



Universidad
Industrial de
Santander

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA CONSERVACIÓN DE
PRODUCTOS CÁRNICOS POR ACCIÓN COMBINADA DE LA
REFRIGERACIÓN Y UN AGENTE ANTIBACTERIAL**

JHON JAIRO DUARTE HERRERA

JULIÁN ALBERTO MORENO MORENO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA CONSERVACIÓN DE
PRODUCTOS CÁRNICOS POR ACCIÓN COMBINADA DE LA
REFRIGERACIÓN Y UN AGENTE ANTIBACTERIAL**

JHON JAIRO DUARTE HERRERA

JULIÁN ALBERTO MORENO MORENO

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Primeramente a mi madre, quien ha sido mi mentora y a quien le debo todo, sin ella nunca hubiera podido llegar a este punto.

A mis amigos del colegio y universidad, quienes siempre me han apoyado y ayudado en lo que pueden.

A mi novia que siempre estuvo a mi lado en este proceso y ha sido un gran apoyo para mí.

Jairo Duarte.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. IMPORTANCIA Y OBJETIVOS DEL PROYECTO | 20 |
| 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA | 21 |
| 1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO | 21 |
| 1.3.1 Objetivo general | 21 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 21 |
| 2. SELECCIÓN DEL AGENTE ANTIBACTERIAL | 23 |
| 2.1 PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA CARNE Y LOS MICROORGANISMOS QUE LA OCASIONAN | 23 |
| 2.1.1 Definición de coliformes | 25 |
| 2.2 TEMPERATURAS ADECUADAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS CARNES | 25 |
| 2.3 AGENTES ANTIBACTERIALES QUE COMBATEN LA DESCOMPOSICIÓN CÁRNICA | 26 |
| 2.3.1 Benzoato de sodio, proprionato de sodio y ácido benzoico | 27 |
| 2.3.2 Nitritos/Nitratos | 27 |
| 2.3.3 Sulfitos | 27 |
| 2.3.4 Trombina | 27 |
| 2.3.5 Monóxido de carbono | 27 |
| 2.3.6 Tratamiento con ozonos | 28 |
| 2.4 AGENTE ANTIBACTERIAL SELECCIONADO | 29 |
| 2.4.1 Conclusión del porqué del ozono como alternativa elegida | 29 |
| 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN | 31 |
| 3.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A CONSTRUIR | 31 |
| 3.2 CÁLCULOS DE LA CARGA TÉRMICA | 33 |
| 3.2.1 Carga térmica a extraer | 33 |
| 3.2.2 Cargas térmicas parciales | 33 |
| 3.2.3 Carga máxima total a extraer | 40 |
| 3.3 SELECCIÓN DE REFRIGERANTE | 41 |
| 3.4 TEMPERATURA DEL EVAPORADOR Y CONDENSADOR | 41 |
| 3.5 SELECCIÓN DE LA UNIDAD MANEJADORA | 43 |
| 4. DISEÑO DEL CIRCUITO GENERADOR DE OZONO | 46 |
| 4.1 EL OZONO EN ALIMENTOS | 46 |
| 4.2 FORMAS DE GENERACIÓN DE OZONO | 47 |

| | |
|--|----|
| 4.3 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE GENERACIÓN | 48 |
| 4.3.1 Análisis de la generación de ozono a través de descargas eléctricas | 48 |
| 4.3.2 Electroodos o celdas | 49 |
| 4.4 CIRCUITO GENERADOR DE OZONO | 50 |
| 5. CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO | 55 |
| 5.1 CONSTRUCCIÓN DEL OZONIZADOR | 55 |
| 5.1.1 Partes que componen el circuito | 55 |
| 5.2 CELDAS GENERADORAS DE OZONO | 58 |
| 5.2.1 Celda generadora de 10x10 | 59 |
| 5.2.2 Celda generadora 5x5 | 59 |
| 5.3 TOMAS Y EVIDENCIAS DE MEDICÓN DE OZONO | 60 |
| 5.3.1 El instrumento medidor de ozono | 60 |
| 5.3.2 Especificaciones técnicas del analizador | 60 |
| 5.3.3 Funcionamiento y leyes involucradas | 61 |
| 5.4 MONTAJE DE LA MEDICIÓN | 62 |
| 6. PRUEBAS Y CÁLCULOS | 67 |
| 6.1 PRUEBAS ORGANOLEPTICAS | 67 |
| 6.1.1. Color | 67 |
| 6.1.2. Olor | 68 |
| 6.1.3. Textura | 68 |
| 6.2. CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA | 68 |
| 6.3 MEDICIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA | 69 |
| 6.3.1 Medición de voltaje | 69 |
| 6.3.2 Medición de amperaje | 70 |
| 6.3.3 Consumo de corriente del circuito | 70 |
| 6.3.4 tiempos de encendido del compresor | 71 |
| 6.3.4.1 Tiempos y temperatura de operación del experimento | 71 |
| 6.3.4.2 Tiempos y temperatura de operación del refrigerador a temperatura de un conservador cárnico normal | 72 |
| 6.3.5 CÁLCULOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO | 73 |
| 6.3.5.1 Cálculos del consumo a 7 grados | 73 |
| 6.3.5.2 Cálculos del consumo a -20 grados | 75 |
| 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 78 |
| 7.1 INSPECCIONES ORGANOLEPTICAS | 78 |
| 7.1.1 Inspección de carne sin ozono | 78 |
| 7.1.1.1 Carne al momento de la compra | 78 |
| 7.1.1.2 Carne refrigerada durante tres días sin presencia de ozono | 79 |
| 7.1.1.3 Carne refrigerada durante cinco días sin presencia de ozono | 80 |
| 7.1.1.4 Carne refrigerada durante siete días sin presencia de ozono | 80 |
| 7.1.1.5 Carne refrigerada durante nueve días sin presencia de ozono | 81 |
| 7.1.1.6 Carne refrigerada durante once días sin presencia de ozono | 82 |
| 7.1.1.7 Carne refrigerada durante trece días sin presencia de ozono | 82 |

| | |
|---|-----|
| 7.2 Inspección de la carne con ozono | 83 |
| 7.2.1 Carne al momento de la compra | 83 |
| 7.2.2 Carne refrigerada durante tres días con presencia de ozono | 84 |
| 7.2.3 Carne refrigerada durante cinco días sin presencia de ozono | 84 |
| 7.2.4 Carne refrigerada durante siete días sin presencia de ozono | 85 |
| 7.2.5 Carne refrigerada durante nueve días sin presencia de ozono | 86 |
| 7.2.6 Carne refrigerada durante once días sin presencia de ozono | 86 |
| 7.2.7 Carne refrigerada durante trece días sin presencia de ozono | 87 |
| 7.3 RESULTADOS DE CONTEO BACTERIANO | 88 |
| 7.3.1 Muestra de carne de proveedor para refrigerar sin ozono | 89 |
| 7.3.2 Muestra de carne refrigerada durante cinco días sin presencia de ozono | 90 |
| 7.3.3 Muestra de carne refrigerada durante quince días sin presencia de ozono | 91 |
| 7.3.4 Muestra de carne de proveedor para refrigerar en presencia de ozono | 92 |
| 7.3.5. Muestra de carne refrigerada durante cinco días en presencia de ozono | 93 |
| 7.3.6 Muestra de carne refrigerada durante quince días en presencia de ozono | 94 |
| 7.3.7 Comparación de las muestras con y sin ozono | 95 |
| 7.4 ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO | 95 |
| 8. CONCLUSIONES | 97 |
| 9. RECOMENDACIONES | 100 |
| BIBLIOGRAFÍA | 100 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Dimensiones reales del prototipo | 32 |
| Figura 2. Aislante térmico de pared en corte | 33 |
| Figura 3. Gráfico de temperaturas septiembre 2016 | 35 |
| Figura 4. Comparativo de precios y volúmenes de diferentes congeladores comerciales | 44 |
| Figura 5. Esquemático primer circuito generador de ozono | 51 |
| Figura 6. Señal de entrada (alimentación) | 52 |
| Figura 7. Parámetros de medida de la señal de entrada | 52 |
| Figura 8. Señal de salida del primer circuito | 53 |
| Figura 9. Parámetros de medida de la señal de salida (primer circuito) | 54 |
| Figura 10. El circuito ozonizador | 55 |
| Figura 11. Caja de acrílico | 57 |
| Figura 12. Vista posterior de la caja | 58 |
| Figura 13. Celda generadora 10x10 | 59 |
| Figura 14. Celda generadora 5x5 | 59 |
| Figura 15. Especificaciones técnicas parte 1 | 60 |
| Figura 16. Especificaciones técnicas parte 2 | 61 |
| Figura 17. Analizador 49C de O ₃ de la CDMB | 62 |
| Figura 18. El racor | 62 |
| Figura 19. Montaje para la medición de concentración de O ₃ | 63 |
| Figura 20. Parte posterior e instalación del racor | 63 |
| Figura 21. Parte posterior del analizador de O ₃ | 64 |
| Figura 22. Resultados arrojados por medidor | 64 |
| Figura 23. Concentración de O ₃ celda 10x10 | 65 |
| Figura 24. Concentración de O ₃ celda 5x5 | 66 |
| Figura 25. Multímetro SUNWA | 69 |
| Figura 26. Medidor de corriente KEW SNAP 2903 | 70 |
| Figura 27. Resultados de corriente | 70 |
| Figura 28. Cálculos a 7 grados con EES | 73 |
| Figura 29. Cálculos a 7 grados con EES | 74 |
| Figura 30. Cálculos a -20 grados con EES | 75 |
| Figura 31. Cálculos a -20 grados con EES | 76 |
| Figura 32. Carne recién comprada a proveedor | 79 |
| Figura 33. Carne refrigerada sin ozono al tercer día | 79 |
| Figura 34. Carne refrigerada sin ozono al quinto día | 80 |
| Figura 35. Carne refrigerada sin ozono al séptimo día | 80 |
| Figura 36. Carne refrigerada sin ozono al noveno día | 81 |
| Figura 37. Carne refrigerada sin ozono al undécimo día | 82 |
| Figura 38. Carne refrigerada sin ozono al décimo tercer día | 82 |

| | |
|---|----|
| Figura 39. Carne al momento de la compra | 83 |
| Figura 40. Carne refrigerada con ozono al tercer día | 84 |
| Figura 41. Carne refrigerada con ozono al quinto día | 84 |
| Figura 42. Carne refrigerada con ozono al séptimo día | 85 |
| Figura 43. Carne refrigerada con ozono al noveno día | 86 |
| Figura 44. Carne refrigerada con ozono al undécimo día | 86 |
| Figura 45. Carne refrigerada con ozono al décimo tercer día | 87 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Efectos del ozono a diferente concentración | 30 |
| Tabla 2. Temperaturas mínimas y máximas para septiembre de 2016 | 34 |
| Tabla 3. Temperaturas máximas y promedio para septiembre de 2016 en Bucaramanga | 36 |
| Tabla 4. Cálculo de áreas de superficie | 37 |
| Tabla 5. Fragmento de catálogo Airmed Refrigeration & Air Conditioning | 45 |
| Tabla 6. Temperatura y tiempos de operación | 71 |
| Tabla 7. Temperatura y tiempos de operación | 72 |
| Tabla 8. Formato de resultados entregado por LabAlime | 88 |
| Tabla 9. Carne refrigerada sin ozono a los cero días | 89 |
| Tabla 10. Carne refrigerada sin ozono al quinto día | 90 |
| Tabla 11. Carne refrigerada sin ozono al décimo quinto día | 91 |
| Tabla 12. Carne refrigerada con ozono a los cero días | 92 |
| Tabla 13. Carne refrigerada con ozono al quinto día | 93 |
| Tabla 14. Carne refrigerada con ozono al décimo quinto día | 94 |
| Tabla 15. Comparación de coliformes de con y sin ozono | 95 |
| Tabla 16. Comparación del consumo energético | 95 |

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Cálculo de cargas

Anexo B. Catálogo de compresores AIRMEND

Anexo C. Planos del sistema de refrigeración

Anexo D. Procedimiento de análisis microbiológico de alimentos

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS POR ACCIÓN COMBINADA DE LA REFRIGERACIÓN Y UN AGENTE ANTIBACTERIAL

AUTOR: JHON JAIRO DUARTE HERRERA, JULIÁN ALBERTO MORENO MORENO**

PALABRAS CLAVES: Refrigeración, Ozono, Nevera, Antibacterial, Carne.

DESCRIPCIÓN: Con el propósito de un uso más eficiente de la energía y de obtener una mayor durabilidad de los alimentos perecederos, se implementó un sistema que utiliza la acción combinada de un agente antibacterial y la refrigeración, para mantener los productos cárnicos aptos para el consumo con un gasto energético mucho menor al utilizado en el mercado actual.

En este documento se expone el proceso realizado para el diseño de un sistema de refrigeración, tomando en cuenta como principal factor el consumo energético y lo amigable que pueda llegar a ser con el ambiente; también se muestra el diseño y construcción de un sistema generador de ozono exponiendo sus diversas formas de generación y seleccionando la más adecuada para el objetivo del presente proyecto, enfocándose en su simplicidad y facilidad de fabricación todo con el fin de obtener una reducción de las bacterias que generan la descomposición en los alimentos, sin llegar a alcanzar los niveles de ozono tóxicos para el ser humano.

Una vez se construyó el sistema completo, se procedió a realizar unas pruebas comparando la duración de las carnes en ambientes que utilizaran solo la refrigeración, con ambientes en donde esta misma se utilizaba junto con el generador de ozono construido, esto ayudó a comparar la velocidad de degeneración de la carne tomando como evidencias sus propiedades organolépticas (color, olor, sabor y textura) y el número bacterias que ocasionan su descomposición encontradas en las carnes, donde se pudo concluir que el ozono tiene una gran eficiencia eliminando bacterias en los alimentos, retardando su descomposición, lo cual hace posible mantenerlos a una mayor temperatura y de esta forma obtener un ahorro energético.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ing. Mecánico Omar Armando Gélvez Arocha.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SYSTEM FOR THE CONSERVATION OF MEAT PRODUCTS BY COMBINED ACTION REFRIGERATION AND ANTIBACTERIAL AGENT*

AUTHOR: JHON JAIRO DUARTE HERRERA, JULIÁN ALBERTO MORENO MORENO**

KEY WORDS: Cooling, Ozone, Refrigerator, Antibacterial, Meat.

SUMMARY: With the purpose of a more rational use of energy and gain a greater durability of perishable foods, It was implemented a system that uses the combined action of an antibacterial agent and low temperatures in order to maintain the meat products fit for consumption with less energy expenditure than current market uses now.

This document describes the process made to design a cooling system, taking the energy consumption as the main factor and how friendly it can become with the environment, the design and construction of an ozone generator system is also shown, explaining its different forms of generation and selecting the most suitable for the objective of this project, focusing on simplicity and easy manufacture, to achieve a reduction in decomposition bacteria in food without reaching toxic levels of ozone for humans.

Once the entire system was built, we proceeded to make some tests comparing the length of the meat in environments that will use only cooling in environments where the same was used along with the ozone generator built, this helped to compare rate degeneration of meat taking as evidence the organoleptic properties (color, smell, taste and texture) and the number bacteria that cause decomposition and also found in meat, where it was concluded ozone has a great efficiency eliminating bacteria in food, slowing decomposition, which makes possible to keep it in a higher temperature and thus obtain energy savings.

*Degree Work

**Physic Mechanical Faculty of Engineering, School of Mechanical Engineering, Director: Mechanical Engineer Omar Armando Gélvez Arocha.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca ser una pauta en investigación sobre el uso del ozono en sistemas de refrigeración. De esta manera, gracias a los avances de la tecnología podemos encontrar diversas formas para tratar y conservar los alimentos, por ejemplo: los conservantes artificiales (que tanto se encuentran en los alimentos y tanto daño hacen a la salud pública), la refrigeración y algunos métodos alternativos no muy estudiados e investigados hasta el momento.

