carne han sido estudiadas por diferentes investigadores, sin embargo, la información disponible es dispersa, fraccionada y tiene un alto grado de variación, lo que dificulta el uso de los valores publicados y de los modelos propuestos en aplicaciones industriales. Por ello resultó necesario realizar una revisión exhaustiva de las condiciones de proceso y especialmente de las características del producto que se deseen estudiar, para en función de esto tener una mejor idea en cuanto a los modelos a emplear y contar con cierta confiabilidad en cuanto a los resultados a obtener.

Tomando en cuenta lo mencionado con anterioridad, y tras efectuar un análisis de las características del producto de estudio (jamón de pierna), fue posible identificar que las propiedades que ejercen una mayor incidencia a la hora de estudiar el proceso de enfriamiento en dicho producto, son las siguientes propiedades termofísicas:

- **Peso Específico:**

Esta propiedad física corresponde como su nombre lo indica a la masa en sí concentrada en un cuerpo (jamón cocido). El peso específico para el caso del jamón cocido representa una propiedad susceptible a alteraciones especialmente de tipo térmico, es por ello que una vez que la carne es sometida a diversos procesos: Sudoración, tostado, refrigeración, etc. En el caso particular del jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A, el proceso que comúnmente experimentan los jamones es la sudoración o deshidratación del mismo, lo cual implica pérdida de agua, lo cual a su vez genera otras alteraciones a nivel de propiedades organolépticas como lo son: Jugosidad, composición, consistencia, etc. Lo



cual además de afectar las propiedades organolépticas afecta la transferencia de calor en sentido a que al ser muy severa la deshidratación incrementan la humedad relativa alterando el equilibrio idóneo entre el agua y el producto, entorpeciendo el enfriamiento del mismo, así como también afectando la calidad final del mismo, debido a cristalizaciones del agua en forma de una capa en la parte externa de las piezas, que no cumplen con los estándares de calidad que se establecen para estos productos.

- **Conductividad Térmica:**

La conductividad térmica es una de las propiedades termofísicas fundamentales a la hora de realizar estudios de transferencia térmica que competa a carne o productos derivados de la misma.

Se encontró que esta propiedad depende fundamentalmente de la clase de tejido constitutivo correspondiente al tipo de corte que se emplee, a su vez su comportamiento guarda relación con el contenido de grasa en la carne que se utiliza como materia prima. Es por ello que en el caso de animales con contenido graso elevado se presenta entorpecimiento en cuanto a los procesos de transferencia de calor pues la existencia de adiposidades genera altas resistencias para los flujos de transferencia de calor, dado a ésto se establece como importante el control de la alimentación de los animales, así como también la edad de los mismos ya que estos factores afectan de manera notoria en alto contenido de grasa en la carne. En el caso particular del corte de carne empleado en la fabricación de los jamones de la empresa SUBCERCA C.A, cuenta con bajo contenido en grasas en primer lugar porque este corte de carne en los cerdos por condiciones anatómicas cuentan con poco tejido adiposo, y la grasa asociada después que se despieza al animal se remueve ya que se debe garantizar por condiciones de manufactura de los productos libres en grasa en un 98% aproximadamente, dado a esta especificación de calidad es que se recurre a la utilización de polifosfatos en la formulación del jamón, para garantizar la reducción de lípidos en las mezclas de jamón, ya que éstos interactúan con las moléculas de grasa presentes en las carne ocurriendo una reacción de ablandamiento de la



grasa ante la acción de estos agentes, propiciando una mejor homogeneización de la mezcla y adicionalmente menos resistencias que confieren al jamón mayor conductividad térmica, favoreciendo la transferencia de calor.

Otro aspecto importante que afecta el comportamiento de la conductividad térmica es la condición de matanza de los animales ya que un ambiente de stress a la hora de su muerte, puede generar extrema retracción de las fibras que componen los músculos de los animales, y al morir estas permanecen tan contraídas que a la hora de ser procesada la carne resulta sumamente engorroso su tratado, debido al alto nivel de rigidez y adicionalmente resulta problemático por el hecho de que el fenómeno de transferencia de calor se vé entorpecido debido a la contracción de tejidos y fibras de la carne, las cuales deberían permanecer de forma relajada de manera de permitir una mejor tránsito de los y no relajadas que sería lo ideal para permitir el flujo de calor.

- **Calor Específico:**

Se pudo determinar que el calor específico es otra de las propiedades termofísicas del jamón muy importante e incidente en el estudio de la etapa de enfriamiento, ya que esta propiedad representa la cantidad de energía en forma de calor capaz de entregar por parte de los jamones, lo cual resulta de vital importancia para estudiar la transferencia de calor, y aún más representa un dato muy importante a la hora de seleccionar las tecnologías y dimensionar los equipos que permitan un óptimo enfriamiento de los productos, además de que gracias a esta propiedad se puede tener conocimiento de cómo y cuándo efectuar la disposición adecuada de las piezas de jamón en los depósitos de refrigeración, lo cual a además de garantizar un buen enfriamiento tiene la finalidad a través de la eliminación oportuna del calor natural de los jamones y frenar de esta manera los procesos de descomposición

Como se mencionó con anterioridad las propiedades termofísicas ejercen un papel preponderante en el estudio de los procesos de transferencia de calor,



sin embargo se encontró que existen otras propiedades que ejercen una influencia notoria en estos procesos, y estas son las propiedades químicas.

Las propiedades químicas del jamón cocido, como se mencionó con anterioridad están determinadas fundamentalmente por la composición química de la carne de la cual proceden. Los diversos tejidos que conforman la carne y subproductos (conjuntivo, graso, muscular, óseo, etc.), se diferencian en la cantidad y calidad de la carne, tanto en la vida del animal como en los cambios post-mortem del músculo. Estos cambios son la causa de una modificación bioquímica que transforma el músculo en carne comestible, afectando así no solo en la formulación de la mezcla de jamón en sí, sino además en el comportamiento de los mismos antes diversos procesos de índole térmica.

A continuación se mencionan cuales de estas propiedades inciden en estos procesos:

- **Agua:**

El contenido de agua en los jamones es de suma importancia regular, porque aunque no es motivo de estudio la preservación de la calidad del producto, se pudo obtener que una pérdida excesiva de agua en jamones afecta directamente en la pérdida de peso de los mismos, así como también incide de forma negativa en alteraciones en los niveles de humedad a los cuales se debe de llevar a cabo el proceso de enfriamiento, pudiendo lograr entorpecer el mismo.

Adicionalmente al ser un producto de constitución orgánica se debe mantener en un porcentaje en agua alto alrededor de 70%-80%, para garantizar de la humedad a los jamones, que permita mantener en buen estado las propiedades de producto de acuerdo a los estándares de calidad, ya que una deshidratación excesiva por parte de éste genera alteraciones a nivel de los tejidos celulares de la carne en base a la cual se elabora; así como también la concentración del mismo rige el comportamiento de varias de las propiedades química, y deficiencia en el mismo puede desencadenar reacciones indeseables de las especies presentes en la mezcla de jamón.



- **Proteínas:**

Las proteínas representan otras de las especies de la mezcla constitutiva del jamón que definen ciertas características del mismo a nivel químico, y que además inciden en los procesos de transferencia de calor, ya que representan aproximadamente 15%-25% de la carne de cerdo que a su vez en la mezcla cuenta con un 50% de participación en la misma, lo cual le permite ejercer cierta influencia en cuanto a la concentración de estas especies tras la reunión de las mismas en forma de aminoácidos que son los responsables de la rigidez de los tejidos musculares, lo cual es un factor crítico ya que como se explicó con anterioridad, la rigidez en las fibras musculares representa resistencia para la transferencia de calor, porque fibras de carne contraídas no actúan como canales que propicien la transferencia de los flujos de calor, sino que por el contrario evitan que estos flujos sigan su curso como lo deben llevar a cabo.

- **Grasas:**

Las grasas y aceites juegan un papel muy importante en el desarrollo de sabores anormales por oxidación. La autooxidación de los lípidos y otras reacciones de degradación dan lugar a la formación de aldehídos y cetonas volátiles que son los que confieren a los alimentos sabores a pintura, grasos, metálicos, a papel, a cera, etc, cuando su concentración es suficientemente alta. Sin embargo, muchos de los gustos y olores más deseables en los alimentos, proceden de concentraciones modestas de estos mismos compuestos. En los productos cárnicos, especialmente en los productos curados como el jamón, longaniza, fuet, etc., los sabores identificativos de la calidad del producto son debidos esencialmente a los compuestos de la degradación de las grasas, generados por microorganismos, autooxidación o reacciones químicas.

Pero adicionalmente a la influencia de estas especies en la presencia de propiedades organolépticas en estos productos, afectan en el proceso de enfriamiento en el hecho de que altas concentraciones de adiposidades o grasas



en la carne, generan resistencias considerables para permitir la transferencia de calor, lo cual se refleja de forma directa en cuanto a la conductividad térmica que puede ofrecer este tipo de productos.

- **pH:**

El pH es una de las propiedades que ejerce una influencia considerable en el comportamiento de las propiedades tanto químicas como físicas del jamón. El comportamiento del pH en la carne de cerdo se puede explicar de la siguiente manera, cuando los cerdos están vivo, su carne cuenta con un pH entre 7,3 y 7,5, poco después del sacrificio baja a 7, y luego se presenta la rigidez cadavérica, donde el pH llega a un mínimo de 5,3 y 5,5, posteriormente, el pH asciende lentamente hasta 6,3, iniciando lo que se conoce como fase de maduración, en esta fase es cuando se emplea la carne para poder ser procesadas en la manufactura de productos, es importante destaca que en esta fase se debe mantener el control de pH, ya que pH bajos implican una rigidez excesiva de las fibras musculares, las cuales como se explicó anteriormente afecta en sentido de que la contracción de estas entorpecen el tránsito de los flujos de calor como normalmente deberían llevarse a cabo, provocando un retardo en cuanto al enfriamiento de estos productos. Además de que a través del control de este valor de pH ocurre la aparición de ciertas propiedades características de la misma como lo son: Color, terneza, desarrollo del aroma y cambios de textura, que son tan importantes para garantizar la calidad de estos productos.

A continuación en la tabla 4.1 se resumen valores típicos respecto de las propiedades físicoquímicas del jamón cocido que inciden de forma significativa en el proceso de fabricación de estos jamones por parte de la empresa SUBCERCA C.A:



Propiedades Físicas	Rango de variación
Calor específico sobre punto de congelación [Kcal/Kg °C]	0.48-0.54
Calor específico bajo punto de congelación [Kcal/Kg °C]	0.30-0.32
Calor latente de congelación [Kcal/Kg]	30
Contenido de agua [%]	35-42
Contenido de grasa [%]	21.80
Contenido de proteínas [%]	0.80
Contenido de cenizas [%]	1.20
Temperatura de Congelación [°C]	-2.2 -- -1.7
Temperatura de Almacenamiento [°C]	0-2
Humedad Relativa [%]	70-80
Conductividad térmica [W/m*K]	0-2

TABLA 4.1. Rangos y valores típicos de las propiedades físicoquímicas, que inciden en la etapa de enfriamiento que forma parte del proceso de elaboración de jamón cocido por pare de la empresa SUBCERCA C.A.



4.2. EVALUACIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE JAMÓN DE PIERNA CON LA FINALIDAD DE DETERMINAR LA NECESIDAD TÉRMICA EN EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y LAS VARIABLES QUE INCIDEN EN EL MISMO

Al efectuar el análisis del proceso de fabricación de jamón de pierna de cerdo por parte de la empresa SUBCERCA C.A, se pudo apreciar que en éste se involucraban una serie de etapas o subprocesos, las cuales contaban con ciertas características muy propias, así como también condiciones de operación tales que en conjunto unas con otras permitían completar el proceso de fabricación del jamón.

La realización del análisis detallado (paso a paso) del proceso de fabricación de jamón, se llevó a cabo por las siguientes razones:

- Adquirir conocimiento completo y minucioso de cada una de las etapas del proceso de fabricación de jamón de pierna.
- Conocer las condiciones favorables para el desarrollo de las mismas desde el punto de vista de los procesos de transferencia térmica, los cuales representan el punto de atención de la investigación.
- Estudiar el comportamiento de cada etapa de proceso a fin de determinar la influencia del comportamiento de cada una, y cómo afecta de forma concatenada a las otras etapas que las preceden, y conocida la interrelación entre éstas determinar el comportamiento térmico del proceso de enfriamiento que es la etapa de proceso donde se centró la investigación.

Lo descrito anteriormente se logró alcanzar, a través del análisis etapa a etapa del proceso, tomando en cuenta el siguiente orden de etapas del proceso de fabricación de jamón cocido, tal como se muestra en la figura 4.1:

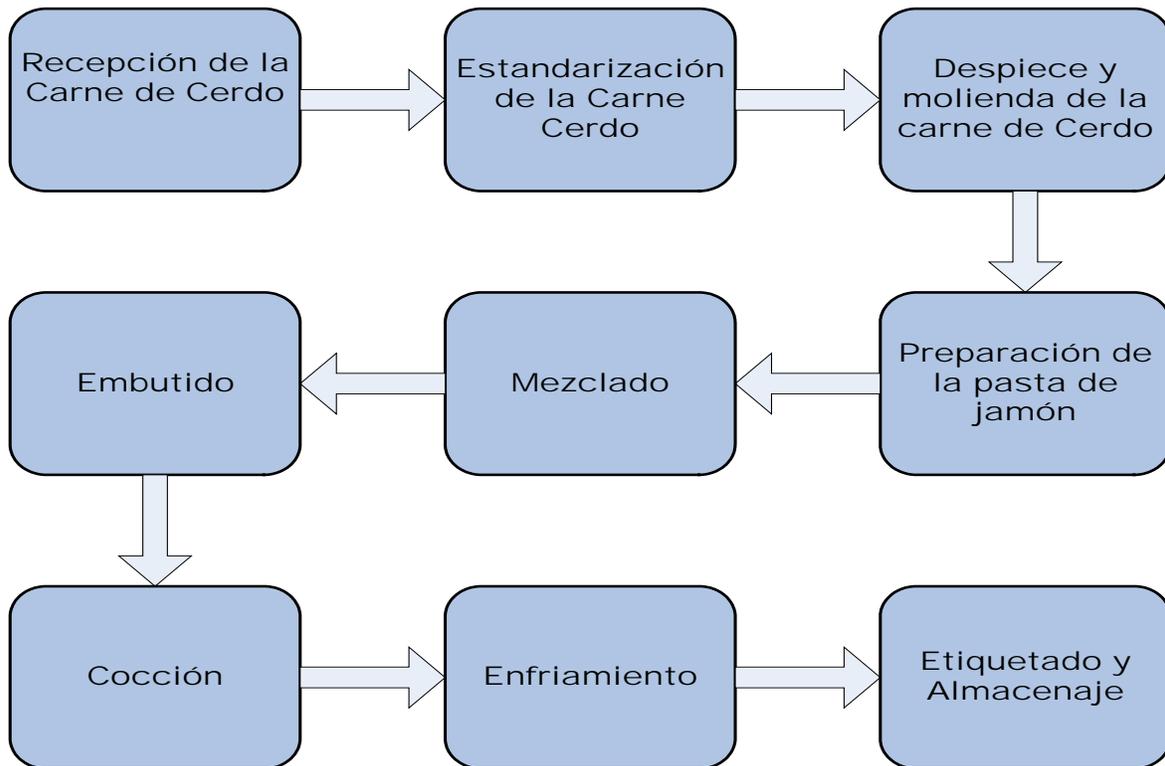


Figura 4.1. Diagrama de Bloques del proceso de producción de jamón de pierna de la empresa SUBCERCA C.A.

Respetando dicho orden de fabricación, se obtuvo la siguiente información la cual se sintetizó de la siguiente manera:

- **Recepción de la Carne de Cerdo:**

La recepción de la carne de cerdo implica el recibimiento de las canales (cerdos desprovistos de vísceras), los cuales son surtidos a la planta por parte de diversos proveedores. El surtido de las canales se lleva a cabo de forma interdiaria, y esto se debe básicamente al cronograma de producción de la planta la cual coordina la cantidad de carne necesaria de acuerdo a los requerimientos de carne que no solo necesitan la línea de producción de jamones, sino también el resto de líneas de productos de la empresa. Se pudo observar que las canales son distribuidas en camiones provistos de cavas frigoríficas que mantienen una temperatura de aproximadamente 2°C-4°C, dado a que a estas temperaturas se garantiza la preservación de la carne en buen estado.



- **Estandarización de la Carne:**

La estandarización es una de las etapas más importantes en el proceso de fabricación del jamón, porque ella implica la calidad del producto a fabricar, en cuanto a la selección de la carne a utilizar. Se pudo observar que en la planta una vez que ésta se recibe es analizada por el encargado de procesos, el cual la selecciona de forma minuciosa tomando en cuenta propiedades organolépticas esenciales como lo son: Color, olor, consistencia; así como también temperatura y pH de la misma, descartando aquellas canales que no cumplan con los estándares y requerimientos de calidad.

- **Despiece y molienda de la carne:**

El deshuese de las canales consiste en la extracción del hueso partiendo de la porción residual de la pelvis, luego el fémur, la rótula, la tibia y el peroné manteniendo lo más posible la integridad de la masa muscular (técnica denominada a jamón “cerrado”), así como también aplica para la remoción de material graso de los cortes a emplear en la manufactura del producto, a fin de garantizar el contenido graso que de acuerdo a las especificaciones térmicas y nutritivas se debe mantener en el producto.

Esta etapa se lleva a cabo de forma mecánica con una máquina deshuesadora especial para tal acción. El motivo de que se lleve a cabo de forma mecánica se debe a que con la técnica de jamón cerrado se logran tiempos de proceso más rápidos sin necesidad de utilizar en cada puesto de trabajo operarios de elevada profesionalidad, que tengan efectuar el despiece de forma manual y minuciosa lo cual implica mayor tiempo de proceso.

Luego del despiece se lleva a cabo el proceso de molienda, que al igual que el anterior se realiza de forma mecánica, generándose pedazos de carne finamente trozada de acuerdo a las especificaciones de tamaño, que se necesitan para la etapa de mezclado.



Las desventajas observadas en este proceso, consisten en el costo significativo de los equipos, y su mantenimiento; así como también durante el despiece y molienda por acción mecánica de las partes cortantes de las máquinas, sobre la carne se originan variaciones en los gradientes de temperatura en la carne, lo cual representa una condición de control en estos procesos, es por ello que estas etapas son monitoreados de forma constante por parte de los operadores, a través de la medición de la temperatura de la carne, a fin de controlar que ésta no descienda más de 5°C-7°C, tal acción es contrarrestada además por los controles de temperatura de los salones de la planta destinados para tal acción, los cuales cuentan con temperaturas de alrededor de 20°C, las cuales son las recomendadas por los estándares de calidad de procesamiento de carne de cerdo y productos derivados a nivel mundial, a fin de evitar transformaciones de la misma que puedan desencadenar alteraciones en sus propiedades, dado a la incidencia térmica.

- **Preparación de la pasta de jamón:**

La pasta de masaje para el jamón de cerdo, se elabora a base de una serie de ingredientes, a parte de la carne de cerdo obviamente, entre los que destacan:

Agua, fosfatos, proteína animal, carragenato, azúcar, nitrito de sodio, almidón de papa o yuca, condimentos, eritorbato. Es importante destacar que en planta todos estos ingredientes, son sometidos a procesos de evaluación constante de manera de garantizar sus propiedades, y que éstas no afecten al producto final.

La pasta se comienza a preparar a partir de unas cubas de acero inoxidable, de capacidad de éstas es de aproximadamente 1000 Kg. En estas cubas se dispone de cierta cantidad de agua, y poco a poco el resto de ingredientes, los cuales se adicionan de acuerdo a las especificaciones de los maestros charcuteros. Es importante destacar que el detalle de adición de cada uno de éstos, no se pudo reflejar en la investigación dado a razones de política de la empresa.



La preparación de la mezcla para la pasta de jamón se realiza antes de disponerse en los bombos de mezclado, de manera de obtener compenetración (ligazón) homogénea en todos y cada uno de los trozos de carne con el resto de los ingredientes de la mezcla.

- **Mezclado:**

Esta etapa implica la unión de los ingredientes, de la pasta de jamón que se prepara en el paso anterior. Para ello se utilizan bombos de mezclados, los cuales están provistos de un tanque circular con una cavidad interna provista de dispositivos mecánicos que al ser accionados giran para promover el mezclado de la carga que se suministre, tal como se puede observar en las figuras 4.2 y 4.3:



Figura 4.2. Vista frontal del bombo mezclador empleado en el proceso de fabricación de jamones de pierna de la empresa SUBCERCA C.A.



Figura 4.3. Vista interior del bombo mezclador empleado en el proceso de fabricación de jamones de pierna de la empresa SUBCERCA C.A.



En cuanto a las especificaciones de los equipos empleados en el proceso, se pudo observar que se emplean 5 de estos bombos mezcladores de capacidad de 1000 Kg, lo cual implica que son bombos de alta carga, y al ser de esta clasificación están diseñados para operar a bajas revoluciones, las cuales son reguladas por el sistema de control que provee, además al manejar cargas altas se emplea un tiempo mayor para llevar a cabo el mezclado, el cual se estima entre 10.000 m a 12.000 m, par; para lograr este recorrido el sistema de bombos opera con ciclos de mezclado los cuales implican 24 h de masaje para la pasta de jamón, y además durante el mezclado en esas 24 h, el sistema de control del equipo opera con una forma de mezclado que se alterna entre giros a la derecha que duraban 15 min, y luego se llevaban a cabo giros a la izquierda que duraron otros 15 min, y de esta forma se alternaban hasta completar las 24 h de mezclado.

Otro aspecto importante observado en esta etapa, era el control de la temperatura y de los operadores que en ella intervienen. En cuanto a la temperatura se encontró que al aumentar la temperatura interna de la carne de la pasta en el masajeador se reduce la liberación de proteína y en consecuencia disminuye la capacidad de ligazón del agua, y además se incrementan las posibilidades de desarrollo bacteriano. Para contrarrestar lo antes mencionado, esta etapa de proceso se diseñó para estar dispuesta en un recinto especial, dotado de un ambiente con temperaturas bajas de alrededor de 12°C, en cuanto a los operadores que en ella laboran portan vestimenta dotada de cascos, batas guantes lentes y tapabocas, de manera de cumplir con los requerimientos sanitarios y evitar la manipulación directa que pueda afectar a los productos.

- **Embutido:**

El proceso de embutido de la pasta masajeadora de la etapa anterior, consistió básicamente en contener la pasta en tripas, bolsas, películas o moldes, las cuales cuentan con un calibre nominal de 180 mm, y son fabricadas a base de polipropileno, además de que estas tripas son capaces de contener 6 ½ Kg que



es el peso de los jamones que se fabrican. Luego esta pasta embutida se dispone en moldes de acero inoxidable, en forma de pera, a fin de que esta mezcla adquiera la forma característica. En la figura 4.4, se muestran algunos de los moldes que se utilizan en la empresa SUBCERCA C.A, para dar forma a sus productos:



Figura 4.4. Tipos de moldes empleados en la cocción de jamones de pierna.

Como se evaluó la parte térmica de esta etapa, se pudo observar que las bolsas o tripas utilizadas sufren algunas mermas, es por ello que se utilizan bolsas retráctiles al vacío o bobinas (reelstock), ya que estas bolsas tienen mejor aceptación debido a su mejor presentación y permiten cocinar el jamón sin pérdidas de peso, además que son muy aconsejables para el transporte y almacenamiento de los productos, y lo más importante es que este tipo de bolsas son capaces de encoger durante el proceso de cocimiento, enfriamiento y almacenamiento, aplicando así una presión mecánica al jamón. Esta presión previene o al menos minimiza la humedad o la separación de gel de la carne, lo cual es una ventaja sustancial respecto a otros tipos de materiales para embutir.

En las figuras 4.5 y 4.6, se muestra el procedimiento que se lleva a cabo para el embutido de la pasta de jamón que se elabora en la empresa SUBCERCA C.A:



Figura 4.5. Vista de un operador manipulando pasta de jamón embutida.

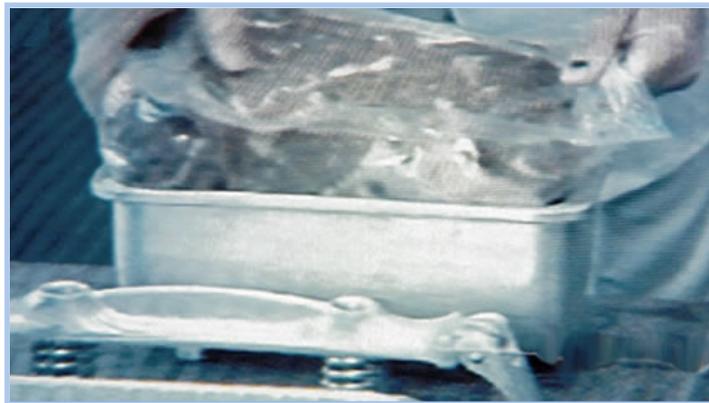


Figura 4.6. Vista de un operador disponiendo la mezcla de jamón embutida en el molde de cocción

• **Cocción:**

Hay casi tantos métodos de cocción como variedades de jamón, y es por ello que cada empresa desarrolla su propio método, en el caso de la empresa SUBCERCA C.A, emplea una cocción a temperatura a constante, el cual describe un comportamiento similar al mostrado en la figura 4.7:

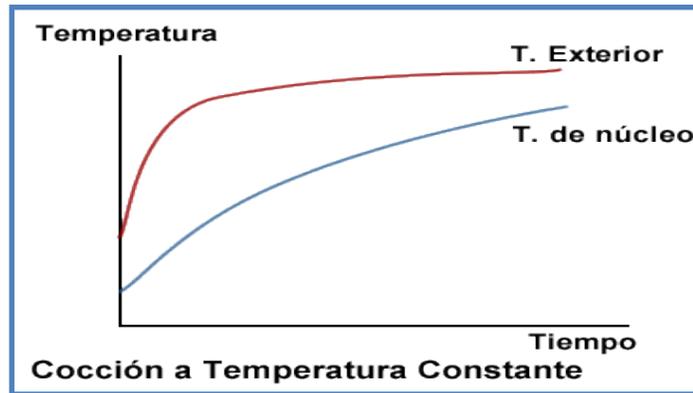


Figura 4.7. Comportamiento de la temperatura exterior y del núcleo de las piezas de jamón a lo largo del tiempo, en la etapa de cocción.

Es aplicado este método ya que resulta como el más fácil y rápido para la cocción, básicamente consiste en alcanzar la temperatura interna deseada en el menor tiempo posible. Se pudo obtener que dicha temperatura de cocción es de 80°C, ya que es recomendado que la temperatura del horno se programe desde el principio en 8°C por encima de la temperatura interna final deseada, es decir que realidad la temperatura de finalización de cocción para los jamones es de 72°C en su interior, y la razón de tal temperatura se deben a lo siguiente:

1. Los ingredientes que ligan el agua tales como los carragenatos, comienzan a ser efectivos a partir de esta temperatura. De otra forma, las posibilidades de humectación y separación de gel son altas.
2. Se detectará un valor de “aw” (actividad del agua) considerablemente más elevado en jamones de alto rendimiento. Por lo cual es importante cocinar a temperaturas elevadas para aumentar la duración del producto.

El proceso en sí de cocción requiere de 6 h, y se lleva a cabo en un horno que opera bajo el principio de baño de maría, además este horno está provisto de un sistema de control el cual senza las temperaturas de cocción del jamón, y cuando detecta la temperatura interna deseada, el proceso de cocción se detiene,



adicionalmente los operadores de proceso miden de forma manual las temperaturas de piezas, para llevar a cabo un control estricto de temperaturas, ya que esta es la variable más crítica de esta etapa.

• **Enfriamiento:**

Una vez completada la cocción, los jamones deben ser sometidos a un proceso de enfriamiento en el menor tiempo posible, ya que resulta indispensable alejar a los jamones del rango de temperatura crítica bacteriológica, el cual se encuentra entre 30°C y 40°C, ya que las bacterias poseen un enorme potencial de crecimiento en este rango de temperatura y podrían tener influencia negativa en la conservación del producto.

Al igual que en la etapa de cocción también para la etapa de enfriamiento existen numerosas tecnologías, en el caso particular del proceso que se lleva a cabo en SUBCERCA C.A, se aplica un rociado de agua a través de mangueras de manera de lograr un leve descenso de temperaturas, aunque con el duchado como también se conoce se debieran alcanzar temperaturas de 28°C, para la parte interna del jamón, que se estima como una temperatura óptima para luego poder disponer las piezas en cámara frigoríficas para continuar el proceso de enfriamiento. Tras evaluación de esta etapa se obtuvo que no se logra el descenso de temperatura inicial de las piezas hasta 28°C, simplemente se aplica agua hasta que los operadores sientan que los carros de trasladados así como también los moldes, no estén lo suficientemente calientes como para ser manipulados, y dispuestos en las cámaras de refrigeración, pero como tal no se lleva a cabo un monitoreo de temperaturas en la etapa de enfriamiento inicial.

Por otra parte es recomendable una pausa antes de llevar los jamones a la cámara de refrigeración, ya que durante este tiempo, el agua contenida en la superficie de los moldes se evaporará, evitando así un incremento de la humedad en la cámara de enfriamiento, lo cual no es conveniente para efectos de la



transferencia de calor que en estas cámaras se lleva a cabo; sin embargo es un paso que no se lleva a cabo dentro de esta etapa.

En cuanto a las cámaras de refrigeración empleadas en planta para el enfriamiento de los jamones, se disponen de 4 cámaras de refrigeración dos de ellas utilizadas para enfriamiento intermedio las cuales operan a temperaturas entre 4°C a 5°C, y las otras dos destinadas para productos de disposición final, las cuales cuentan con temperaturas que oscilan entre 0°C-2°C. Las primeras cámaras son las utilizadas para llevar a cabo el enfriamiento de las piezas de jamón, mediante intercambio térmico con un fluido refrigerante que es aire, utiliza un sistema de refrigeración que emplea freón 12 como refrigerante, estas cámaras cuentan con dimensiones similares a la mostradas en la figura 4.8:



Figura 4.8. Vista de la cámara frigorífica utilizada en el enfriamiento de piezas de jamón cocido.

En donde el intercambio térmico de las piezas de jamón, se lleva a cabo a través del tránsito del fluido refrigerante a través de la cámara hasta llegar a las piezas, tal acción se logra a través de ventiladores dispuestos en el interior de la cámara, tal como se muestra en la figura 4.9:

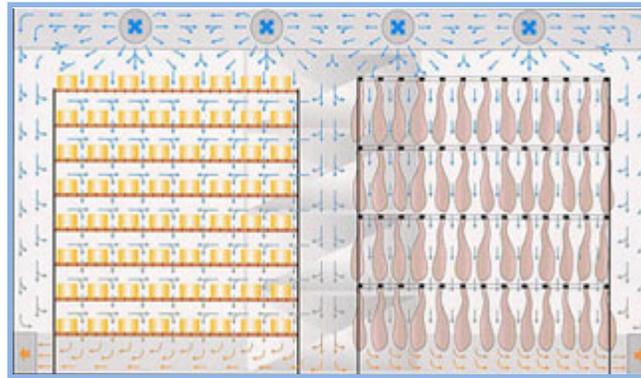


Figura 4.9. Sistema de distribución del fluido refrigerante dentro de las cámaras refrigerantes.

El intercambio térmico de las piezas de jamón en estas cámaras dura alrededor de 3 días, y cabe destacar que en algunos casos se reportan piezas que requieren de mayor tiempo de permanencia para lograr el enfriamiento o temperatura final para su disposición la cual es de 7°C. Se observó que el monitoreo individual de la temperatura de las piezas de jamón se lleva a cabo de forma diaria, y a varias horas, y a poblaciones representativas de piezas de cada uno de los batch que se fabrican, para tener un reporte del comportamiento de temperaturas de las mismas, lo cual es una medida de control buena pero un poco engorrosa a la hora de llevar el control de grandes producciones. También se observó que los volúmenes de producción son significativos lo que implican más potencia de enfriamiento por parte de la carga a enfriar, lo cual se ve reflejado en tiempos elevados para lograr el enfriamiento de las piezas a la temperatura deseada, además de tener presente la consideración de que son productos de gran tamaño, y de delicada manipulación a nivel térmico, en especial esta etapa.

- **Etiquetado y almacenaje:**

Esta etapa desde el punto de vista térmico no tiene ninguna implicación dentro del proceso, ya que simplemente en ella se lleva a cabo la disposición de etiquetas sobre las piezas, las cuales llevan rotulado el nombre del producto así como información de consumo. El etiquetado se lleva a cabo en un área de



planta que cuenta con una temperatura de 20°C, con el objeto de preservar la calidad del producto, además se lleva a cabo durante un tiempo breve, para luego disponer las piezas en las cámaras frigoríficas de enfriamiento en donde las piezas se mantienen a temperaturas entre 4°C-0°C, hasta que son distribuidas.

ESTABLECIMIENTO DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO, COMO ETAPA CRÍTICA EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE JAMÓN COCIDO DE LA EMPRESA SUBCERCA C.A

Una vez llevado a cabo el análisis térmico de cada una de las etapas de proceso, se pudo obtener que la etapa más crítica del proceso de fabricación de jamón cocido, desde el punto de vista térmico era la etapa de enfriamiento, ya que como se mencionó anteriormente se lleva a cabo de forma muy lenta, lo cual es una condición crítica en lo que respecta el enfriamiento rápido que deben sufrir las piezas, para impedir el crecimiento de bacterias, las cuales afectan en la calidad del producto.

IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE RESPUESTA DEL PROCESO Y VARIABLES QUE LA AFECTAN

En atención a la problemática identificada, se realizó un análisis profundo de la etapa, así como también del resto de etapas que incidían sobre ésta, con el objeto de determinar quien representaba la variable respuesta del proceso, y a su vez los factores que la afectaban. La detección de éstas, se pudo realizar tras visitas consecutivas a planta, para estudiar el comportamiento del proceso de enfriamiento, y en función a esto obtener cierta información, que sirvió como base, para el planteamiento de ideas respecto de las posibles causas que desencadenaban a la variable respuesta.

Para ello se aplicó una herramienta, la cual resultó de mucha ayuda, en cuanto al análisis del problema desde un punto de vista cualitativo, ésta fue la tormenta de ideas (Brainstorm), que no es más que como su nombre lo indica, la generación de ideas, indicios, etc, que en conjunto permitió crear un universo de información, la cual se procesó con el fin de extraer de ella los factores que se deseaban detectar.



Para la identificación de la variable respuesta y los factores que incidían, se analizó la información, recaudada en la tormenta de ideas, y con ésta se aplicó otra herramienta la cual consistió en el diagrama de Ishikawa o también llamado diagrama de “Espina de Pescado”, la cual junto con la tormenta de ideas, representaron herramientas de análisis muy poderosas, a la hora de llevar a cabo tal acción.

El Diagrama de Ishikawa, propone el establecimiento de las causas que inciden sobre una situación o variable, y los efectos que se generan como consecuencia de las mismas, a través de una representación gráfica.

Para poder llevar a cabo tal representación de las causas-efectos del proceso de enfriamiento, se determinó la variable respuesta del proceso siendo ésta la velocidad de enfriamiento, se identificó como tal, ya que el factor que se expresaba como condición respuesta ante el comportamiento de la etapa era la rapidez con que ocurría el descenso de las temperaturas en las piezas de jamón, luego de determinar esta variables, se detectaron los factores que la afectaban a través del análisis de la información obtenida mediante la aplicación de una tormenta de ideas, siendo éstos: Temperatura, velocidad de circulación del fluido refrigerante en la cámara de refrigeración, Humedad relativa de la cámara de refrigeración y Tamaño de la cámara de refrigeración.

En cuanto a la temperatura, se determinó que esta variable afectaba en la velocidad de enfriamiento de las piezas de jamón ya que la distribución de temperaturas dentro de una cámara frigorífica es una de las características más importantes a controlar, debido a la diversidad de temperaturas que en el mismo recinto se pueden obtener, la cual debe garantizarse como homogénea, de manera de perseguir una transferencia de calor uniforme; siendo los factores que a su vez afectan en el alcance de la temperatura óptima el monitoreo constante de temperatura dentro de la cámara refrigerada y la presencia de dispositivos de control de temperatura.

Respecto a la circulación del fluido refrigerante dentro de la cámara de refrigeración, se encontró que esta variable afecta la velocidad de enfriamiento ya



que a través de la circulación del aire, se logra la homogeneización de las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de la cámara de refrigeración, para conseguir una uniformidad razonable de éstas que favorezca la transferencia de calor. En función de lo mencionado anteriormente se encontró que los factores que inciden en la circulación óptima del fluido refrigerante son: La velocidad de circulación del aire y la anchura de canal a través de la cual se distribuye éste, ya que ambos factores en conjunto inciden en que se propicie una transferencia de calor óptima en función de la carga que se desea tratar térmicamente, puesto que la rapidez con la cual se difundirá el fluido dentro de la cámara frigorífica, dependerá de las dimensiones y número de productos a enfriar, y en función de estos parámetros se seleccionará la velocidad óptima, lo cual a su vez afecta de forma proporcional en el ancho del canal que se empleará para su distribución dentro de la cámara, ya que las dimensiones de éste dependen del flujo a aplicar.

La Humedad relativa de la cámara de refrigeración, es otro de los factores que afecta en la velocidad de enfriamiento de las piezas de jamón de cocido, ya que ésta representa un índice de equilibrio entre el agua presente en el producto, y su eliminación del aire cuando éste pasa por el evaporador. De acuerdo a las investigaciones realizadas la humedad relativa se debe mantener bastante elevada durante la operación de enfriamiento para impedir excesivas pérdidas de peso, siendo las condiciones recomendadas de humedad relativa entre 85%-95%; sin embargo es importante destacar que éste es el factor más difícil de controlar.

En atención al control de humedad relativa que debe llevarse cabo, se encontró como factores que afectaban en el mismo la presencia de dispositivos de control de humedad y el monitoreo de los valores de humedad relativa de la cámara los cuales deben mantenerse de acuerdo a condiciones de operación entre 80%-90%.

Finalmente se encontró que el tamaño de la cámara de refrigeración, representaba otro de los factores que incidían en la velocidad de transferencia de calor de los jamones cocidos, ya que en el caso particular del proceso de



fabricación que se analizó en la empresa SUBCERCA C.A, donde llevan a cabo el enfriamiento en cavas de refrigeración, en un principio para el arranque del proceso de fabricación de los jamones estaban bien diseñadas en cuanto al espacio y carga de productos a tratar, sin embargo con el pasar del tiempo y al aumentar la producción se ha originado cierta lentitud en cuanto a la velocidad de enfriamiento de las piezas de jamón, lo cual a su vez está afectado por el espacio disponible para la refrigeración de las piezas y el asinamiento de las mismas en las cámaras de refrigeración.

Una vez definida tanto la variable respuesta, como los factores que inciden en el comportamiento de la misma, se pudo construir el siguiente diagrama Causa-Efecto (ver figura 4.10), en donde se establece la vinculación entre variable respuesta, y factores que incidan en la misma:

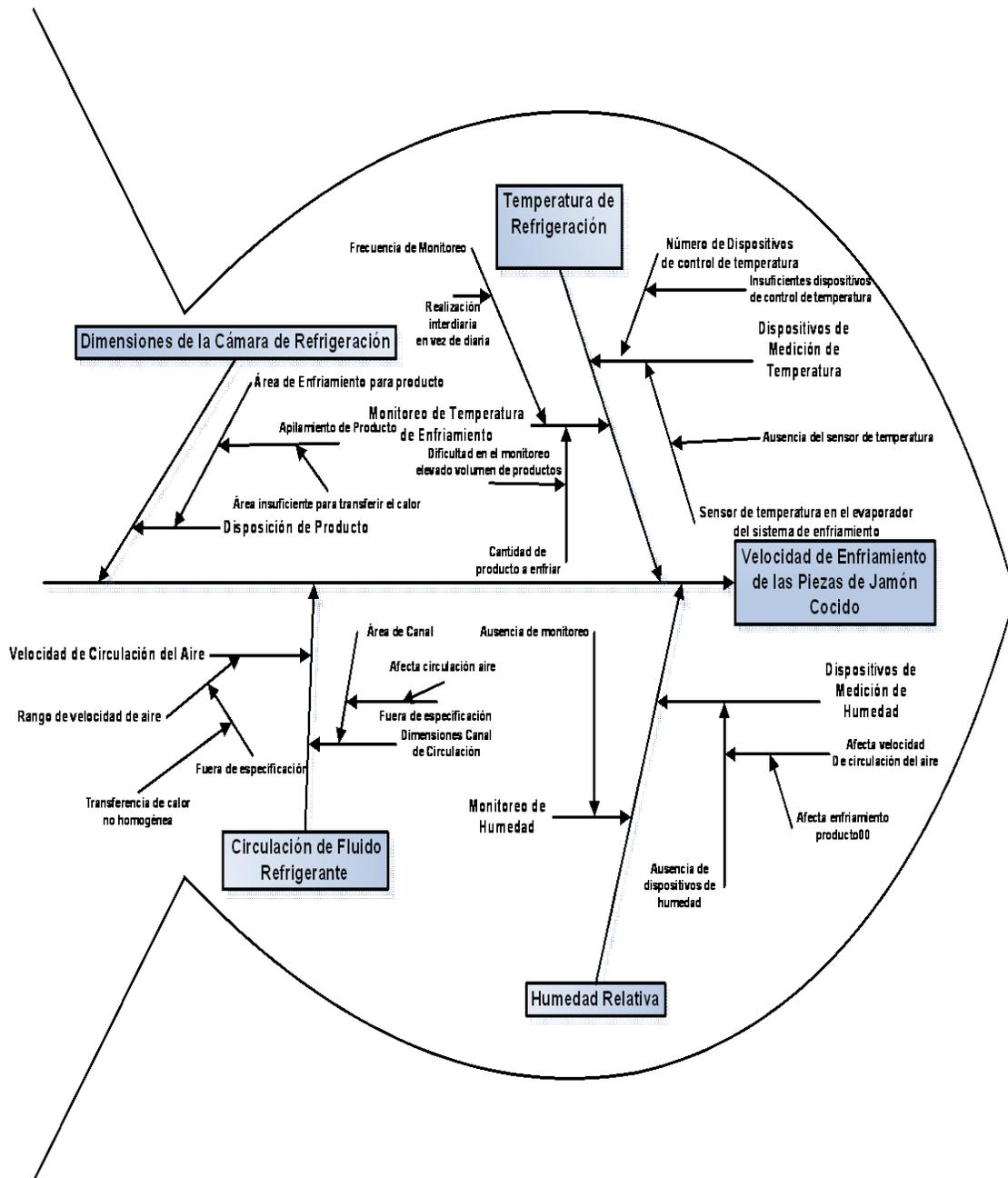


Figura 4.10. Diagrama Causa-Efecto correspondiente a la etapa de enfriamiento, del proceso de fabricación de jamones de pierna de la empresa SUBCERCA C.A.



Una vez definida la variable respuesta del proceso y los factores que afectaban a ésta, se estimó la cantidad de calor que era capaz de generar la carga de productos (jamones) que se enfriaban, la cual resultó igual a 423,01 Kcal, posteriormente con este calor y conocido el tiempo de residencia de los jamones en la etapa de enfriamiento se logró estimar la potencia requerida siendo ésta igual a 491.96 W. La estimación de ésta fue necesaria para poder ser comparada con la potencia que el sistema de enfriamiento que actualmente se utiliza era capaz de proveer, siendo la potencia del mismo igual a 389,5 W. Comparándose ambas potencias se pudo obtener que el sistema de enfriamiento utilizado (basado en enfriamiento a través de equipos tipo chiller), resultaba insuficiente desde el punto de vista térmico ya que el mismo proveía menor potencia que la requerida por los productos para su enfriamiento, hecho que permite explicar que se requiriera de un tiempo tan elevado para el enfriamiento de los jamones, el cual oscila en tres días aproximadamente, ya que al contar con menor energía por parte del sistema de enfriamiento los productos necesitan de mayor tiempo de residencia para el alcance de la temperatura óptima para su comercialización la cual es de 7°C.

Fundamentalmente esta situación se debe a que en los comienzos del proceso de elaboración de los jamones, el requerimiento térmico de éstos era satisfecho por el sistema de enfriamiento seleccionado; sin embargo con el pasar de los años se generó un aumento en cuanto a la demanda de estos jamones situación que obligó a la organización a un incremento de la producción de manera de cubrir dichas necesidades de mercado, con la limitante de no contar con áreas disponibles para la colocación de cámaras de enfriamiento de mayor capacidad de enfriamiento, lo cual implicó la inversión de un tiempo de residencia de 3 días para el logro de la temperatura de óptima de comercialización y disposición de producto.



4.3. INVESTIGACIÓN TECNOLOGÍAS DE ENFRIAMIENTO QUE SE ADAPTEN AL PROCESO DE ESTUDIO, CON LA FINALIDAD DE SELECCIONAR LA TECNOLOGÍA QUE MEJOR SE ADAPTE CON LOS REQUERIMIENTOS TÉRMICOS DEL PROCESO

Tras consultas e investigaciones se pudo obtener que en la actualidad existen tecnologías aplicadas al sector alimenticio muy novedosas, en cuanto a la satisfacción de las necesidades de enfriamiento y optimización de los tiempos de producción, que en muchos procesos de alimentos y en especial aquellos vinculados con industrias cárnicas se necesitan cubrir.

La mejora de estos procesos, el desarrollo de nuevos productos y un constante avance en las exigencias de calidad, son rasgos que caracterizan actualmente a las industrias dedicadas a enfriamiento, que han desarrollado divisiones concebidas especialmente dedicadas a satisfacer necesidades y ofrecer aplicaciones en la industria alimentarias donde se involucren procesos de refrigeración, enfriamiento, conservación, etc.

La característica más resaltante de las tecnologías más avanzadas que se pudieron estudiar, es que éstas basan su funcionamiento en el marco de los gases industriales, los cuales se presentan como una herramienta imprescindible que contribuye a optimizar los procesos de producción, garantizar la calidad de los productos y prolongar su tiempo de vida útil lo cual representa el principal desafío para cualquier proceso que implique la fabricación de productos alimenticios.

En la actualidad las tecnologías de enfriamiento para el sector alimenticio no solo se han ido desarrollando en función de las necesidades antes mencionadas, sino también en función de necesidades de preservación ambiental, tratando de implementar nuevas que no perjudiquen al medio ambiente y que a la vez cumplan con los protocolos, y regulaciones que a nivel internacional se han implementado para detener la contaminación por emisiones, etc; lo cual ha desencadenado que poco a poco los países donde existe la presencia de este tipo de industrias, que dependen sus procesos del frío, comiencen a dejar de un lado las tecnologías más tradicionales de enfriamiento, las cuales se basan en la refrigeración bajo el empleo de equipos que



operan con fluidos refrigerantes, como por ejemplo el freón 12, el cual es muy aplicado en refrigeración, pero a la vez muy contaminante para la capa de ozono.

Las tecnologías de enfriamiento que en la actualidad se perfilan como las más atractivas para ser aplicadas, son aquellas que basan su funcionamiento en la criogenia, siendo ésta la ciencia dedicada a la producción de temperaturas entre 100 y 273 °C bajo cero (la más baja de ambas, que equivalen al cero absoluto de la escala Kelvin), por tanto el rango de temperaturas que se pueden manejar utilizando sistemas criogénicos es bastante amplio, lo cual confiere a estos sistemas gran aplicabilidad, no solo en el sector de la industria alimenticia, sino en otras áreas como lo son: La industria metalmecánica, medicina, tratamiento de aguas, etc, donde se requieren en cientos de procesos bajas temperaturas o generación de frío en el menor tiempo posible, y la única manera de obtenerse cumpliendo con ambos requerimientos es a través de la criogenia.

SELECCIÓN DEL FLUIDO CRIOGÉNICO

El Nitrógeno se considera como el gas de mayor aplicabilidad en la criogenia, además de que es el elemento más abundante en el aire representando aproximadamente 78% de su composición, y al ser tan abundante se cuenta con una gran fuente de este elemento lo cual se refleja directamente en costos y en la facilidad para su obtención, además de que exhibe comportamiento de gas inerte, lo cual lo hace un gas idóneo en procesos criogénicos de conservación, en especial de productos cárnicos que son tan delicados de tratar.

Por otra parte se obtuvo información respecto de su forma de obtención, la cual se basa en la compresión de enormes volúmenes de aire atmosférico, el cual además se comprime y se purifica antes de ingresar al conjunto de equipo criogénico, luego se enfría aproximadamente a $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-300\text{ }^{\circ}\text{F}$) y después, en una columna de destilación y con base en los diferentes puntos de ebullición, se separa cada uno de sus componentes elementales: Oxígeno, Argón y Nitrógeno líquido.

La forma de obtención de este gas, permite la generación de grandes volúmenes de éste, así como también se pudo obtener tras la investigación efectuada que las tecnologías que hoy en día se aplican apuntan incluso al establecimiento de plantas de



licuación de aire en aquellos sectores de la industria donde la demanda de Nitrógeno bien sea para sistemas criogénicos, o para otras necesidades sean considerable, y el establecimiento de éstas ha ido posible gracias al desarrollo de tecnologías de licuación y obtención de Nitrógeno líquido cada más accesibles y más fáciles de operar.

Adicionalmente al Nitrógeno, se encontró que existe otro gas ampliamente utilizado en sistemas criogénicos de refrigeración y congelación, así como también es muy utilizado en otras etapas de elaboración no solo de jamón sino de otros embutidos como por ejemplo es la etapa de mezclado, este gas que posee tanta aplicabilidad es el Dióxido de Carbobo (CO_2). Básicamente el hecho de que sea tan empleado obedece al efecto bacteriostático y fungiestático que genera sobre los alimentos, así como también la capacidad frigorífica que exhibe en su estado sólido (nieve carbónica), lo cual lo hacen ideal no solo como fluido de enfriamiento sino además para propiciar la conservación de los productos que se tratan.

La forma de actuar de estos dos fluidos criogénicos es similar, ya que se inyectan en el aire en forma finamente pulverizada, lo que ayuda a una rápida sublimación a gas y por tanto un enfriamiento rápido sin deshidratación. Sí se aplica un exceso de CO_2 (s) se forma nieve, la cual también sigue actuando sobre el producto. Este fenómeno se puede aprovechar para disminuir los costes del transporte ya que es posible emplear un vehículo aislado en vez de uno frigorífico, y de esta manera se puede ahorrar en potencia refrigeradora y en espacio.

Sin embargo se presentó la necesidad de seleccionar entre estos dos fluidos criogénicos cual era el más conveniente para ser incluido en el diseño a proponer, se construyó una matriz selección, con el objeto de ser utilizada como herramienta para llevar a cabo dicha selección, para ello se identificaron criterios de notable peso o consideración en cuanto a la selección, tomando en cuenta no solo los propios sino también los que la empresa consideraba importantes, así como también la información técnica obtenida en cuanto a ambos fluidos, pudiéndose obtener los siguientes:

- Costo.
- Peligrosidad.



- Capacidad refrigerante.
- Inocuidad.

Una vez seleccionados los criterios, se procedió a asignar porcentajes de ponderación de acuerdo al grado de importancia que representaba cada uno; en donde al criterio capacidad refrigerante obtuvo el mayor porcentaje el cual correspondió a 35%, ya que representó un parámetro de suma importancia debido a la necesidad de acelerar el proceso de enfriamiento en cuanto a la producción de jamones, es por ello que se evaluó el fluido que mayores ventajas ofreciera en ese aspecto, luego los parámetros que ocuparon los dos siguientes lugares en importancia fueron el costo y la peligrosidad asignándose a cada uno 25%, en cuanto al primero se ponderó de esta manera ya que el precio o costo en toda proyecto es un aspecto importante a evaluar, en cuanto a determinar la factibilidad económica de la inclusión de una propuesta; respecto al parámetro peligrosidad se asignó un porcentaje similar al del costo, dado que tras la realización de consultas especializadas, se encontró importante evaluar cuan seguro representaba el uso de los fluidos criogénicos, bajo las condiciones particulares de operación, para conocer si éstos no comprometían la seguridad de los operadores, y de la planta misma, y por último el parámetro al cual se le asignó menor porcentaje fue a la inocuidad, que aunque fue el parámetro con menor participación en la selección, se consideró para la misma dado a la evaluación de la influencia de interacción en cuanto a los fluidos criogénicos no solo desde un punto de vista térmico, sino también desde el punto de vista de preservación e inalteración de las propiedades de los productos a tratar.

Además de asignarse porcentajes a los criterios de selección como se mencionó anteriormente, se procedió a emplearse una escala de evaluación, acorde para llevar a cabo finalmente la evaluación siendo ésta la siguiente (Escala de Lickert):

1: muy malo, 2: malo, 3: regular; 4: bueno y 5: muy bueno.



Una vez definidos los criterios y porcentajes de valoración para llevar a cabo la selección se efectuó la ponderación, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 4.2:

Fluido Criogénico		
Criterio de Selección	Dióxido de Carbono (CO₂)	Nitrógeno (N₂)
Costo (35%)	3	4
Peligrosidad (25%)	2	4
Capacidad Refrigerante (25%)	3	4
Inocuidad (15%)	2	5
Total	2.6	4.15

TABLA 4.2. Matriz aplicada para la selección del fluido criogénico a utilizar en el diseño a proponer de acuerdo a la tecnología de enfriamiento seleccionada.

En función a los resultados obtenidos tras la aplicación de la matriz de selección, se obtuvo que el fluido con mayor ponderación resultó ser el Nitrógeno, por cuanto se seleccionó como fluido de trabajo a ser incluido en la propuesta de la línea de enfriamiento a implementar.

Una vez seleccionado el fluido criogénico, se pudo observar que otro aspecto importante para completar la definición de la tecnología a utilizar era el conocimiento de los equipos criogénicos necesarios por la misma.

Tras información recaudada respecto a estos equipos se obtuvo que éstos se caracterizan por lo siguiente:

- Adaptados a cada tipo de proceso, lo cual confiere disponibilidad de selección de acuerdo a los requerimientos propios de cada uno.



- Flexibilidad de producción, pues permite un mejor control y manejo del proceso de enfriamiento evitando congestiones o embotellamientos en esta etapa.
- Mínimo costo de inversión.
- Diseñados de acuerdo a normas sanitarias.

Entre los equipos que tras la investigación se encontraron como los más idóneos utilizados en tecnologías criogénicas de enfriamiento, y en especial en procesos como el de estudio:

Túnel Criogénico Lineal:

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en utilizar algún fluido criogénico (tal es el caso del Nitrógeno líquido) como fluido frigorígeno, el cual se inyecta directamente en el interior del cuerpo del equipo o túnel a través de un conjunto de pulverizadoras con caudal proporcional a las cantidades de productos que lo atraviesan. El líquido se pulveriza directamente sobre los productos, vaporizándose al contacto con ellos. El gas frío, más denso, se desliza hacia la entrada del túnel, siendo impulsado por un conjunto de ventiladores de circulación. De esta forma, tiene lugar un intercambio térmico en contra-corriente, entre el gas que se calienta y el producto que se enfría. De aquí resulta un prerefrigeración superficial del producto tratado en la primera parte del túnel, antes de recibir la lluvia de Nitrógeno líquido. El producto se congela entonces, y seguidamente equilibra sus temperaturas entre el centro y la superficie, lo cual tiene lugar en la zona llamada de estabilización.

La gran diferencia de temperaturas entre producto y Nitrógeno líquido, permite lograr, además grandes velocidades de congelación y, con ello, un producto congelado que retiene inalteradas sus propiedades organolépticas, siendo por lo tanto, de la más alta calidad.

Siendo una vista del túnel criogénico lineal similar a la mostrada en la figura 4.11:

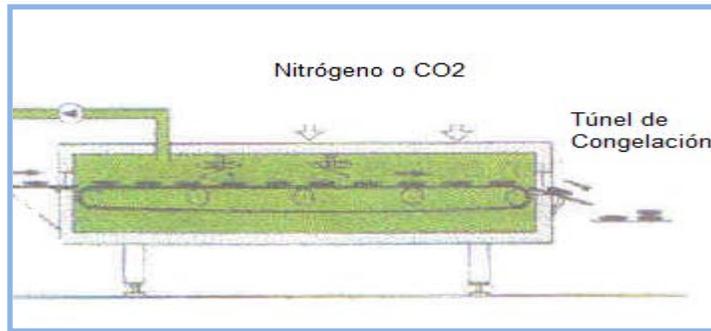


Figura 4.11. Vista frontal de un túnel criogénico de diseño lineal.

El funcionamiento y regulación de este tipo de túneles es muy sencillo, solo basta con controlar: La velocidad de transporte del producto en el interior del túnel, que será en función de las dimensiones y características del alimento. En general basta un paso de 3 a 5 min, para lograr la congelación o refrigeración, según se desee, es importante destacar que el caudal de Nitrógeno líquido suministrado, se aplicará en función de la masa de producto y de sus temperaturas a la entrada y salida del túnel.

La pulverización del Nitrógeno líquido se realiza por medio de boquillas dispuestas en rampa, su situación se puede variar con objeto de conseguir el perfil térmico más adecuado en el interior del túnel., mientras que la regulación automática del caudal de Nitrógeno líquido es función de la temperatura que marque la sonda colocada en el interior del mismo.

Los modernos túneles, están constituidos por un recinto aislado, atravesado por tres cintas transportadoras de acero inoxidable. Son tres las etapas que pueden distinguir en el funcionamiento de un túnel de este tipo:

ZONA I. Intercambio frigorífico gas – producto:

Esta zona constituye el tramo más largo del túnel, cerca de la entrada del producto, el fluido criogénico (Ej. Nitrógeno gaseoso) circula en contracorriente a través del túnel, gracias a un sistema de ventilación, en donde la extracción y salida



al exterior del Nitrógeno gaseoso se hace mediante una chimenea colocada en la zona de entrada del producto.

ZONA II. Pulverización:

En esta zona tiene lugar la inyección de Nitrógeno líquido sobre el producto, para lo que se dispone de un dispositivo de pulverización de gran capacidad. La regulación del caudal de Nitrógeno líquido que se debe inyectar, se puede efectuar con dos electroválvulas colocadas en paralelo y mandadas por una sonda de medida de temperatura o bien con una válvula proporcional.

ZONA III. Estabilización:

Esta zona representa la parte más corta del túnel, y en ella además ocurre la estabilización rápida de la temperatura del producto a través del uso de ventiladores, para luego continuar con la salida del producto.