El empleo de las cámaras de refrigeración, se ha hecho indispensable en la conservación de productos perecederos, tales como la carne, pescados, huevos, frutas, quesos, etc. Es por ello interesante estudiar los problemas que se presentan, así como sus soluciones.

El frío por sí sólo no resuelve el problema de la conservación además de ser excesivamente costoso. Inmoviliza los gérmenes de putrefacción, que cuando llegan a ser autorresistentes, recobran todo su vigor en cuanto encuentran un clima favorable; atenúa el desprendimiento de olores, pero no los elimina. La desodorización y la desinfección de las cámaras frigoríficas van generalmente juntas.

Este trabajo de grado se enfocó en investigar cómo funcionan, qué tan viables son y cuál es el ahorro energético supuesto de la utilización del método más común para conservar carne, es decir la refrigeración en acción combinada con un método alterno y complementario: el ozono.

El ozono en cámaras frigoríficas alcanza perfectamente los dos fines perseguidos: la desinfección y la desodorización del aire del local.

En este proyecto de grado, se construyó un prototipo frigorífico y generador de ozono que fue utilizado para hacer pruebas técnicas medibles de las colonias microbianas halladas en diferentes tratamientos de refrigeración con y sin ozono, para de esta manera contraponer los resultados de un tratamiento de refrigeración con la ayuda o no de este agente desinfectante.

El presente libro explica de manera detallada los temas mencionados anteriormente. Los capítulos se organizaron con el objetivo de lograr una mayor comprensión del trabajo realizado de la siguiente manera:

1. Importancia y objetivos del proyecto: En esta parte del libro se incluyen el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto, así como el planteamiento del problema y la justificación del mismo.

2. Selección del agente antibacterial: Presenta una idea general del Proceso de descomposición de la carne y los microorganismos que la producen; así como un vistazo general a los agentes antibacteriales más comunes para uso en alimentos y una selección del más óptimo para el presente proyecto.

3. Sistema de refrigeración: tiene como objeto establecer una temperatura de operación del sistema de refrigeración, basado en esto se calculará la carga térmica. Teniendo estos parámetros ya definidos se realizará la selección de un equipo de refrigeración que cumpla con las condiciones ya mencionadas.

4. Circuito de ozono: Se contemplarán los parámetros que influyen en la generación de ozono: técnica de generación, nivel de tensión, celda generadora entre otros.

5. *Pruebas y cálculos*: Presenta una definición de las pruebas hechas, el procedimiento explicado en orden lógico, el equipo utilizado y cálculos tipo.

6. *Análisis de resultados*: Esta sección muestra los resultados obtenidos a partir de pruebas microbianas de laboratorio, para así hacer un cuadro comparativo de la relación costo-beneficio del ozono en sistemas de refrigeración.

7. *Conclusiones*: En este capítulo podemos identificar y concluir si los objetivos planteados fueron cumplidos y el análisis del proyecto en general.

8. *Recomendaciones*.

9. *Anexos*: En esta sección se tiene toda la información complementaria referente al proyecto como lo es marco teórico, resultados de laboratorio, hojas de especificaciones, planos y demás

1. IMPORTANCIA Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El desabastecimiento alimentario es un problema latente a nivel mundial, esto puede deberse a bajos niveles de producción o al rápido deterioro de ellos. Los alimentos se descomponen debido a la combinación o acción separada de variables como la temperatura, el oxígeno y los microorganismos, principalmente. Además, el efecto de estos últimos aumenta a medida que el nivel de agua en los alimentos incrementa. La refrigeración es el método más utilizado para la conservación alimentaria, pero esto tiene un costo bastante elevado.

Este documento presenta la planeación y ejecución del diseño mecánico de un refrigerador, que funcione en presencia de un agente antibacterial. Con esta investigación se busca brindar a futuro una alternativa que pueda disminuir el impacto ambiental generado por este tipo de equipos, reduciendo los costos de energía debido a la necesidad de refrigeración, pero sin dejar atrás el cuidado de los alimentos ayudando a retardar la descomposición de estos mismos por medio de un agente antibacterial que se seleccionará para ayudar a combatir la desnutrición y el desperdicio de alimentos a nivel mundial.

Existen muchas maneras de combatir la descomposición, por ejemplo: deshidratar los productos hace parte de otra alternativa la cual implica alterar sus propiedades, e incrementar su costo comercial. Otra alternativa, la cual es aplicada en este trabajo implica la utilización de un agente antibacterial para eliminar los microorganismos y contrarrestar los malos olores, paralelamente con su refrigeración. Por otra parte los refrigeradores actuales se consideran verdes, pero aun así consumen considerable energía. Además, algunos alimentos se dañan a pesar de estar bajo refrigeración.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En la búsqueda por el mejoramiento metodológico donde el estudiante logre asimilar más fácilmente la información suministrada por los profesores, y viendo la necesidad de mejorar la conservación cárnica a costos más bajos se propone el diseño de un refrigerador con bajo consumo de energía, al integrar durante su funcionamiento un agente antibacterial que ataque la causa principal de la descomposición de alimentos y de la generación consecuente de malos olores.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo general. En concordancia con la visión y misión de la escuela de ingeniería mecánica y la Universidad Industrial de Santander se desarrollará un refrigerador con el fin de ayudar en la conservación de los productos cárnicos disminuyendo los consumos de corriente de los conservadores actuales en pro con el medio ambiente y la sociedad.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un prototipo de una cabina para la conservación de carnes que funcione combinando el efecto del enfriamiento del producto con la acción antibacterial del ozono con una capacidad volumétrica de 170 [L] y un rango de operación de 0 a 10 [°C] aproximadamente, para lo cual se deberá:
- Diseñar el sistema de refrigeración que tendrá la cabina conservadora a la temperatura ya especificada.
- Diseñar el sistema generador de ozono con una concentración de 2 -3 PPM, que son los niveles saludables y su respectivo sistema de control.

- Determinar el ahorro energético que se puede llegar a lograr con este nuevo diseño comparándolo con el consumo de los conservadores cárnicos convencionales.
- Medir la reducción en días de la descomposición de las carnes en un ambiente combinado entre la refrigeración y el agente antibacterial comparándolo con el ambiente y un conservador cárnico normal.

2. SELECCIÓN DEL AGENTE ANTIBACTERIAL

En este capítulo se presenta una idea general del proceso de descomposición de la carne y los microorganismos que la producen; así como un vistazo general a los agentes antibacteriales más comunes para uso en alimentos y una selección del más óptimo para el presente proyecto.

2.1 PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA CARNE Y LOS MICROORGANISMOS QUE LA OCASIONAN

El tejido muscular vacuno en su estado natural es rico en proteínas, y contiene unas microfibrillas, las cuales ofrecen una defensa contra los microorganismos que después del debido proceso de descuartizamiento y picado se convierten en una protección prácticamente nula. El cuero, el pelo y las pezuñas contienen grandes cantidades de bacterias, levaduras y mohos, los cuales son transmitidos al músculo mientras ocurre el desmembramiento y picado del animal. Esto sin contar que en el pelaje también se encuentran restos de excremento y que si en el proceso de retirar las vísceras, se rompe el intestino la proliferación de microorganismos en el tejido muscular va a cundir. A todo lo anterior es necesario sumarle los microorganismos presentes en las mesas, cuchillos, pisos, paredes y manos de los encargados de los menesteres posteriores a la muerte del animal.

En la superficie del tejido muscular crecen los organismos aeróbicos y en el interior de este crecen los anaeróbicos. Los síntomas más evidentes de la carne en descomposición son cambio en su color, cambio en su textura, formación de limo en la superficie, desarrollo de mal olor y un sabor agrio.

El proceso de descomposición se ve afectado por una serie de factores tales como la cantidad de microorganismos iniciales, la humedad de la carne, y la temperatura

a la que esté expuesta, por lo tanto no existen tiempos fijos para este proceso, además que según sean las circunstancias particulares a las que este expuesto el cárnico se desarrollarán ciertos tipos de microorganismos particulares, esto debido a que no todos los escenarios favorecen por igual a todos los microbios.

En nuestro caso particular se asumirá que la carne es mantenida en su respectiva cadena de frío, y lo tanto se encuentra a temperaturas menores a los 4°C y por ende los microorganismos que se desarrollarán con más facilidad en estas condiciones son algunos mohos y levaduras como *Cladosporium herbarum*, *Geomyces pannorum*, especies de *Mucor*, *Thamnidium*, *Penicillium* o *Rhizopus*, *Candida* y *Torulopsis* o *Rhodotorula*. Pero los hongos mencionados anteriormente no son los únicos microbios que sobreviven por debajo de los 4°C, también encontramos las bacterias psicrótrofas, dentro las cuales se encuentran especies de *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Brochothrix thermosphacta*, y algunas *Enterobacteriaceae* y *Lactobacillaceae*.

La descomposición se debe únicamente a las bacterias, siendo la familia de las *Enterobacteriaceae* la más importante de este proceso, a esta familia pertenecen las *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Moraxella* y *Aeromonas*. Muy pocas especies de *Enterobacteriaceae* pertenecen a las psicrótrofas, es decir, que pueden desarrollarse adecuadamente por debajo de los 4°C. Esta información nos demostró porque pese a que en estado de refrigeración e incluso congelación el proceso de descomposición se retarda, estos productos cárnicos siguen conteniendo una gran cantidad de bacterias¹.

¹ CARRILLO, Leonor y AUDISIO, Marcela. Manual de microbiología de los alimentos. San Salvador de Jujuy: Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Agrarias, UN JU, 2007. p. 102-115

2.1.1 Definición de coliformes. La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

Coliforme significa con forma de coli, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*, descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor von Escherich en 1860.

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, aún existen muchos coliformes de vida libre.

2.2 TEMPERATURAS ADECUADAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS CARNES

La necesidad de mantener los alimentos en una cadena de frío es de gran importancia, ya que esto es lo que evita la descomposición del producto, la cual es la culpable de la muerte de 150.000 personas a nivel mundial.

Los productos cárnicos son considerados alimentos altamente perecederos ya que son aquellos que al contacto con el aire se descomponen más rápidamente, debido a su alto contenido de agua y nutrientes; representan el máximo riesgo de intoxicaciones. Las cadenas de frío en los productos cárnicos requieren mantener unas temperaturas mínimas establecidas, ya que esto a pesar de no eliminar a los microorganismos, detiene su crecimiento, así que mantener la cadena de frío

termina siendo fundamental para poder garantizar el buen estado del producto, pero este proceso debe estar presente durante todo el proceso de la carne, desde su producción, hasta su transporte, almacenamiento y distribuidores para que pueda terminar siendo un producto.

Las temperaturas a las que se debe mantener el producto vienen ligadas directamente con los microorganismos, su proliferación y el efecto que tienen porque cuando la temperatura disminuye, se reduce de forma considerable la velocidad de crecimiento de la mayoría de los microorganismos hasta detenerla, así como de las reacciones enzimáticas, por lo que el alimento prolonga considerablemente su conservación y disminuir su riesgo microbiológico.

- - 4 °C a - 7 °C: Se inhibe el crecimiento de los microorganismos patógenos. Estos son los que producen enfermedades a través de infecciones o toxinas que provocan intoxicaciones.
- - 10 °C: Se inhibe el crecimiento de los microorganismos alterantes responsables de la degradación de alimentos.
- - 18 °C: Se inhiben todas las reacciones responsables de la decoloración de los productos, esta es la temperatura fijada como estándar de congelación para la cadena de frío internacional.
- - 70 °C se detienen completamente todas las reacciones producidas por los microorganismos, por lo que se dice que el producto serviría indefinidamente.

2.3 AGENTES ANTIBACTERIALES QUE COMBATEN LA DESCOMPOSICIÓN CÁRNICA

Los conservantes sintéticos son colocados artificialmente en la carne. El 70% de toda la carne animal producida y vendida en el mundo contiene dichos conservantes. Algunos de estos conservantes pueden afectar seriamente la salud de los consumidores de carne animal.

2.3.1 Benzoato de sodio, proprionato de sodio y ácido benzoico. En combinación con el ácido ascórbico (la vitamina C), el benzoato de sodio y el benzoato de potasio forman benceno, un poderoso cancerígeno. Si alguien consume alguna de estas sustancias luego de consumir vitamina C, podría desencadenarse un proceso cancerígeno. Muchas compañías a nivel mundial usan estas sustancias para retrasar o mitigar el proceso de putrefacción de la carne.

2.3.2 Nitritos/Nitratos. Estas sustancias inhiben el crecimiento de bacterias y mejoran el color. Los nitritos se usan en cerdo, carne de res y pollo para este fin; los nitratos, en cambio, se añaden al jamón y el tocino, dándoles su característico tono rosáceo. Algunos países lo utilizan en pescado también. Cuando los nitritos y nitratos se unen a ciertos aminoácidos forman nitrosaminas, las cuales también son conocidos cancerígenos.

2.3.3 Sulfitos. Mantienen el color de la comida y prolongan su vida en anaquel. Su peligro radica en que pueden desencadenar asma o reacciones anafilácticas. Los asmáticos pueden reaccionar al sulfito en forma de síntomas alérgicos, y por esta razón es que los sulfitos aparecen en las etiquetas de muchos productos preempacados, con la eufemística leyenda de que “pueden contener” o “podrían contener restos” de sulfito y/o sus derivados.

2.3.4 Trombina. La trombina es la proteína coagulante que, junto a la fibrina que contiene la fibra de la carne, produce una enzima que mantiene distintos pedazos de carne junta. Se fabrica con sangre de vacas o cerdos. El problema con la trombina es que engaña a los consumidores haciéndoles que el pollo de los nuggets que tanto disfrutaban los niños es en realidad cualquier cosa.

2.3.5 Monóxido de carbono. El monóxido de carbono (CO) es incoloro, inodoro y sin sabor, puede ser sumamente tóxico en muy bajas concentraciones. El CO es

tóxico porque se adhiere a la hemoglobina, la molécula de la sangre que lleva el oxígeno. Al exponernos a altos niveles de CO, el gas toma el lugar del oxígeno en el torrente sanguíneo. Dosis leves pueden provocar jaquecas, confusión y cansancio; las altas concentraciones pueden causar desmayos y la muerte. Las consecuencias de exposiciones prolongadas también pueden provocar consecuencias neurológicas graves.

La temperatura de los anaqueles del supermercado no siempre es la que indican los termómetros. No consideran la luz ultravioleta de los mismos anaqueles. Como consecuencia de esto la carne se descompone rápidamente bajo los aparadores, así que el CO entra en su auxilio como conservador de la apariencia fresca y jugosa que vemos al comprarla, dándole un bonito color rojo.

La carne es tratada con CO para prevenir el crecimiento de bacterias en la carne en descomposición, con el añadido estético de que la descomposición no es notable. Sin embargo, bacterias como la *cloridium perfringens* han sido encontradas en carne recién comprada de los aparadores².

2.3.6 Tratamiento con ozonos. En el tratamiento de carnes el ozono logra óptimos resultados incluso ante las más altas exigencias, pues su gran poder germicida limpia la superficie de las carnes y consigue una desinfección inocua para la salud, alargando la frescura y evitando las mezclas de olores y sabores.

La calidad microbiológica de la carne se garantiza gracias a potentes ozonizadores que disuelven el gas en agua o aire, fabricados de forma estándar o

² LONGO, Natasha. Still Eat Conventional Meat or Poultry?. Disponible en internet: <<http://ecoosfera.com/2013/05/estos-son-los-conservadores-y-quimicos-en-la-carne-que-consumes>>

bien diseñados a la medida de las necesidades del cliente, ya sea a nivel industrial o profesional.