En resumen los túneles criogénicos son muy flexibles y pueden utilizarse para tratar térmicamente todo tipo de productos que se produzcan de forma continua, tales como: hamburguesas, salchichas, carnes troceadas, filetes de pescado, mejillones, gambas, champiñones, cebollas, carne, etc.

Armario de congelación con carro:

Es un sistema ideal para pequeñas y medianas producciones, por su bajo costo de inversión y funcionamiento sencillo. La introducción del producto a congelar se realiza mediante un carro porta-bandejas.

Estos equipos se caracterizan porque en ellos se puede prefijar la temperatura y el tiempo de ciclo, ya que están provistos de sistemas de control automatizado a través de termostatos y temporizadores, que permiten regular el ciclo de enfriamiento que en ellos se desea llevar a cabo. Es importante destacar que este tipo de equipos son mayoritariamente utilizados para producciones moderadas, discontinuas o como se conocen también tipo batch.

Siendo una vista de un armario criogénico similar a la mostrada en la figura 4.12:

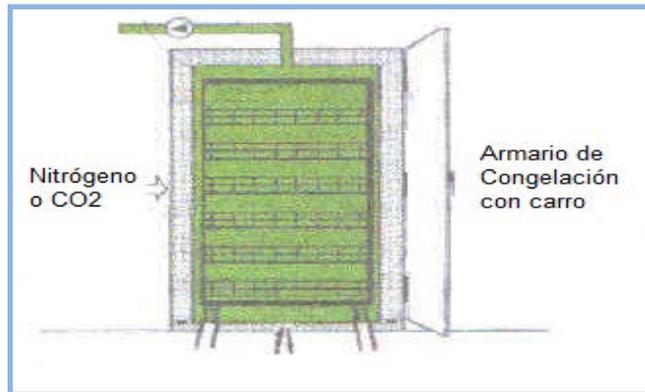


Figura 4.12. Vista frontal de un Armario criogénico de diseño con carro.

Congelador por Inmersión:

En este tipo de instalación, el producto es sumergido en el líquido refrigerante, por lo que el tiempo de congelación es sumamente corto. Ocupa poco espacio en función de su gran capacidad de producción. Es indicado para productos de tamaño pequeño.

Siendo una vista del túnel congelador criogénico por inmersión similar a la mostrada en la figura 4.13:

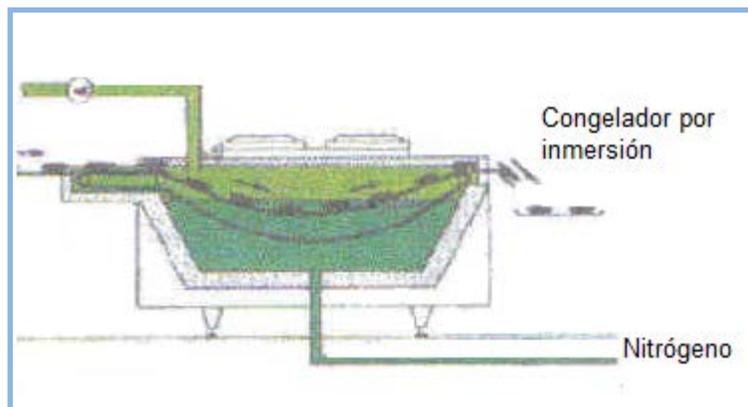


Figura 4.13. Vista de un congelador criogénico por inmersión.

SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENFRIAMIENTO Y EQUIPOS REQUERIDOS POR LA MISMA

De acuerdo a las características recaudadas respecto a los equipos citados con anteriormente, al igual que en la selección del fluido criogénico, se procedió a aplicarse una herramienta que facilitara la selección, de la misma forma se recurrió al empleo de



una matriz de selección, en donde para la elaboración de la misma se escogieron los siguientes criterios de selección:

- Costo.
- Espacio requerido.
- Tipo de producción.
- Tiempo de enfriamiento.

Una vez seleccionados los criterios, se procedió a asignar porcentajes de ponderación de acuerdo al grado de importancia que representaba cada uno; en donde al criterio costo obtuvo el mayor porcentaje el cual correspondió a 30%, representó el parámetro más significativo para la selección dado a la inquietud por parte de la empresa SUBCERCA C.A, por conocer cuánto representaba a nivel económico la inclusión de los equipos necesarios de acuerdo a la tecnología seleccionada, luego los parámetros que ocuparon los dos siguientes lugares en importancia fueron el espacio requerido y el tiempo de enfriamiento, asignándose a cada uno 25%, en cuanto al primero se ponderó de esta manera ya que otras de las necesidades por parte de la empresa era estudiar la propuesta que implicara menor espacio para su instalación, pues en planta no se contaba con áreas muy grandes deshabilitadas, de acuerdo a lo explicado es que este parámetro representó ser considerable a la hora de la selección; respecto al parámetro tiempo de enfriamiento se asignó un porcentaje similar al del espacio requerido, ya que como se mencionó tanto en la selección del fluido de trabajo, como a lo largo del presente trabajo el motivo de la investigación se centró en la propuesta de la tecnología que ofreciera menor tiempo para lograr el enfriamiento, por cuanto este parámetro era de notable influencia a considerar a la hora de la selección, y por último el parámetro al cual se le asignó menor porcentaje fue el tipo de producción, que aunque fue el parámetro con menor participación en la selección, se consideró para la misma dado a que la selección se podía realizar de forma íntegra a través de la selección del equipo que se adaptara a los requerimientos específicos del proceso en estudio, ya que se pudieron encontrar tecnologías y equipos de enfriamiento muy atractivos, pero no todos estos lograban satisfacer las necesidades del proceso.



Además de asignarse porcentajes a los criterios de selección como se mencionó anteriormente, se procedió a emplearse una escala de evaluación, acorde para llevar a cabo finalmente la evaluación siendo ésta la siguiente:

1:muy malo, 2:malo, 3:regular; 4: bueno y 5: muy bueno.

Una vez definido todas las herramientas y requisitos para llevar a cabo la selección se efectuó la ponderación y totalización de los puntajes correspondientes a cada fluido y los criterios correspondientes, pudiéndose obtener lo siguiente (ver tabla 4.3):

Tecnología			
Criterio de Selección	Túnel Criogénico	Armario Criogénico	Congelador por Inmersión
Costo (30%)	4	4	4
Espacio requerido (25%)	3	4	4
Tipo de Producción (25%)	2	5	1
Tiempo de Enfriamiento (15%)	4	4	4
Total	3.35	4.20	2.50

TABLA 4.3. Matriz aplicada para la selección de la tecnología criogénica a utilizar en el diseño de la línea de enfriamiento en el proceso de producción de jamones de la empresa SUBCERCA C.A.

Una vez aplicada la matriz de selección y ponderados los criterios aplicados en la misma, se pudo observar que la tecnología que obtuvo el mayor puntaje fue la tecnología de armarios criogénicos, y tal resultado básicamente se debió a que estos equipos se ajustan a los requerimientos tanto térmicos como de dimensiones de producción que se manejan en el proceso de estudio, además que su diseño es ideal para procesos donde se deseen enfriar productos de dimensiones considerables, pero que son fabricados de forma discontinua o tipo Batch, que es precisamente el método



de producción aplicado en la fabricación de jamones de pierna por parte de la empresa SUBCERCA C.A. Adicionalmente se seleccionó dicha tecnología ya que presentan un sistema de operación simple, ofreciendo un alto rendimiento; requieren de muy poco espacio lo cual representa una ventaja considerable, en sentido que no requiere por parte de la empresa una habilitación de área o terreno para su disposición, lo cual supera a cualquier otra tecnología a implementar, que por el contrario demandan un área considerable en planta para su instalación.

Finalmente una vez alicados los procesos de selección tanto para el fluido de trabajo como de la tecnología de enfriamiento, se pudo obtener que la propuesta tecnológica que mejor se adapta con los requerimiento térmicos, analizados en el proceso de estudio, consiste en la aplicación de armarios criogénicos operando con Nitrógeno líquido como fluido de trabajo, y tal selección se realizó en función de las características y descripciones tanto para el fluido criogénico, como para la tecnología antes citada.



4.4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS NECESARIOS POR LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA, EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS TÉRMICOS QUE LA MISMA DEBE SATISFACER

El dimensionamiento y selección de los equipos requeridos por la tecnología de enfriamiento seleccionada, implicó un proceso de considerable análisis y detalle dado a las características de la misma, ya que tras las investigaciones efectuadas se pudo obtener que el dimensionamiento de equipos de dicha tecnología, no se pudo llevar a cabo de manera convencional, como en el caso de otros equipos como lo son: Intercambiadores de calor, bombas, etc, debido al carácter reciente e innovador de éstos, así como también el hecho de que el diseño de estos equipos no resultaba sencillo ya que a pesar de contarse con modelos matemáticos para realizar las estimaciones pertinentes, al finalizar el dimensionamiento se debía recurrir a la solicitud de las empresas proveedoras de los mismos, los cuales sugieren los equipos en función de ciertos parámetros de los procesos donde se pretende aplicar, de modo que con éstos logran realizar sus estimaciones y proponer a los clientes interesados el diseño que mejor se adecúa a los requerimientos detectados, y es precisamente a lo explicado anteriormente que la propuesta de la línea de enfriamiento se realizó en función de consultas y las sugerencias ofrecidas por empresas especializadas en la fabricación y comercialización de tecnologías criogénicas.

DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE ENFRIAMIENTO

En función de lo explicado anteriormente se determinó la necesidad de obtener información en empresas o corporaciones que se dedicaran al diseño y montaje de equipos, además de tecnologías de la misma naturaleza a la que se seleccionó. Encontrándose en efecto la existencia de una gran corporación internacional llamada PRAXAIR, la cual fue posible de hallar gracias a material recolectado en artículos de revistas científicas, en fases previas de la investigación en donde se recomendaba de forma amplia y con muy buenas referencias a dicha empresa, ya que es una corporación internacional muy importante que goza además con el prestigio de ser una de las pioneras en cuanto al desarrollo de equipos y aplicaciones en materia criogénica, además de dedicarse a la distribución de gases criogénicos y asesoramiento técnico



respecto a la implementación de sistemas de este tipo en función de las necesidades específicas a satisfacer. Precisamente este servicio ofrecido por la empresa PRAXAIR, fue el que representó una valiosa ayuda para llevar a cabo el diseño que se deseaba desarrollar; ya que a través de la facilidad de contacto ofrecida por parte de la corporación, se pudieron aclarar numerosas dudas en cuanto al diseño en sí del proceso. Como resultado de esas consultas, se pudo obtener la siguiente información:

Se pudo conocer que el diseño en general de equipos criogénicos para el proceso que se deseaba mejorar, se lleva a cabo considerando los siguientes parámetros fundamentales (ver tabla 4.4):

Variable	Rango
Temperatura de entrada de los jamones (°C)	72
Temperatura de salida de los jamones (°C)	7
Área de los jamones (m ²)	3.69
Peso de los jamones (Kg)	6 ^{1/2}
Tipo de proceso	batch
Carga a tratar (unidades)	72

TABLA 4.4. Variables de proceso consideradas para el dimensionamiento de los equipos requeridos por la línea de enfriamiento criogénico.

En cuanto a los dos primeros parámetros, se pudo obtener que aunque se contaba con la data de temperaturas de proceso, y se podían seleccionar modelos tanto matemáticos, como termodinámicos para la estimación del tiempo de residencia de los productos a tratar en los armarios criogénicos, no se llevó a cabo dicho cálculo a pesar de que el tiempo de residencia de los productos en las cámaras de enfriamiento representaba una variable fundamental e indispensable en el diseño, y la razón de no efectuarlo se debió a que tras consultas realizadas se pudo conocer que las empresas encargadas de proveer estos equipos son las que en realidad se encargan de realizar tales estimaciones, dado a que en la actualidad estos sistemas criogénicos, basan su



operación en el empleo de sistemas de control automatizados, los cuales se programan considerando las variables de proceso que represente ser las más críticas, y en este caso particular resultó ser la variable de control la temperatura interna final de los jamones cocidos, en función de ésta se desarrolló el diseño del lazo de control, ya que al tener definido un set point (temperatura interna de jamón), se controlaba el sistema de válvulas que regulan el flujo de Nitrógeno líquido a ser surtido en el armario criogénico, así como también la velocidad de aplicación del mismo sobre los productos. Por otra parte, se recibió información por parte de la empresa PRAXAIR, en cuanto a la consideración de las dimensiones y el peso de los productos a tratar, ya que en función de estas dos variables se pudo definir lo siguiente:

En primer lugar la selección de los carros de cocción y transporte de piezas, los cuales son usados tanto para cocinar como para transportar los jamones, llegan a ser tan importantes que la selección de los armarios criogénicos se pudo realizar en función de las dimensiones de éstos.

En segundo lugar, el sistema de aspersores, o dispositivos dosificadores de Nitrógeno líquido dentro de las cámaras de los armarios criogénicos, se diseñó en función de la carga a tratar con el objetivo de garantizar aspersiones proporcionales del fluido criogénico, y así garantizar que la transferencia de calor de los jamones se llevara a cabo de forma proporcional y óptima en cada una de las piezas.

Gracias a la información suministrada, se pudo contar con bases para iniciar en sí el proceso de diseño como tal del sistema de enfriamiento a proponer, para ello se precisaron los equipos requeridos por el sistema, los cuales consistieron en los siguientes:

- Armario criogénico.
- Sistema de tanque criogénico para el almacenaje y distribución de Nitrógeno líquido.

Una vez definidos los equipos principales del sistema de enfriamiento, se procedió al dimensionamiento de cada uno en función de los requerimientos térmicos detectados tras las evaluaciones efectuadas, obteniéndose lo siguiente:



DISEÑO DEL ARMARIO CRIOGÉNICO

Este equipo representó ser el principal en el proceso de diseño del sistema de enfriamiento, la selección del armario más adecuado se realizó en función de ciertos criterios entre ellos:

Las dimensiones de los carros de cocción: La utilización de este criterio de selección se empleó en función de sugerencias suministradas a través de las consultas con los expertos de la empresa PRAXAIR, las cuales se adoptaron por la amplia experiencia de la empresa, además de que su tecnología se tomó como referencia para el desarrollo del diseño pues sus equipos eran los que se escogieron además como candidatos en la propuesta desarrollada, adicionalmente se adoptó este criterio ya que de acuerdo a la información suministrada explicaban que las dimensiones de estos carros, son un indicio de la carga de proceso a tratar, y aunque no parezca relevante el diseño de los armarios criogénicos, se desarrolla de una forma ergonómica ya que al contar con estos dispositivos móviles en primer lugar el traslado de piezas se realiza de forma más eficiente, así como también el diseño de los sistemas de aspersion se puede llevar a cabo óptimamente y ajustada de acuerdo a las dimensiones de los carros.

Una vez adoptado dicho criterio, se procedió a la medición de las dimensiones de los carros siendo las estas las siguientes:

Ancho: 1m.

Profundidad: 1m.

Alto: 1 m.

Contando con un aspecto similar al mostrado en la figura 4.14:

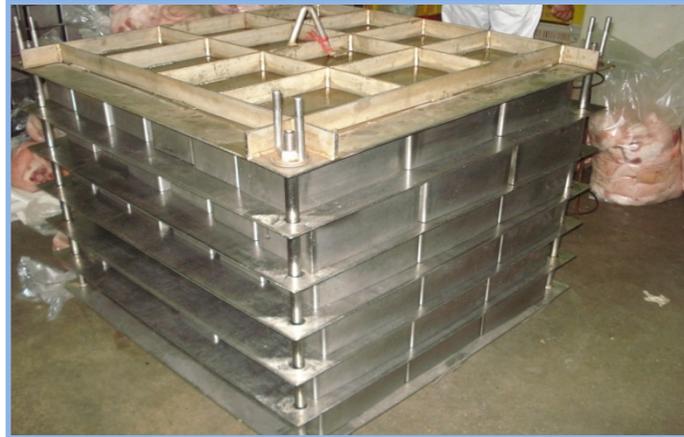


Figura 4.14. Vista carros de cocción empleados en el proceso de producción de jamón cocido en la empresa SUBCERCA C.A.

Una vez obtenida las dimensiones de los carros, se llevó a cabo el proceso de estandarización del armario criogénico a seleccionar a través de manuales y catálogos de armarios criogénicos, facilitados por la empresa PRAXAIR, obteniéndose que una de las dimensiones de los carros no coincidían con ninguna las propuestas de modelos de armarios fabricados por dicha compañía, sin embargo al realizar contacto con ellos se explicó el inconveniente y ellos ofrecieron como solución la construcción de un armario de dimensiones iguales en cuanto a largo y profundidad al que se pensaba seleccionar, con la variante de que el ancho del mismo sería mayor en vez de 960 cm, 1.500 m para cubrir con los requerimientos de tal dimensión, y poder ajustarse al proceso.

En función de lo explicado anteriormente se seleccionó un equipo similar al mostrado en la figura 4.15:



Figura 4.15. Vista de armario criogénico, propuesto por la empresa PRAXAIR a ser incluido en el diseño de la línea de enfriamiento, para mejoramiento del proceso de fabricación de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A.

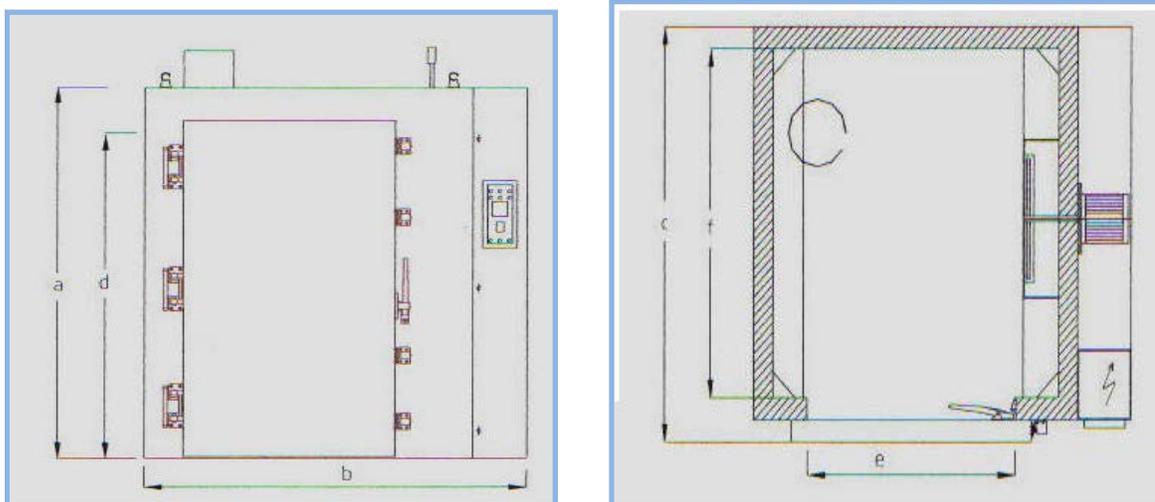


Figura 4.16. Vistas de las dimensiones internas y externas de las cámaras del armario criogénico, del armario criogénico propuesto por la empresa PRAXAIR a ser incluido en el diseño de la línea de enfriamiento.

Donde las dimensiones a, b, c, d, e y f, mostrados en la vistas del armario criogénico seleccionado en la figura 4.15, corresponden a las mostradas en la tabla 4.5:



Medidas Exteriores		Medidas Interiores	
a: Alto (m)	2.210	d: Alto (m)	2.030
b: Ancho (m)	1.715	e: Ancho (m)	1.500
c: Largo (m)	2.545	f: Largo (m)	2.240

TABLA 4.5. Dimensiones interiores y exteriores, del modelo de armario criogénico seleccionado para ser incluido en el diseño de la línea de enfriamiento, en el proceso de fabricación de jamón cocido por parte de la empresa SUBCERCA C.A.

Una vez seleccionado el armario criogénico en función de las opciones disponibles, fue posible notar que aunque el diseño de éstos se llevó a cabo para operar con un solo carro de cocción, tras analizar las dimensiones y la capacidad del equipo seleccionado, se pudo obtener que éstos se podían operar con un carro adicional, lo cual resultó de mucha ventaja para el diseño, ya que no solo permitía mejorar la velocidad de la etapa de enfriamiento, sino que además permitía operar con una mayor carga, la cual se trataba del doble de la que originalmente se procesaba, y que correspondía a 144 piezas de jamón cocido, equivalentes a dos batch.

ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA PARA EL ENFRIAMIENTO DE LOS JAMONES COCIDOS DENTRO DE LOS ARMARIOS CRIOGÉNICOS

Otro aspecto importante en cuanto al diseño y selección del armario criogénico, representaba el hecho de estimar el tiempo de residencia para los jamones cocidos en el interior de dichos armarios, para ello se aplicaron los modelos de transferencia de calor referentes a conducción de tipo transitoria, que era el caso del tipo de transferencia que experimentaba dichos productos estudiados, por cuanto al aplicarse los modelos pertinentes se pudo estimar un tiempo de residencia de aproximadamente 8 horas como el óptimo desde el punto de vista térmico, para lograr el enfriamiento de los jamones cocidos.

Adicionalmente se obtuvieron las estimaciones de tiempo residencia proporcionado por la empresa PRAXAIR, ya que como se ha mencionado con anterioridad fue la empresa seleccionada como proveedora del armario y la tecnología criogénica, y la encargada además de asesorar el diseño realizado. De acuerdo a los



datos suministrados de proceso, estimaron este tiempo de residencia entre (2-4) h, como el óptimo para lograr la temperatura interna de jamones que se deseaba alcanzar.

Adicionalmente se llevó a cabo la estimación del tiempo de residencia para los productos, resultando éste igual a 2,10 h, siendo este tiempo próximo al rango suministrado por la empresa PRAXAIR, y no igual ya que por parte de la organización no solo se consideran criterios de satisfacción de requerimientos térmicos de proceso, sino también de satisfacción de requerimientos de índole biológico, químico, etc, lo cual permite explicar el establecimiento de un rango de tiempos de residencia para proporcionar cierta tolerancia en cuanto a la satisfacción de dichos requerimientos.

La estimación del tiempo de residencia permitió la obtención de un valor referencial para la residencia de los productos en las cámaras de refrigeración, y adicionalmente permitió evidenciar que con la tecnología criogénica seleccionada, se lograba una disminución significativa en cuanto al tiempo invertido para el enfriamiento, ya que se lograba ahorrar hasta 68 h en el proceso de enfriamiento, considerando la condición más crítica de emplear 4 h de residencia para los jamones cocidos.

Finalmente con la información de diseño definida para este equipo se elaboró la siguiente ficha técnica:



**FICHA TÉCNICA CORRESPONDIENTE AL ARMARIO CRIOGÉNICO
SELECCIONADO PARA EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE ENFRIAMIENTO**

Equipo: Armario Criogénico	Especificaciones del equipo:	
	Medidas Exteriores	Medidas Interiores
	Alto (m): 2.210	Alto (m): 2.030
	Ancho (m): 1.715	Ancho (m): 1.500
	Largo (m): 2.545	Largo (m): 2.240
	Potencia (KW): 5	
	Peso del Armario (Kg): 1100	
	Capacidad de carros con productos a tratar: 2	
	Número de piezas a tratar: 144	
	Material de fabricación: Acero Inoxidable austenítico.	
	Tiempo de residencia jamón cocido: 12 h.	



DISEÑO DEL SISTEMA DE TANQUE CRIOGÉNICO PARA EL ALMACENAJE DE NITRÓGENO LÍQUIDO

Una vez establecidas las dimensiones del armario criogénico, se procedió al dimensionamiento del sistema de almacenaje de Nitrógeno líquido, ya que éste fue el fluido elegido para la operación del sistema.

El dimensionamiento del tanque criogénico, se realizó en función de la cantidad de Nitrógeno (fluido seleccionado como frigorífico), que requería el sistema. El volumen del fluido de trabajo se calculó en función de las dimensiones del armario criogénico seleccionado, ya que de acuerdo a investigaciones realizadas se encontró que el criterio empleado para el cálculo del volumen de fluido de trabajo requerido para la operación de estos sistemas, se basa en un 20% a 30% adicional del volumen de la cámara interna del armario criogénico.

Por tanto una vez conocidas las dimensiones de dicho armario, se estimó el volumen de cámara interna del armario criogénico, obteniéndose un valor igual a 6.820 L, posteriormente con este valor y en función del criterio antes mencionado se determinó la cantidad de fluido frigorífico requerido; cabe destacar que el porcentaje de diseño empleado para la estimación de la cantidad de Nitrógeno líquido, se consideró como un promedio del rango de dimensionamiento mencionado anteriormente, de modo de efectuar un diseño de carácter discreto, siendo este porcentaje de diseño igual a 25%, y el volumen de Nitrógeno requerido para el funcionamiento del armario criogénico siendo éste igual a 8.525 L. Sin embargo el volumen de 8525 L de Nitrógeno, no se empleó como referencia para la selección directa de los tanques criogénicos, ya que este volumen correspondía a Nitrógeno gaseoso, y los catálogos que ofrecen los fabricantes, proporcionan capacidades de Nitrógeno en estado líquido, por tanto se tuvo que investigar la capacidad de producción de Nitrógeno gaseoso, en función del volumen de Nitrógeno líquido encontrándose la siguiente relación:

$$1 \text{ litro de Nitrógeno líquido} = 680 \text{ Litros de Nitrógeno gaseoso}$$

En función a dicha relación de producción, se logró estimar la cantidad de Nitrógeno líquido requerida, obteniéndose un volumen igual a 12.5367 L. Con el volumen de Nitrógeno líquido estimado, se llevó cabo la selección del tanque contenedor más conveniente en cuanto a los requerimientos del sistema, en atención a



ello se consultaron dos catálogos, uno proporcionado por la empresa OXICAR y otro proporcionado por la empresa PRAXAIR, encontrándose en ambos casos como opción de tanque a seleccionar uno que contaba con dimensiones muy similares. Sin embargo se seleccionó como opción a implementar en el diseño el tanque proporcionado en el catálogo de la empresa PRAXAIR, debido a las características de producto así como también de servicio que prestaba la empresa en cuanto a su instalación y operación, siendo éste similar al mostrado en la figura 4.17:

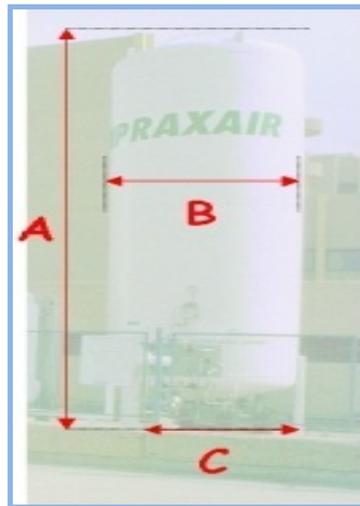


Figura 4.17. Vista de tanque criogénico de la empresa PRAXAIR, seleccionado en el diseño de la línea de enfriamiento, para mejoramiento del proceso de fabricación de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A.

Contando con las dimensiones suministradas en la tabla 4.6:

Medidas Interiores	
a: Alto (m)	3.50
b: Diámetro (m)	1.60
c: Base (m)	1.50

TABLA 4.6. Dimensiones interiores, del modelo 2000 de tanque criogénico contenedor de Nitrógeno líquido ofrecido por la empresa PRAXAIR.

Con una capacidad bruta de Nitrógeno líquido de 2000 L, y neta de 1900 L, una vez definidas las dimensiones y capacidades del tanque criogénico seleccionado, se llevó a cabo la estimación del número de repeticiones de la etapa de enfriamiento, en función del volumen neto de Nitrógeno líquido capaz de contener el tanque



criogénico y volumen de Nitrógeno líquido estimado, la cuales correspondían a 152 etapas que se pueden llevar a cabo con las capacidades y volumen de fluido frigorífico calculados. Además al contar con un volumen de 1900 L de Nitrógeno líquido garantiza suficiente volumen, lo cual es una ventaja ya que es posible contar con un volumen extra o de contingencia, en caso de que ocurran retrasos en el suministro del fluido criogénico, o cualquier otra eventualidad que afecte el suministro continuo del fluido al sistema.

En cuanto a las características de dicho tanque, se puede decir que consta de un tanque interno fabricado de acero inoxidable, el cual está ensamblado de forma concéntrica dentro de otro tanque fabricado de acero al carbono, contando además entre estos dos tanques con un espacio anular, el cual es llenado con un material de baja conductividad térmica (perlita), el cual está expuesto al vacío, logrando así un perfecto aislamiento, lo cual implica que la transferencia de calor en el tanque sea despreciable y la evaporación del fluido que contiene (Nitrógeno líquido) sea relativamente igual a cero.

SISTEMA DE MONITOREO DE TANQUE CRIOGÉNICO

La escogencia del tanque de almacenaje ofrecido por parte de la empresa PRAXAIR, se debió a la disponibilidad de información ofrecida por parte de la empresa, así como también en función de las ventajas que ofrecía dicha opción de tanque, entre las que contaba con la posibilidad de ser acoplado a él un sistema de control llamado Tracker, el cual consta de un microprocesador avanzado, instalado en el tanque de almacenamiento de gases licuados, el cual permite acceder a toda la información necesaria para proveer del fluido de trabajo oportunamente y de esta manera colaborar con una operación ininterrumpida en su sistema de suministro.