En las industrias de procesamiento alimentario que trabajan con carne como materia prima el ozono realiza una gran labor en limpieza de instalaciones y en muchas de las fases de fabricación, tanto en lo que respecta a conservación o almacenaje como en su elaboración hasta obtenerse el producto final.

La manipulación de la carne en carnicerías o su preparación en cocinas de restaurantes o comedores comunes, pongamos por caso, también se puede beneficiar del ozono para combatir la proliferación de microorganismos durante su conservación y cocinado, mejorando también la frescura de otros alimentos frescos³.

2.4 AGENTE ANTIBACTERIAL SELECCIONADO

2.4.1 Conclusión del porqué del ozono como alternativa elegida. El ozono, además de tener una excelente eficacia en la conservación de los alimentos, es muy eficaz como desinfectante y conservante para productos como la carne, el pescado, el marisco, las frutas, las hortalizas, los quesos o los huevos, entre otros. Este tratamiento podría ser la mejor alternativa a los métodos llevados a cabo hoy en día, basados en el uso de productos químicos para lograr una total desinfección, sobre todo en vegetales y productos cárnicos. La aplicación de ozono es inocua y posible en una amplia gama de productos, ya que tiene la peculiar característica de expandirse por todo el espacio refrigerado.

³ COSEMAROZONO. Generadores de ozono para el tratamiento de carnes. Disponible en internet: <<http://www.cosemarozono.es/blog/2013/01/generadores-de-ozono-para-el-tratamiento-de-carnes/>>

La carne, por su elevado contenido en grasas y proteínas, es un alimento muy perecedero. Se debe conservar a temperaturas bajas, aunque su efecto en los patógenos no es determinante, es decir, el frío no los mata, sino que los retarda hasta que se retiran del frigorífico o del congelador. Con el uso del ozono se destruyen por completo y se garantiza una asepsia total.

Como cualquier otro desinfectante y/o conservante, el ozono tiene efectos perjudiciales para el ser humano a altas concentraciones o a exposiciones prolongadas de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 1. Efectos del ozono a diferente concentración

| Efectos del ozono | Concentración (PPM) |
|---|---------------------|
| Umbral olfativo | 0,1 |
| Máximo límite de exposición durante 10 horas | 0,1-1 |
| Irritación de la nariz y la garganta a exposición de más de 2 horas | 1-5 |
| Fatiga, dolor de pecho y garganta seca por más de 1 hora | 5-15 |
| Dolor de cabeza, trastornos de coordinación, posible coma | 15-30 |
| Inmediatamente peligroso para la vida y la salud | 30-100 |
| Letal para pequeños animales en menos de 2 horas | >100 |

Sin embargo, el ozono a diferencia todos los demás desinfectantes y/o conservantes después de hacer su trabajo en la conservación cárnica, el único residuo que deja es oxígeno puro.

Es importante mencionar que los trabajadores nunca estarán expuestos por periodos mayores a 3 minutos.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El presente capítulo tiene como objeto establecer una temperatura de operación del sistema de refrigeración, con base en esto se calculará la carga térmica. Teniendo estos parámetros ya definidos se realizará la selección de un equipo de refrigeración que cumpla con las condiciones ya mencionadas.

3.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A CONSTRUIR

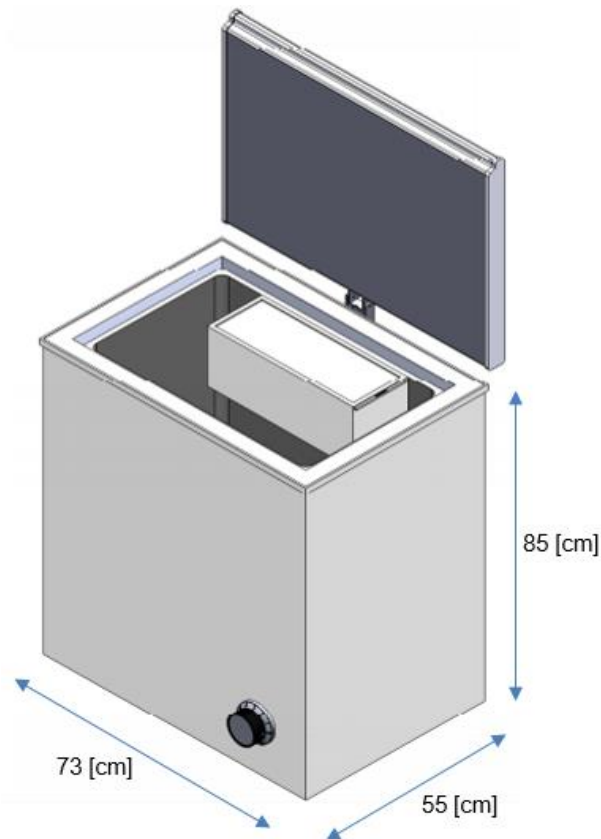
Los factores principales a seleccionar para la construcción del prototipo son:

- Temperatura de operación
- Capacidad Volumétrica

Los congeladores cárnicos mantienen la carne en óptimas condiciones a una temperatura aproximada de -18° Centígrados, lo cual conlleva a un consumo energético bastante elevado. La única forma de disminuir dicho consumo es aumentando la temperatura a la que queremos conservar el alimento, es por esta razón que se ha escogido una temperatura de un rango de 0 a 10°C . En este rango de temperatura los productos cárnicos perecerían rápidamente, es allí donde un agente antibacterial combatiría conjuntamente con la refrigeración el proceso de descomposición.

En base a los objetivos del proyecto donde se habla de la construcción de un prototipo de aproximadamente 170 L de volumen se han seleccionado unas medidas exteriores de $0,85 \times 0,73 \times 0,55$ [m].

Figura 1. Dimensiones reales del prototipo



Como se aprecia en la figura 1, estas medidas al ser las exteriores, van directamente ligadas al material aislante y el grosor de las paredes para poder determinar una capacidad volumétrica total, tomando en cuenta que el poliuretano es el material aislante más efectivo que existe entre los que son asequibles en el mercado además de ser uno de los más utilizados en los congeladores cárnicos es el que se utilizará para el presente prototipo, un aislante térmico de poliuretano de 45 [mm] de espesor recubierto por dos láminas de acero de calibre 14 que equivalen a 1,9 [mm] cada una como se muestra en la figura 2, de esta manera el interior tendrá una capacidad real de 150 [L]

Figura 2. Aislante térmico de pared en corte

Aislante poliuretano rígido 45 [mm]



Lámina calibre 14

3.2 CÁLCULOS DE LA CARGA TÉRMICA

Ya establecido el rango de temperatura de operación del diseño a construir (0 a 10 [°C]), se procede a determinar la carga térmica a extraer del sistema de refrigeración.

3.2.1 Carga térmica a extraer. La carga térmica a extraer es un dato necesario para poder determinar la capacidad del compresor. Esta se determina por medio de un balance térmico con el cual se determinan unas cargas térmicas parciales.

3.2.2 Cargas térmicas parciales. A pesar de que existen muchos factores que afectan la carga térmica de un sistema de refrigeración, solo se tendrán en cuenta algunos, ya que para el prototipo a construir no se tomarán en cuenta algunas cargas como la carga térmica generada por efecto solar o generado por ocupantes.

Determinación de la temperatura ambiente: En la ciudad de Bucaramanga, lugar destinado para las pruebas se presentaron las siguientes condiciones climatológicas para el mes de septiembre de 2016.

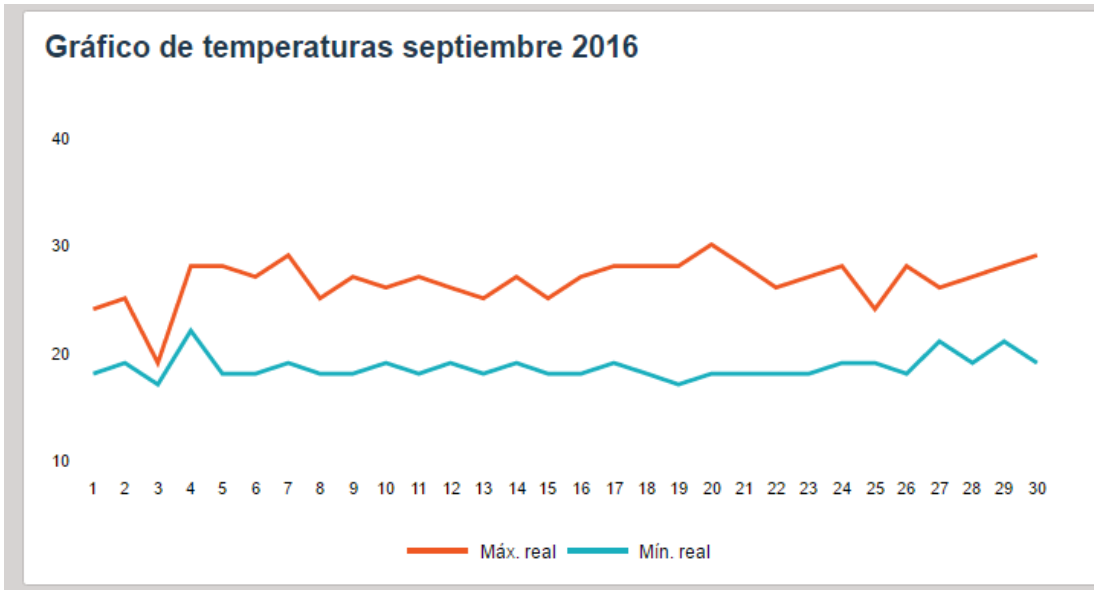
Tabla 2. Temperaturas mínimas y máximas para septiembre de 2016

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| DO. 28/08 Temp. real 28°/18° Media histórica N/D | LU. 29/08 Temp. real 27°/18° Media histórica N/D | MA. 30/08 Temp. real 26°/18° Media histórica N/D | MI. 31/08 Temp. real 26°/18° Media histórica N/D | JU. 01/09 Temp. real 24°/18° Media histórica N/D | VI. 02/09 Temp. real 25°/19° Media histórica N/D | SÁ. 03/09 Temp. real 19°/17° Media histórica N/D |
| DO. 04/09 Temp. real 28°/22° Media histórica N/D | LU. 05/09 Temp. real 28°/18° Media histórica N/D | MA. 06/09 Temp. real 27°/18° Media histórica N/D | MI. 07/09 Temp. real 29°/19° Media histórica N/D | JU. 08/09 Temp. real 25°/18° Media histórica N/D | VI. 09/09 Temp. real 27°/18° Media histórica N/D | SÁ. 10/09 Temp. real 26°/19° Media histórica N/D |
| DO. 11/09 Temp. real 27°/18° Media histórica N/D | LU. 12/09 Temp. real 26°/19° Media histórica N/D | MA. 13/09 Temp. real 25°/18° Media histórica N/D | MI. 14/09 Temp. real 27°/19° Media histórica N/D | JU. 15/09 Temp. real 25°/18° Media histórica N/D | VI. 16/09 Temp. real 27°/18° Media histórica N/D | SÁ. 17/09 Temp. real 28°/19° Media histórica N/D |
| DO. 18/09 Temp. real 28°/18° Media histórica N/D | LU. 19/09 Temp. real 28°/17° Media histórica N/D | MA. 20/09 Temp. real 30°/18° Media histórica N/D | MI. 21/09 Temp. real 28°/18° Media histórica N/D | JU. 22/09 Temp. real 26°/18° Media histórica N/D | VI. 23/09 Temp. real 27°/18° Media histórica N/D | SÁ. 24/09 Temp. real 28°/19° Media histórica N/D |
| DO. 25/09 Temp. real 25°/19° Media histórica N/D | LU. 26/09 Temp. real 28°/19° Media histórica N/D | MA. 27/09 Temp. real 26°/21° Media histórica N/D | MI. 28/09 Temp. real 27°/19° Media histórica N/D | JU. 29/09 Temp. real 28°/21° Media histórica N/D | VI. 30/09 Temp. real 29°/19° Media histórica N/D | SÁ. 01/10 Temp. real 26°/18° Media histórica N/D |

Fuente: Página de internet: <<http://www.accuweather.com/es/co/bucaramanga/111417/month/111417?monyr=9/01/2016>>

La anterior tabla muestra un informe diario de las temperaturas mínimas y máximas alcanzadas en Bucaramanga durante el mes de septiembre de 2016 por parte de AccuWeather.

Figura 3. Gráfico de temperaturas septiembre 2016



Fuente: Página de internet: <<http://www.accuweather.com/es/co/bucaramanga/111417/month/111417?monyr=9/01/2016>>

Debido a que el sistema diseñado de refrigeración debe cumplir su función bajo la condición más adversa, se determinará una temperatura máxima promedio durante todo el mes para el cálculo de las cargas a extraer.

Al ser 27 el entero más cercano por encima a la temperatura promedio, será esta la temperatura usada para los cálculos de cargas térmicas (Ver tabla 3).

Tabla 3. Temperaturas máximas y promedio para septiembre de 2016 en Bucaramanga

| Día | Temperatura máx. [°C] | Promedio [°C] |
|-----|-----------------------|---------------|
| 1 | 24 | 26,7 |
| 2 | 25 | |
| 3 | 19 | |
| 4 | 28 | |
| 5 | 28 | |
| 6 | 27 | |
| 7 | 29 | |
| 8 | 25 | |
| 9 | 27 | |
| 10 | 26 | |
| 11 | 27 | |
| 12 | 26 | |
| 13 | 25 | |
| 14 | 27 | |
| 15 | 25 | |
| 16 | 27 | |
| 17 | 28 | |
| 18 | 28 | |
| 19 | 28 | |
| 20 | 30 | |
| 21 | 28 | |
| 22 | 26 | |
| 23 | 27 | |
| 24 | 28 | |
| 25 | 25 | |
| 26 | 28 | |
| 27 | 26 | |
| 28 | 27 | |
| 29 | 28 | |
| 30 | 29 | |

Carga térmica a extraer debida a la transmisión por paredes: Esta carga es la que se transmite a través de las paredes; a pesar de que se utiliza un aislante térmico bastante eficiente, la transferencia proveniente del exterior no se puede anular totalmente y la forma de calcularla es a través de la siguiente ecuación.

$$Q_{pared} = S * U * \Delta T$$

Donde:

Q_{pared} : Cantidad de calor transferido por la pared [W] o $\left[\frac{Kcal}{h}\right]$

| | | |
|--------------|--|--|
| S : | Superficie o área de las paredes en | $[m^2]$ |
| U : | Coefficiente de conductividad térmica | $\left[\frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C} \right]$ |
| ΔT : | Delta de temperatura ambiente y cámara | $[^\circ C]$ |

Superficie: La superficie está dada por dos paredes laterales, dos paredes frontales un techo y un piso, la suma total de áreas da una superficie de total de 2,979 $[m^2]$, explicada en detalle en la siguiente tabla.

Tabla 4. Cálculo de áreas de superficie

| Ítem | Ancho [m] | Largo [m] | Cantidad | Área $[m^2]$ |
|-------------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| Paredes laterales | 0,55 | 0,85 | 2 | 0,935 |
| Paredes frontales | 0,73 | 0,85 | 2 | 1,241 |
| Techo | 0,73 | 0,55 | 1 | 0,4015 |
| Piso | 0,73 | 0,55 | 1 | 0,4015 |
| Total | | | | 2,979 |

Coefficiente de conductividad térmica: El coeficiente de conductividad térmica expresa la cantidad o flujo de calor que pasa, por unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie de una muestra del material, de extensión finita. La cámara térmica posee paredes con un espesor de 50 [mm] y están hechas de poliuretano cuya conductividad térmica es:

$$U_{poliuretano} = 0.4 \left[\frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C} \right]$$

Los coeficientes varían en relación a la temperatura, grado de compresión y calidad del fabricante, es por esto que para efectos prácticos se multiplican por un factor de seguridad de 1.25, así:

$$U_{poliuretano} = 0.5 \left[\frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C} \right].$$

Delta de temperatura: Como se había dicho en la determinación de la temperatura ambiente, esta corresponde a 27 [°C], y la temperatura deseada para cálculos de carga térmica es 3 [°C], entonces $\Delta T = 27 - 3 = 24$.