En resumen el sistema de control Tracker, desarrollado por la empresa PRAXAIR es capaz de ofrecer las siguientes ventajas:

- Monitoreo y acceso continuo del nivel de fluido del tanque.
- Realización de llamadas automáticas para colocación de pedido de suministro, en cuanto a la detección de niveles de



- Almacenamiento de hasta diez lecturas de nivel del tanque, a intervalos de 10 minutos durante 10 días.
- Capacidad de proporcionar información en tiempo real para la administración de inventarios.



Figura 4.18. Vista del equipo microprocesador que compone el sistema de control Tracker, desarrollado por la empresa PRAXAIR.

La escogencia de la forma de suministro del fluido de trabajo, se debió principalmente a la demanda de Nitrógeno líquido por parte del armario criogénico del sistema de enfriamiento, el cual requería de un suministro continuo del mismo y de forma confiable. En función de esto se encontró que la opción de suministro que podía satisfacer tales requerimientos, era por medio de un sistema de tanque contenedor de Nitrógeno líquido, ya que éstos están diseñados para almacenar variedad de fluidos criogénicos, por largos períodos de tiempo, no permitiendo la vaporización violenta de éstos, evitando así las pérdidas de dichos fluidos.

El abastecimiento de Nitrógeno líquido a estos tanques, se realiza por unidades móviles de bombeo de Nitrógeno, las cuales pueden constar de camiones o trailers de alta presión para el bombeo de dicho fluido, y que además pueden suministrar Nitrógeno sobre una amplia gama de temperaturas, siempre ajustadas de acuerdo a la aplicación que se le vá a dar a dicho fluido, además dicha selección se llevó a cabo tomando en consideración la posibilidad de suministro de Nitrógeno líquido, la cual en cierta forma está garantizada dado que las empresas tanto PRAXAIR como OXICAR, cuentan con representaciones en el país que prestan este tipo de servicio de suministro de Nitrógeno líquido a las empresas o procesos que lo requieran.



Es importante mencionar que a pesar de contarse en el mercado con otras opciones de suministro, como por ejemplo bombonas de Nitrógeno líquido y plantas generadoras de Nitrógeno líquido in situ, no se consideró la escogencia de éstas debido a lo siguiente:

- La primera opción (bombonas de Nitrógeno líquido), no fue considerada como opción a seleccionar, ya que estas bombonas son capaces de contener volúmenes relativamente bajos de Nitrógeno líquido en comparación con los requeridos por parte del proceso, además de que la operación de armarios criogénicos, requiere de suministro considerable de este fluido, lo cual debe realizarse de forma continua mientras el sistema está operativo, de manera de garantizar su óptimo funcionamiento y evitar interrupciones de inyección del fluido de trabajo que pueden ocasionar graves inconvenientes durante el proceso de enfriamiento.
- La segunda opción de suministro mencionada (planta productora de Nitrógeno líquido in situ), representaba una propuesta muy atractiva en cuanto a contar con surtido continuo del fluido, a través del establecimiento de un sistema de obtención de Nitrógeno líquido en la misma planta; sin embargo tras analizar dicha propuesta fue posible obtener que este tipo de suministro es conveniente en procesos donde la demanda de Nitrógeno es altamente considerable, lo cual no representaba el caso del volumen requerido por parte del proceso de estudio, además de que este tipo de plantas generadoras de Nitrógeno líquido in situ, requieren de una inversión sustancial que en realidad no lo ameritaba el diseño que se desarrolló.

Finalmente con la información de diseño determinada para este equipo se elaboró la siguiente ficha técnica:



FICHA TÉCNICA CORRESPONDIENTE AL TANQUE CRIOGÉNICO CONTENEDOR DE NITRÓGENO LÍQUIDO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE ENFRIAMIENTO

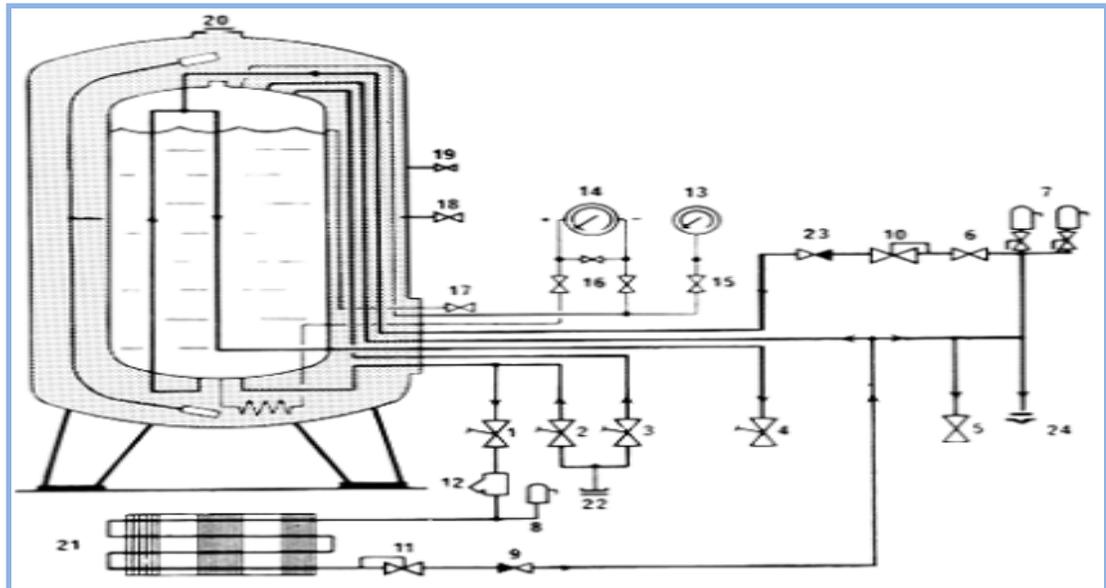
Equipo: Tanque Criogénico	Especificaciones del equipo:
	Dimensiones del Tanque
	Alto (m): 3.50 Ancho (m): 1.60 Largo (m):1.50
	Material de fabricación interna del tanque: Acero inoxidable austenítico.
	Material de fabricación externa del tanque: Acero al carbono.
	Material intermedio del interior y del exterior del tanque: Perlita.
	Capacidad bruta de tanque (L): 2000
	Capacidad neta de tanque (L): 1900
	Capacidad de Nitrógeno gas a suministrar (L): 1.292.000



DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE NITRÓGENO LÍQUIDO

Una vez seleccionado el tanque criogénico contenedor del fluido de trabajo, se determinó la necesidad de dimensionar y seleccionar el sistema de suministro de Nitrógeno líquido, desde el tanque criogénico hasta el armario criogénico. Tras consultas efectuadas se pudo seleccionar el sistema propuesto por la empresa OXICAR, ya que tras investigaciones realizadas se pudo obtener que dicho sistema resultaba ser muy completo no solo en cuanto a proceso de distribución del Nitrógeno, sino que además proporcionaba seguridad en cuanto al surtido de dicho fluido, lo cual resultaba indispensable de garantizar dado las condiciones de operación a las cuales ocurría tal suministro.

Siendo la apariencia de dicho sistema similar a la mostrada en la figura 4.19:



- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Válvula. Aumento de Presión | 13. Manómetro |
| 2. Válvula. Llenado Fondo | 14. Indicador Nivel |
| 3. Válvula. Llenado Superior | 15. Válvula. Manómetro |
| 4. Válvula. Líquido Cliente | 16. Válvula. Indicador |
| 5. Válvula. Venteo | 17. Válvula. Máximo Nivel |
| 6. Válvula. Economizador | 18. Válvula. Vacío |
| 7. Válvula. Seguridad Tanque | 19. Válvula. Medición Vacío |
| 8. Válvula. Seguridad Líquido | 20. Válvula. Seguridad Vacío |
| 9. Válvula. No Retorno Líquido | 21. Evaporador Tanque |
| 10. Economizador | 22. Conexión Llenado |
| 11. Regulador Presión | 23. Válvula. No Retorno Economizador |
| 12. Filtro Líquido | 24. Disco de Rotura |

Figura 4.19. Vista del sistema de suministro de Nitrógeno líquido, acoplado al tanque criogénico contenedor.

DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍAS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE NITRÓGENO LÍQUIDO

Para el dimensionamiento del sistema de suministro y control del fluido criogénico al armario de refrigeración, se debió definir los requerimientos en cuanto a las dimensiones de las tuberías que debían implementarse en dicho sistema, en función de las tasas de flujo que se manejarían en la operación del mismo y en función de la densidad del fluido criogénico.



En cuanto al primer parámetro, se procedió a llevar a cabo consultas en cuanto a sistemas de refrigeración que se basaran en tecnologías criogénicas de manera de conocer a través de dichas consultas valores típicos de caudales empleados en la operación de sistemas de refrigeración criogénica, una vez llevada a cabo dichas consultas fue posible obtener valores recomendados en cuanto a los caudales de fluido frigoríficos que se suelen utilizar en este tipo de sistemas correspondiendo a valores entre $(0.75-3) \text{ m}^3/\text{s}$. Debido a que en la realidad no se contó con la posibilidad de estudiar un sistema de refrigeración igual al propuesto que estuviera operativo, no se pudo efectuar la medición directa del caudal, lo cual podía conducir a determinar de forma más exacta el diámetro de tuberías que mejor se adaptará a las condiciones de operación; sin embargo con los valores antes mencionados se pudo llevar a cabo la estimación de forma próxima de diámetro económico de tuberías siendo éste aproximadamente (4"-5"). Adicionalmente tras cierta información suministrada por la empresa OXICAR (empresa consultada para el diseño del sistema de distribución de Nitrógeno), se recomendaba un sistema tanto de tuberías como de accesorios (válvulas), de aproximadamente 1", ya que de acuerdo a las tasas de flujo que se suelen manejar en este tipo de sistemas de refrigeración, el requerimiento de diámetro tuberías inclina hacia la implementación de diámetros de baja denominación tanto para tuberías como para válvulas, por razones económicas principalmente y además por razones tales como disposición completa de éstos sistemas en el mercado, lo cual es muy importante en cuanto al mantenimiento y reposición de algún tramo de los sistemas en caso de ocurrir fallas o daños.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ACCESORIOS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE NITRÓGENO LÍQUIDO

Una vez seleccionado el diámetro de tuberías como para válvulas de 1", de acuerdo a las sugerencias suministradas, y en cuanto a la información recolectada, se procedió a seleccionarse el tipo de accesorios que mejor se adaptara en los sistemas empleados para la disposición de Nitrógeno líquido, la importancia de dicha selección correspondía a que los diferentes sistemas de control y disposición del fluido criogénico,



estaban constituidos por válvulas que de acuerdo al caso se disponía en los sistemas para llevar a cabo funciones específicas.

Haciendo ciertas consultas se logró llevar a cabo la selección considerando la información anexa en las figuras b.5, b.6 y b.7 (ver anexo b), con ella se pudo concluir que el tipo de válvula que mejor se adaptaba para la selección correspondían a válvulas de tipo de compuerta dado a que son válvulas primero de fácil accionamiento, segundo no generan altas pérdidas que precisamente es un factor a controlar en cuanto a la disposición del fluido, su costo no es tan elevado como el de otros tipos de válvulas, y en cuanto a sistemas criogénicos son ampliamente utilizadas por cuanto son recomendadas por los fabricantes para ser empleados en sistemas de refrigeración criogénica, sin embargo es importante destacar que en sistema de disposición de Nitrógeno líquido a pesar de que un gran porcentaje de las válvulas empleadas son de tipo criogénica, no son el único de tipo de válvulas que se emplean en este tipo de sistemas, en menor proporción se utilizan válvulas de tipo check, reguladoras, etc, pero éstas se aplican puntualmente para llevar a cabo funciones específicas bien sea para regular sentido del fluido, controlar alguna variable, etc.

Finalmente de acuerdo a la información suministrada por parte de la empresa OXICAR, se pudo determinar que el sistema de suministro de Nitrógeno líquido, debía contar con las siguientes partes constitutivas, de manera de con éstas garantizar el suministro óptimo de Nitrógeno líquido desde el tanque criogénico, hasta su final disposición en el armario criogénico:

- **Sistema de Llenado:**

Este sistema consiste en el dispositivo de llenado de Nitrógeno líquido, desde el tanque que lo contiene hasta el armario criogénico. Consta de una conexión de llenado o abastecimiento, dicha conexión es de 1½" de acople a la manguera de llenado, normalmente con tapa de cierre de 1½". Este sistema además involucra dos válvulas ubicadas en dos puntos del tanque, los cuales son el fondo y el tope del mismo, de manera de efectuar el llenado de acuerdo al gusto de operación tanto por el



fondo como por el tope, o por las dos vías. Estas válvulas son de tipo criogénico con prolongación de 1”.

- **Sistema de Aumento de Presión:**

Este sistema del tanque criogénico, es el encargado de elevar la presión del tanque contenedor de Nitrógeno, cuando ésta cae por debajo de lo graduado, (recordando que dicha presión oscila en unos 15 bar); en función a esto el sistema de aumento de presión está conformado por: Un evaporador de cobre de ¾” el cual se encarga de mantener la presión interna en el tanque, un filtro de ½” el cual se encarga de remover sólidos del líquido que se distribuye desde el tanque, una válvula check de ½”, una válvula criogénica de compuerta de 1”, la cual permanece abierta y una válvula reguladora de 1”, la cual se gradúa a 50 psig por encima de la presión de trabajo del tanque.

- **Sistema Economizador:**

Este sistema es el que permite la salida del gas existente en el tanque, a través del tubo de líquido (aprovechamiento del gas de exceso), evitando así aumento de la presión en el interior del tanque que puede implicar el alcance de presiones superiores a las de trabajo. Este sistema está compuesto por un economizador, el cual consiste en una válvula reguladora de 1”, la cual se gradúa 20 psig por encima de la válvula reguladora de presión, una válvula check y una válvula de compuerta de 1”.

- **Sistema de Seguridad:**

Este sistema está compuesto a su vez por dos sistemas, los cuales consisten en uno de alta presión y el otro de baja presión (vacío), los cuales se describen a continuación:

- **Sistema Alta Presión:** Este sistema actúa en caso de elevarse la presión del tanque, a una presión superior de 15 bar que es el valor al cual debe mantenerse. Cuando esta situación ocurre, se activan dos válvulas de seguridad calibradas a esta presión y para mayor seguridad si la presión sigue aumentando, alcanzando los 350 psig, se rompe un disco de ruptura, que permite el desahogo total del gas en el tanque.



Como se mencionó con anterioridad el sistema de alta presión está compuesto por dos válvulas de seguridad de 1", las cuales están graduadas a 15 bar y un disco de ruptura calibrado para romperse a 350 psig.

- **Sistema de Vacío:** Este sistema actúa, en caso de ocurrir una sobrepresión interna por pérdida de vacío, etc, y tal sistema puede actuar al respecto ya que está constituido por una válvula de seguridad de 4" que permite un desahogo total del tanque, además de contar con una válvula de ruptura, tal como la mencionada en el sistema anterior.

- **Sistema de Medición de Nivel:**

Este sistema permite medir el volumen de líquido existente en el tanque, efectuándose esto a través de un indicador de nivel diferencial, calibrado en litros y los líquidos en el punto de ebullición normal. Este sistema está compuesto por una válvula de distribución de cuatro vías (válvula de aguja) de 1¼", un indicador de nivel el cual está graduado en litros, desde 0 a 50.000 litros y un indicador de presión que consta de un manómetro graduado en psig, con un rango de 0 a 400 psig.

- **Sistema de descarga de líquido al cliente:**

Este sistema es el que permite la salida del líquido hasta el cliente (armario criogénico), dependiendo de los requerimientos de éste. Este sistema está compuesto por una válvula de compuerta criogénica de 1".

- **Sistema de Venteo:**

Este sistema es el que permite aliviar la presión del tanque en cualquier momento que se precise, hasta el punto de llevar dicha presión a 0 psig. Este sistema está compuesto por una válvula de compuerta criogénica de 1" que permanece cerrada.

- **Sistema de Máximo Nivel:**

Este sistema permite la visualización del llenado del tanque, cuando el tanque ha alcanzado su máximo nivel. Además, sirve de seguridad ya que se puede controlar el nivel, no sobrepasando la capacidad criogénica del tanque. Este sistema está compuesto por una válvula de bola, de 1".



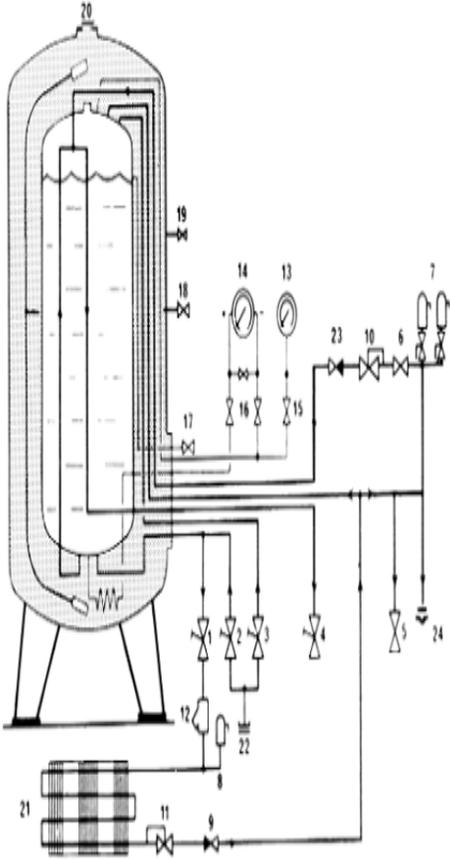
- **Sistema de vacío:**

Este sistema del tanque criogénico es el que permite medir y efectuar el vacío del tanque. Este sistema de vacío compuesto por una válvula de vacío de 1 ½", y una válvula para medición.

Finalmente con la información de diseño determinada para este equipo se elaboró la siguiente ficha técnica:



FICHA TÉCNICA CORRESPONDIENTE AL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL TANQUE CRIOGENICO CONTENEDOR DE NITRÓGENO LÍQUIDO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE ENFRIAMIENTO

Equipo: Sistema de suministro de tanque Criogénico	Especificaciones de accesorios que componen al sistema de suministro del Tanque Criogénico:
	<p>Sistema de Llenado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 válvulas de tipo criogénico con prolongación de 1”. • Conexión de 1½” de acople a la manguera de llenado, con tapa de cierre de 1½”.
	<p>Sistema de Aumento de Presión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Evaporador de cobre de ¾”. • 1 Filtro de ½”. • 1 válvula check de ½”. • 1 válvula criogénica de compuerta de 1”. • 1 válvula reguladora de 1”.
	<p>Sistema Economizador:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 válvula reguladora de 1” (graduada 20 psig por encima de presión de operación). • 1 válvula check y 1 válvula de compuerta de 1”.
	<p>Sistema de Seguridad:</p> <p>Sistema Alta Presión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 válvulas de seguridad de 1”, las cuales están graduadas a 15 bar. • 1 disco de ruptura calibrado para romperse a 350 psig. <p>Sistema de Vacío:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 válvula de seguridad de 4”. • 1 válvula de ruptura.



FICHA TÉCNICA CORRESPONDIENTE AL SISTEMA DE SUMINISTRO DEL TANQUE CRIOGÉNICO CONTENEDOR DE NITRÓGENO LÍQUIDO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE ENFRIAMIENTO (CONTINUACIÓN)

Equipo: Sistema de suministro de tanque Criogénico	Especificaciones de accesorios que componen al sistema de suministro del Tanque Criogénico:
	Sistema de Medición de Nivel: <ul style="list-style-type: none">• 1 válvula de de cuatro vías de ¼”.• 1 indicador de nivel graduado en litros.• 1 indicador de presión graduado en psig.
	Sistema de Descarga de líquido al cliente: <ul style="list-style-type: none">• 1 válvula de compuerta criogénica de 1”.
	Sistema de Venteo: <ul style="list-style-type: none">• 1 válvula de compuerta criogénica de 1” que permanece cerrada.
	Sistema de Venteo: <ul style="list-style-type: none">• 1 válvula de bola de 1”.
	Sistema de vacío: <ul style="list-style-type: none">• 1 válvula de vacío de 1 ½”.• 1 válvula para medición de 1”.



4.5. ESTABLECIMIENTO DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA INCLUSIÓN DEL DISEÑO A DESARROLLAR EN EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL JAMÓN

La realización de un estudio de factibilidad económica para el presente proyecto, representó uno de los objetivos más importantes de la investigación, ya que más allá de que éste resultara atractivo desde el punto de vista de diseño y mejoramiento para el proceso donde se desea aplicar (etapa de enfriamiento en el proceso de producción de jamón cocido empresa SUBCERCA C.A), representan aún más importante los costos que implica su implementación, ya que al final la decisión de implementar el proyecto depende fundamentalmente de la inversión que éste implica, y los beneficios que puede generar con el tiempo.

En cuanto a la decisión de efectuar dicho análisis, se eligió el desarrollo de un estudio de factibilidad técnico-económica, para el análisis financiero del proyecto, ya que éste implica un estudio completo, pues en él se incluyen no solo análisis desde el punto de vista de elementos como la inversión del proyecto, ingresos, egresos, etc; sino que también se incluye la estimación de indicadores económicos, que permiten efectuar una evaluación más profunda respecto de la factibilidad del mismo, por tanto con todo el análisis se puede lograr tener una buena opinión desde el punto de vista financiero del proyecto y como consecuencia decidir sí se implementa o se rechaza.

Para esta investigación, se inició dicho estudio de factibilidad estimando y analizando ciertos elementos del mismo tales como:

4.1.FLUJO DE CAJA:

En el ámbito de las finanzas y de la economía se entiende por Flujo de Caja o Flujo de Fondos (en inglés *cash flow*) a los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado, tal como se muestra en la siguiente figura 4.20:



Figura 4.20. Representación del movimiento de flujos dentro del Flujo de Caja.



Cabe destacar que los Flujos de Caja son utilizado como una herramienta para medir la viabilidad económica de un proyecto, a partir de la diferencias entre los flujos de salida y entrada al proyecto.

Ahora bien existen componentes constitutivos para llevar a cabo la estimación del flujo de caja, los cuales se definen de la siguiente manera y cuyo comportamiento en la investigación se describe de la siguiente manera:

4.1.1. Componentes del Flujo de Caja:

El Flujo de Caja se compone de ciertos elementos, los cuales se detallan a continuación:

4.1.1.1 Horizonte de evaluación del proyecto (Horizonte Económico):

Es el periodo que se considerará para llevar a cabo el balance económico del proyecto, en el caso particular de la presente investigación, se consideró un horizonte de evaluación de 10 años, y se adoptó este período, ya que normalmente para la evaluación de proyecto se estila la definición de un horizonte de evaluación con cierta de cantidad de años, lo cual permite estimar y predecir el comportamiento financiero del proyecto por un periodo de tiempo considerable, de lo cual permite a su vez estudiar la factibilidad del mismo.

4.1.1.2. Ingresos:

Los ingresos representan un elemento constituyente del Flujo de Caja, el cual representa las entradas de dinero o capital al proceso. Pero es importante conocer que este elemento del Flujo de Caja a su vez comprende una estructura, la cual está dada de acuerdo al criterio de la especificación de origen de los ingresos, es decir de acuerdo a su procedencia bien sea de un mercado local o foráneo, lo cual se explica como los ingresos suministrados por la comercialización bien sea en mercados dentro del país o fuera de éste; así como también los ingresos que puedan ser generados por la comercialización de productos o servicios (o ambos), lo cual acuerdo sea el caso del proyecto de estudio, implicará uno u otro método de cálculo de ingresos.



Para el caso particular del presente diseño, el cual implica el desarrollo de una línea de enfriamiento criogénica, los ingresos están determinados por los aportes suministrados netamente por un único producto, que en este caso es jamón de cerdo cocido, dado que el diseño efectuado no contempla la comercialización de ningún servicio.

Cuando se trata del cálculo de los ingresos existen términos importantes de tener presentes como por ejemplo lo son el precio que es el valor negociable entre el cliente y el productor para realizar la entrega de un producto, como el jamón cocido es un producto a su valor económico se le conoce como precio y en la actualidad su precio oscila en 25.000 Bs=25 Bsf \cong 11.62\$, cabe destacar que este producto en particular no posee regulación en cuanto a su precio, ya que de acuerdo a políticas gubernamentales pues no es considerado artículo de primera necesidad, lo cual implica cierta libertad en cuanto al establecimiento de su costo, y así un poco más de beneficio, a pesar de los fabricantes que representan competencia para el mismo.

El producto además se ofrecerá a clientes pertenecientes al mercado local, en realidad se consideró un solo cliente para la leche en polvo a producir, que sería el mercado de la zona central del país debido a la situación geográfica de la planta, y disponibilidad de distribución del producto.

En cuanto a los ingresos suministrados por parte de los clientes foráneos, se puede decir que en el presente proyecto no se considera la producción de jamón cocido para exportación, por tanto los ingresos que se esperan obtener son solo aquellos suministrados por el mercado local.

Es importante destacar que en el proyecto no se contempla la comercialización de servicios, por tanto no se obtendrán ingresos por tal concepto en el proyecto.

En cuanto al cálculo de los ingresos se consideró un aumento progresivo de las toneladas métricas de leche en polvo producidas por cada año, iniciando en el primer año de producción con 2.200 TM (ver tabla 4.6), considerando además un tasa de aumento de producción fijo para cada año de 10%, el establecimiento de dicha tasa se debió a razones primero de capacidad de



producción de la planta, lo cual implica un aumento discreto de producción de forma anual pero que permite superar las metas de fabricación de producto, y mayor unidades del mismo con los cuales poder contar con más competencia en el mercado.

Adicionalmente se efectuó el cálculo de los ingresos, asumiendo que toda la producción que se estimaba obtener para cada año se comercializaría completamente en el mercado.

$$[Ingresos_{venta}]_x = \left[\sum_i \sum_j (unidad_{producto} * precio_{unidad})_{ij} \right]_x \quad (I)$$

La estimación de de VAI (Valor alterno de importación) no se llevó a cabo, dado a que este valor se estima de acuerdo al precio al cual un competidor local pudiera vender un producto, sí éste es traído del exterior, en este caso de acuerdo a investigaciones y consultas realizadas en la web, fue posible notar que la importación de jamón cocido de presentación igual a la que se desea producir, supera el precio del producto a fabricar, lo cual representa que su importación no resulta rentable, y esta fue la razón que explica que no se realizara la estimación del VAI.

En cuanto al VAE (Valor alterno de exportación), dado a que en las metas del proyecto actualmente no se considera la posibilidad de exportación del producto, la estimación del VAE no se realizó, dado a que el producto a fabricar de momento no se pretende exportar.

A continuación se muestra en la tabla 4.7 la producción, estimada para los años de estudio del proyecto, y los ingresos a obtener a lo largo de los años:



Año	0	1	2	3	4	5
Producción (TM)	0	2.200	2.420	2.662	2.928	3.221
Ingresos (\$)	0	25.581,40	28.139,53	30.953,49	34.048,84	37.453,72

Año	6	7	8	9	10
Producción (TM)	3.543	3.897	4.287	4.716	5.187
Ingresos (\$)	41.199,09	45.319,00	49.850,90	54.835,99	60.319,59

TABLA 4.7. Producción e ingresos obtenidos durante los años de evaluación del proyecto de la línea de enfriamiento criogénico para el mejoramiento del proceso de producción de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A

4.1.1.3. Egresos:

Los egresos representan todos los flujos de salida de dinero del proceso, necesarias para continuar con la evolución de la actividad productiva y que pueden obedecer a razones de diversa índole tales como adecuación de infraestructura, operación productiva, pago de tributos al gobierno.

- **Clasificación de los Egresos:**
- **Inversión:**

Representa el dinero necesario para financiar la construcción de la infraestructura y puesta en marcha de cualquier actividad productiva. En el caso particular de la inversión requerida para la puesta en marcha de la línea de enfriamiento, se requerirá de una inversión de 23.212,89 \$. Otro aspecto importante a destacar respecto a la inversión, representa el hecho de que dentro de un proyecto puede efectuarse de manera única o fraccionada dentro del horizonte económico, en este caso se consideró una inversión única para el año cero (año de inicio del proyecto); cabe destacar que la inversión representó el mayor desembolso puntual dentro de los egresos de todo el proyecto.

Cabe destacar que la estimación de la inversión para el nivel de investigación desarrollado se considera de Orden de Magnitud, en donde se



incurre en un error de estimación superior a 30%, dado a que no se desarrolló una investigación tan rigurosa dado al poco tiempo disponible para su desarrollo.

- **Componentes de la Inversión:**

Es importante definir que la inversión de un proyecto se calcula como la suma de dos capitales en este caso son el Capital Fijo y el Capital de Trabajo, tal como se indica en la ecuación II:

$$\text{Inversion} = \text{Capitalfijo} + \text{CapitaldeTrabajo} \quad \text{(II)}$$

de acuerdo a lo mencionado anteriormente se introducen dos conceptos nuevos que son los siguientes:

- **Capital Fijo:**

Cantidad de dinero requerida para actividades que involucren adquisición de equipos para el proceso, infraestructura necesaria para el proceso, adecuación de la misma, hasta conceptualización de ideas hasta gastos de arranque y puesta en marcha de sistemas. Incluyendo elementos tangibles como equipos, terreno, etc e intangibles como estudios, entrenamiento.

Tras la estimación del capital fijo para la presente investigación, fue posible notar que el valor para éste resultaba un tanto elevado siendo igual a 19.879,52 \$, lo cual representa un 85,63% de la inversión inicial; sin embargo se justifica dado a que la mayor parte de este capital viene dado por el costo global de los equipos involucrados en el proceso, y dado que éstos intervienen en un proceso donde se fabrican un producto alimenticio deben ser fabricados de acuerdo a las normas sanitarias con materiales preferiblemente de acero, lo cual es un factor determinante en el precio de los equipos, ya que la fabricación de equipos con aceros o aleaciones con acero implica costos significativos de éstos, adicionalmente los equipos requeridos se caracterizan por ser automatizados lo cual representa un costo adicional. En cuanto al resto de los costos implícitos en el cálculo del capital fijo donde destacan como por ejemplo costos de edificaciones, costos de control, costos por adecuación de infraestructura, etc vienen dados por un tanto por ciento del costo total de equipos, y es así como se puede explicar el valor tan significativo del capital fijo.



- **Capital de Trabajo:**

El capital de trabajo es el recurso económico destinado al funcionamiento inicial y permanente del negocio, que cubre el desfase natural entre el flujo de ingresos y egresos. Es importante destacar que el capital de trabajo sólo se usa para financiar la operación de un negocio y propiciar un margen de recuperación de la cartera de ventas.

En cuanto a la estimación del capital de trabajo del presente proyecto se obtuvo que éste era de 3.333,37 \$, siendo éste de un costo bajo con respecto al obtenido en cuanto al capital fijo, para lo que representa el costo de la inversión inicial del proyecto, recordando que este componente junto con el capital fijo constituyen a la inversión inicial y además representa de ésta un 14,63 %; cabe destacar que el valor bajo del capital de trabajo respecto al capital fijo, se debe fundamentalmente a que no se generan costos tan elevados por efecto de los trabajadores y operación de la línea en un inicio, pues los equipos considerados para el diseño se caracterizan por ser automatizados, lo cual implica poco personal para su operación, lo cual permite explicar que el costo que más influye en la inversión inicial como se mencionó anteriormente lo representa el capital fijo.

Para el primer año de estudio económico de un proyecto se estima que la inversión requerida por el mismo es igual a los egresos, partiendo de la premisa que el primer año dentro del horizonte económico es destinado para la puesta en marcha del proyecto en sí, por lo tanto en este primer año se requiere como flujo de capital para la iniciación del proyecto a la inversión inicial, para los años subsiguientes los egresos se estiman en función de los costos de producción y los impuestos sobre la renta.

- **Costos de Producción:**

Se consideran como la valoración monetaria de los gastos incurridos y aplicados en la obtención de un bien. Los costos de producción incluyen el costo de los materiales, mano de obra y los gastos indirectos de fabricación cargados a los trabajos en su proceso, además implican el valor de los insumos que requieren las unidades económicas para realizar su producción de bienes y servicios; se consideran aquí los pagos a los factores de la producción: al capital,



constituido por los pagos al empresario (intereses, utilidades, etc.), al trabajo, pagos de sueldos, salarios y prestaciones a obreros y empleados así como también los bienes y servicios consumidos en el proceso productivo (materias primas, combustibles, energía eléctrica, servicios, etc.).

- Componentes de los Costos de Producción:**

Como se mencionó anteriormente los costos de producción implican una gran variedad de costos implícitos en su cálculo, los cuales se resumen en la tabla 4.8:

Costos de Manufactura	Costos Directos	Materias primas, servicios industriales, aditivos y catalizadores, operadores de planta, laboratorio, materiales y mantenimiento, supervisores de turno.
	Costos Indirectos	Alquiler, seguros, seguridad y protección, depreciación, deuda, servicios médicos, supervisores de planta, gastos de planta.
Gastos Generales	Gastos de Administración	Personal gerencia, personal técnico, personal administrativo, personal legal, personal de recursos humanos, gastos oficina, comunicaciones.
	Gastos Ventas	Personal ventas, gastos ventas, publicidad, servicios industriales.

TABLA 4.8. Clasificación y componentes constitutivos de los costos de producción.

- Costos de Manufactura:**

Como su nombre lo indica son los costos involucrados con el proceso productivo en sí tales como costos de operación de la planta y sistemas de distribución, servicios directos de apoyo. Los costos de manufactura a su vez involucran dos tipos de costos (ver tabla 4.7), los cuales se detallan a continuación:



- **Costos Directos:**

Los costos directos son aquellos costos vinculados directamente con la línea de producción, y pueden llegar a ser proporcionales con el tamaño de la producción. Dentro de los costos directos se contemplan costos tales como:

Costos de materia prima, aditivos y catalizadores, servicios industriales, operadores de planta que en suma generan a los costos directos.

$$\text{Costos directos} = \sum_{i=1}^n \text{costos}_i \quad (\text{III})$$

Para el caso del proyecto de estudio, es posible notar que el valor de los costos directos implicados en el proyecto representan 21.152,99 \$, en donde el costo de materia prima es igual a 5.441,80 \$, sin embargo este costo no representa un porcentaje considerable de los costos directos, un porcentaje mayor lo representa el costo por concepto de operadores de planta el cual resulta igual a 16.744,19 \$ y esto se debe a la importancia de monitoreo de la línea de enfriamiento por tanto se necesita de un personal capacitado lo cual implica una remuneración mayor, luego siguiendo el orden de resto de costos directos destacan los costos de laboratorio, materiales y mantenimiento y servicios industriales. Otro aspecto importante en el cálculo de los costos directos del proyecto, representó la estimación del costo asociado por la utilización del Nitrógeno líquido como fluido frigorífico en el diseño propuesto; ya que de acuerdo a las características de la tecnología de enfriamiento seleccionada la cual correspondía a una de tipo criogénico, se deseaba estimar el impacto económico por la utilización de este fluido, implicando costos del orden de 89,4642 \$, por cada batch de producto que se desea enfriar, siendo estos costos aceptables respecto a la costos directos que implica el proyecto, pues representan de éstos aproximadamente un 0,42 %.

- **Costos Indirectos:**

Son todos los costos que no están clasificados como mano de obra directa ni como materiales directos. Aunque los gastos de venta, generales y de administración también se consideran frecuentemente como costos indirectos, no



forman parte de los costos indirectos de fabricación, ni son costos del producto.

Estos costos no se vinculan o imputan a ninguna unidad de costeo en particular, sino sólo parcialmente mediante su distribución entre los que han utilizado del mismo (sueldo del gerente de planta, alquileres, etc.).

En cuanto al cálculo de los costos indirectos del proyecto se estimaron en 6.086,91 \$, pudiéndose observar que estos costos resultaban inferiores a los costos directos, fundamentalmente este comportamiento se debe a que en primer lugar no se generan costos por efectos de alquiler, pues el espacio para el establecimiento de la planta es propio, luego al requerir poco personal para la operación de la línea, los costos de seguro son menores, por lo tanto los costos que inciden con mayor importancia a los costos indirectos serían las cuotas por depreciación y amortización, sin embargo éstas no resultan tan elevadas, y es por ello que no se obtienen costos indirectos tan significativos.

Finalmente los costos de manufactura se determinan de la siguiente manera:

$$\text{Costos manufactura} = \text{Costos directos} + \text{Costo sin directos} \quad \text{(IV)}$$

Resultando éstos iguales a 27.239,90 \$.

- **Gastos Generales:**

Los gastos generales de fabricación se conocen como todos aquellos costos que se presentan en un proyecto, proceso o actividad con el objetivo de garantizar la buena marcha de la producción, pero que de ninguna manera se identifican con el producto que se está elaborando.

De manera que todos aquellos costos que no son materiales directos y mano de obra directa, ni gastos de administración y de ventas, son gastos generales de producción y constituyen en el ámbito de los costos el tercer elemento.

Los componentes que constituyen los costos generales son los siguientes (ver tabla 4.7):



- **Gastos de Administración:**

Estos costos contemplan como su nombre lo indica gastos referentes a la administración en sí del proceso, en donde intervienen gastos de oficina, de comunicación, sueldos, salarios de personal, apoyo de líneas productivas.

En cuanto al proyecto estos gastos se estimaron en 8.372,09 \$, siendo acordes con el resto de costos totales del proyecto a implementar.

- **Gastos Ventas:**

Son los costos relativos a la comercialización de los productos, para el caso del presente proyecto representa 7.122,40 \$ y en estos costos se contemplan gastos de personal ventas, gastos ventas, publicidad, servicios industriales.

Finalmente los costos generales se determinan de la siguiente manera:

$$\text{Costos Generales} = \text{Costos de Administración} + \text{Costos Ventas} \quad (\text{V})$$

Resultando iguales a 15.494,49 \$, en donde se observa que la mayor parte de estos costos viene dada por los costos de administración, los cuales representa un componente importante en cuanto al recurso a invertir a la hora de lograr la comercialización y promoción del producto; sin embargo los costos por efectos de ventas representan un valor también cercano a los gastos administrativos lo cual representa cierta paridad en cuanto a estos gastos, lo cual deben mantener cierta relación lógica porque si bien es importante la comercialización del producto, también lo representa la administración que se lleve a cabo en cuanto al proceso productivo.

- **Impuestos sobre la renta:**

Son los costos asociados a los tributos que se deben cancelar a los entes gubernamentales como consecuencia de desempeñar una actividad productiva, y de ésta obtener algún beneficio (enriquecimiento).

En cuanto al cálculo de estos costos en el proyecto desarrollado, se pudo obtener que para el último año del horizonte económico se obtuvo el mayor valor



de impuesto de la renta y es lógico porque es precisamente en ese año donde se obtienen la mayor producción, y como se mencionó anteriormente de acuerdo a la magnitud de la producción se deberán cancelar tributos proporcionales a la misma estipuladas por los entes gubernamentales, por tanto a mayor cantidad producida mayor será la contribución al fisco. Es importante destacar que para el primer año del horizonte económico, no se considera el pago de impuestos, ya que en este año no hay actividad productiva y al no existir ésta no se deben efectuar aportes fiscales dado a que no se está obteniendo un beneficio.

Finalmente los costos de producción se calculan:

$$\text{Egresos} = \text{Costos de producción} + \text{Costos de impuestos sobre la renta} \quad \text{(VI)}$$

Siendo estos variantes en cada año o segmento del horizonte económico, tal como se muestran en la siguiente tabla 4.9:

Año	0	1	2	3	4	5
Mercado Local (TM)	0	2.200	2.420	2.662	2.928	3.221
Costos de Producción (\$)	-	42.734,40	21.367,20	10.683,60	5.341,80	2.670,90
Impuestos (\$)	-	0	50,64	166,93	239,89	292,66
Egresos (\$)	-	23.212,89	42.734,40	21.417,84	10.850,522	5.581,68

Año	6	7	8	9	10
Mercado Local (TM)	3.543	3.897	4.287	4.716	5.187
Costos de Producción (\$)	1335,45	667,72	333,86	166,93	83,47
Impuestos (\$)	336,95	378,80	421,38	466,48	515,21
Egresos (\$)	2.963,56	1.672,40	1.046,52	633,41	598,68

TABLA 4.9. Mercado local, costos de producción, impuestos y egresos obtenidos durante los años de evaluación del proyecto de la línea de enfriamiento criogénico para



el mejoramiento del proceso de producción de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A.

4.1.1.4. Estructura del Flujo de Caja:

Para la elaboración de un flujo de caja normalmente se utiliza una planilla de cálculo, la cual es una matriz compuesta por columnas y filas, en donde las columnas se disponen los períodos, por lo general, meses; y en las filas los ingresos y las salidas de dinero (ver archivo digital con la memoria de cálculo de esta sección).

$$[Balance]_{\text{ano}} = [Ingresos - Egresos] \quad \text{(VII)}$$

Dicho balance se separa en sus respectivas partes, indicando el valor de cada una de ellas para poder observar como fluye el capital en el proyecto. El balance del flujo de caja de la siguiente manera:

En este proyecto la estimación de flujo de caja se efectuó para analizar el comportamiento de los ingresos y egresos, a lo largo del tiempo de vida estimado para el proyecto, siendo su comportamiento tal como el mostrado en la siguiente tabla:

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos (\$)						
	0	25.581,40	28.139,53	30.953,49	34.048,84	37.453,72
Egresos (\$)	23.212,89	42.734,40	21.417,84	10.850,52	5.581,68	2.963,56
Flujo de Caja (\$)	-23.212,89	-17.153,00	6.721,70	20.102,96	28.467,15	34.490,17

Año	6	7	8	9	10
Ingresos (\$)	41.199,09	45.319,00	49.850,90	54.835,99	60.319,59
Egresos (\$)	1.672,40	1.046,52	755,24	633,41	598,68
Flujo de Caja (\$)	39.526,69	44.272,48	49.095,66	54.202,58	59.720,92

TABLA 4.10. Flujos de caja correspondientes a cada uno de los años que constituyen el horizonte económico del proyecto.

Donde es posible observar que para el año cero (año de inicio del proyecto) del horizonte económico, el flujo de caja obtenido es negativo, lo cual es lógico como se



explicó con anterioridad ya que para este año del proyecto, se cuenta únicamente con un flujo de egreso, representado por la inversión inicial, o capital inicial que se inyecta para la activación y puesta en marcha del proyecto, y al ser precisamente un periodo de arranque para el proceso productivo, no se registrarán ingresos para el año cero o año de arranque.

Ya a partir del año uno del horizonte económico, se comienzan a obtener ingresos iguales a 25.581,40 \$, sin embargo éstos no representan ser superiores a los egresos para ese año, y es por ello que para el primer año del horizonte económico, se obtiene un flujo de caja negativo, lo cual implica que para ese año el valor de egresos supera a los ingresos en -17.153,00 \$, lo cual implica además que para este primer año el proyecto no resulte atractivo, sin embargo a partir del segundo año, se obtienen flujos de caja positivo, tal como se muestra en la tabla 4.9, lo cual implica que para el resto de años del horizonte económico, a consecuencia de la actividad productiva se obtienen ingresos o beneficios como consecuencia de la comercialización del producto (jamón cocido), que superan los egresos o costos implicados por el proceso de manufactura.

Finalmente el flujo de caja neto para el presente proyecto resultó ser de 136.657,62 \$, lo cual resulta como consecuencia de que a partir del segundo año del horizonte económico, hasta el décimo año se obtuvieron flujos de caja puntuales positivos, lo cual indica que en cada uno de estos años los ingresos superaban a los egresos, manteniendo un comportamiento de aumento progresivo de los ingresos año a año (ver tabla 4.9 y figura 2.22), lo cual indica una rentabilidad considerable para el proyecto pues los ingresos o beneficios que genera aumentan con el paso de los años, lo que incide en la obtención de un flujo de caja neto final de valor positivo.

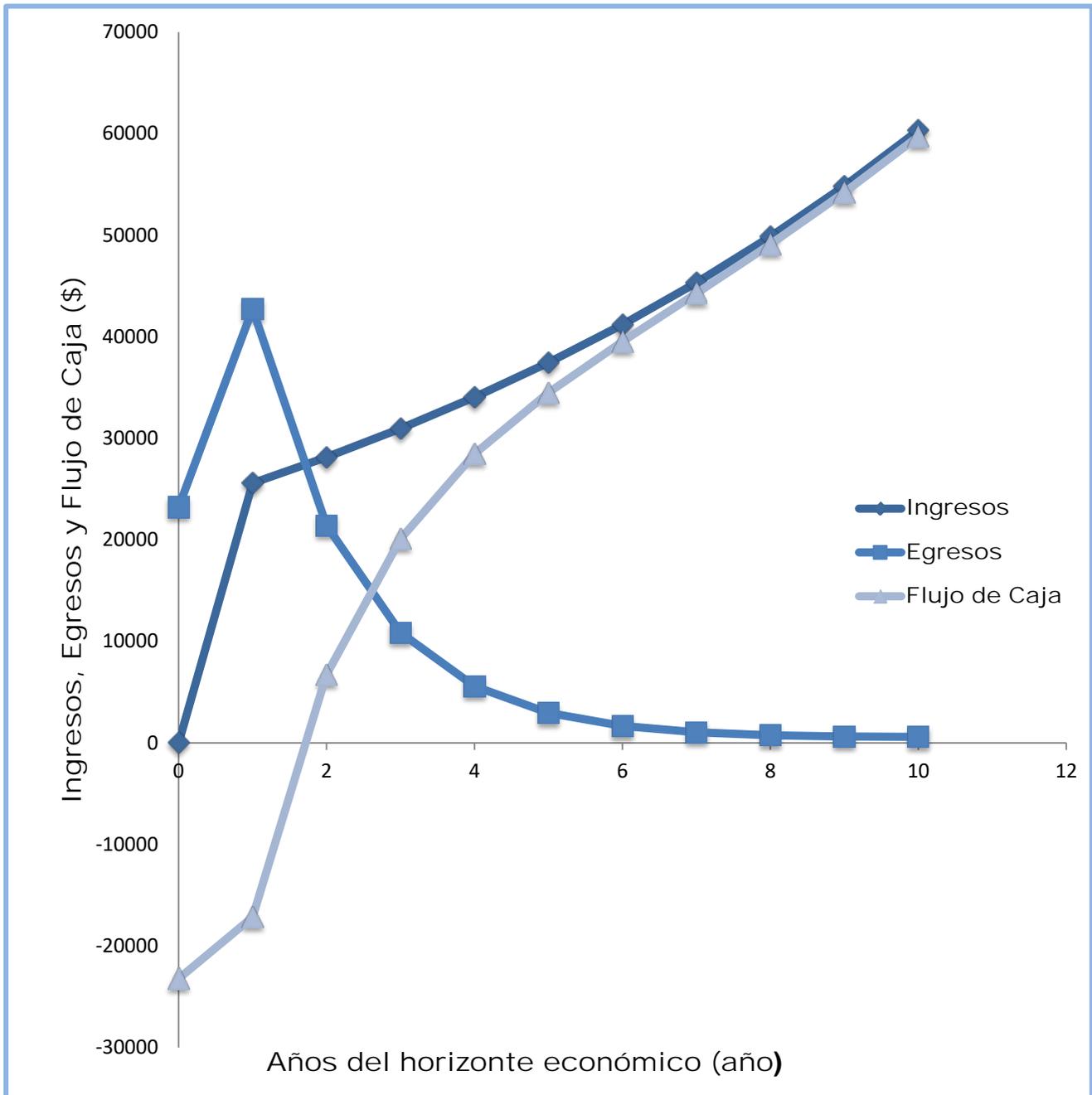


Figura 4.21. Comportamiento de los ingresos, egresos y flujos de caja, a lo largo de los años del horizonte económico establecido para el proyecto de estudio.



4.2. INDICADORES ECONÓMICOS

4.2.1. Valor Actual Neto (VAN):

El Valor Actual Neto (VAN), es un indicador económico que representa la rentabilidad de un proyecto de inversión, en función de una cantidad de dinero o valor monetario en la moneda local de cada país (bolívares) en el presente ($t=0$), que resulta de una inversión actual y sus flujos netos a futuro, tomando en cuenta la tasa de interés pasiva del mercado como un costo de oportunidad del capital a invertir.

La estimación de este indicador económico se efectuó, ya que éste representa un método clásico para la valoración de inversiones en activos fijos, proporcionando una evaluación financiera en el momento actual de los flujos de caja netos proporcionados, ofreciendo entre sus ventajas las siguientes:

- Toma en cuenta el valor del dinero en cada momento.
- Implica un modelo sencillo de llevar a la práctica.
- Ofrece un valor actual de activos fácil de comprender.
- Es flexible permitiendo introducir en el criterio cualquier variable que pueda afectar a la inversión, inflación, incertidumbre, fiscalidad, etc.

El criterio de evaluación de una inversión con este indicador se considera aceptable sí el VAN es mayor o igual a cero, es decir, que la inversión rinde un beneficio superior al considerado como mínimo atractivo.

Si el valor presente neto es positivo, el valor financiero del activo del inversionista podrá aumentar: la inversión es financieramente atractiva, se acepta.

Si el valor presente neto es cero, el valor financiero del activo del inversionista podrá permanecer inalterado, la inversión es indiferente delante de la inversión y sí es cero la inversión es financieramente no atractiva.



En el caso en particular del presente proyecto, se determinó que resulta financieramente atractivo dado que el valor neto obtenido para el VAN, resultó igual a 136.657,62\$, el cual implica es un valor mayor a cero, que representa rentabilidad por parte del proyecto, que como se explicó con anterioridad, valores de este indicador superiores a cero, demuestran atractivo al proyecto, debido a que los ingresos netos para los años de vida del mismo, superan a los egresos que este implica, por tanto al final del horizonte económico se obtiene un flujo neto positivo, que es indicativo de la obtención de beneficios, a pesar de la tasa baja de rendimiento que se estableció para el estudio, que consistió en 10% de rendimiento. Otro análisis que se deriva a partir del valor neto de VAN obtenido de 136.657,62\$, consiste en que los ingresos netos del proyecto recuperan totalmente la inversión, cubren la tasa mínima de rendimiento y producen un excedente de 136.657,62\$ en el punto cero de la escala de tiempo.

Sin embargo para el año cero y el primer año de estudio, se observó la obtención de valores de VAN, menores a cero, para el primer caso era de esperarse puesto que para ese año no se obtienen ingresos pues representa el año de iniciación del proyecto, pero para el primer año la obtención de un valor de VAN igual a -15.593,64 \$, indica que para este año puntualmente el proyecto no representa ser atractivo, sin embargo hay que considerar que es un año todavía de estabilización, y que luego de éste tal como se muestra en la tabla 4.11, se comienza a observar flujos positivos y que aumentan de forma progresiva, para los años siguientes del horizonte económico, lo cuales inciden en su totalidad a la obtención de un VAN neto positivo, lo cual permite concluir que el proyecto sí posee rentabilidad o luce atractivo desde el punto de vista económico.



Año	0	1	2	3	4	5
Flujos VA (\$)	-23.212,89	-15593,64	5555,12	15103,65	19443,45	21415,68

Año	6	7	8	9	10
Flujos VA (\$)	0	25.581,40	28.139,53	30.953,49	34.048,84

TABLA 4.11. Comportamiento de los flujos de VA (Valor Actual), correspondientes a cada uno de los años que constituyen el horizonte económico del proyecto.



4.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR):

La tasa interna de retorno de un proyecto expresa el beneficio neto anual que se obtiene en relación con la inversión pendiente por recuperar al comienzo de cada año. Esta relación, beneficio neto anual sobre inversión pendiente se suele expresar porcentualmente y representa el interés anual que genera la inversión.

Otro concepto de la tasa interna de retorno se define como la menor cantidad de dinero que se espera obtener como rendimiento de un capital puesto a trabajar de manera de poder cubrir los compromisos de costos de capital.

En el desarrollo de los cálculos para la estimación de este indicador para el presente proyecto, se pudo observar que se pudo calcular dado al valor positivo arrojado por el VAN (explicado en la sección anterior), ya que para proyectos que presente valores positivos de VAN indican que posee rentabilidad y al ser así para estos proyectos se calcula este indicador económico (TIR), con el fin de determinar que porcentaje de los recursos invertidos en el proyecto retornan a éste.

En cuanto a la estimación del TIR en el presente proyecto, se encontró que se pudo determinar una tasa interna de retorno aproximada a partir de la suposición de que la inversión inicial se recupera con ingresos uniformes, lo cual luce un tanto alejado de la realidad, sin embargo se realizó de esta manera dado que para el desarrollo del presente estudio se contaba con poca disponibilidad de tiempo para la realización de un cálculo de estimación más preciso, y en consecuencia se estimó el TIR bajo la suposición antes descrita obteniéndose un resultado no tan preciso pero sí coherente con la economía del proyecto en sí.

Una mejor suposición representó el hecho de considerar que la inversión inicial se recuperaba con un solo pago al final del cuarto año (tiempo de pago estimado) e igual a la suma de los ingresos netos.



Sin embargo, como lo que se pretendía era lograr que el valor actual según la ecuación (VIII) resultara igual a cero; al utilizar la ecuación siguiente:

$$VA(i^*) = 0 \text{ (VIII)}$$

Donde:

$$VA(i^*) = I.I + F1 * \left(\frac{P}{S_{i^*,1}}\right) + F2 * \left(\frac{P}{S_{i^*,2}}\right) + F3 * \left(\frac{P}{S_{i^*,3}}\right) + F4 * \left(\frac{P}{S_{i^*,4}}\right) + F5 * \left(\frac{P}{S_{i^*,5}}\right) \\ + F6 * \left(\frac{P}{S_{i^*,6}}\right) + F7 * \left(\frac{P}{S_{i^*,7}}\right) + F8 * \left(\frac{P}{S_{i^*,8}}\right) + F9 * \left(\frac{P}{S_{i^*,9}}\right) + F10 \\ * \left(\frac{P}{S_{i^*,10}}\right)$$

se obtuvo que iterando entre cada i^* o T.I.R hasta observar un cambio de signo en dicho valor, encontrando de esta forma el valor que anularía la ecuación VIII. Una vez hecho esto, se obtuvo:

TIR (%)	VA(i)
40	6577,3764
50	-5116,8533

TABLA 4.12. Valores de valor actual y porcentajes de tasa interna de retorno considerados para determinar la tasa interna de retorno del proyecto.

Interpolando entre dichos valores se consigue que la ecuación VIII se cumpla, teniendo:

$$TIR = 40 + 10 * \left(\frac{6577,3764}{6577,3764 - (-5116,8533)}\right) \\ TIR = 45,6244 \%$$

Para el análisis del TIR obtenido, se empleó la siguiente consideración si el TIR representa las ganancias reales de un proyecto en función de una tasa de interés y una tasa mínima de rendimiento que expresa las ganancias mínimas



exigidas, la consideración aplicada para definir la rentabilidad de un proyecto se basa en lo siguiente:

$$TIR > i \rightarrow \text{Actividad productiva atractiva}$$

$$TIR < i \rightarrow \text{Actividad productiva no recomendada}$$

Como la tasa interna de retorno la cual es de 45,6244 %, resultó superior a la tasa de rendimiento establecida para el proyecto la cual era de 10%, en consecuencia la actividad productiva resulta atractiva desde el punto de vista de este indicador económico, ya que se obtiene un retorno de capital al proyecto superior al mínimo que se espera obtener por concepto de éste.

2.1. Tiempo de pago (TP):

El tiempo de pago es un modelo de evaluación que permite medir el tiempo en años, requerido para que los flujos monetarios netos recuperen la inversión inicial a una tasa mínima de rendimiento igual a cero. De esta definición se deriva que este modelo hace énfasis en determinar cuan rápido, se recupera la inversión de capital y no en la cantidad de beneficios obtenidos.

Adicionalmente en el análisis y toma de decisiones respecto de la implementación de un proyecto, no se toma en consideración únicamente el tiempo de pago, ya que lo que se estila es ser utilizado junto con el cálculo de otros indicadores económicos tales como TIR, VAN o EA, para poder establecer la factibilidad de un proyecto, con mayor sustento.

El modelo utilizado para llevar a cabo tal estimación resultó ser el siguiente:

$$TP = -II + \sum_{i=1}^T FT = 0 \text{ (IX)}$$

El tiempo de pago que se estimó, resultó ser de cuatro años, lo cual implica un tiempo razonable para el pago de la deuda, y menor que el tiempo de pago crítico el cual de acuerdo a los inversionistas, se estableció en cinco años y que además es un tiempo aceptable ya que es menos de la mitad del tiempo establecido como horizonte económico, lo cual además indica que para la mayor



parte del tiempo de vida del proyecto ya no se contará con un gasto adicional tal es el caso del pago del adeudo por concepto del préstamo inicial solicitado para el inicio del proyecto.



En esta sección se presentan las conclusiones más importantes obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo.

CONCLUSIONES:

- 1.** Las propiedades que inciden en los procesos de transferencia de calor en la etapa de enfriamiento del proceso de fabricación de jamón cocido, corresponden a propiedades químicas tales como: Proteínas, grasas, agua y Ph y termofísicas: Conductividad térmica, peso específico y calor específico.
- 2.** Las propiedades termofísicas representan las propiedades que inciden mayoritariamente en la etapa de enfriamiento del proceso de fabricación de jamón cocido, ya que se obtuvo que la composición del jamón incide directamente en la transferencia de calor que ocurre en dicha etapa.
- 3.** El ingrediente de la pasta jamón de jamón cocido que se elabora en la empresa SUBCERCA C.A, que afecta predominantemente el comportamiento de las propiedades tanto físicas como químicas de dicho producto, es la carne de cerdo (ganado porcino), el cual consiste en la materia prima principal para la elaboración de dicho producto.
- 4.** Las características de la carne de cerdo que afectan de forma directa en las propiedades de los jamones cocidos elaborados en la empresa SUBCERCA C.A, son: Condición de sacrificio de los cerdos, Jugosidad de la carne, Ph, Porcentaje de grasa de la carne de cerdo, Humedad relativa y Cenizas.
- 5.** A través del análisis cualitativo de la etapa de enfriamiento, por medio del Diagrama de Ishikawa, se pudo determinar que la variable respuesta en el proceso está representada por la velocidad de enfriamiento de las piezas de jamón.
- 6.** Los factores que afectan el comportamiento de la variable respuesta en la etapa de enfriamiento, consisten en: Temperatura de la cámara de refrigeración, velocidad de circulación del aire (fluido refrigerante) en la cámara de refrigeración, humedad relativa de la cámara de refrigeración y tamaño de la cámara de refrigeración.