Reemplazando:

$$Q_{pared} = S * U * \Delta T = 2,979 [m^2] * 0,5 \left[\frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C} \right] * 24 [^\circ C]$$
$$Q_{pared} = 35,748 \left[\frac{Kcal}{h} \right] = 41,58 [W]$$

Carga térmica a extraer debida a la infiltración de aire: La carga térmica generada por infiltración de aire es la misma que se genera cada vez que abrimos y cerramos las puertas del conservador cárnico en donde se genera un intercambio entre el aire interno y el externo, esta carga térmica va directamente ligada con el servicio que preste la cámara frigorífica pues es función del número de aperturas que se le da por día, para así determinar un factor de servicio, que para aperturas constantes corresponde a un 25%⁴. Que será multiplicado por la carga de paredes

$$Q_{InfiltraciónAire} = \%_{servicio} * Q_{pared} = 0,25 * 41,58 [W]$$
$$Q_{InfiltraciónAire} = 10,4 [W]$$

Carga térmica a extraer debida al producto: El producto es a quien principalmente debemos retirar el calor para mantenerlo en el estado de conservación que deseamos, para el presente proyecto como ya es de saber se utilizara como producto la carne, la carga térmica de esta se determina a través de:

⁴ ALARCON, Jose Creus. Tratado práctico de refrigeración automática. Barcelona: Marcombo, 2005. p. 267

$$Q_{\text{producto}} = \text{Kilos} * (T_e - T_i) * C_e$$

Donde:

| | | |
|-------------------------|---|------------------------|
| Q_{producto} : | Calor a extraer de la cámara debido al producto | [KJ] |
| Kilos: | Cantidad de producto | [Kg] |
| ΔT : | Delta de temperatura ingreso carne y cámara | [°C] |
| C_e : | Coeficiente de calor específico de carne | $[\frac{KJ}{Kg * °C}]$ |

Kilos: debido a los costos y para no desperdiciar grandes cantidades de alimento, se seleccionó una muestra de 2 [KG] de carne.

ΔT : la carne viene desde el proveedor desde una cadena de frío y es entregado a 15 [°C]

C_e : el coeficiente de calor específico de las carnes varía dependiendo del tipo de carne, en este caso se seleccionará el C_e correspondiente a la carne de aves, pues es el más crítico, de esta manera $C_e = 3,64 [\frac{KJ}{Kg * °C}]$.

De este modo se puede calcular la energía total a extraer en [KJ], reemplazando:

$$Q_{\text{producto}} = \text{Kilos} * (T_e - T_i) * C_e = 2 [Kg] * 12[°C] * 3,64[\frac{KJ}{Kg * °C}]$$

$$Q_{\text{producto}} = 87,36 [KJ]$$

Ahora debemos tener en cuenta que el dato que buscamos es de potencia en [W], no de energía en [KJ]. Para esto dividiremos la cantidad de energía en un tiempo estimado de 0,5 horas para evitar la descomposición cárnica.

$$\text{Tiempo} = 0,5 [h] = 1800 [s]$$

$$Q_{\text{prod}} = \frac{Q_{\text{producto}}}{\text{Tiempo}} = \frac{87,36 [KJ]}{1800 [s]}$$

$$Q_{\text{prod}} = 0,048533[KW] = 48,533 [W]$$

Carga térmica suplementaria a extraer: Además del calor transmitido al espacio refrigerado a través de las paredes, infiltración de aire y carga del producto, la ganancia de calor procedente de otras fuentes deberá incluirse para la estimación de carga de refrigeración total.

Iluminación y calefactores y motores eléctricos: Toda energía eléctrica disipada directamente en el espacio refrigerado como luces, calefactores, etc. Se convierte en calor y debe incluirse en la carga térmica.

$$Q_{\text{suplementario}} = Q_{\text{motor}} + Q_{\text{iluminación}} + Q_{\text{circuito}}$$

En este caso, todos los térmicos son datos conocidos y se pueden sumar de manera directa, entonces:

$$Q_{\text{motor}} = 25 [W]$$

$$Q_{\text{iluminación}} = 5 [W]$$

$$Q_{\text{circuito}} = 20 [W]$$

Sumando,

$$Q_{\text{suplementario}} = 50,3 [W]$$

3.2.3 Carga máxima total a extraer. Una vez calculadas todas las cargas de calor a extraer de la cámara de refrigeración en un momento dado de máxima condición de trabajo, es decir cuando todos los componentes se encuentren encendidos y el producto haya sido recién ingresado, se podrá calcular la carga máxima total a extraer sumando todas las cargas independientes, de este modo:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{pared}} + Q_{\text{InfiltraciónAire}} + Q_{\text{producto}} + Q_{\text{suplementario}}$$

Reemplazando:

$$Q_{\text{total}} = 41,58 [W] + 10,4 [W] + 48,533 [W] + 50,3 [W]$$

$$Q_{\text{total}} = 180,9 [W]$$

3.3 SELECCIÓN DE REFRIGERANTE

Los refrigerantes son indispensables para el buen funcionamiento de los sistemas de refrigeración o climatización. Si se usa un refrigerante inadecuado, el sistema no conseguirá trabajar al nivel deseado, lo cual significa un costo elevado en energía eléctrica y reducción en la vida útil de los aparatos, puede también ocasionar severos desgastes en el sistema en general, además de causar daño al medioambiente⁵.

Refrigerante seleccionado: El refrigerante R134a es el más utilizado en la industria actual y el de mayor asequibilidad, lo cual fue primordial en el momento de la selección, además de presentar las siguientes grandes ventajas:

- No contiene átomos de cloro, por lo cual no genera ningún daño a la capa de ozono.
- No es explosivo y tampoco tiene efectos corrosivos para el sistema de refrigeración.
- Tiene una alta conductividad térmica, lo que hace que el sistema tenga una buena eficiencia.
- No es tóxico y tampoco genera irritación en los humanos.
- Tiene una pureza superior al 99.9%.

3.4 TEMPERATURA DEL EVAPORADOR Y CONDENSADOR

La diferencia de temperatura es un elemento crítico en el diseño de un sistema de refrigeración, ya que gracias a ella existirá intercambio de calor en el evaporador y el condensador respectivamente.

⁵ TOTALINE. Refrigerantes. Disponible en internet: <http://www.totaline.com.ar/site/uploads/file_7-2007118114423-0.pdf>

La distancia entre dos valores fijos de temperatura es lo que conocemos como diferencia de temperatura, esta medida también se da en unidades de temperatura, y es de gran importancia ya que entre los elementos que participan en la diferencia se dan una serie de procesos y fenómenos, la transferencia de calor entre dos cuerpos se da través de un flujo de calor originado desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el de menor temperatura.

En un sistema de refrigeración, el refrigerante presenta transferencia de calor con su entorno en varias partes, pero hay dos de especial interés, el evaporador que trabaja a baja temperatura y el condensador que trabaja a alta temperatura.

En el evaporador el flujo de calor se presenta desde el aire que se requiere enfriar hacia el refrigerante, por lo tanto el refrigerante debe estar a una menor temperatura que el producto a refrigerar. El calor se transfiere del producto al aire, luego del aire a la tubería y en última instancia al refrigerante la diferencia de temperatura que debe tener el evaporador con el producto para que exista transferencia de calor depende del tipo del evaporador, pero un valor de referencia válido es 10 grados Centígrados.

En el condensador el flujo de calor se presenta desde el refrigerante hacia el medio condensante que puede ser aire, agua, u otro. Por lo tanto la temperatura del refrigerante debe ser mayor que la del medio mencionado.

En cuanto a la diferencia de temperatura que debe tener el condensador para con el medio condensante, al igual que en el evaporador depende de varios factores, algunos obvios son el tipo de refrigerante, la velocidad de circulación de este y su

flujo. Sin embargo, una diferencia de temperatura apropiada es de entre 15 y 20 grados centígrados⁶.

- Temperatura del evaporador: -5
- Temperatura del condensador: 45

3.5 SELECCIÓN DE LA UNIDAD MANEJADORA

Una construcción de un sistema de refrigeración tiene un costo bastante elevado debido a que el ensamble de todos los componentes seleccionados debe ser realizado por un técnico calificado, además que termina siendo más costoso comprar los componentes por separado en relación a la compra de una unidad manejadora comercial ya ensamblada (congelador o nevera), esto gracias a las reducciones de costos por la producción en línea con la que se manufacturan estas unidades comerciales.

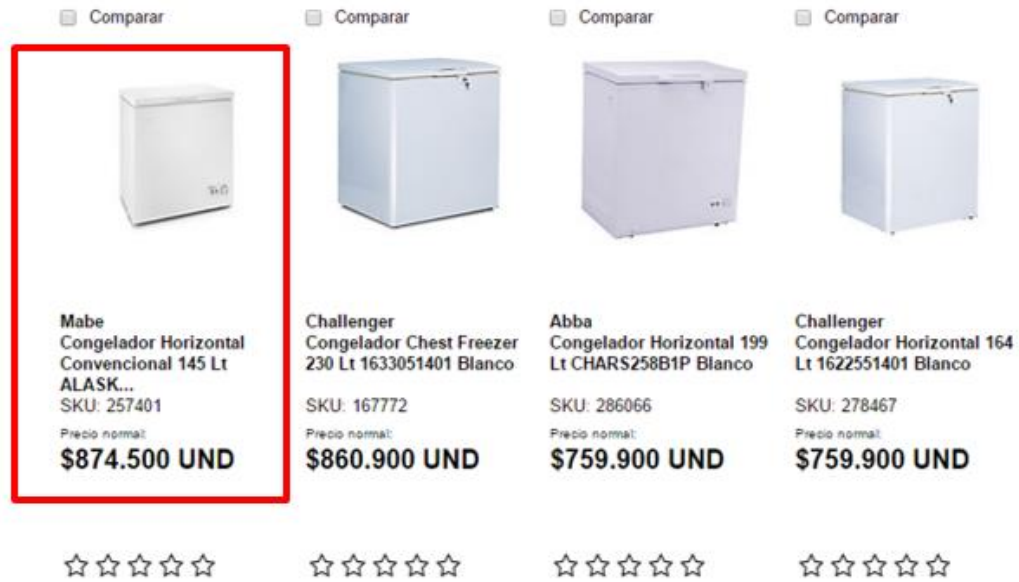
Para la selección del sistema de refrigeración comercial se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Volumen de la cámara:** se seleccionó una cámara de 145 [L].
- **Temperatura de operación:** se determinó una temperatura de operación de 0 a 10 [°C].
- **Carga térmica a extraer:** los cálculos dictaminaron 180,9 [W] como carga a extraer de la cámara de refrigeración.

Con base en estos parámetros se realizó una búsqueda de las características ofrecidas por los refrigeradores comerciales en el mercado local.

⁶ NIETO, Antonio. Diferencia de temperatura en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. En: Cero grados Celsius, Febrero de 2012.

Figura 4. Comparativo de precios y volúmenes de diferentes congeladores comerciales



Fuente: Página de internet: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/category/cat11046/Congeladores/N-1yva122?cid=Banner5881tercervivel_congeladores_horizontales>

Se seleccionó el congelador Mabe ALASKA145B0, el cual cuenta con una temperatura de operación variable con rango de -30 a 15 [$^{\circ}C$], lo cual es muy positivo porque podrá ser usado también para medir experimentalmente los consumos energéticos en un proceso de conservación cárnica normal, es decir a una temperatura de -20 [$^{\circ}C$], además de ser congruente con el refrigerante seleccionado en nuestro diseño.

Por otro lado, este congelador cuenta con un compresor Samsung MSA160C-L1A. Este compresor tiene una capacidad de 217 [W] como lo podemos observar en el catálogo Airmed Refrigeration & Air Conditioning (ver anexo B) y en la tabla 5, la cual cumple con el requerimiento en [W] dado por el cálculo de las cargas térmicas a extraer, las cuales corresponden a $Q_{total} = 180,9$ [W], de esta manera

se evitarán inconvenientes de refrigeración y se asegura que el sistema responda bajo las condiciones más críticas.

Tabla 5. Fragmento de catálogo Airmed Refrigeration & Air Conditioning

R134A LBP 115V/60HZ 1PH

| Brand | Item No. | Capacity | | Input | COP |
|---------|-------------|----------|-------|-------|------|
| | | W | Btu/H | W | W/W |
| LG | NSA30LACG | 81 | 276 | 92 | 0.88 |
| | NSA36LACG | 97 | 331 | 104 | 0.93 |
| | MSA43LAUG | 140 | 478 | 120 | 1.17 |
| | MA53LBCM | 172 | 587 | 119 | 1.45 |
| | MC57LDCM | 197 | 672 | 122 | 1.61 |
| Samsung | MSA141C-S1A | 140 | 478 | 98 | 1.43 |
| | MSA151C-L1B | 177 | 604 | 113 | 1.56 |
| | MSA160C-L1A | 217 | 740 | 155 | 1.40 |

Se puede apreciar en la anterior imagen un $COP = 1,4$ y una capacidad de 217 [W].

4. DISEÑO DEL CIRCUITO GENERADOR DE OZONO

En este capítulo se van a contemplar los parámetros que influyen en la generación de ozono: técnica de generación, nivel de tensión, celda generadora entre otros.

4.1 EL OZONO EN ALIMENTOS

Aguayo ⁸ analizó los efectos que tiene el ozono sobre los alimentos, específicamente melón y tomate, a nivel de microorganismos. Encontró que, al exponer cíclicamente los alimentos ya mencionados al ozono como gas, (4 ppm de ozono durante 30 minutos) se puede reducir el crecimiento microbiano durante el almacenaje. Comprobó de esta forma que el uso de ozono en estos alimentos no produce heridas visibles y tampoco transfiere sabores extraños al producto.

La utilización del ozono en la industria alimenticia cuenta con el apoyo de entes gubernamentales como el ministerio de agroindustria argentino. En la revista de publicaciones de esta entidad, Parzanese ⁹ ha publicado, de acuerdo a su experiencia y estudios realizados, beneficios de la ozonización en cámaras frigoríficas, en la conservación de vegetales, en la industria cárnica y pesquera, en la conservación de huevos y en la maduración de quesos, además de sus efectos sobre virus y bacterias.

⁸ AGUAYO, Encarnación. Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en freso. Tesis de doctorado. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, 2003. p. 56-63

⁹ PARZANESE, Magali. Tecnología para la industria alimentaria: Ozono en alimentos. En: Alimentos Argentinos. Junio, 2012. Vol. 54, p. 72-8

4.2 FORMAS DE GENERACIÓN DE OZONO

Existen diferentes formas de generación de ozono, pero para llevar a cabo cualquiera de ellas es necesario que se presente primero una separación de una molécula de oxígeno como explican López y Vásconez¹⁰ y para ello es necesario suministrar una potencia que este en la capacidad de irrumpir en los enlaces dobles que unen sus átomos, esta potencia normalmente proviene de; Rayos ultravioleta, Descargas Eléctricas y Radioquímica.

El primer tipo de generador usa como fuente una lámpara de rayos ultravioleta. Produce una pequeña cantidad de ozono con un ancho de banda de frecuencia estrecho de luz ultravioleta, este golpea a las moléculas de oxígeno haciendo que se separen. Este método es adecuado para la purificación del aire, porque en ese ancho de banda, la radiación ultravioleta solo reacciona con oxígeno, pero es muy débil para propósitos médicos.

La generación de ozono por medio de descargas eléctricas, también conocido como efecto corona y como lo explica Cañedo¹¹ es un fenómeno producido en conductores eléctricos de alta tensión desnudos y se manifiesta en forma de un halo luminoso a su alrededor. El nombre proviene por la forma que toma la descarga al provenir en su mayoría de conductores de sección circular. Este efecto corona se presenta cuando se eleva el potencial de un conductor hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor,

¹⁰ LÓPEZ, Diana Carolina y VÁSCONEZ, Juan Pablo. Diseño e implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano. Trabajo de grado Ingeniero en Electrónica y Control. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Departamento de automatización y control industrial, 2013. p. 4-5

¹¹ CAÑEDO, Ricardo. Diseño de un equipo generador de ozono clínico para blanqueamiento dental. Trabajo de grado Ingeniero Electrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e ingeniería. Departamento académico de ingeniería. 2012. 17 p

es así que se ioniza el aire alrededor y permite la rápida conducción de una gran corriente a través de él.

La tercera forma generación de ozono de la que se habla es la Radioquímica, la cual se hace por medio de radiación que se emite a través de ciertos elementos radioactivos como lo son el cobalto o el estroncio, ya que esta radiación genera ozono.

4.3 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE GENERACIÓN

Para la generación de ozono a partir de los diferentes estudios, se seleccionó el método llamado efecto corona, el cual consiste en generar una diferencia de potencial entre dos puntos, el cual creara un campo eléctrico capaz de ionizar el gas de alimentación, ya sea aire u oxígeno, al momento en que la tensión entre dichos puntos supera el voltaje de ruptura del gas, se crea una descarga eléctrica entre ellos. No se tuvieron en cuenta otros métodos como luz ultravioleta, debido a su costo superior y por isotopos deben emplearse materiales radioactivos, los cuales no son seguros, o el método de la electrolisis donde debe existir una alimentación constante de un compuesto químico, debido a esto se escogió el efecto corona,

4.3.1 Análisis de la generación de ozono a través de descargas eléctricas. El método de descargas eléctricas utilizado para la generación de ozono, se hace posible al presentar voltajes superiores al voltaje de ruptura del gas, dicha diferencia de potencial se presenta entre dos puntos conductores atravesando un dieléctrico, presentando mini-descargas allí generado tiene la capacidad de generar una ruptura del gas de alimentación (aire) ionizando este mismo, dicho proceso es conocido como efecto corona, en donde gracias a que se supera el voltaje de ruptura del gas de alimentación se logra la división de moléculas de oxígeno (O_2) dando paso a que moléculas libres de oxígeno (O) se unan de nuevo

a otras de (O₂) formando de este modo el ozono (O₃), la inestabilidad de los átomos de oxígeno es la que hace esto posible, pero esta misma inestabilidad es la que da lugar a que el ozono no pueda ser almacenado, ya que presenta una tasa de destrucción alta ya que tiende a separarse rápidamente para convertirse de nuevo en Oxígeno (O₂)

4.3.2 Electroodos o celdas. Actualmente se encuentran numerosos estudios concernientes a la geometría de los electrodos, y como su topología puede ayudar a mejorar las condiciones en la generación del ozono. Se han realizado estudios para las diferentes topologías, uno de estos llevado a cabo por Z. Fang, Y. Qiu, Y. Sun, H. Wang y K. Edmund sobre las características de descarga y la generación de descargas de barreras dieléctricas en un reactor cilindro-cilindro y uno alambre cilindro; existen otro tipo de topologías como, placa-placa, espiral-cilindro y alambre-placa. Todos estos fueron analizados, con el fin de encontrar un balance adecuado entre economía, eficiencia y fácil acceso. Con respecto a la eficiencia se encontró que las topologías conformadas por alambre-placa y alambre-cilindro son buenas en voltajes no mayores a 8 kilovoltios y baja concentración de ozono, pero presentan una distribución de campo eléctrico que no es uniforme. La topología espiral cilindro presenta características algo similares a las mencionadas previamente, pero con la ventaja que mejora la eficiencia. También se realizaron estudios que dictaron los tipos de celdas más adecuadas para trabajar en concentraciones elevadas de ozono y altos niveles de tensión, estas son las celdas tipo cilindro-cilindro y placa-placa. Teniendo en cuenta lo citado anteriormente se decidió escoger la topología tipo placa-placa debido que es la más fácil de encontrar en el mercado, así como la más eficiente.

Así mismo se han realizado estudios acerca del tipo de configuración de los electrodos, elaborado Takaki, K., Hatanaka, Y., Arima, K., Mukaigawa, S., y Fujiwara, donde se determinó la influencia de la configuración de los electrodos en sistemas de ozono y propiedades de microdescarga, dicho estudio habla de tres

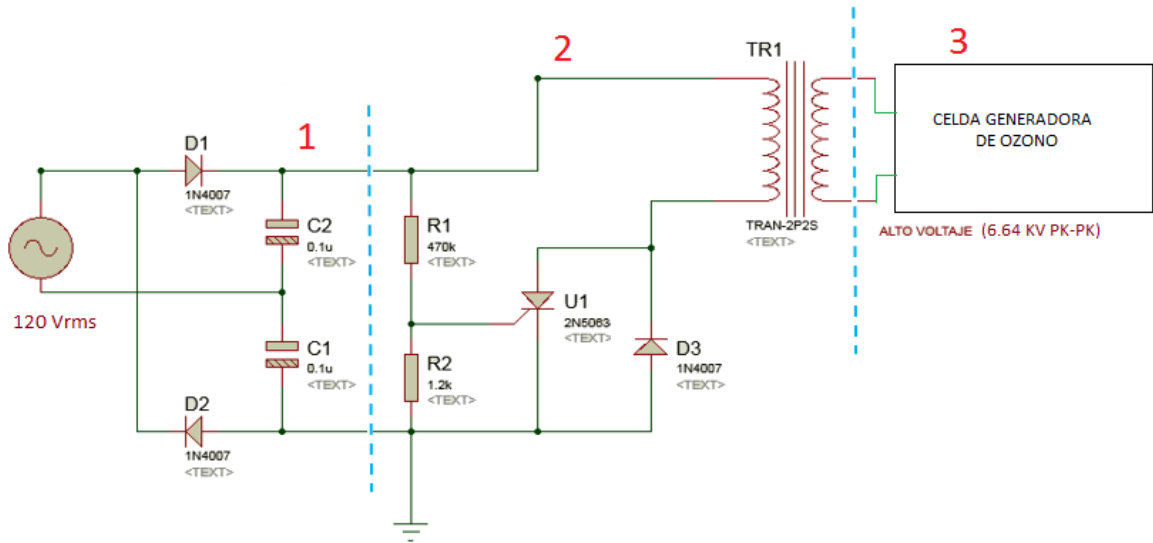
tipos de disposición, multipunto, plana y tipo trinchera. La distribución que se escogió fue la de multipunto debido a su efectividad, ya que presenta un mayor número de descargas, utilizando la misma tensión. Al tratar el tema de los electrodos, no se puede dejar de lado el hecho de que el tipo de material empleado, juega un papel importante en su rendimiento, debido a esto se tuvo en cuenta la investigación realizada por Mennad, B., Harrache, Z., Yanallah, K., Aid, D. A., y Belasri, A, en la cual se experimentó con electrodos de distintos materiales, llegando a la conclusión que los materiales con el mejor comportamiento son el aluminio y el acero inoxidable. Para la realización de este proyecto se decidió utilizar el aluminio debido a la facilidad con la que se encuentra en el mercado, así como su bajo costo, teniendo en cuenta que el rendimiento entre el aluminio y acero inoxidable es muy parecido.

4.4 CIRCUITO GENERADOR DE OZONO

La generación de ozono por medio de descargas eléctricas requiere de la generación de un campo eléctrico tan intenso como para generar una ruptura eléctrica en aire común o en oxígeno puro, el valor de la rigidez dieléctrica en el caso del aire, que es el gas a utilizar en este caso, es cerca de 20kV/cm, por lo tanto para alimentar la celda generadora de ozono lo primero que se necesita es un circuito que entregue una tensión lo suficientemente alta como para lograr dicho campo eléctrico.

La señal de tensión puede ser continua o alterna, pero con el fin de tener una mayor intensidad de campo es mejor utilizar una señal alterna, debido a que una señal de voltaje continua producirá campos electrostáticos, y causaría un calentamiento crítico afectando la producción de ozono.

Figura 5. Esquemático primer circuito generador de ozono



El circuito de la figura 5 está compuesto por varias etapas. A continuación, se explicará la función que cumple cada una de estas.

Primera etapa: consiste en un par de diodos y dos condensadores. La función de los diodos es hacer una rectificación de onda completa de la señal de entrada (120 volts rms); por medio de los capacitores de 0.1 uf/400v se disminuye el rizo de la señal rectificada. Cuanto menor sea este rizado, más se parecerá la señal a una corriente continua, y por tanto será de mejor calidad.

La segunda etapa: consta fundamentalmente de un SCR y un transformador que se encargan de darle a la señal la forma de onda de tren de impulsos (alterna). Esta señal alterna se encuentra con un transformador-elevador el cual lleva el nivel de tensión a 6.64 KV pico a pico.

La tercera etapa: El alto nivel de tensión obtenido a la salida del transformador-elevador va directo a la celda generadora de ozono. Esta diferencia de tensión ioniza el aire y acelera los electrones, causando choques que rompen las moléculas de oxígeno, para dar luego paso a las moléculas de ozono.

La señal de alimentación de este circuito es el voltaje de la acometida eléctrica (120 Vrms), en la figura 6 se observa dicho voltaje. En la figura 7 se muestran los parámetros de esta señal, vale aclarar que a la hora de tomar las medidas la punta del osciloscopio tenía una atenuación de X10.

Figura 6. Señal de entrada (alimentación)

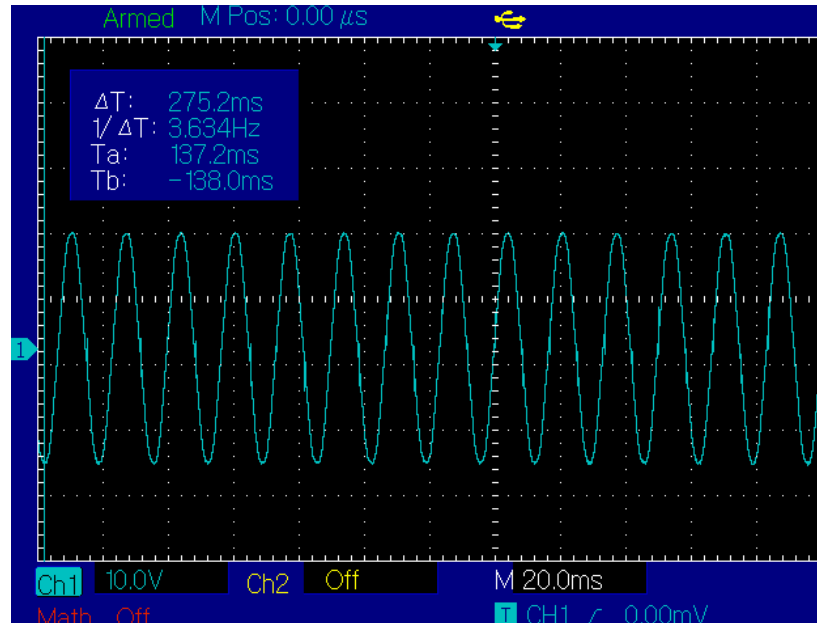


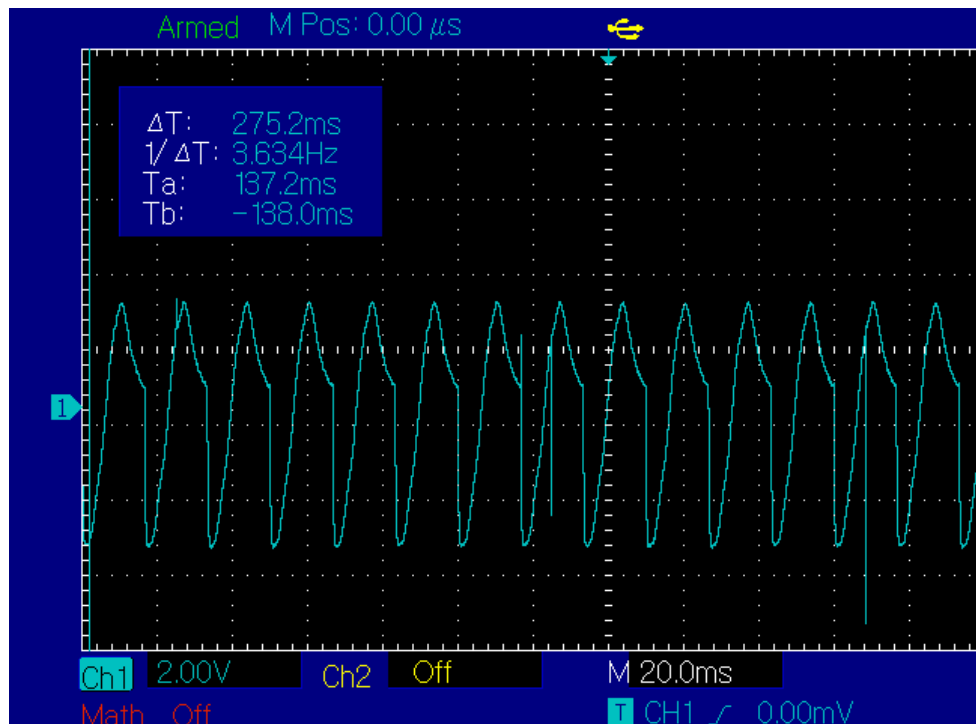
Figura 7. Parámetros de medida de la señal de entrada

| No. | Param | CH1 |
|-----|------------|-----------|
| 0 | VMax | 17.60V |
| 1 | VMin | -17.60V |
| 2 | VTop | 17.60V |
| 3 | VBase | -17.20V |
| 4 | VMid | 0.00mV |
| 5 | PK2PK | 35.20V |
| 6 | VAmp | 34.80V |
| 7 | Average | 0.00mV |
| 8 | RMS | 12.40V |
| 9 | PeriodMean | 0.00mV |
| 10 | PeriodRMS | 12.40V |
| 11 | Area | 262.56mVS |
| 12 | PeriodArea | 14.56mVS |
| 13 | Freq | 59.95Hz |
| 14 | Period | 16.68ms |

De los parámetros medidos de la señal de entrada (figura 7) se comprueba que la señal de entrada es de 120 Vrms y de una frecuencia de 60 Hz.

La señal de salida se muestra en la figura 8 y los parámetros medidos de dicha señal se observan en la figura 9. Debido a que a la salida se obtiene una señal de alto voltaje, se diseñó un divisor de tensión con el fin de poder medirla en el osciloscopio.

Figura 8. Señal de salida del primer circuito



El divisor de tensión se diseñó de la siguiente manera: por precaución se tomó como referencia un voltaje de salida de 30 Kv, se conectaron en serie 10 resistencias de 10 M Ω y una resistencia de 100 K Ω . De tal manera que si el voltaje de salida es de 30 Kv y se mide en la resistencia de 100 K Ω , se tendrá un voltaje aproximado de 30 volts.

En los parámetros medidos (figura 9) se aprecia que la señal de salida tiene una frecuencia de Frecuencia 60 Hz y un voltaje de 6.64 voltios pico a pico. Para saber el voltaje que se tiene a la salida del circuito se debe tener en cuenta el divisor de tensión. El voltaje medido en la resistencia de 100 K Ω se debe multiplicar por un factor de 1000 para obtener el valor real a la salida; en este caso el voltaje de salida es de 6640 voltios pico a pico.