7. La etapa de enfriamiento en el proceso de elaboración de jamones cocidos representa la etapa más crítica e importante del proceso, en cuanto al afianzamiento de las propiedades organolépticas de los productos, y el tratamiento térmico para inhibir el crecimiento bacteriológico en los mismos.
8. La potencia requerida por los productos a enfriar (jamones), equivale a 491,96 W, siendo ésta menor a 389,5 W que es la potencia que el equipo de enfriamiento es capaz de suministrar, evidenciando que éste sistema de enfriamiento no es capaz de satisfacer la necesidad térmica del proceso.
9. Las tecnologías de enfriamiento que hoy en día, son las más aplicadas en procesos de enfriamiento en industrias cárnicas, son aquellas que basan su funcionamiento en la criogenia.
10. La tecnología de enfriamiento seleccionada para el diseño de la línea de enfriamiento en el proceso de fabricación de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A, consistió en enfriamiento propiciado a través de armarios criogénicos.
11. Los armarios criogénicos resultaron como equipos seleccionados dentro de la tecnología escogida, debido a su ajuste con las características del proceso de fabricación el cual es de tipo de batch, costo accesible, poco mantenimiento y poco espacio para su operación.
12. El Nitrógeno líquido resultó seleccionado como fluido de trabajo en la línea de enfriamiento, debido a su gran capacidad frigorífica y a su carácter de gas inerte, lo cual implica que no interactúe con los productos, propiciando por el contrario la fijación de sus propiedades organolépticas y en la inhibición de crecimiento bacteriano.
13. La propuesta de la línea de enfriamiento a implementar en el mejoramiento de la etapa de enfriamiento del proceso de fabricación de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A, consistió en: Un armario criogénico, un tanque criogénico y un sistema de surtido criogénico de Nitrógeno líquido.



14. El tiempo de residencia para el enfriamiento de los jamones cocidos, aplicando el diseño de la línea de enfriamiento con sistema criogénico se considera en un rango entre (2-4)h, el cual es un tiempo considerablemente menor respecto del tiempo de residencia que en la actualidad implica el sistema de enfriamiento aplicado en la fabricación de jamón cocido por parte de la empresa SUBCERCA C.A el cual consiste en 72 horas.

15. El diseño de la línea de enfriamiento criogénica, permite no solo el mejoramiento de la etapa de enfriamiento en cuanto a la reducción del tiempo invertido en la misma, sino que además permite el tratamiento del doble de la producción que con el diseño actual se trata térmicamente.

16. El diseño desarrollado para la línea de enfriamiento del proceso de fabricación de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A, el cual está basado en tecnología criogénica, representa un sistema de enfriamiento innovador y pionero en lo que respecta a los sistemas de enfriamiento tradicionales aplicados por parte de las industrias fabricantes de productos cárnicos del estado Carabobo.

17. El presente proyecto es económicamente factible, ya que se obtuvieron valores positivos de VAN (valor actual neto), para casi todos los años del horizonte económico, lo cual implica un VAN (valor actual neto) global de 136.657,62 \$, lo cual implica que el proyecto genera un excedente por tal valor, lo cual es indicativo de la alta rentabilidad del diseño que se desarrolló.

18. La Tasa interna de retorno TIR, calculada para el presente proyecto resultó ser igual a 45,6244 %, lo cual representa una tasa de valor positivo y de un porcentaje considerable, lo que indica un retorno al proyecto con un beneficio importante como consecuencia de la tasa alta de retorno que se obtuvo tras tal estimación de este indicador económico.

19. El tiempo requerido para la recuperación de la inversión inicial requerida por el proyecto, resultó ser de cuatro años, siendo este tiempo de pago menor al tiempo crítico fijado para la recuperación de dicho capital, y además menor al tiempo de vida medio del horizonte económico, el cual es de cinco años.



En esta sección se plantean las recomendaciones más importantes obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo, las cuales se desprenden de los resultados obtenidos a partir de la experiencia práctica.

RECOMENDACIONES:

Tras la realización de la presente investigación se recomienda la búsqueda de información detallada respecto a las tecnologías de enfriamiento y el desarrollo de futuros trabajos de investigación relacionados con las aplicaciones industriales de la criogenia, la cual es una ciencia de gran utilidad en el sector industrial especialmente en aquellos procesos industriales que impliquen enfriamiento rápido, y de la que no se dispone mucha información en el país respecto a sus numerosas aplicaciones ya que se encontró tras la realización de la investigación que al ser las tecnologías de enfriamiento criogénico relativamente jóvenes, especialmente en aplicaciones alimenticias, la información que se dispone respecto de ellas no es tan extensa y de fácil acceso para efectos de diseños de equipos criogénicos, etc; sin embargo de esta área se puede aprender y adquirir conocimientos considerables gracias a las telecomunicaciones y a sitios oficiales de empresas a nivel mundial dedicadas al desarrollo de tecnologías y equipos de enfriamiento, o tecnologías afines al área, publicaciones de revistas especializadas, etc, con el objeto de obtener la documentación necesaria respecto a las tecnologías de enfriamiento. Es por ello que se recomienda adicionalmente la consulta con expertos en el área, siempre que se cuente con la posibilidad de manera de adquirir conocimientos y despejar las dudas que se puedan tener respecto las mismas.

En cuanto al manejo de la línea de enfriamiento, la cual operará bajo el principio de un sistema criogénico, empleando como fluido criogénico Nitrógeno líquido, dado a las características de este fluido y las condiciones de operación a las cuales se empleará, se deben tomar en cuenta las siguientes precauciones y



medidas de seguridad tanto para los operadores, como personal en general que deba operar el sistema:

- Las áreas para la disposición de los tanques de almacenamiento de Nitrógeno líquido deberán contar con buena ventilación.
- Usar lentes o caretas de seguridad para su manejo, de manera de evitar quemaduras al contacto con el Nitrógeno.
- Usar guantes con aislamiento que puedan ser quitados rápidamente.
- Usar impermeables de tipo aislante.
- Evitar cualquier contacto de Nitrógeno líquido con la piel u ojos, ya que produce quemadura en las zonas afectadas. En caso de ocurrir llamar de inmediato a un médico. Atender las lesiones con agua fría y no caliente.
- En caso de ser inhalado y ocurrir asfixia deberá colocarse inmediatamente aparatos respiratorios que se requieren para el caso y llamar a un médico.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alarcón, A (2006). Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades físicoquímicas de la carne de cerdo”. [Resumen en línea]. Disponible: http://www.uach.mx/investigacion/suma_rio/fz.htm [Consulta 2007, Mayo 10].
2. Bocanegra, B., García, J., Hernández, M. (2001). Mejoras en la Calidad del Proceso de Producción de un Producto Embutido según la Norma ISO 9000. [Resumen]. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo.
3. Domínguez, M. (2004, Junio). Los Almacenes en las Cadenas del Frío. Alimentación, Equipos y Tecnología, 43-46,191.
4. Giugni, L., Ettegui, C., González, I, Guerra,V. (2007). Evaluación de Proyectos de Inversión. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, páginas consultadas: 15-35, 39-75,88-114.
5. Gómez, J (1999, Septiembre), Congelación criogénica con nitrógeno líquido como garantía de calidad, Alimentación, Equipos y Tecnología, 65-68.
6. Norma venezolana COVENIN para Jamón cocido (N°1602). (1996). Disponible: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/action/normas-find> [Consulta 2007, Agosto 20].
7. Ochoa, Oscar (2005, Octubre), Propiedades termofísicas de la carne revisión del estado del arte. [Resumen en línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co> [Consulta 2007, Octubre 06].
8. Pérez, J (2003, Septiembre), Envasado de carne y productos cárnicos en atmósferas modificadas. Alimentación, Equipos y Tecnología, 74-78,182.
9. Puente, A (2004). “Diseño de un Plan de Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos en el Proceso de Jamón Cocido”. [Resumen en línea]. Disponible: www.respyn.uanl.mx/especiales/2005/132005/documentos/CNA25.pdf



[Consulta: 2007, Mayo 10].

10. Sánchez, M. (1998, Enero-Febrero). Tecnología Frigorífica aplicada a Industrias Cárnicas. Alimentación, Equipos y Tecnología, 127-132.

11. AIRLIQUIDE España. (2007). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.es.airliquide.com> [Consulta 2007, Octubre 26].

12. PRAXAIR España. (2007). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.praxair.com.es> [Consulta 2007, Agosto].

13. PRAXAIR México. (2007). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.praxair.com.mx> [Consulta 2007, Agosto].

14. OXICAR. (2007). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.oxicar.net> [Consulta 2007, Agosto].

15. Zea, Z (2000). Evaluación de la calidad microbiológica de los productos cárnicos analizados en el Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel" durante el período 1990-2000. [Resumen en línea]. Disponible: <http://www2.bvs.org.ve/> [Consulta 2007, Mayo 10].

ANEXO A

Cálculos típicos y consideraciones de diseño para el dimensionamiento de equipos de la línea de enfriamiento



En esta sección se presenta los cálculos y consideraciones de diseño, aplicados para llevar a cabo el dimensionamiento de los equipos requeridos por la línea de enfriamiento para el mejoramiento del proceso de producción de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A.

a.1. Cálculos típicos para el dimensionamiento de equipos de la línea de enfriamiento:

a.1.1. Cálculo del tiempo de residencia de las piezas de jamón cocido:

a.1.1.1. Cálculo de la conductividad térmica de las piezas de jamón cocido:

Se empleó el modelo:

$$k = 0.08 + 0.52 * xa \quad \text{(I)}$$

(Modelo de Sweat para el cálculo de la conductividad térmica de productos fabricados a base de carne porcina, 1975)

Donde:

k: conductividad térmica de los jamones cocidos (W/m*K).

xa: Humedad relativa de los jamones cocidos en base seca

(Kg H₂O/Kg aire seco).

Adicionalmente el modelo aplica para las siguientes condiciones:



$$0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 60^{\circ}\text{C} \text{ y } 0.60 \leq x_a \leq 0.8$$

Conociendo que la humedad relativa de las piezas de jamón cocido oscila en 0.8 (Kg H₂O/Kg aire seco), se sustituye este valor en I, y se obtiene:

$$k = 0.08 + 0.52 * 0.8$$

$$k = 0.4960 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

a.1.1.2. Coeficiente convectivo referente a la transferencia de calor de jamón cocido, enfriándose a través de un sistema criogénico de enfriamiento operando con Nitrógeno líquido:

De acuerdo a investigaciones realizadas se encontró que el valor del coeficiente convectivo, en este tipo de procesos de enfriamiento oscila entre (150-300) W/m²*K, en atención a la información recaudada se empleó como valor de coeficiente convectivo (h), un valor promedio al rango antes mencionado, siendo éste igual a:

$$h = 225 \text{ W/m}^2\text{*K}$$

a.1.1.3. Cálculo del número de Biot:

$$Bi = \frac{h}{k} * \frac{V}{A} \quad (\text{II})$$



Donde:

Bi: Número de Biot (adim).

h: Coeficiente convectivo, referente al proceso de enfriamiento de los jamones cocidos de estudio ($W/m^2 \cdot K$).

k: Conductividad térmica, referente al proceso de enfriamiento de los jamones cocidos de estudio ($W/m \cdot K$).

V: Volumen de los jamones cocidos de estudio (m^3).

A: Área de los jamones cocidos de estudio (m^2).

Sustituyendo los valores de h y k antes citado, junto con los valores de Volumen de los jamones cocidos que corresponde a: $0.75 m^3$ y área de los jamones cocidos: $3.69 m^2$, se sustituyeron estos valores en II, obteniéndose lo siguiente:

$$Bi = \frac{225 W/m^2 \cdot K}{0.4960 W/m \cdot K} * \frac{0.75 m^2}{3.69 m^3}$$

$$Bi = 90.97 \text{ adim}$$

a.1.1.3. Determinación del tipo de conducción, de acuerdo al número de Biot calculado:



Condición para la determinación del tipo de conducción, para procesos de transferencia de calor en fase transitoria, de acuerdo al número de Biot:

$$Bi \leq 0.1 \quad \text{(III)}$$

Sí $Bi \leq 0.1$, indica que el tipo de conducción corresponde a una transferencia de tipo parámetros globales.

Sí $Bi \geq 0.1$, indica que el tipo de conducción corresponde a una transferencia de tipo parámetros concentrados.

Comparando el valor de Biot calculado, con la condición expresada en III, se obtiene lo siguiente:

$$90.97 \leq 0.1$$

Como es posible apreciar el número de Biot resultó mayor a 0.1, se llevó a cabo el cálculo del tiempo de residencia de los jamones cocidos de estudio, considerando los modelos matemáticos y solución gráfica que implica la clasificación de parámetros concentrados.

a.1.1.4. Determinación del tiempo de residencia de las piezas de jamón cocido:

Una vez determinado el tipo de conducción, se aplicaron los modelos pertinentes al mismo, encontrándose que la determinación de dicho tiempo,



se llevaba a cabo a través de método gráfico, y para ello se determinaron ciertos parámetros, tal como se indica a continuación:

a.1.1.4.1. Cálculo de la resistencia relativa (m):

$$m = \frac{k}{h \cdot x} \quad \text{(IV)}$$

Donde:

m: resistencia relativa (adim).

k: Conductividad térmica, referente al proceso de enfriamiento de los jamones cocidos de estudio (W/m*K).

h: Coeficiente convectivo, referente al proceso de enfriamiento de los jamones cocidos de estudio (W/m²*K).

x1: Distancia desde el centro al eje referencial (m).

Sustituyendo lo valores de k, h, empleados anteriormente junto con el parámetro x que corresponde a 0.011 m, se sustituyeron en IV, obteniéndose lo siguiente:

$$m = \frac{0.4960 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{225 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0.0145 \text{ m}}$$

$$m = 0.15 \text{ adim}$$



a.1.1.4.2. Cálculo de la posición relativa (n):

$$n = \frac{x}{x_1} \quad (\text{V})$$

Donde:

n: Posición relativa (adim).

x: posición referencia fijada (m).

x₁: Distancia desde el centro al eje referencial (m).

sustituyendo los valores en V, siendo el valor de x igual a cero, de acuerdo al referencial asumido, se obtuvo lo siguiente:

$$n = \frac{0 \text{ m}}{0.0145 \text{ m}}$$

$$n = 0 \text{ adim}$$

a.1.1.4.3. Cálculo del parámetro Y, temperatura adimensional:

$$Y = \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \quad (\text{VI})$$

Donde:

Y: Temperatura adimensional (adim).

T: Temperatura a alcanzar por parte de las piezas de jamón cocido tras el enfriamiento (°C).



T_{∞} : Temperatura ambiente de refrigeración proporcionada por el fluido de trabajo ($^{\circ}\text{C}$).

T_i : Temperatura inicial de piezas de jamón ($^{\circ}\text{C}$).

sustituyendo los valores en VII, se obtiene lo siguiente.

$$Y = \frac{72^{\circ}\text{C} - (-196)^{\circ}\text{C}}{7^{\circ}\text{C} - 196^{\circ}\text{C}}$$

$$Y = 1.32 \text{ adim}$$

Sabiendo que se cumple lo siguiente adicionalmente de acuerdo a la geometría a la cual se llevó a cabo la aproximación, la cual corresponde a una geometría de tipo planar:

$$Y = Y_x * Y_y \quad \text{(VII)}$$

Sustituyendo el valor de Y obtenido en VII, asumiendo la transferencia de calor tanto en el eje x como en el eje y, aproximadamente igual de acuerdo a las dimensiones del jamón cocido se obtiene lo siguiente:

$$1.32 = Yx^2$$

$$Y = 0.66 \text{ adim}$$



a.1.1.4.4. Cálculo del parámetro X, temperatura adimensional:

Aplicando la figura correspondiente a los parámetros Y, m y n, calculados con anterioridad (ver figura b.4 anexo b), se determinó gráficamente el valor del parámetro de X, siendo éste igual a un valor de 0.37 adim.

Siendo la ecuación para el cálculo de este parámetro la siguiente:

$$X = \frac{\alpha * t}{x1^2} \quad \text{(VIII)}$$

a.1.1.4.5. Cálculo de la difusividad térmica de los jamones:

$$\alpha = 0.088 * 10^{-6} + (aw - 0.088 * 10^{-6}) * xa \quad \text{(IX)}$$

(Modelo de Riedel para el cálculo de la difusividad térmica de productos fabricados a base de carne porcina, 1969)

Donde:

α : Difusividad térmica (m²/h).

aw : Actividad del agua (adim).

xa : Humedad relativa (Kg H₂O/Kg aire seco).

sustituyendo los valores respectivos en IX, se obtiene lo siguiente:

$$\alpha = 0.088 * 10^{-6} + (1 * 10^{-5} - 0.088 * 10^{-6}) * 0.8$$



$$\alpha = 0.00001 \text{ m}^2/\text{h}$$

Finalmente aplicando el modelo VIII, y sustituyendo los valores respectivos en él, se logró estimar el tiempo residencia de los jamones cocidos, obteniéndose lo siguiente:

$$t = \frac{0.37 * 0.0145^2}{1 * 10^{-5}}$$

$$t = 7.77925 \text{ h}$$

a.1.2. Consideraciones de diseño para los armarios criogénicos (Equipo principal del sistema de enfriamiento)

Por ser equipos aplicados para el tratamiento de productos fabricados de forma discontinua (tipo batch), y tras investigaciones y consultas realizadas con especialistas en el área, se encontró que las dimensiones de éstos se determinan en función de los carros de cocción, utilizados en el proceso de de manufactura de los jamones cocidos por varias razones:

1. Los carros de cocción representan una medida de la carga de productos a tratar, por tanto las dimensiones del armario a implementar se deben ajustar a las dimensiones de los carros de cocción a utilizar.
2. Los carros de cocción permiten mejorar la movilización de las piezas de jamón, en cuanto a la disposición de las piezas dentro de la cámara interna del armario criogénico, ya que éstos en su interior no cuentan con



bases o repisas para la disposición de las mismas precisamente por lo explicado anteriormente.

En función de lo explicado anteriormente se realizó la medición de las mismas, obteniéndose las siguientes dimensiones:

Dimensiones carros de cocción	
Alto (m)	1.40
Ancho (m)	1.45
Largo (m)	1.00

TABLA a.1. Dimensiones de los carros de cocción utilizados para el transporte de las piezas de jamón fabricadas en la empresa SUBCERCA C.A.

a.1.1. Cálculo del volumen de la cámara interna del armario criogénico seleccionado:

Una vez conocidas las dimensiones de los carros de cocción, se procedió a la estandarización de las dimensiones del armario criogénico requerido, en función de éstas y las opciones ofrecidas en el mercado (ver figura b.1 anexo b), para establecer finalmente las dimensiones del armario, tal como se resumen en la siguiente tabla:



Medidas Interiores	
Alto (m)	2.030
Ancho (m)	1.500
Largo (m)	2.240

TABLA a.2. Dimensiones de la cámara interna del armario criogénico seleccionado.

Conociendo además la geometría de dicha cámara, la cual correspondía a una geometría rectangular, se empleó la ecuación de volumen de un rectángulo para la estimación de su volumen, siendo dicha ecuación la siguiente:

$$V = a * b * c \quad (\mathbf{X})$$

Donde:

V: Volumen de la cámara interna del armario criogénico (L).

a: Alto de la cámara interna del armario criogénico (m).

b: Ancho de la cámara interna del armario criogénico (m).

c: Largo de la cámara interna del armario criogénico (m).

sustituyendo los valores de la tabla a.1 en X, se obtiene lo siguiente:

$$V = 2.030m * 1.500m * 2.240m$$

$$V = 6820 m^3$$



transformando el valor de volumen de cámara interna obtenido, a unidad de volumen de litros se obtiene lo siguiente:

$$V = 6820m^3 * \frac{1000 l}{1m^3} \quad \text{(XI)}$$

$$V = 6820 l$$

Una vez determinado el volumen de cámara, y consultado bibliografía especializada en el diseño de este tipo de equipos se encontró que el volumen de fluido frigorífico, empleado para la operación del equipo, se calcula entre un (20-30)%, superior al volumen de la cámara interna del armario criogénico, seleccionándose en este caso un porcentaje medio entre del rango antes mencionado, el cual fue igual a 25%, y de esta manera se calculó el volumen de fluido frigorífico (Nitrógeno líquido) como:

$$VF = V * 1.25 \quad \text{(XII)}$$

Donde:

VF: Volumen de fluido frigorífico requerido (L).

sustituyendo los valores en XII, se obtiene:

$$VF = 6820 l * 1.25$$

$$VF = 8525 l$$



a.2. Estandarización dimensiones del tanque criogénico contenedor de Nitrógeno líquido:

Una vez calculado el volumen de fluido frigorífico requerido para la operación del sistema de enfriamiento, se procedió a la selección del tanque criogénico contenedor del mismo en función de las opciones ofrecidas en el mercado, ya que se encontró que la selección de los mismos depende del volumen de fluido a contener, y precisamente las empresas que los proveen construyen sus catálogos de tanques criogénicos en función del volumen de gas bruto y neto que puede contener y de forma paralela las dimensiones de los mismo en función a dichos volúmenes.

Considerando que en el tanque se almacena Nitrógeno líquido, sin embargo lo que se aplica en el momento de enfriamiento es una especie de neblina de Nitrógeno, la cual corresponde a 8525 L que es el volumen de Nitrógeno gaseoso que requiere el sistema para operar; sin embargo como se mencionó con anterioridad los tanques de almacenaje contienen Nitrógeno en forma líquida, para ello se tiene la siguiente relación de proporción a lo siguiente:

$$1 \text{ litro de Nitrógeno líquido} = 680 \text{ Litros de Nitrógeno gaseoso (XIII)}$$

En función a dicha relación, se calcula la cantidad de Nitrógeno líquido que corresponden al volumen de fluido frigorífico calculado anteriormente, por tanto empleando XIII, y sustituyendo los valores respectivos se obtiene:



$$8525 \text{ L Nitrógeno gaseoso} * \frac{1 \text{ L Nitrógeno líquido}}{680 \text{ L Nitrógeno gaseoso}}$$
$$= 12.5367 \text{ L Nitrógeno líquido} = \text{VNI}$$

Una vez calculado el volumen de Nitrógeno líquido, se procedió a la selección del tanque criogénico en función de dicho valor, seleccionándose de acuerdo al catálogo proporcionado por la empresa PRAXAIR (ver figura b.2 anexo b), seleccionándose el tanque modelo 2000, el cual cuenta con las siguientes dimensiones:

Medidas Interiores tanque criogénico	
a: Alto (m)	3,50
b: Diámetro (m)	1,60
c: Base (m)	1,50

TABLA a.3. Dimensiones interiores, del modelo de tanque criogénico tipo 2000 contenedor de Nitrógeno líquido ofrecido por la empresa PRAXAIR.

Además de contar con una capacidad neta y bruta de nitrógeno líquido, tal como se resume en la siguiente tabla:

Capacidad bruta y neta del tanque criogénico 2000	
Capacidad bruta (L)	2000
Capacidad neta (L)	1900



TABLA a.4. Capacidad neta y bruta del volumen a contener por parte del tanque criogénico tipo 2000 contenedor de Nitrógeno líquido ofrecido por la empresa PRAXAIR.

a.2.1. Cálculo del número de etapas enfriamientos que se pueden realizar con el volumen de Nitrógeno líquido contenido en el tanque seleccionado:

$$NEE = \frac{CN}{VNL} \quad \text{(XIV)}$$

Donde:

NEE: Número de etapas de enfriamiento que se pueden realizar (adim)

CN: Capacidad neta de Nitrógeno líquido capaz de contener el tanque criogénico (L).

VNL: Volumen de Nitrógeno líquido estimado (L).

sustituyendo los valores respectivo en XIV, se obtiene lo siguiente:

$$NEE = \frac{1900 L}{12.5367 L}$$

$$NEE = 151.55 \cong 152 \text{ adim}$$



a.3. Dimensionamiento accesorios de los sistemas que componen la sección de surtido de fluido frigorífico al armario criogénico:

a.3.1. Definición de las variables de diseño para la determinación del diámetro económico de la tuberías, que requieren los sistemas de distribución:

Variables implicadas en el dimensionamiento de las tuberías:

- **Caudal:** En este caso como no se cuenta con el sistema operativo, no se tenía la posibilidad de medirse dicha variable, por tanto se investigó los caudales que en este tipo de sistemas de refrigeración se suelen utilizar y en función de estos se llevó a cabo el dimensionamiento de las tuberías, siendo éstos correspondientes a un rango entre $(0.75-1.5) \text{ m}^3/\text{s}$.
- **Densidad del fluido refrigerante:** En este caso al ser Nitrógeno el fluido, refrigerante se investigó su densidad siendo ésta igual a $0.0782 \text{ lb}/\text{ft}^3$.

Con dicha información y a través del empleo de la figura b.8 (ver anexo b), fue posible llevar a cabo el dimensionamiento de la tubería, resultando un requerimiento de tubería que oscilaba entre 4" a 5" de acuerdo a los valores mínimo y máximo de caudal, encontrados como los recomendados en cuanto a la aplicación de fluidos criogénicos en sistemas de refrigeración.



a.4. Cálculo del área requerida por los equipos incluidos en el diseño de la línea de enfriamiento criogénica:

a.4.1. Cálculo del área del armario criogénico:

Al contar con una geometría rectangular este equipo, se empleó la ecuación del cálculo de área de un rectángulo para la estimación siendo ésta la siguiente:

$$A_{ac} = A_n * L \quad (XV)$$

Donde:

A_{ac}: Área del armario criogénico (m²).

A_n: Ancho del armario criogénico (m).

L: Largo del armario criogénico (m).

Medidas Exteriores Armario Criogénico	
Ancho (m)	2.210
Largo (m)	1.715

TABLA a.4. Dimensiones de la cámara interna del armario criogénico seleccionado.

Sustituyendo en XV, los valores de las dimensiones del armario criogénico contenidos en la siguiente tabla se obtiene lo siguiente:

$$A = 2.210 * 1.715$$

$$A = 3.7901 \text{ m}^2$$



a.4.2. Cálculo del área del tanque criogénico:

Al contar con una geometría cilíndrica este equipo, se empleó la ecuación del cálculo de área de un cilindro para la estimación siendo ésta la siguiente:

$$A_{tc} = \pi * r * L \quad (\text{XVI})$$

Medidas Tanque Criogénico	
Radio (m)	0.8
Largo (m)	3.50

Sustituyendo en XVI, los valores de las dimensiones del tanque criogénico contenidos en la siguiente tabla se obtiene lo siguiente:

$$A_{tc} = 2 * \pi * 0.8 * 3.50$$

$$A_{tc} = 17,5929 \text{ m}^2$$

a.4.3. Cálculo del área del sistema de distribución de Nitrógeno líquido:

La estimación del área requerida por el sistema de distribución fue un dato suministrado por la empresa proveedora de dicho sistema, siendo de éste igual a:

$$A_{sd} = 1.5 \text{ m}^2$$

a.4.4. Cálculo del área total requerida por la línea de enfriamiento:

$$A = A_{ac} + A_{tc} + A_{sd} \quad (\text{XVI})$$

Sustituyendo los valores de áreas calculadas anteriormente en XVI:

$$A = 3.79 + 17.59 + 1.50$$

$$A = 22.88 \text{ m}^2$$



ANEXO B

Catálogos y figuras empleados para la selección de los equipos requeridos por el diseño de la línea de enfriamiento propuesta



En esta sección se presenta los catálogos de las empresas proveedoras de equipos y tecnologías criogénicas consultadas, en cuanto a la selección de los equipos requeridos por la línea de enfriamiento diseñada, así como también figuras bibliográficas, empleadas para la estimación de los parámetros del diseño de la línea de enfriamiento.

A continuación se muestra el catálogo de armarios criogénicos facilitado por la empresa PRAXAIR, empleado para la estandarización de dimensiones del armario criogénico incluido en el diseño de la línea de enfriamiento:



PRAXAIR **Armarios Criogénicos**
 Nitrógeno líquido - LIN
 Dióxido de Carbono líquido - LCO₂

¡La solución en procesos discontinuos!

Tipo de procesos
 Discontinuos.

Congelación total o parcial, golpe de frío, abatimiento de temperatura.

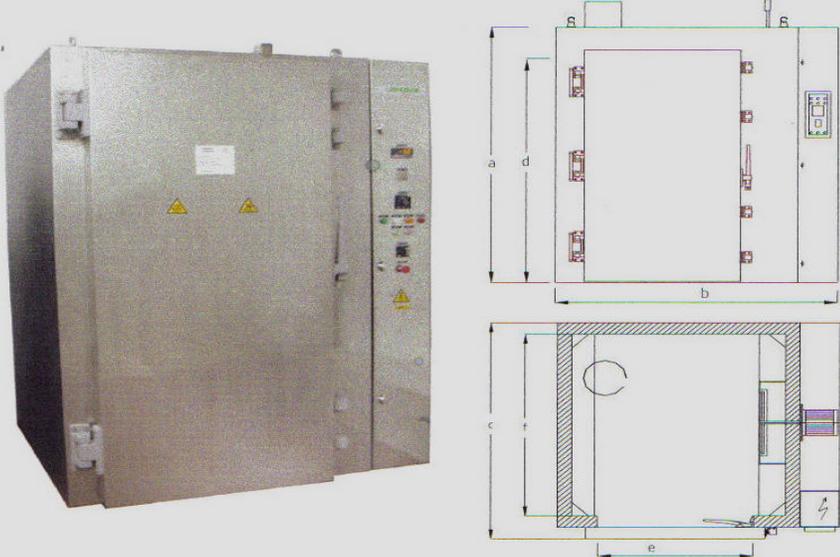
Aplicaciones
 Recomendable en todos los sectores: cárnico, precocinados, pescado, panadería, pastelería, masas congeladas, frutas, etc.

Ventajas
 Se pueden utilizar los mismos carros y cajas usados en otras partes del proceso.

Gran flexibilidad de producción. Se puede trabajar a distintas temperaturas y con distintos tiempos de residencia en función del tipo de producto.

Mínimo coste de inversión.

Minimiza las pérdidas de peso.



	1000	2100	6000	2x2*
Medidas Exteriores				
a Alto (mm)	1.700	2.140	2.210	1.615
b Ancho(mm)	1.330	1.550	1.715	2.830
c Largo (mm)	1.315	1.715	2.545	2.440
Medidas Interiores				
d Alto (mm)	1.340	1.950	2.030	1.840
e Ancho(mm)	680	825	950	725
f Largo (mm)	1.000	1.400	2.240	1.300
Potencia (kw) (220V - 380 V~50Hz)				
	1,5	3	5	5
Peso Armario (kg.)				
	440	700	1.100	1.400

*Modelo compuesto por dos cabinas de misma capacidad útil. Medidas interiores referidas a una cabina.

Equipos disponibles en otros tamaños. Posibilidad de construir equipos especiales y/o a medida, especialmente adaptados a sus líneas. Para más información contacte con nosotros.

Tlfn. +34 91 453 30 00
 alimentacion@praxair.com

Figura b.1. Catálogo de armarios criogénicos facilitado por la empresa PRAXAIR, para la selección del armario que mejor se adaptaba al diseño.



A continuación se muestran los catálogos de tanques criogénicos facilitados por las empresas PRAXAIR y OXICAR:

TIPO	VOL.		MEDIDAS (mm)		
	BRUTO	NETO	A	B	C
2000	2000	1900	3500	1600	1500
3000	3000	2850	3380	1900	1800
5000	1990	4740	4500	1900	1800
7000	7000	6650	5690	1900	1800
12700	12700	12065	5180	2600	2400
17500	17500	16625	6500	2600	2400
22000	22000	20900	7810	2600	2400
27000	26800	25460	9060	2600	2400
32000	31200	29640	10400	2600	2400
37000	36800	34960	11650	2600	2400
42000	41600	39520	12900	2600	2400
50000	50000	47500	11900	3000	2800
58000	58000	55100	12100	3200	3100

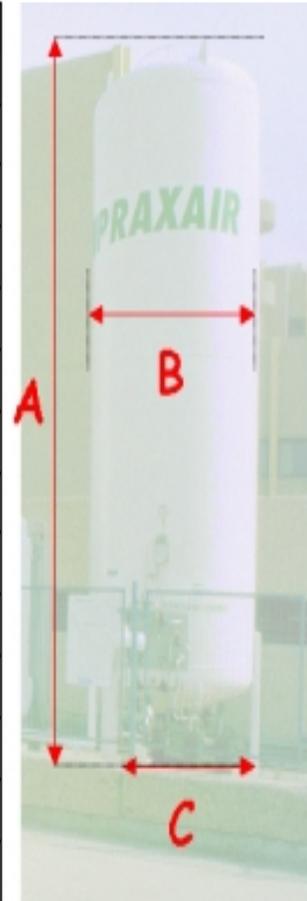


Figura b.2. Catálogo de información de capacidades de tanques criogénicos, fabricados por la empresa PRAXAIR.



TIPO MOX **	DIMESIONS / DIMESIONES (mm)			WEIGHTS VACUUM PESO VACIO (KG)	CAPACITY / CAPACIDAD (LT).		BAR	PREASSURE INCREASE ---- INCREMENTO PRESION N2 - 24 H
	0 A	B	C		GEOMET.	REAL EFFETT.		
1380 / 15	1.630	3.330	2.130	1.560	1.390	1.320	15	0,95
3.080 / 15	1.900	3.950	2.400	2.750	3.210	3.050	15	0,85
6.080 / 15	1.900	3.950	2.400	2.570	3.210	3.050	15	0,50
12.580 / 15	2.540	5.450	3.010	6.550	12.437	11.815	15	0,30
22.080 / 15	2.540	8.450	3.010	10.300	22.291	21.176	15	0,15
32.080 / 15	2.540	11.500	3.010	15.260	32.145	30.538	15	0,10
50.080 / 17	3.100	12.600	3.600	25.230	52.900	50.255		

Figura b.3. Catálogo de información de capacidades de tanques criogénicos, fabricados por la empresa OXICAR.

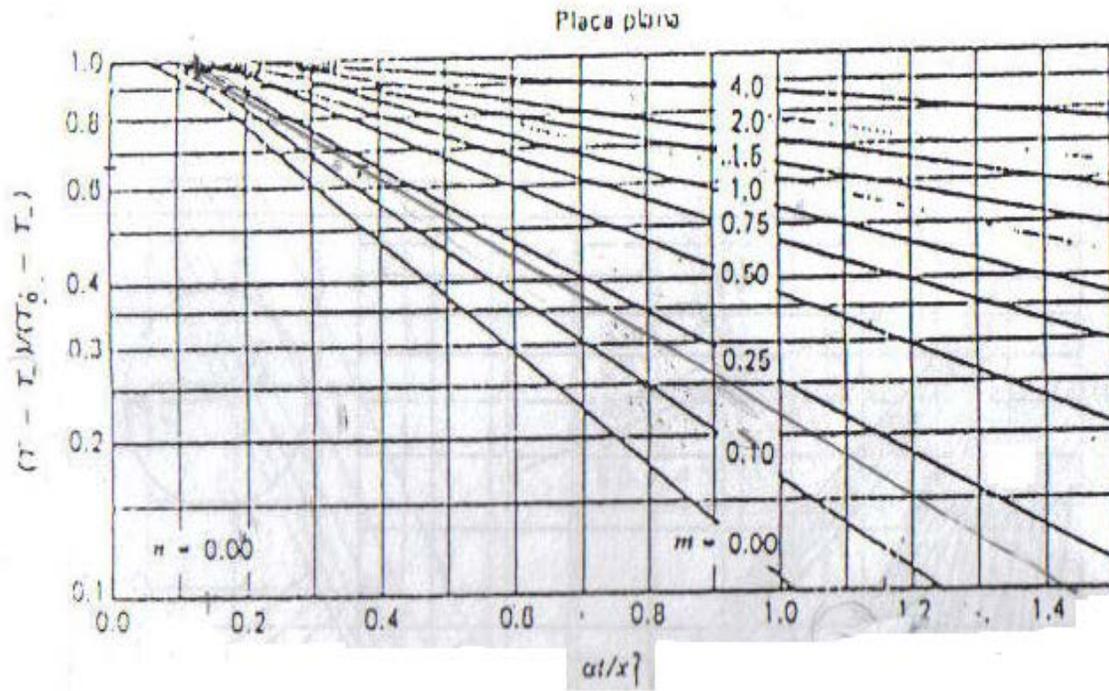


Figura b.4. Gráfica para la solución de problemas de conducción transitoria, correspondiente a una geometría plana.

Fuente: Formulario de Fenómenos de Transporte II, Prof. Juan B, Acosta.



HERRAMIENTAS PARA FENÓMENOS DE TRANSPORTE I PROF. VICTOR GUANIPA Q.

Selección de una válvula según su aplicación							
Manejo de fluidos	Tipo de Válvula						
	Bola	Mariposa	Compuerta	Globo	Pinch	Plug	Check
Contaminantes	B	R	B	B	B	B	M
Corrosivos	B	R	B	B	B	B	M
Criogénicos	B	M	B	B	M	M	B
Gaseosos	B	B	B	B	B	B	B
Alto P	M	M	R	B	M	R	R
Bajo P	B	B	B	B	M	B	B
Alto Flujo	B	B	B	B	B	B	B
Alta Presión	B	M	M	B	M	M	R
Alta Temperatura	B	B	B	B	M	R	B
Descarga	B	M	B	B	B	B	R
Fluidos Livianos	B	B	R	M	R	B	B
Líquidos	B	B	B	B	B	B	B
Control de bajo flujo	B	B	M	B	R	B	B
Apertura Rápida	B	B	M	M	M	B	B
Alivio	M	M	M	M	M	M	R
Seguridad	M	M	M	M	M	M	R
Servicio de Vapor	B	M	R	B	M	M	B

Leyenda:
 B : Buena y recomendable para condiciones normales * (no extremos)
 R : Regular
 M : Mala no recomendable.

Figura b.5. Tabla de clasificación y selección de tipo de válvulas, de acuerdo al comportamiento de éstas, en cuanto a la disposición de fluidos.

Fuente: Herramientas de Fenómenos de Transporte I, Prof. Victor, Guanipa Q.



Funciones Típicas de las Válvulas			
TIPO	FUNCION	USO TIPICO	OBSERVACION
Compuerta (gate)	Retención (on-off)	*Salida de tanques. *Succión de bombas. *Alinear flujos en redes multiuso.	Trabaja mejor: (100% abierta o 100% cerrada). No reguladora. (todo o nada)
Globo (globe)	Regulación (throtting)	*Controla velocidad de flujo. *Descarga de bombas. *Elemento de cierre a presiones altas.	Tiene cuerpo algo esférico. Produce gran caída de presión.
Bola	Retención (on-off)	*Cierre rápido. *Lineas de pequeña longitud.	Pueden producir golpes de ariete. (al cierre rápido).
Mariposa (butterfly)	Regular circulación	*Regulan la circulación a bajos cambios de presión (líquidos y gases).	Ocupa poco espacio dentro de la línea.
Aguja (needle)	Regular flujo.	*Plantas piloto. *Buenas para control manual de flujo.	Generalmente controlan flujos bajos (bajos diámetros).
Diafragma (diaphragm)	Regular flujo.	*Vapores y gases.	Abren girando en contra reloj.
Retención (check)	Permite el flujo en una dirección	*Evita contraflujo. *Adecuada para flujo pulsante. * Automáticas.	Pueden operar flujo vertical y horizontal según tipo.
Seguridad	Todo o nada (Abren automáticamente)	*Tanques y líneas para despresurizar gases y vapores.	Protección contra sobrepresión
Alivio	Graduales	*Líquidos.	Apertura gradual a medida que aumenta la presión.
Ventilación	Graduales	*Líquidos (flash point > 37°C)	Protegen los tanques de: depresiones o sobrepresiones
Control Automático	Controla el flujo automáticamente	*Líquidos y gases	Alto costo
Control Manual	Regulan flujo	*Líquidos y gases	Usadas en equipos piloto y donde no se justifica de control Automático.

Fuente: Martín, J. y A. Rodríguez. "Estrategias de Diseño de Plantas Químicas". Trabajo de Ascenso. Escuela de Química, Universidad de Carabobo, Venezuela, 1993.

Figura b.6. Clasificación y funciones típicas de ciertos tipos de válvulas.

Fuente: Herramientas de Fenómenos de Transporte I, Prof. Victor, Guanipa Q.



USOS DE ALGUNAS VÁLVULAS

*Contaminación	Para controlar fluidos que puedan causar ambientes contaminantes, se deben usar válvulas con reducida probabilidad de obstrucción: Bola, compuerta y globo.
*Dirección de Flujo	Para el control direccional de flujo se usan las válvulas de retención (check). Ellas bloquean, automáticamente, el flujo en un sentido y permiten la libre circulación en el otro.
*Alta Presión	El control de flujo a alta presión se realiza ya sea con válvulas de bola o de globo.
*Alta Temperatura	Generalmente se usan las mismas consideraciones que para alta presión. Además de asegurar que los cambios de temperatura no deformen la válvula.
*Baja Temperatura	Especial cuidado debe tomarse al seleccionar las válvulas para uso criogénico (temperaturas por debajo de 150 °F), básicamente respecto a los materiales de construcción y a su forma para soportar choques térmicos, sin cambiar estructura cristalina.
*Bajo Goteo	Para evitar el goteo, se deben usar válvulas de bola, compuesta, globo y de tapón.
*Seguridad y Alivio	Para una rápida respuesta a la sobrepresión o para flujos de ventilación se deben considerar las válvulas con resorte en su tope.
*Vapor	Para servicio de vapor generalmente se utilizan válvulas de bola o de globo.
*Regulación	Puede variarse el flujo cambiando el grado de abertura de una válvula de globo.

Fuente: Martín, J. y A. Rodríguez. "Estrategias de Diseño de Plantas Químicas". Trabajo de Ascenso. Escuela de Química. Universidad de Carabobo, Venezuela, 1993.

Figura b.7. Clasificación y funciones típicas de ciertos tipos de válvulas (continuación).

Fuente: Herramientas de Fenómenos de Transporte I, Prof. Victor, Guanipa Q.

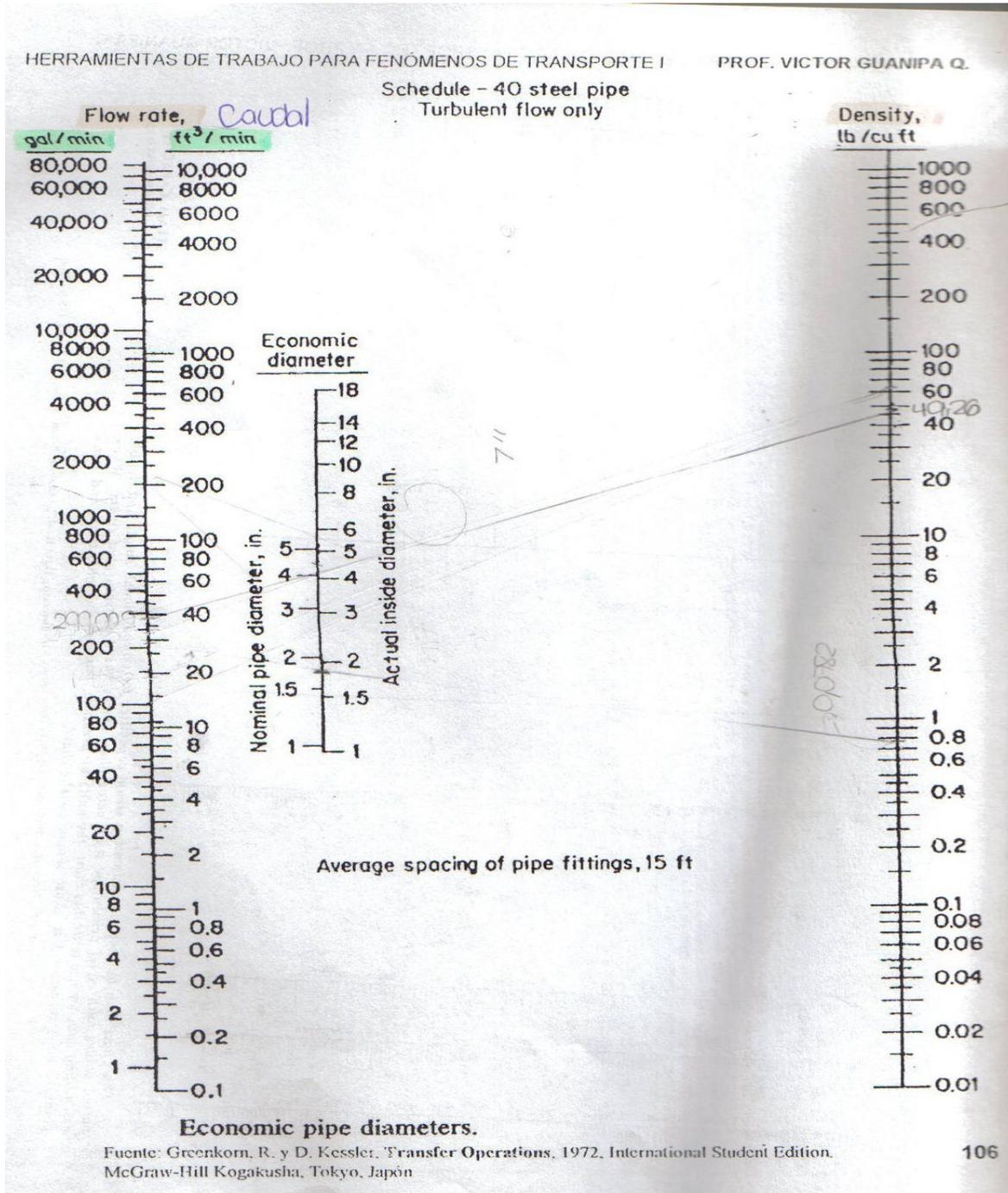


Figura b.8. Nomograma referente a la determinación de diámetro económico para tuberías, en función de la tasa del flujo, y la densidad del fluido que se transporte.

Fuente: Herramientas de Fenómenos de Transporte I, Prof. Victor, Guanipa Q.



ANEXO C

Cálculos Financieros



En esta sección se muestran, los cálculos financieros realizados para el estudio de factibilidad económica del proyecto.

CÁLCULOS FINANCIEROS

1. Cálculo de Flujo de Caja:

$$\text{FlujodeCaja} = \text{Ingresos} - \text{Egresos} \quad (I)$$

Utilizando los datos de flujos de ingresos egresos para el segundo año del horizonte económico

Ingresos año 2: 25.581,40 \$

Egresos año 2: 42.486,98 \$

Utilizando I se obtiene el siguiente valor del flujo de caja:

$$\text{Flujodecaja} = 25.581,40 \$ - 42.636,08 \$$$

$$\text{Flujodecaja} = -17.054,69 \$$$

2. Cálculo de los Ingresos:

Para el año 1:

Los ingresos en el primer año del horizonte económico, representado por el año cero son igual a cero, dado que a que en el primer año no se obtiene ningún beneficio (ingresos), porque es el año de inicio de operaciones para la línea de enfriamiento.



Para el año 2:

Para el cálculo de los ingresos por año se utiliza el siguiente modelo:

$$[Ingresos_{venta}]_x = \left[\sum_i \sum_j (unidad_{producto} * precio_{unidad})_{ij} \right]_x \quad (II)$$

Donde:

X: División Horizonte Económico.

i: Mercado.

j: Cliente.

Sabiendo que:

Número de unidades de producto (año 2): 2200 unidades

Precio por unidad: 11,62\$/unidad

Sustituyendo en II se obtiene lo siguiente:

$$[Ingresos_{venta}] = [(2200unidades * 11,62\$ / unidades)]$$
$$[Ingresos_{venta}] = 25.581,40 \$$$



3. Cálculo Egresos:

3.1. Capital Fijo:

$$CapitalFijo = \sum_a^k (costos_{capitalfijo}) \quad (III)$$

Donde el capital fijo viene dado por los siguientes costos:

a. Costos de Equipos Principales:

$$CostosEquiposPrincipales = \sum_{i=1}^n costorequerido \quad (IV)$$

Donde:

$$Costorequerido = Costo_{obtenido} * Ajuste_{tiempo} * Ajuste_{capacidad} \quad (V)$$

$$Ajustetiempo = \frac{Indice_{actual}}{Indice_{referencia}} \quad (VI)$$

$$Ajustecapacidad = \left[\frac{capacidadrequerida}{capacidadconocida} \right]^n \quad (VII)$$

Empleando la información de la siguiente tabla, las ecuaciones anteriores y seleccionando uno de los equipos para ejemplificar el cálculo se obtiene lo siguiente (Equipo seleccionado: Armario criogénico) se obtiene lo siguiente:



Equipos	Precio \$
Armario Criogénico	8271,25
Tanque Criogénico	7500
Sistema de distribución de Nitrógeno	3900

Tabla c.1. Costos de los equipos principales requerido por la línea de enfriamiento del proceso de jamón cocido fabricado por la empresa SUBCERCA C.A.

Nota: Costos de equipos: Armario criogénico y tanque criogénico proporcionados por la empresa PRAXAIR y costo del sistema de distribución de Nitrógeno líquido proporcionado por la empresa OXICAR.

Equipo	Ajuste por capacidad n (adim)
Armario Criogénico	0.44-0.59
Tanque Criogénico	0.57-0.66
Sistema de distribución de Nitrógeno	0.25-0.45

Tabla c.2. Factores de corrección equipos de acuerdo a la capacidad de éstos.



Es importante destacar que no se efectúa ajuste por tiempo para los equipos, ya que se lograron encontrar sus precios en el presente año, por tanto no se efectúa corrección.

Ahora bien en cuanto al ajuste por capacidad se obtiene lo siguiente utilizando como ejemplo el armario criogénico, utilizando los datos de la tabla 2, sabiendo que la capacidad del evaporador es de 144 unidades y la capacidad conocida es de 72 unidades y asumiendo un valor de n promedio, empleando VII, se obtiene:

$$\text{Ajustecapacidad} = \left[\frac{72}{144} \right]^{0.515n}$$
$$\text{Ajustecapacidad} = 0,699792933$$

Sustituyendo el valor calculado anteriormente en V se obtiene:

$$\text{Costorequerido} = 8271,25 * 1 * 0,699792933$$
$$\text{Costorequerido} = 5788,1622 \$$$

Luego realizando el mismo procedimiento para el resto de equipos y aplicando la ecuación IV, se obtiene que el costo de equipos principales es:

$$\text{CostosEquipos Pr incipales} = 5788,1622 + 487,2226 + 673,261100$$
$$\text{CostosEquipos Pr incipales} = 6948,6460 \$$$

b. Costos de Edificaciones:

$$\text{CostoE} = (\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(VIII)}$$



Como es un diseño que se instalará en una edificación ya existente, y que involucra un proceso sólido se utiliza un porcentaje igual a 29%, sustituyendo los valores en VIII se obtiene:

$$\text{CostoE} = (0.29) * 6948,64605\$$$

$$\text{CostoE} = 2015,1073\$$$

c. Costo de Instrumentación y Control:

$$\text{CostoIC} = (13\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(IX)}$$

Sustituyendo los valores en IX se obtiene:

$$\text{CostoIC} = (0.13) * 6948,6460$$

$$\text{CostoIC} = 903,3239\$$$

d. Costo de Servicios Industriales:

$$\text{CostoSI} = (0.55\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(X)}$$

Sustituyendo los valores en X se obtiene:

$$\text{CostoSI} = (0.55) * 6948,6460$$

$$\text{CostoSI} = 3821,7553\$$$

e. Costo de Tuberías:

$$\text{CostoT} = (\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} * [(15\% * 25\%)_{\text{aislante}} + 1] \quad \text{(XI)}$$



Como es un proceso sólido se utiliza un porcentaje igual a 16%,
sustituyendo los valores en XI se obtiene:

$$\text{CostoT} = (0.16) * 6948,6460 * (0.15 + 1)$$

$$\text{CostoSI} = 1278,5508 \$$$

f. Costo de Equipos Eléctricos:

$$\text{CostoEE} = (0.125\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(XII)}$$

Sustituyendo los valores en XII se obtiene:

$$\text{CostoEE} = (0.125) * 6948,6460$$

$$\text{CostoEE} = 868,5807 \$$$

g. Costo de Estudios y Proyectos:

$$\text{CostoEP} = (0.35\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(XIII)}$$

Sustituyendo los valores en XIII se obtiene:

$$\text{CostoEP} = (0.35) * 6948,6460$$

$$\text{CostoEP} = 2432,0261 \$$$

h. Costo de Supervisión y Mantenimiento:

$$\text{CostoSP} = (0.02\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(XIV)}$$

Sustituyendo los valores en XIV se obtiene:



$$\text{CostoSP} = (0.02) * 6948,6460$$

$$\text{CostoSP} = 138,9729 \$$$

i. Costo de Arranque, Pruebas y Contingencias:

$$\text{CostoAPC} = (0.08\%) * \text{Costo}_{\text{equipos}} \quad \text{(XV)}$$

Sustituyendo los valores en XV se obtiene:

$$\text{CostoAPC} = (0.08) * 6948,64605$$

$$\text{CostoAPC} = 1472,5570 \$$$

Sustituyendo los costos calculados anteriormente en la ecuación III, se obtiene:

$$\text{CapitalFijo} = 6948,6460 + 2015,1073 + 903,3239 + 3821,7553 + 1278,5508 + 868,5807 + 2432,0261 + 138,9729 + 1472,5570$$

$$\text{CapitalFijo} = 19879,5204 \$$$

3.2. Capital de Trabajo:

a. Cálculo de las toneladas de materia prima consumida:

Al contar con dos grupos de materia prima para la fabricación de jamón cocido, el cálculo de los costos de ésta se llevó a cabo de la siguiente manera:

Carne de Cerdo:



$$TMD_{consCC} = 0,25 \text{ TM/día}$$

Otros ingredientes, aditivos, etc:

$$TMD_{consI,A,etc} = 0,25 \text{ TM/día}$$

Donde:

TMD_{consCC} : Toneladas métricas diarias consumidas de carne de cerdo (TM/día).

$TMD_{consI,A,etc}$: Toneladas métricas diarias consumidas de otros ingredientes, aditivos, etc (TM/día).

b. Cálculo del costo de inventario de materia prima:

Se llevó a cabo un cálculo de costos para cada grupo de materia prima:

$$CIMP = 30 * Costo_{Mp} * TMD_{cons} \quad (XVI)$$

Donde:

CIMP: Costo de inventario de materia prima (\$/día).

$Costo_{MP}$: Costo de la materia prima (\$/TM).

Sustituyendo los datos correspondientes en XVI, y utilizando como ejemplo la información de costos de materia prima referida a la carne de cerdo se obtiene:

$$CIMP1 = 30 * 9,30 \frac{\$}{TM} * 0,25 \frac{TM}{día}$$



$$CIMP1 = 69,7674 \frac{\$}{\text{día}}$$

De igual manera se a cabo el cálculo de costos de inventario de materia prima, para el caso de los ingredientes adicionales, aditivos, etc requeridos en el proceso de fabricación de jamón cocido, obteniéndose un valor igual:

$$CIMP2 = 31,3953 \frac{\$}{\text{día}}$$

Luego al ser dos grupos de materia prima, se calcula el costo por inventario de materia prima total como la suma de los dos $CIMP_1$ y $CIMP_2$:

$$CIMP_t = CIMP_1 + CIMP_2 \quad \text{(XVII)}$$

Donde:

$CIMP_t$: Costo de inventario total de materia prima (\$/día).

$CIMP_1$: Costo de inventario de la carne de cerdo (\$/día).

$CIMP_2$: Costo de inventario por ingredientes adicionales y otros aditivos (\$/día).

Sustituyendo los valores de $CIMP_1$ y $CIMP_2$, en XVII, se obtiene lo siguiente:

$$CIMP_t = 69,7674 + 31,3953$$

$$CIMP_t = 101,1600 \frac{\$}{\text{día}}$$

c. Cálculo de costo por inventario de producto:

$$CIP = 30 * Precio_{\text{jamón cocido}} * TMD_{\text{prod}} \quad \text{(XVIII)}$$

Donde:



CIP: Costo de inventario por producto (\$/dia).

$Precio_{jamónococido}$: Precio de venta del jamó cocido (\$/TM).

TMD_{prod} : Toneladas métricas diarias producidas de producto (TM/dia).

Sustituyendo los datos correspondientes en XVIII, se tiene:

$$CIP = 30 * 10,8800 \frac{\$}{ton} * 0,45 \frac{ton}{dia}$$

$$CIP = 148,1100 \frac{\$}{ton}$$

d. Cálculo de Costos de Inventario de repuestos:

$$CIR = 10\% * Costos requerido_{total} \quad \text{(XIX)}$$

Donde:

CIR: Costo total de inventario de los repuestos (\$)

Sustituyendo los datos correspondientes en XIX se obtiene:

$$CIR = 10\% * 6948,6460 \$$$

$$CIR = 694,8600 \$$$

e. Cálculo de costos por salarios:

$$C_S = Cálculoba * personal \quad \text{(XX)}$$

Donde:

C_S : Costo total por salarios del personal (\$).



Cáculoba: Cálculo del beneficio anual para cada trabajador (\$).

Personal: Número de personas que trabajan en la empresa con el mismo sueldo (adim).

e.1.Cálculo de número de operadores (personal):

$$Personal = \frac{t * equipos * TMD^{0,24}}{8} \quad \text{(XXI)}$$

Donde:

Personal: Número de personas que trabajan en la empresa con el mismo sueldo (adim).

t : Parámetro que representa el tipo de operaciones en el proceso (adim).

Nota: Al ser un proceso que implica operaciones de control básico este parámetro equivale a 17.

TMD: Toneladas métricas diarias producidas de producto (TM/día).

Sustituyendo los valores respectivos en XXI, se obtiene:

$$Personal = \frac{17 * 3 * 0,45^{0,24}}{8}$$

$$Personal = 3,096009403 \cong 3 \text{ operadores}$$

e.2.Cálculo del beneficio-año:



$$Cáculoba = (16 - 21) * salario_{mes} \quad (XXII)$$

Donde:

Cáculoba: Cálculo del beneficio anual para cada trabajador (\$).

Salario_{mes}: Beneficio obtenido por los trabajadores mensualmente por efectos de trabajo en la línea de enfriamiento (\$).

Nota: El salario para los trabajadores se estimó en aproximadamente 750000 Bs \cong 348,8372093 \$, un poco mayor que el salario mínimo actual, debido a la operación cuidadosa de la línea de enfriamiento, la cual requiere de operadores con un nivel de experiencia y conocimiento de cierto nivel.