Figura 9. Parámetros de medida de la señal de salida (primer circuito)

| No. | Param | Filter_CH_1 |
|-----|------------|-------------|
| 0 | VMax | 2.00V |
| 1 | VMin | -4.64V |
| 2 | VTop | 0.00mV |
| 3 | VBase | -4.40V |
| 4 | VMid | -2.24V |
| 5 | PK2PK | 6.64V |
| 6 | VAmp | 4.40V |
| 7 | Average | -800.00mV |
| 8 | RMS | 2.24V |
| 9 | PeriodMean | -880.00mV |
| 10 | PeriodRMS | 2.24V |
| 11 | Area | -181.28mVS |
| 12 | PeriodArea | -11.10mVS |
| 13 | Freq | 60.10Hz |
| 14 | Period | 16.64ms |

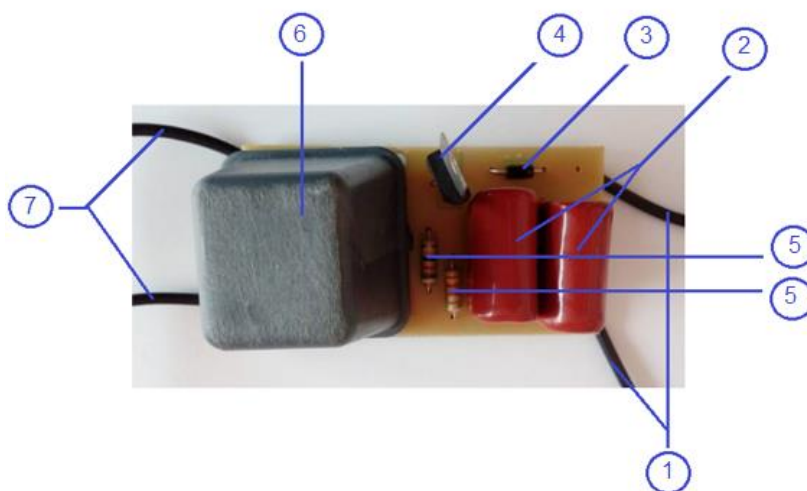
5. CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para este capítulo se tendrá en cuenta los diseños realizados anteriormente para la construcción de cada uno de los sistemas (refrigeración y generación de ozono).

5.1 CONSTRUCCIÓN DEL OZONIZADOR

5.1.1 Partes que componen el circuito

Figura 10. El circuito ozonizador



1. Alimentación: Es la tensión obtenida de la acometida eléctrica. El circuito se alimenta por medio de la conexión eléctrica de la iluminación que tiene el refrigerador que es de 110 [V].

2. Capacitores: Eliminan el rizo de la señal rectificada. Un condensador eléctrico (también conocido frecuentemente con el anglicismo capacitor, proveniente del nombre equivalente en inglés) es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas

o placas, en situación de influencia total separadas por un material dieléctrico o por el vacío. Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total.

3 Diodos: Se encargan de rectificar la señal de alimentación. Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos.

4 SCR: Convierte la señal en una serie de impulsos. El rectificador controlado de silicio (en inglés SCR: Silicon Controlled Rectifier) es un tipo de tiristor formado por cuatro capas de material semiconductor con estructura PNPN o bien NPNP. El nombre proviene de la unión de Tiratrón (tyratron) y Transistor. Un SCR posee tres conexiones: ánodo, cátodo y gate (puerta). La puerta es la encargada de controlar el paso de corriente entre el ánodo y el cátodo. Funciona básicamente como un diodo rectificador controlado, permitiendo circular la corriente en un solo sentido. Mientras no se aplique ninguna tensión en la puerta del SCR no se inicia la conducción y en el instante en que se aplique dicha tensión, el tiristor comienza a conducir. Trabajando en corriente alterna el SCR se desexcita en cada alternancia o semiciclo. Trabajando en corriente continua, se necesita un circuito de bloqueo forzado, o bien interrumpir el circuito.

5 Resistencias: Dan lugar a la señal de control del SCR. Se le denomina resistencia eléctrica a la oposición que tienen los electrones al moverse a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega omega (Ω), en honor al físico alemán Georg Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre. Para un conductor de tipo cable, la resistencia está dada por la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Donde ρ es el coeficiente de proporcionalidad o la resistividad del material, l es la longitud del cable y S el área de la sección transversal del mismo.

6 Transformador: Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

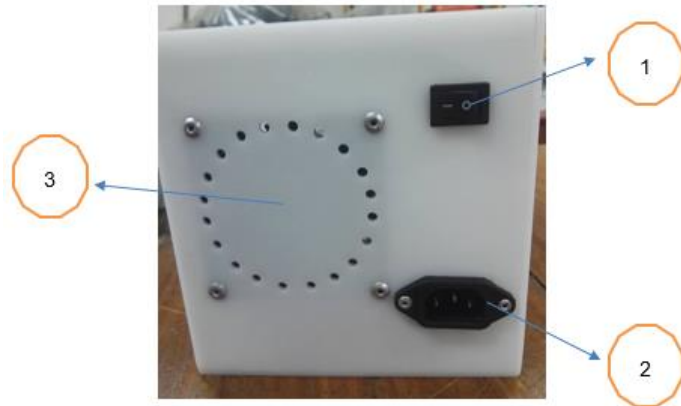
7 Salida: Es la señal de pulsos de alta tensión que alimenta la celda generadora de ozono.

Como se observa en la figura 11 se utilizó una caja de acrílico de 15 x 15 x 40 [cm], en la cual se alojó todo el circuito electrónico.

Figura 11. Caja de acrílico



Figura 12. Vista posterior de la caja



La caja en su parte posterior consta de:

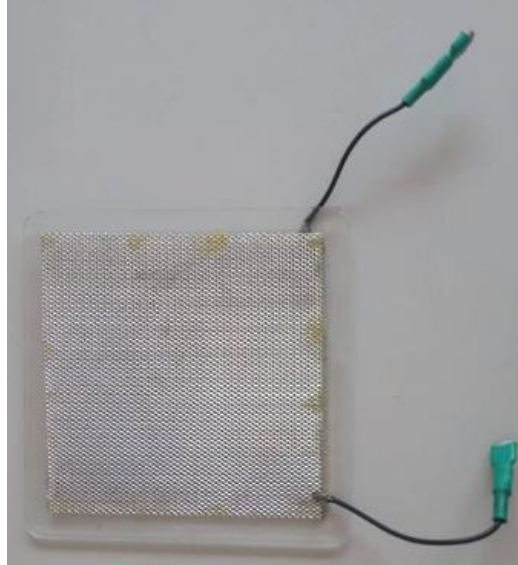
1. Un botón de encendido y apagado
2. Puerto de entrada de alimentación
3. Orificios de circulación de aire y ozono

5.2 CELDAS GENERADORAS DE OZONO

La celda generadora de ozono es una de las partes primordiales del generador de ozono, es allí donde el oxígeno biatómico presente en el aire se ioniza por acción de un arco eléctrico de alto voltaje para convertirse en O_3 . Se construyeron dos celdas con una diferencia de área de un 75%, con el fin de analizar cómo se afecta la generación de ozono respecto al área de la celda.

5.2.1 Celda generadora de 10x10

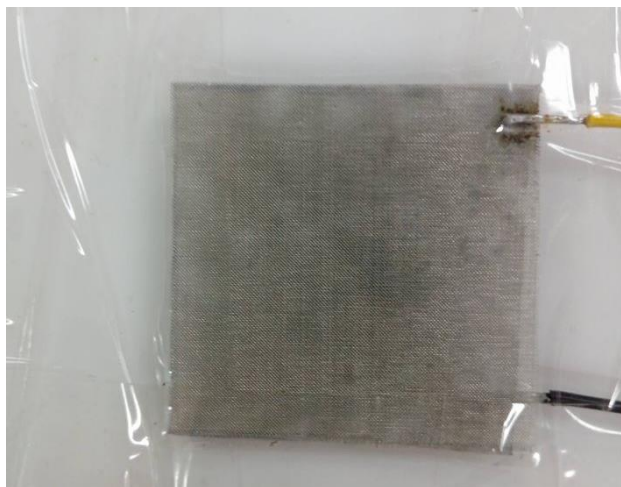
Figura 13. Celda generadora 10x10



Esta celda 10x10 consta de dos mallas de 40 orificios por pulgada cuadrada separadas entre sí por una distancia muy corta, del orden de milímetros y está hecha de aluminio.

5.2.2 Celda generadora 5x5

Figura 14. Celda generadora 5x5



Esta celda 5 x 5 consta de dos mallas de 40 orificios por pulgada cuadrada separadas entre sí por una distancia muy corta, del orden de milímetros y está hecha de aluminio.

5.3 TOMAS Y EVIDENCIAS DE MEDICIÓN DE OZONO

5.3.1 El instrumento medidor de ozono. La finalidad de estas pruebas es obtener la concentración de ozono generada por el ozonizador implementado. Estas pruebas se realizaron en la CDMB (Corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga), donde se utilizó un analizador de ozono modelo 49C.

5.3.2 Especificaciones técnicas del analizador

Figura 15. Especificaciones técnicas parte 1

| | |
|------------------------|---|
| Preset ranges | 0-0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ppm 0-0.1, 0.2, 0.4, 1, 2, 4, 10, 20, 40, 100, 200, 400 mg/m ³ |
| Custom ranges | 0-0.05 to 200 ppm 0-0.1 to 400 mg/m ³ |
| Zero noise | 0.5 ppb RMS |
| Lower detectable limit | 1.0 ppb |
| Zero drift | <1 ppb/24 hour <2 ppb/7 day |
| Span drift | less than 1% per month (including drift of transducers) |
| Response time | 20 seconds (10 seconds lag time) |
| Precision | 1 ppb |

Figura 16. Especificaciones técnicas parte 2

| | |
|-----------------------|--|
| Linearity | ± 1% Fullscale |
| Sample flow rate | 1-3 liters/min |
| Operating temperature | 20 - 30°C (may be safely operated over the range of 0 - 45°C)* |
| Power requirements | 90-110 VAC @ 50/60 Hz 105-125 VAC @ 50/60 Hz 210-250 VAC @ 50/60 Hz 150 Watts |
| Physical dimensions | 16.75" (W) X 8.62" (H) X 23"(D) |
| Weight | 35 lbs. |
| Outputs | selectable voltage 4-20 mA, RS-232, RS-485 |

* In non-condensing environments

5.3.3 Funcionamiento y leyes involucradas. El 49C modelo se basa en el principio de que la capa de ozono (O₃), cuyas moléculas absorben luz UV a una longitud de onda de 254 [nm]. El grado en que se absorbe la luz UV está directamente relacionado con la concentración de ozono, como se describe en la Ley de Beer-Lambert:

La Ley de Beer-Lambert: En óptica, la ley de Beer-Lambert, también conocida como ley de Beer o ley de Beer-Lambert-Bouguer es una relación empírica que relaciona la absorción de luz con las propiedades del material atravesado. De este modo, emitiendo un haz de luz con longitud de onda de 254 [nm], podremos saber cuál es la concentración de O₃, deducido de la siguiente fórmula que pertenece a la Ley de Beer-Lambert:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-KLC}$$

Donde:

K = Coeficiente de absorción molecular, 308 [cm⁻¹] (a 0 [°C] and 1 [atm]).

L = Longitud de la celda, 38 [cm].

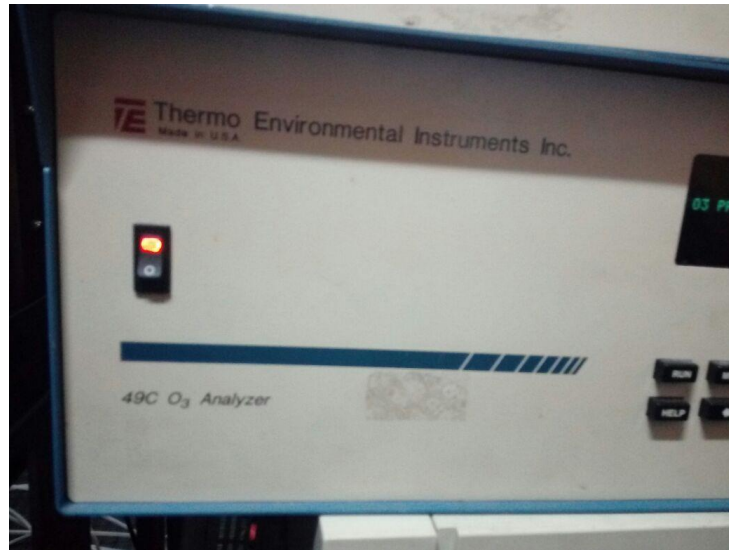
C = Concentración de ozono en partes por millón (ppm).

I = Intensidad de la luz UV de la muestra con ozono (gas de ejemplo).

I₀ = Intensidad de la luz UV de la muestra sin ozono (gas de referencia).

De esta manera podemos conocer la concentración de ozono presente en el gas que ingresamos al analizador.

Figura 17. Analizador 49C de O₃ de la CDMB



5.4 MONTAJE DE LA MEDICIÓN

La caja de acrílico tuvo una pequeña adecuación pos construcción, para la toma de datos en el análisis de generación de ozono, se le hizo un orificio en la parte lateral donde se instaló un racor al cual se le conecto una manguera que se utilizó para unir el generador de ozono con el analizador

Figura 18. El racor



Figura 19. Montaje para la medición de concentración de O₃

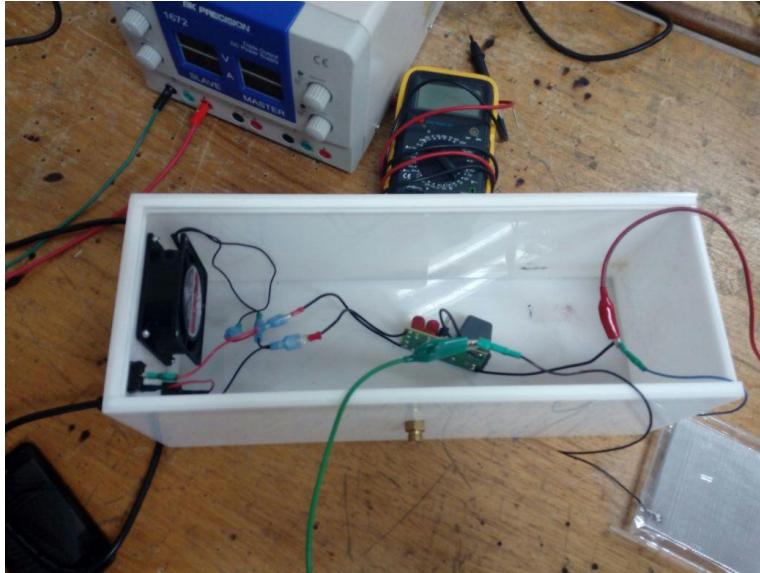


Figura 20. Parte posterior e instalación del racor



Figura 21. Parte posterior del analizador de O3

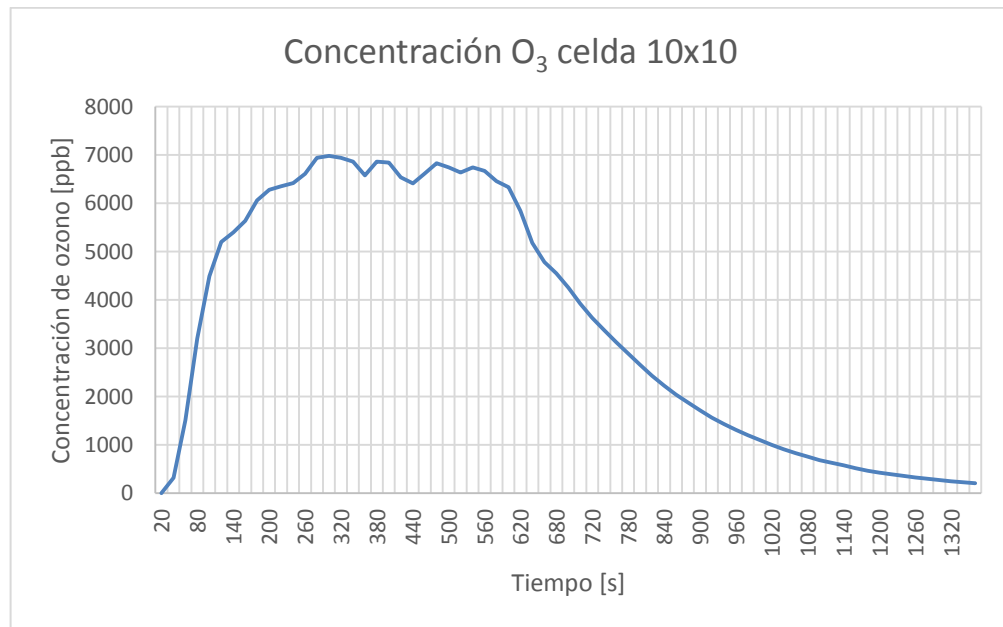


Figura 22. Resultados arrojados por medidor



Debido a la poca disponibilidad del equipo solo se pudieron realizar una prueba por cada celda generadora, donde cada prueba tuvo una duración de 30 minutos, obteniendo los siguientes resultados