Sustituyendo los valores respectivos en XXII, y asumiendo un valor para la ecuación de 16, se obtiene:

$$Cáculoba = (16) * \frac{750000}{82150}$$

$$Cáculoba = 5581,3953 \$$$

Sustituyendo los datos correspondientes, en XX, se obtiene:

$$C_s = 3 * 5581,395349$$

$$C_s = 16744,18605 \$$$

f. Cálculos del efectivo en caja:

$$Efectivo = 60 * (TMD_{prod} * \frac{Precio}{TMD_{prod}}) \quad (XXIII)$$



Donde:

Efectivo: Efectivo total en caja (\$).

$\frac{\text{Precio}}{\text{TMD}_{\text{prod}}}$: Precio establecido por tonelada métrica de producto (\$/ton).

Sustituyendo los datos correspondientes en XXIII, se tiene:

$$\text{Efectivo} = 60 * \left(0,4500 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} * 10,8800 \frac{\$}{\text{ton}} \right)$$

$$\text{Efectivo} = 296,2100 \$$$

g. Cálculo de capital de trabajo:

$$\text{Capital de Trabajo} = \text{Efectivo} + C_s + CIP + CIMP + CIR \quad (\text{XXIV})$$

Donde:

Capital Trabajo: Capital de trabajo de la empresa (\$).

Sustituyendo los valores correspondientes en XXIV, se obtiene:

$$\text{Capital de Trabajo} = 101,1600\$ + 148,1100 \$ + 694,8600 \$ + 2.093,02 \$ + 296,21\$$$

$$\text{Capital de Trabajo} = 3.333,3700 \$$$

3.3. Cálculo de la inversión inicial:

$$\text{Inversión inicial} = \text{Capital Fijo} + \text{Capital de Trabajo} \quad (\text{XXV})$$

Donde:

Inversión inicial: Inversión necesaria inicialmente (\$).



Sustituyendo los datos correspondientes en XXV:

$$Inversión\ inicial = 19879,52046 \$ + 3.333,3700 \$$$

$$Inversión\ inicial = 23.212,8900 \$$$

3.4. Cálculo de los costos de producción:

3.4.1. Cálculo de Costo de Manufactura -Costos Directos:

Considerando como alícuota la cantidad consumida de cierto compuesto para ayudar a formar una tonelada métrica de producto, se tiene:

$$Alícuota = \frac{Consumo_i}{TM_{producto}} \quad (XXVI)$$

Donde:

Alícuota: Porción de cierto compuesto para la elaboración del producto (unidad/ton).

Consumo_i: Consumo de cierto componente i (unidad).

TM_{producto}: Una tonelada métrica del producto (ton).

Sustituyendo los valores correspondientes para calcular la alícuota de leche se tiene:

$$Alícuota = \frac{0,50000ton/dia}{0,40000ton/dia}$$

$$Alícuota = 1,1022\ adim$$

a. Cálculo de Costos de Materias primas:



$$MP = \sum_{i=MP} (Alícuota_i * TMD_{prod}) * Costo_i \quad (XXVII)$$

Donde:

MP: Materias Primas (\$/dia).

Alícuota_i: Alícuota o porción del componente i (unidad/ton).

Costo_i: Costo o precio de cada componente (\$).

Sustituyendo los valores correspondientes en XXVII:

$$MP = \sum_i (1,1022 * 0,4500 \text{ ton/dia}) * 10,8800 \$/\text{ton}$$

$$MP = 5,441860465 \text{ \$/dia}$$

b. Cálculo de Costos de Servicios Industriales:

$$C_{SI} = \sum_{i=SI} (Alícuota_i * TMD_{prod}) * Costo_i \quad (XXVIII)$$

Donde:

C_{SI}: Costos de Servicios Industriales (\$).

Sustituyendo los valores correspondientes en XXVIII, para cada uno de los servicios industriales utilizados y tomando en cuenta lo siguiente:

Servicios industriales	Tarifa (\$/unidad)	Consumo por día	Unidad	Alícuota	Costo (\$)
Electricidad	0,0522	5	kW/h	11,0229	0,26
Nitrógeno líquido	0,1740	12,5367	ft ³	27,6382	2,18

Tabla c.3. Valores de tarifas, consumo y cosos de servicios industriales.

Sustituyendo los valores anteriores resulta lo siguiente:



$$C_{SI} = \left(0,0522 \frac{\$}{\text{TMD}} * 11,0229 * 0,4500\text{TMD} \right) + \left(0,1740 \frac{\$}{\frac{\text{kW}}{\text{h}}} * 27,638 * 0,4500\text{TMD} \right)$$

$$C_{SI} = 2,4400 \$$$

c. Cálculos de Operadores de planta:

$$N_{op} = \frac{10 * N_{eq} * (TMD_{prod})^{0,24}}{8} \quad \text{(XXIX)}$$

Donde:

N_{op} : Número de operadores disponibles para la planta (adim).

N_{eq} : Número de equipos (adim).

Sustituyendo los valores en la ecuación XXIX, se obtiene:

$$N_{op} = \frac{10 * 3 * (0,45)^{0,24}}{8}$$

$$N_{op} = 3,0960 \cong 3 \text{ operadores}$$

d. Cálculo de beneficio y costo de operadores:

$$beneficio_{año} = (16 - 20) * Salario_{mes} \quad \text{(XXX)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXX, se obtiene:

$$beneficio_{año} = 16 * \frac{348,8372\$}{mes}$$

$$beneficio_{año} = 5581,3953\$$$

$$Costo_{operadores} = beneficio_{año} * N_{op} \quad \text{(XXXI)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXI, se obtiene:

$$Costo_{operadores} = 5581,3953 \$ * 3$$



$$\text{Costo}_{operadores} = 16744,1860 \$$$

i. Cálculo del costo del supervisor de turno:

$$\text{Costo}_{Supervisor de turno} = 0,10 * \text{Costo}_{operadores} \quad (\text{XXXII})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXII, se obtiene:

$$\text{Costo}_{Supervisor de turno} = 0,10 * 16744,1860 \$$$

$$\text{Costo}_{Supervisor de turno} = 1674,4186 \$$$

j. Cálculo del costo de materiales y mantenimiento:

$$\text{Costo}_{mat-mtto}: (\text{Material} + \text{ManoObra}) * \text{Capital}_{fijo} \quad (\text{XXXIII})$$

Donde:

$\text{Costo}_{mat-mtto}$: Costo de materiales y mantenimiento (\$).

Procesos	Material	Mano de Obra
Simple	1% - 3%	1% - 3%
Continuos promedios	3% - 5%	2% - 4%
Continuos Severas	4% - 6%	3% - 5%

Tabla c.4. Valores de costos de mantenimiento de acuerdo al tipo de proceso.

De acuerdo a la información contenida en la tabla c.4, y el tipo de proceso que se estudió, se define el proceso de enfriamiento en la fabricación de jamón cocido como un proceso simple, por tanto se emplearon porcentajes tanto para material como mano de obra, en rangos dentro de los sugeridos por el tipo de proceso.



Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXIII, se obtiene:

$$\text{Costo}_{\text{mat-mtto}} = (0,02 + 0,02) * 19879,5204 \$$$

$$\text{Costo}_{\text{mat-mtto}} = 795,1800 \$$$

k. Cálculo de costos de laboratorio:

$$\text{Costo}_{\text{Laboratorio}} = 0,10 * (\text{Costo}_{\text{Supervisor de turno}} + \text{Costo}_{\text{operadores}}) \text{ (XXXIV)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXIV, la ecuación se obtiene:

$$\text{Costo}_{\text{Laboratorio}} = 0,10 * (1674,4186 \$ + 16744,1860 \$)$$

$$\text{Costo}_{\text{Laboratorio}} = 1.841,8600 \$$$

3.4.2. Cálculo de Costo Manufactura -Costos Indirectos:

a. Costos de Supervisor de Planta:

$$\text{Costos}_{\text{Supervisor de planta}} = 8 * \frac{\text{Sueldo}_{\text{mensual}}}{2150} \text{ (XXXV)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXV, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{Supervisor de planta}} = 8 * \frac{1200000}{2150}$$

$$\text{Costos}_{\text{Supervisor de planta}} = 1.674,4200 \$$$

b. Costos de Seguro:

$$\text{Costo}_{\text{Seguro}} = 0,01 * \text{Capital}_{\text{fijo}} \text{ (XXXVI)}$$



Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXVI, se obtiene:

$$Costo_{seguro} = 0,01 * 19879,5204 \$$$

$$Costo_{seguro} = 198,8000 \$$$

c. Costos de seguridad y protección:

$$Costo_{seguridad\ y\ proteccion} = 0,65 * Costo_{mat-mtto} \text{ (XXXVII)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXVII, se obtiene:

$$Costo_{seguridad\ y\ proteccion} = 0,65 * 795,1800 \$$$

$$Costo_{seguridad\ y\ proteccion} = 516,8700 \$$$

d. Cálculo de depreciación de equipos:

Considerando la siguiente tabla:

Equipos	Vida útil (años)	Precio (\$)
Armario Criogénico	10,00	8271,25
Tanque Criogénico	10,00	7500
Sistema de distribución de Nitrógeno	10,00	3900

Tabla c.5. Tiempo de vida útil y costos de los equipos del proceso.

y aplicando el siguiente modelo económico para el cálculo de la depreciación de los equipos:



$$Cuota_{depreciación} = \frac{\text{Precio}}{\text{Vida útil del equipo}} \quad (\text{XXXVIII})$$

(Modelo de depreciación lineal)

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXVIII, y utilizando como ejemplo el equipo armario criogénico se obtiene lo siguiente:

$$Cuota_{depreciación} = \frac{8271,2500\$}{10\text{años}}$$

$$Cuota_{depreciación} = 827,1250 \frac{\$}{\text{año}}$$

realizando la misma operación para el resto de los equipos se obtienen las siguientes cuotas de depreciación:

Equipos	Cuota de depreciación(\$/año)
Armario Criogénico	827,13
Tanque Criogénico	750,00
Sistema de distribución de Nitrógeno	390,00

Tabla c.6. Cuota de depreciación correspondiente a los equipos que forman parte de la línea de enfriamiento.

Finalmente la depreciación total se calcula de la siguiente manera:

$$Cuota_{Depreciación\ total} = \sum_{i=Equipos} Cuota_{depreciación} \quad (\text{XXXIX})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXIX:



$$Cuota_{Depreciación\ total} = (823,13 + 750 + 390)\$$$

$$Cuota_{Depreciación\ total} = 1.967,1300 \$$$

e. Cálculo del Préstamo:

$$Cuota_{prestamo} = 0.5 * (inversión\ inicial) \quad (XXXX)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXX, se obtiene lo siguiente:

$$Cuota_{prestamo} = 11.606,4400 \$$$

f. Cuota de Amortización:

$$R = Cuota_{préstamo} * \frac{(1+I)^\alpha}{(1+I)^\alpha - 1} \quad (XXXXI)$$

Donde:

R: Cuota de Amortización (\$).

I: Tasa de interés (8%).

α : Tiempo de vida del proyecto (años).

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXI:

$$R = 11.606,4400 \$ * \frac{(1+0,08)^{10}}{(1+0,08)^{10} - 1}$$

$$R = 1.729,7000\$$$

g. Cálculo del pago de interés:

$$Pago_{interés} = 0,08 * Cuota_{préstamo} \quad (XXXXII)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXII:

$$Pago_{interés} = 0,08 * 1.729,7000\$$$



$$Pago_{interés} = 928,5200 \$$$

h. Cálculo del pago de préstamo:

$$Pago_{prestamo} = R - Pago_{interés} \quad (XXXXIII)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXIII, se obtiene lo siguiente:

$$Pago_{prestamo} = 1.729,7000\$ - 928,5200 \$$$

$$Pago_{prestamo} = 801,1900 \$$$

i. Cálculo de la Deuda Capital:

$$Deuda_{capital} = Cuota_{préstamo} - Pago_{prestamo} \quad (XXXXIV)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXIV, se obtiene:

$$Deuda_{capital} = 11.606,4400 \$ - 928,5200\$$$

$$Deuda_{capital} = 10.805,2600 \$$$

Debido a que ya se ha realizado el pago del préstamo para el primer año, se tendrá que ahora el préstamo restante es la deuda capital ya antes calculada, y realizando estas operaciones para todo el periodo de vida del proyecto se tendrá lo siguiente:

Tiempo	Préstamo (P) \$	Cuota de amortización (R) \$	Pago de interés (PI) \$
1,00	11.606,44	1.729,70	928,52
2,00	10.805,26	1.729,70	702,34
3,00	9.777,90	1.729,70	635,56
4,00	8.683,76	1.729,70	564,44



5,00	7.518,50	1.729,70	488,70
6,00	6.277,50	1.729,70	408,04
7,00	4.955,83	1.729,70	322,13
8,00	3.548,26	1.729,70	230,64
9,00	2.049,20	1.729,70	133,20
10,00	452,69	1.729,70	29,42

Tabla c.7. Costos de préstamo, cuota de amortización y pago de interés, para cada año del horizonte económico fijado en el proyecto de implementación de la línea de enfriamiento criogénico.

Tiempo	Pago de préstamo (PP)	Deuda capital
1,00	801,19	10.805,26
2,00	1.027,36	9.777,90
3,00	1.094,14	8.683,76
4,00	1.165,26	7.518,50
5,00	1.241,00	6.277,50
6,00	1.321,66	4.955,83
7,00	1.407,57	3.548,26
8,00	1.499,07	2.049,20
9,00	1.596,50	452,69



10,00	1.700,28	-1.247,59
-------	----------	-----------

Tabla c.8. Costos de pago de préstamo y deuda de capital, para cada año del horizonte económico fijado en el proyecto de implementación de la línea de enfriamiento criogénico.

Luego utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Costos}_{\text{directos}} = (MP + C_{SI} + \text{Costo}_{\text{operadores}} + \text{Costo}_{\text{Supervisor de turno}} + \text{Costo}_{\text{mat-mtto}} + \text{Costo}_{\text{Laboratorio}}) \quad \text{(XXXXV)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación XXXXV, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{directos}} = (2,4400 \$ + 5,4418 \$ + 16744,1900\$ + 1674,4119\$ + 795,1800\$ + 1841,1600\$)$$

$$\text{Costos}_{\text{directos}} = 21.063,5300 \$$$

Luego utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Costos}_{\text{indirecto}} = (\text{Costos}_{\text{Supervisor de planta}} + \text{Costo}_{\text{Seguro}} + \text{Costo}_{\text{Seguridad y protección}}) + (\text{Cuota}_{\text{Depreciación total}} + R) \quad \text{(XXXXVI)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXVI se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{indirecto}} = 1.674,4200 \$ + 198,8000 \$ + 516,8700 \$ + 1.967,1300 \$ + 1.729,7000 \$$$

$$\text{Costos}_{\text{indirecto}} = 6.086,9100 \$$$

4. Cálculo de los costos de manufactura:



$$\text{Costos}_{\text{Manufactura}} = (\text{Costos}_{\text{directos}} + \text{Costos}_{\text{indirecto}}) \quad (\text{XXXXVII})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXVII, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{Manufactura}} = (21.063,5300 \$ + 6.086,9100\$)$$

$$\text{Costos}_{\text{Manufactura}} = 27.150,4400 \$$$

5. Cálculo de los gastos generales:

a. Cálculo de gastos de administración:

$$\text{Costos}_{\text{administración}} = 0,6 * \text{Costo}_{\text{operadores}} \quad (\text{XXXXVIII})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXVIII, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{administración}} = 0,6 * 16.744,1900\$$$

$$\text{Costos}_{\text{administración}} = 8.372,0900 \$$$

b. Cálculos de gastos de ventas:

$$\text{Costos}_{\text{gastos de ventas}} = 0.2 * (\text{Costos}_{\text{Manufactura}} + \text{Costos}_{\text{administración}}) \quad (\text{XXXXIX})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXIX, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{gastos de ventas}} = 0.2 * (27.150,4400 \$ + 8.372,0900 \$)$$

$$\text{Costos}_{\text{gastos de ventas}} = 7.104,5100 \$$$

c. Cálculos de Gastos Generales:

$$\text{Costos}_{\text{gastos generales}} = (\text{Costos}_{\text{gastos de ventas}} + \text{Costos}_{\text{administración}}) \quad (\text{XXXXX})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXX, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{gastos generales}} = (7.104,5100 \$ + 8.372,0900\$)$$

$$\text{Costos}_{\text{gastos generales}} = 15.476,6000\$$$



6. Cálculos de los Costos de Producción:

$$\text{Costos}_{\text{producción}} = (\text{Costos}_{\text{gastos generales}} + \text{Costos}_{\text{Manufactura}}) \text{ (XXXXXI)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXXI, se obtiene:

$$\text{Costos}_{\text{producción}} = (15.476,6000 \$ + 27.150,4400 \$)$$

$$\text{Costos}_{\text{producción}} = 42.627,0400 \$$$

7. Cálculo del Enriquecimiento:

$$E = \frac{\text{Ingresos} - \text{Costos}_{\text{producción}} - \text{Intereses}_{\text{deuda}}}{\text{Valor}_{U,T}} \text{ (XXXXXII)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en XXXXXII, utilizando como ejemplo los egresos para el segundo año del horizonte económico, se obtiene:

$$E = \frac{\$28.139,5800 - 21.313,5300\$ - 702,3400\$}{17,50\$}$$

$$E = 349,9200 \$$$

8. Cálculo del Impuesto sobre la renta (I.S.L.R):

$$I.S.L.R = (\text{Costos}_{\text{producción}} * E) - \text{Sustraendo} \text{ (XXXXXIII)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes al segundo año del horizonte económico, en XXXXXIII se obtiene:

$$I.S.L.R = (21.313,5200\$ * 349,9200\$) - 0$$

$$I.S.L.R = 52,4900 \$$$

Realizando las mismas operaciones pero para todos los años de vida del proyecto y considerando que sólo existirá el pago de los impuestos cuando se obtenga un enriquecimiento del capital y no en caso contrario, se obtendrán los siguientes valores:



Tiempo (año)	Costo de producción (\$)	Enriquecimiento (\$)	I.S.L.R (\$)
0,00	-	-	0,00
1,00	42.627,04	-1.027,09	52,49
2,00	21.313,52	349,92	168,52
3,00	10.656,76	1.123,50	241,34
4,00	5.328,38	1.608,92	294,01
5,00	2.664,19	1.960,05	338,22



6,00	1.332,09	2.254,80	379,98
7,00	666,05	2.533,19	422,46
8,00	333,02	2.816,41	467,45
9,00	166,51	3.116,36	516,06
10,00	83,26	3.440,39	0,00

Tabla c.9. Enriquecimiento obtenido por implementación del proyecto, y establecimiento de los costos de producción e impuesto sobre la renta de cada año del horizonte económico fijado para el mismo.

9. Cálculo de los egresos:

$$Egresos = Costos_{producción} + I.S.L.R \quad (XXXXXIV)$$

Nota: Solo para el primer año del proyecto, el cálculo de los egresos equivale a la inversión inicial.

Sustituyendo los valores correspondientes al segundo año de producción, ya que el primer año es la construcción de la planta en XXXXXIV, se tiene:

$$Egresos = 21.313,5400 \$ + 52.4900\$$$

$$Egresos = 42.627,0400 \$$$

Realizando la misma operación para el resto de los años de vida del proyecto, se tiene lo siguiente:

Tiempo (año)	Costo de producción (\$)	I.S.L.R (\$)	Egresos(\$)
0,00	-	-	23.212,89
1,00	42.627,04	-1.027,09	42.627,04



2,00	21.313,52	349,92	21.366,01
3,00	10.656,76	1.123,50	10.825,28
4,00	5.328,38	1.608,92	5.569,72
5,00	2.664,19	1.960,05	2.958,20
6,00	1.332,09	2.254,80	1.670,31
7,00	666,05	2.533,19	1.046,03
8,00	333,02	2.816,41	755,49
9,00	166,51	3.116,36	633,97
10,00	83,26	3.440,39	599,32

Tabla c.10. Egresos que implican la implementación del proyecto, y establecimiento de los costos de producción e impuesto sobre la renta de cada año del horizonte económico fijado para el mismo.

10. Cálculo del valor actual neto (VAN):

$$VAN = \sum_{i=1}^{10} \left(\frac{F_x}{(1+I)^{x-1}} \right) \quad (\text{XXXXXV})$$

Donde:

VAN: Valor actual neto (\$).

F_x : Flujo de caja de cada año del horizonte económico fijado (\$).

x : Año del horizonte económico para el cual se estima el valor actual neto (año).

I : Tasa de rendimiento (%).

Realizando el cálculo puntual de VAN, para el segundo año del horizonte económico, considerando una tasa de interés de 10%, se obtiene:



$$VAN = \frac{6.733,53}{(1 + 0.1)^2}$$

$$VAN = 5.597,9600 \$$$

Sustituyendo los valores respectivos en XXXXXV, se obtiene:

$$\begin{aligned} VAN &= -23.212,8900\$ -15.496,0400\$ +5.597,9600\$ +15.122,6200\$ + \\ &19.451,6200\$ +21419,0100\$ +22312,9600\$ +22719,0400\$ + \\ &22903,3700\$ +22986,9500\$ + 23024,7500\$ \\ VAN &= 136.829,35\$ \end{aligned}$$

10.1. Establecimiento de la rentabilidad de un proyecto en función del VAN:

$$VAN > 0 \rightarrow \text{Actividad productiva atractiva}$$

$$VAN = 0 \rightarrow \text{Actividad productiva no atractiva (XXXXXXVI)}$$

$$VAN < 0 \rightarrow \text{Actividad productiva no recomendada}$$

Aplicando la premisa establecida en XXXXXVI, y comparando el valor de VAN se obtiene lo siguiente:

$$136.829,35\$ > 0 \rightarrow \text{Actividad productiva atractiva}$$

11. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR):

Al utilizar la siguiente ecuación:

$$VA(i^*) = 0 \quad \text{(XXXXXXVII)}$$

Donde:



$$\begin{aligned} VA(i^*) = & I.I + F1 * \left(\frac{P}{S_{i^*,1}}\right) + F2 * \left(\frac{P}{S_{i^*,2}}\right) + F3 * \left(\frac{P}{S_{i^*,3}}\right) + F4 * \left(\frac{P}{S_{i^*,4}}\right) + F5 * \left(\frac{P}{S_{i^*,5}}\right) \\ & + F6 * \left(\frac{P}{S_{i^*,6}}\right) + F7 * \left(\frac{P}{S_{i^*,7}}\right) + F8 * \left(\frac{P}{S_{i^*,8}}\right) + F9 * \left(\frac{P}{S_{i^*,9}}\right) + F10 \\ & * \left(\frac{P}{S_{i^*,10}}\right) \end{aligned}$$

Al observar que el hecho de determinar una tasa interna de retorno aproximada a partir de la suposición de que la inversión inicial se recupera con ingresos uniformes, luce un tanto alejado de la realidad y, en consecuencia, resultaría un valor de una tasa de retorno aproximada igualmente distante del valor real, se buscó otra opción para llevar a cabo tal estimación, una mejor suposición resulta considerar que la inversión inicial, se recupera con un solo pago al final del segundo año e igual a la suma de los ingresos netos. Sin Embargo, como lo que se quiere lograr es que el valor actual del producto sea según la ecuación XXXXXVII (chequear número de la ecuación) igual a cero; se buscó tal condición iterando entre cada i^* o T.I.R hasta observar un cambio de signo en dicho valor, encontrando de esta forma el valor que anularía la ecuación XXXXXVII. Una vez realizado dicho procedimiento, para distintos valores de i^* , se obtuvo el cambio de signo entre los siguientes valores:

TIR	VA(i)
40	6696,2930
50	-5009,8046



Interpolando entre dichos valores se consigue que la ecuación XXXXXVII se cumpla, obteniéndose lo siguiente:

$$TIR = 40 + 10 * \left(\frac{6696,2930}{6696,2930 - (-5009,8046)} \right)$$

$$TIR = 45,7203 \text{ _}$$

11.1. Establecimiento de la rentabilidad de un proyecto en función del TIR:

$TIR > 1 \rightarrow$ Actividad productiva atractiva

$TIR < 1 \rightarrow$ Actividad productiva no recomendada (XXXXXVIII)

Aplicando la premisa establecida en XXXXXVIII, y comparando el valor de TIR se obtiene lo siguiente:

$45,7203 > 1 \rightarrow$ Actividad productiva atractiva

12. Tiempo de pago (TP):

$$TP = -II + \sum_{i=1}^r FT = 0 \quad \text{(XXXXXXIX)}$$

Donde:

TP: Tiempo de pago (años).

II: Inversión inicial (\$).

FT: Flujos de caja respectivo (\$).

La estimación del tiempo de pago se realizó de la siguiente manera:

Para el año: 1; $-23.212,8900\$ - 15496,0400\$ = -38.708,9300\$$.

Para el año: 2; $-23.212,8900\$ - 15496,0400\$ + 5599,1000\$ = -33.109,82\$$.

Para el año: 3; $-23.212,8900\$ - 15496,0400\$ + 5599,1000\$ + 15123,6500\$$



=-17.986,18\$.

Para el año: 3; -23.212,8900\$ - 15496,0400\$ + 5599,1000\$ + 15123,6500\$

+ 19452,5400\$ = 1.466,36 \$.

De acuerdo al comportamiento para las estimaciones de tiempo de pago realizadas de los primeros cuatro años del horizonte económico del proyecto, es posible notar que para el año cuatro, se comienza a obtener flujo con signo positivo, lo cual indica que la deuda por concepto del pago del capital inicial solicitado, para este año ya se cancelaría, pues la obtención de este flujo positivo indica que para el cuarto año se obtendría un flujo de 1.466,36 \$, por encima de la deuda a cancelar que está representada por 38.708,0400\$.

$$TP \cong 4 \text{ años} < TPC = 5 \text{ años}$$



ANEXO D

Hojas de especificaciones de proceso



En esta sección se muestran a través de tablas especificaciones, descripción e información referente a las etapas del proceso de elaboración de jamón cocido.

Hojas de datos de información para la evaluación térmica y condiciones de manufactura en el proceso de elaboración de jamón de pierna cocido por parte de la empresa SUBCERCA C.A

Temperatura de Cocción (°C)	80-82
Temperatura masa antes de la cocción (°C)	8.5
Temperatura Planta (°C)	20
Temperatura de Almacenaje de la carne en la Planta (°C)	-0.5
Temperatura de la cava de refrigeración intermedia de piezas de jamón (°C)	5
Temperatura de la cava de refrigeración final (°C)	0-4

TABLA d.1. Datos de temperaturas manejadas en las distintas etapas que constituyen el proceso de manufactura de jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A.

Temperatura piezas de jamón transcurrido el primer día en la cava (°C)	45
Temperatura piezas de jamón transcurrido el segundo día en la cava (°C)	20
Temperatura piezas de jamón transcurrido el tercer día en la cava (°C)	7

TABLA d.2. Datos de temperaturas de enfriamiento de las piezas de jamón de pierna durante el proceso de elaboración.

Área (m ²)	9
Sistema de Refrigeración	Sistema de refrigeración utilizando freón 22
Fluido de Refrigeración	Freón 22
Número de cavas empleadas (adim)	4

TABLAS d.3. Especificaciones cava de congelación empleadas durante el proceso de fabricación del jamón cocido de la empresa SUBCERCA C.A.



Área (m ²)	3.69
Altura de las piezas de jamón (cm)	29
Base de las piezas de jamón (cm)	22
Espesor de las piezas de jamón (cm)	14
Masa de las piezas de jamón (Kg)	6 ^{1/2}
Número de piezas de jamón producidas en cada batch (adim)	72
Disposición de las piezas de jamón en los carros de cocción	
Número de hileras (adim)	4
Número de piezas dispuestas en cada hilera (adim)	18
Material de tripa de embutido	Polipropileno
Cantidad de tripa empleada para el embutido (mm)	280

TABLA d.4. Especificaciones las piezas de jamón fabricadas por parte de la empresa SUBCERCA C.A.

Material	Acero inoxidable
Altura de los moldes (cm)	29
Base de los moldes (cm)	22
Espesor de los moldes (mm)	2

TABLA d.5. Especificaciones Moldes de Cocción.

Calor específico sobre punto de congelación (Kcal/Kg °C)	0.48-0.54
Calor específico bajo punto de congelación (Kcal/Kg °C)	0.30-0.32
Calor latente de congelación (Kcal/Kg)	30
Contenido de agua (%)	35-42
Temperatura de Congelación (°C)	-2.2 -- -1.7
Temperatura de Almacenamiento (°C)	0-2
Humedad Relativa (%)	85-90
Período de Almacenamiento aproximado (día)	4-10

TABLA d.6. Especificaciones sobre calores específicos e información general sobre carne de cerdo.



Tipo de carne empleada	Porcina
Corte de la carne de cerdo	Primera
Conservantes	Polifosfato y Tripolifosfato sódico
Antiparasitantes	Nitrito y nitrato de sodio
Glúcidos	Dextrosa
Proteína	Proteína empleada libre de soya
Fungicidas	Torisol fresh
Color	Artificial de tipo líquido, a base de polvo de cochinilla
Extensores	Plasma desecado (gelatina, carragenato)

TABLA d.7. Ingredientes empleados por parte de la empresa SUBCERCA C.A, en la fabricación de jamón de cerdo cocido.