Figura 23. Concentración de O₃ celda 10x10

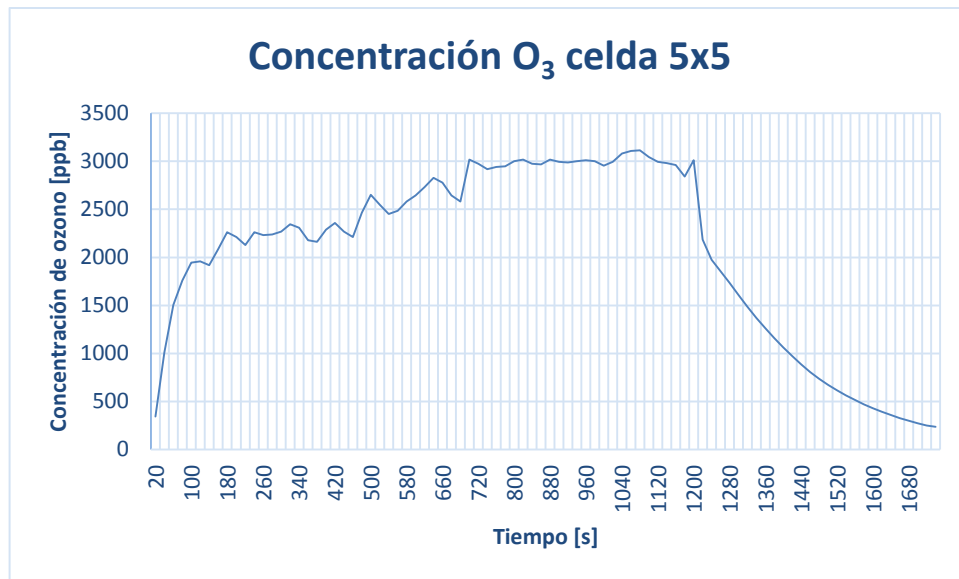


Esta gráfica tiene en su eje de abscisas el número de segundos y en su eje ordenado el número de concentraciones en ppb, podemos ver que esta celda se estabilizó en 7000 ppb, es decir 7 ppm. Estas pruebas se realizaron con base en el volumen de la caja de acrílico del ozonizador, es decir 9 [L].

Ahora esta misma concentración de 7 ppm se alcanzará en la cámara de refrigeración real de 145 [L] y se estabilizará en un tiempo mayor.

Este resultado sobrepasa un poco los niveles aptos para los humanos (hasta 5 ppm).

Figura 24. Concentración de O₃ celda 5x5



Esta gráfica tiene en su eje de abscisas el número de segundos y en su eje ordenado el número de concentraciones en ppb, podemos ver que esta celda se estabilizó en 3000 ppb, es decir 3 ppm. Estas pruebas se realizaron con base en el volumen de la caja de acrílico del ozonizador, es decir 9 [L].

Ahora esta misma concentración de 3 ppm se alcanzará en la cámara de refrigeración real de 145 [L] y se estabilizará en un tiempo mayor. Este resultado se encuentra dentro de los niveles aptos para los humanos, (hasta 5 ppm). Lo cual la hace óptima para el presente proyecto.

6. PRUEBAS Y CÁLCULOS

En este capítulo se presentan detalladamente la evaluación de la capacidad de la efectividad de conservación en productos cárnicos mediante la utilización de la acción combinada del ozono y la refrigeración, para lo cual se requiere la realización de las siguientes pruebas:

- Pruebas organolépticas.
- Control de calidad microbiológica.
- Medición de la energía consumida por el sistema.

6.1 PRUEBAS ORGANOLEPTICAS

Para la realización de esta prueba se realizaron análisis visuales, olfativos y de tacto cada 48 horas desde el momento de su compra, solo se realizaron en estos tiempos para tener la menos afectación bacteriana posible. Tanto la carne tratada con ozono como la de sin ozono, fueron inspeccionadas con los mismos rangos de tiempo. Los resultados de estos análisis fueron parametrizados según los siguientes indicadores:

6.1.1. Color. El color de la carne está causado por una molécula que se llama mioglobina, una gran proteína que tiene un grupo hemo que es directamente responsable, junto a las condiciones externas de darnos uno u otro color. Así, es capaz de estar en cuatro estados. La carne presentará cuatro colores en función del estado en el que se encuentre la proteína mioblogina.

- Un color rojizo ligeramente oscuro es el mejor y más óptimo para el consumo humano.

- A medida que la carne se empieza a oxidar por el contacto con el ambiente su color va cambiando de rojizo fuerte y oscuro a un rojo pálido con tintes marrones.
- Una carne que aún es apta para el consumo humano, pero está en su última fase de producto consumible es una carne con tonalidad roja pálida y pequeñas manchas moradas o verdosas en su superficie.
- El estado final es el que provoca un color gris pálido que no es atractivo para el consumidor, que significa que la carne está ya en la última fase de su ciclo, y que además desprende un cierto olor a óxido muy característico y que, sencillamente, no es apta para el consumo.

6.1.2. Olor. Oler la carne es quizás la forma más fácil de saber si está en mal o buen estado. Así, sea cual sea el tipo de carne, en el caso de que huela mal o a rancio se sabrá que no es comestible y que se debe deshacer de ella. Especialmente, la carne de aves de corral desprende un olor muy distintivo que alerta que no se encuentra en buenas condiciones, se trata de una especie de olor pútrido que rápidamente puede identificarse. En el caso de la carne de res, esta tiene un olor a óxido muy fuerte y pútrido debido a la reacción con el oxígeno del ambiente.

6.1.3. Textura. La carne en mal estado a menudo tiene una especie de textura viscosa, que es señal de que las bacterias se han empezado a multiplicar en su superficie. La carne en mal estado, especialmente la carne de res, puede que se vuelva también pegajosa o pringosa.

6.2. CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA

Para esta prueba se realizaron análisis bacteriológicos a muestras de carnes con un proceso de refrigeración, en presencia y sin presencia de ozono a los cero, cinco y quince días respectivamente a partir de su compra. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio LabAlime, laboratorio bacteriológico de alimentos, con

aprobación MSP por resolución 01320 de 1986, para su análisis y conteo de coliformes fecales y totales, bacterias de estafilococo y salmonela. El procedimiento detallado de la prueba se encuentra en el anexo N° 1.

6.3 MEDICIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA

Para las medidas de consumo energético se hace necesario medir el voltaje consumido, el consumo de corriente utilizado por el compresor, el pico de corriente alcanzado al encenderse, el tiempo en el que esta encendido el compresor durante el día y la cantidad de corriente consumida por el circuito generador de ozono, lo cual se midió de la siguiente forma:

6.3.1 Medición de voltaje. Este se realizó con ayuda de un multímetro marca SUNWA (ver figura 25) donde pudimos apreciar un consumo de 110 [v].

Figura 25. Multímetro SUNWA



6.3.2 Medición de amperaje. La medida el amperaje utilizado por el refrigerador fue medida con un tester multímetro marca KEW SNAP modelo 2903 el cual indicó un consumo de 5 amperios y 15 en el pico de arranque.

Figura 26. Medidor de corriente KEW SNAP 2903



Figura 27. Resultados de corriente



6.3.3 Consumo de corriente del circuito. Con el fin de medir el consumo de corriente del circuito se decidió usar un amperímetro digital. Dicho instrumento se conectó en serie entre la alimentación de la acometida eléctrica (120 Vrms) y la entrada del circuito generador de ozono. El amperímetro midió un valor de 118 miliamperios.

6.3.4 tiempos de encendido del compresor. Los tiempos en los que el compresor esta encendido durante el día se midió experimentalmente tomando los tiempos de encendido y apagado del compresor dando como resultado lo siguiente:

6.3.4.1 Tiempos y temperatura de operación del experimento. El refrigerador en el nivel 2 de refrigeración, tarda veinte minutos en estabilizarse, manteniendo su temperatura en un rango entre 5,7 y 8,3 grados centígrados encendiendo el compresor cada (19:06) minutos aproximadamente según la temperatura ambiente y se mantiene encendido durante 40 segundos aproximadamente

Tabla 6. Temperatura y tiempos de operación

| tiempos | temperatura | estado | | | |
|---------|-------------|--------|-------------------|-------|--|
| 0:00 | 8,3 | off | | | |
| 0:39 | 8,1 | on | | | |
| 20:20 | 8,3 | off | | | |
| 0:40 | 8,1 | on | | | |
| 19:23 | 8,3 | off | | | |
| 0:41 | 8,1 | on | | | |
| 19:39 | 8,3 | off | | | |
| 0:41 | 8,1 | on | | | |
| 19:21 | 8,3 | off | | | |
| 0:40 | 8,1 | on | | | |
| 19:25 | 8,3 | off | | | |
| 0:41 | 8,1 | on | | | |
| 18:38 | 8,3 | off | | | |
| 0:40 | 8,1 | on | | | |
| 18:25 | 8,3 | off | | | |
| 0:39 | 8,1 | on | | | |
| 18:34 | 8,3 | off | tem_min= | 5,7 | |
| 0:42 | 8,1 | on | tem_max= | 8,3 | |
| 18:44 | 8,3 | off | tem_prom= | 7 | |
| 0:40 | 8,1 | on | tiempo prom on = | 0:40 | |
| 18:36 | 8,3 | off | tiempo prom off = | 19:06 | |

6.3.4.2 Tiempos y temperatura de operación del refrigerador a temperatura de un conservador cárnico normal. El refrigerador en el nivel 2 de congelación que termina siendo el nivel 5 de temperatura, tarda 1 hora en estabilizarse, manteniendo su temperatura en un rango entre -22 y 19 grados centígrados encendiendo el compresor cada (8:47) minutos según la temperatura ambiente y se mantiene encendido durante (3:47) minutos aproximadamente.

Tabla 7. Temperatura y tiempos de operación

| Tiempos | Temperatura | estado |
|-------------------|-------------|--------|
| 0:00 | -20 | on |
| 8:40 | -19 | off |
| 3:48 | -20 | on |
| 8:44 | -19 | off |
| 3:43 | -20 | on |
| 8:55 | -19 | off |
| 3:47 | -20 | on |
| 8:53 | -19 | off |
| 3:51 | -20 | on |
| 8:49 | -19 | off |
| 3:56 | -20 | on |
| 8:43 | -19 | off |
| 3:46 | -20 | on |
| 8:52 | -19 | off |
| 3:38 | -20 | on |
| 8:35 | -19 | off |
| 3:58 | -20 | on |
| 8:51 | -19 | off |
| 3:45 | -20 | on |
| 8:54 | -19 | off |
| 3:44 | -20 | on |
| Tem_mín= | -22 | |
| Tem_máx= | -19 | |
| Tem_prom= | -20,5 | |
| Tiempo prom on = | 3:47 | |
| Tiempo prom off = | 8:47 | |

6.3.5 CÁLCULOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Estos cálculos fueron realizados con ayuda del software EES tomando los datos tomados anteriormente y basando el costo del Kw-H puesto por la electrificadora para un estrato 4 equivalente a 431 pesos.

6.3.5.1 Cálculos del consumo a 7 grados

Figura 28. Cálculos a 7 grados con EES

7 GRADOS

dia = 24 [horas]

hora = 60 [minutos]

minuto = 60 [segundos]

segundosdia = dia · hora · minuto

ciclodetrabajo = timeon + timeoff

timeon = 40 [segundos]

timeoff = 1146 [segundos]

$$\text{ciclosdia} = \frac{\text{segundosdia}}{\text{ciclodetrabajo}}$$

timeontotal = ciclosdia · timeon

$$\text{horasencendido} = \frac{\text{timeontotal}}{60 \cdot 60}$$

potencia = v · i1

v = 115 [voltios]

i1 = 5 [amperios] amperaje de funcionamiento

$$\text{energía} = \frac{\text{potencia} \cdot \text{horasencendido}}{1000} \text{ [(kw/hora)-dia]}$$

energíames = energía · 30

costo = energíames · 431 [pesos]

Figura 29. Cálculos a 7 grados con EES

COSTO DE ENCENDIDO

$$\text{duracion} = 1 \text{ [segundo]}$$

$$i2 = 15 \text{ [amperios]} \text{ amperaje de encendido}$$

$$\text{potencia2} = v \cdot i2$$

$$\text{tiempo2} = \text{duracion} \cdot \text{ciclosdia}$$

$$\text{horas2} = \frac{\text{tiempo2}}{60 \cdot 60}$$

$$\text{energía2} = \frac{\text{potencia2} \cdot \text{horas2}}{1000} \text{ [(kw/hora)-dia]}$$

$$\text{energíames2} = \text{energía2} \cdot 30$$

$$\text{costo2} = \text{energíames2} \cdot 431 \text{ [pesos]}$$

$$\text{COSTO}_{\text{TOTAL}} = \text{costo} + \text{costo2}$$

Consumo energético mensual: 15 [(kw/hora)-mes]

Costo del consumo energetico mensual: 6469 pesos

6.3.5.2 Cálculos del consumo a -20 grados

Figura 30. Cálculos a -20 grados con EES

-20 GRADOS

$$\text{día} = 24 \text{ [horas]}$$

$$\text{hora} = 60 \text{ [minutos]}$$

$$\text{minuto} = 60 \text{ [segundos]}$$

$$\text{segundosdía} = \text{día} \cdot \text{hora} \cdot \text{minuto}$$

$$\text{ciclodetrabajo} = \text{timeon} + \text{timeoff}$$

$$\text{timeon} = 167 \text{ [segundos]}$$

$$\text{timeoff} = 527 \text{ [segundos]}$$

$$\text{ciclosdía} = \frac{\text{segundosdía}}{\text{ciclodetrabajo}}$$

$$\text{timeontotal} = \text{ciclosdía} \cdot \text{timeon}$$

$$\text{horasencendido} = \frac{\text{timeontotal}}{60 \cdot 60}$$

$$\text{potencia} = v \cdot i1$$

$$v = 115 \text{ [voltios]}$$

$$i1 = 5 \text{ [amperios] amperaje de funcionamiento}$$

$$\text{energía} = \frac{\text{potencia} \cdot \text{horasencendido}}{1000 \text{ [(kw/hora)-día]}}$$

$$\text{energíames} = \text{energía} \cdot 30$$

$$\text{costo} = \text{energíames} \cdot 431 \text{ [pesos]}$$

Figura 31. Cálculos a -20 grados con EES

COSTO DE ENCENDIDO

$$\text{duracion} = 1 \text{ [segundo]}$$

$$i2 = 15 \text{ [amperios] amperaje de encendido}$$

$$\text{potencia2} = v \cdot i2$$

$$\text{tiempo2} = \text{duracion} \cdot \text{ciclosdia}$$

$$\text{horas2} = \frac{\text{tiempo2}}{60 \cdot 60}$$

$$\text{energía2} = \frac{\text{potencia2} \cdot \text{horas2}}{1000} \text{ [(kw/hora)-dia]}$$

$$\text{energíames2} = \text{energía2} \cdot 30$$

$$\text{costo2} = \text{energíames2} \cdot 431 \text{ [pesos]}$$

$$\text{COSTO}_{\text{TOTAL}} = \text{costo} + \text{costo2}$$

Consumo energético mensual: 101.4 [(kw/hora)-mes]

Costo del consumo energetico mensual: 43.700 pesos

6.3.5.3 Cálculos del consumo del generador de ozono

Consumo de corriente del circuito generador

$$\text{horas encendido} = 8$$

$$\text{potencia} = v \cdot i$$

$$v = 115 \text{ [voltios]}$$

$$i = 0,118 \text{ [amperios]} \text{ amperaje de funcionamiento}$$

$$\text{energía} = \frac{\text{potencia} \cdot \text{horas encendido}}{1000} \text{ [(kw/hora)-día]}$$

$$\text{energía mes} = \text{energía} \cdot 30$$

$$\text{costo} = \text{energía mes} \cdot 431 \text{ [pesos]}$$

Consumo energético mensual: 9.6 [(kw/hora)-mes]

Costo del consumo energético mensual: 4140 pesos

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las fotografías tomadas a las muestras de carne refrigeradas con y sin ozono, así como los resultados del conteo bacteriano entregados por el laboratorio y los cálculos del consumo energético, son las pruebas y resultados para analizar la efectividad del ozono a la hora de refrigerar carne.

7.1 INSPECCIONES ORGANOLEPTICAS

7.1.1 Inspección de carne sin ozono. Las siguientes muestras de carne de 150 [g] fueron refrigeradas a una temperatura de 7 [°C], durante un periodo de tiempo de 14 días a partir de su compra, cabe destacar que esta carne cumple con las condiciones de la salubridad y cadena de frío exigidas por el ministerio de salud para la manipulación de productos cárnicos para consumo humano.

7.1.1.1 Carne al momento de la compra. Una muestra de carne de 150 [g] fue comprada en plaza central de Bucaramanga y llevada de manera inmediata al refrigerador, previamente enfriado con una temperatura de cámara de 7 [°C].

Esta muestra de carne fue comprada a las 10 horas de la mañana siendo declarada como carne del mismo día por el proveedor, presenta un color rojizo, característico de la carne fresca, textura tersa sin signos de viscosidad y un olor ligero a óxido producto de las horas que ha interactuado con el medio ambiente, según la inspección visual, táctil y de odorización, esta carne es apta para el consumo humano y en condiciones óptimas para el mismo.

Figura 32. Carne recién comprada a proveedor



7.1.1.2 Carne refrigerada durante tres días sin presencia de ozono

Figura 33. Carne refrigerada sin ozono al tercer día



La muestra aún presenta un color rojizo característico de la carne en buen estado, no presenta una textura con viscosidad significativa ni olor pútrido.

7.1.1.3 Carne refrigerada durante cinco días sin presencia de ozono

Figura 34. Carne refrigerada sin ozono al quinto día



Un aspecto rojo no tan brillante con un ligero color morado empieza a notarse al quinto día de refrigeración sin ozono, el olor es desagradable y su textura aún es firme y tersa. Los primeros signos de descomposición a este punto se hacen evidentes, el golpe de olor es bastante notable no parece ser un producto que una persona decida usar para su consumo.

7.1.1.4 Carne refrigerada durante siete días sin presencia de ozono

Figura 35. Carne refrigerada sin ozono al séptimo día



El olor putrefacto que esta carne presenta es bastante fuerte, al momento de abrir la nevera este es penetrante y notoriamente desagradable, las bacterias han hecho que la textura de la carne sea pegajosa al tacto y su color aunque aún rojizo; presenta muchas manchas verdosas y moradas.

7.1.1.5 Carne refrigerada durante nueve días sin presencia de ozono

Figura 36. Carne refrigerada sin ozono al noveno día



Del color rojizo de la carne característico de una condición fresca queda muy poco, un azul o morado es el color predominante con unas manchas rojizas, la carne se ha puesto un poco más dura, parece ser incluso más densa y el olor empieza a ser bastante molesto incluso para personas alejadas del refrigerador pero en un mismo cuarto.

7.1.1.6 Carne refrigerada durante once días sin presencia de ozono

Figura 37. Carne refrigerada sin ozono al undécimo día



La carne es dura, en las zonas oscuras incluso es comparable con la textura de carne oreada, el olor es pútrido e insoportable, la manipulación se hace difícil debido a su estado de descomposición y olor desagradable.

7.1.1.7 Carne refrigerada durante trece días sin presencia de ozono

Figura 38. Carne refrigerada sin ozono al décimo tercer día



En el último día de análisis de la carne, esta de torna muy dura y frágil, su tamaño parece incluso haberse reducido debido a la descomposición y su olor es similar al obtenido en el día undécimo: insoportable.

7.2 Inspección de la carne con ozono. Las siguientes muestras de carne de 150 [g] fueron refrigeradas a una temperatura de 7 [°C] y con una concentración constante de 3 [ppm] de O₃, durante un periodo de tiempo de 14 días a partir de su compra, cabe destacar que esta carne cumple con las condiciones de la salubridad y cadena de frío exigidas por el ministerio de salud para la manipulación de productos cárnicos para consumo humano.

7.2.1 Carne al momento de la compra. Una muestra de carne de 150 [g] fue comprada en la plaza central de Bucaramanga y llevada de manera inmediata al refrigerador, previamente enfriado con una temperatura de cámara de 7 [°C] y concentración de 3 [ppm] de O₃.

Figura 39. Carne al momento de la compra



7.2.2 Carne refrigerada durante tres días con presencia de ozono

Figura 40. Carne refrigerada con ozono al tercer día



Un color café es evidente al momento de extraer la carne para ser fotografiada, su textura es tersa, no presenta viscosidad alguna y un olor neutro.

7.2.3 Carne refrigerada durante cinco días sin presencia de ozono

Figura 41. Carne refrigerada con ozono al quinto día



El color rojizo ha desaparecido por completo, en su lugar podemos ver una superficie bastante pálida y oscura, este hecho según consultas se debe a la interacción del ozono que oxida de manera fuerte la superficie de las carnes, el olor sigue siendo neutro y la textura superficial ligeramente dura pero en su interior sigue conservando una densidad similar a la de la compra.

7.2.4 Carne refrigerada durante siete días sin presencia de ozono

Figura 42. Carne refrigerada con ozono al séptimo día



En esta fotografía se quiere hacer denotación en la fuerte oxidación de la superficie de la carne con el ambiente con una concentración de 3 [ppm] de ozono, es evidente que el gas antibacterial está interactuando con el producto cárnico; la muestra de la parte superior derecha se ha girado 180 grados para mostrar la parte que ha estado en contacto con el plato y no ha recibido ozono gaseoso de manera directa, mostrando así una superficie rojiza similar a la que se presentaba el primer día, sin muestras de putrefacción evidentes. Por otro lado el olor sigue siendo ligeramente a ozono y no es desagradable.

7.2.5 Carne refrigerada durante nueve días sin presencia de ozono

Figura 43. Carne refrigerada con ozono al noveno día



La carne es predominantemente marrón, no presenta aún mal olor y su textura se hace ligeramente más densa, al parecer la superficie que se ha oxidado, se ha venido oxidando cada vez más profundamente sin ser esta muy significativa.

7.2.6 Carne refrigerada durante once días sin presencia de ozono

Figura 44. Carne refrigerada con ozono al undécimo día



Su ligero olor a ozono se presenta al undécimo día más fuerte, pero este desaparece unos minutos después de que la carne deja de estar en el medio ozonizado, una de las tres muestras ha sido llevada para su análisis de conteo

bacteriano en el laboratorio, en la parte inferior de la carne aún se puede observar como se ha conservado las características generales de una carne en un óptimo estado, la carne conserva una textura similar a la instancia anterior dos días atrás y no presenta un olor desagradable.

7.2.7 Carne refrigerada durante trece días sin presencia de ozono

Figura 45. Carne refrigerada con ozono al décimo tercer día



La carne nunca tuvo un mal olor, está siempre presentó un olor a ozono que se desvanece rápidamente una vez la carne dejó de tener interacción con un ambiente rico en ozono (3 [ppm]), nunca llegando a ser desagradable, al parecer el efecto bacteriano que genera un olor putrefacto fue neutralizado gracias al gas antibacterial ozono, por otro lado, la carne se ha hecho más densa y de un color café que se ha venido oscureciendo paulatinamente.

7.3 RESULTADOS DE CONTEO BACTERIANO

Tabla 8. Formato de resultados entregado por LabAlime



IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

| | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Muestra No | 48294 |
| Muestra | CARNE DE RES CRUDA BOLA X 150g |
| Empresa | JULIÁN MORENO |
| Fecha de Recepción (año-mes-día) | 2016-09-16 00:00:00 |
| Objeto del Análisis | Control de calidad microbiológica |
| Lugar de Recolección | Traída al laboratorio |
| Responsable del Muestreo | El solicitante |

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------------|----------|----------------------|
| Coliformes totales | 80 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |
| Coliformes fecales | Menos de 3 | Menos de 10 | 1.100 | uf/g | Recuento en placa ch |
| Estafilococo coagulasa positiv | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| Esporas sulfito reductor | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.000 | ufc/g | Recuento en tubo SPS |
| Salmonella spp | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |

NOTA : RESULTADO VALIDO SOLO PARA MUESTRA ANALIZADA Y NO PUEDE REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION

OBSERVACIONES: DIRECTO DEL PROVEEDOR


Fabián Anaya Payares
Director Técnico

7.3.1 Muestra de carne de proveedor para refrigerar sin ozono

Tabla 9. Carne refrigerada sin ozono a los cero días

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|--------------------------------|--------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|
| Coliformes totales | 60 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |
| Coliformes fecales | Menos de 10 | Menos de 10 | Sin limite estableci | uf/g | Recuento en placa ch |
| Estafilococo coagulasa positiv | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| Esporas sulfito reductor | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.000 | ufc/g | Recuento en tubo SPS |
| Salmonella spp | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |

Esta es una extracción de la tabla de resultados de análisis bacteriano que entrega el laboratorio LabAlime, en ella cabe destacar el dato de coliformes fecales y coliformes totales, que son los indicadores principales de bacterias en las muestras de carne.

Este resultado de carne llevado directamente a análisis desde el punto de compra al proveedor arroja menos de 10 coliformes fecales y 60 coliformes totales.

7.3.2 Muestra de carne refrigerada durante cinco días sin presencia de ozono

Tabla 10. Carne refrigerada sin ozono al quinto día

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|----------|----------------------|
| <i>Esporas sulfito reductor</i> | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.000 | ufc/g | Recuento en tubo SPS |
| <i>Estafilococo coagulasa positiv</i> | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| <i>Coliformes fecales</i> | 80 | Menos de 10 | 1.100 | uf/g | Recuento en placa ch |
| <i>Coliformes totales</i> | 12.000 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |
| <i>Salmonella spp</i> | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |

Durante estos tres días de refrigeración a siete grados los coliformes fecales aumentaron de menos de 10 a 80 y los coliformes totales presentaron un aumento de 60 a 12000, al parecer la refrigeración a 7 [°C] no resultó ser muy efectiva para la conservación cárnica durante este periodo de tiempo, está carne no presenta reactividad positiva a la salmonela.

7.3.3 Muestra de carne refrigerada durante quince días sin presencia de ozono

Tabla 11. Carne refrigerada sin ozono al décimo quinto día

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|----------|----------------------|
| <i>Salmonella spp</i> | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |
| <i>Estafilococo coagulasa positiv</i> | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| <i>Coliformes fecales</i> | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.100 | uf/g | Recuento en placa ch |
| <i>Coliformes totales</i> | 6.200.000 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |

La cantidad de coliformes totales ascendió a niveles del orden de 10^6 , totalmente inaceptable para el consumo humano, los coliformes fecales, por el contrario muestran un resultado no esperado pues volvieron a ser menos de 10.

7.3.4 Muestra de carne de proveedor para refrigerar en presencia de ozono

Tabla 12. Carne refrigerada con ozono a los cero días

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------------|----------|----------------------|
| Coliformes totales | 80 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |
| Coliformes fecales | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.100 | uf/g | Recuento en placa ch |
| Estafilococo coagulasa positiv | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| Esporas sulfito reductor | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.000 | ufc/g | Recuento en tubo SPS |
| Salmonella spp | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |

Este resultado es muy similar a la primera muestra de carne que se usó para refrigerar sin ozono, cuyo número de coliformes totales era 60, esta, en cambio tiene 80, lo cual es bastante aceptable para ser una muestra comparativa con la primera, por otro lado el número de coliformes fecales es menor de 10.

7.3.5. Muestra de carne refrigerada durante cinco días en presencia de ozono

Tabla 13. Carne refrigerada con ozono al quinto día

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|----------|----------------------|
| <i>Coliformes totales</i> | 1.100 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |
| <i>Coliformes fecales</i> | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.100 | uf/g | Recuento en placa ch |
| <i>Estafilococo coagulasa positiv</i> | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| <i>Esporas sulfito reductor</i> | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.000 | ufc/g | Recuento en tubo SPS |
| <i>Salmonella spp</i> | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |

Recordemos que la muestra refrigerada sin ozono pasó de tener 60 coliformes totales al momento de la compra a tener 12000 al quinto día de refrigeración; por el contrario esta muestra pese a que tenía en un principio 80 coliformes totales (20 más que la primera muestra) solo aumentó a 1100 el número total de coliformes, mostrando una fuerte reducción en la cantidad de bacterias reproducidas durante este periodo.

7.3.6 Muestra de carne refrigerada durante quince días en presencia de ozono

Tabla 14. Carne refrigerada con ozono al décimo quinto día

RESULTADOS

| PARAMETRO | RESULTADO | LIM INFE. | LIM SUPE. | UNIDAD | TECNICA |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------------|----------|----------------------|
| <i>Coliformes totales</i> | 30.000 | Menos de 10 | Sin limite establec | ufc/g | Rcto en placa Chromo |
| <i>Coliformes fecales</i> | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.100 | uf/g | Recuento en placa ch |
| <i>Estafilococo coagulasa positiv</i> | Menos de 100 | Menos de 100 | 1.000 | ufc/g | Rcto en placa B. Par |
| <i>Esporas sulfito reductor</i> | Menos de 10 | Menos de 10 | 1.000 | ufc/g | Recuento en tubo SPS |
| <i>Salmonella spp</i> | Negativo | Negativo | Negativo | ufc/25 g | Salmosyst |

Evidentemente las bacterias se han reproducido de manera notablemente menor en presencia de ozono que sin él, una muestra similar con tratamiento de refrigeración igual sin presencia de ozono alcanzó 6'200.000 coliformes totales, un valor absolutamente inaceptable para el consumo humano, por el contrario esta muestra refrigerada en presencia de ozono, en el límite justo que es apto para el consumo humano, solo ascendió a 30.000 coliformes totales en el mismo periodo de tiempo, el cual es similar al de la carne oreada.

7.3.7 Comparación de las muestras con y sin ozono

Tabla 15. Comparación de coliformes de con y sin ozono

| | COLIFORMES FECALES | | COLIFORMES TOTALES | |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Sin O ₃ | Con O ₃ | Sin O ₃ | Con O ₃ |
| DX INICIAL | Menos de 10 uf/g | Menos de 3 uf/g | 60 ufc/g | 80 ufc/g |
| 5 DÍAS | 80 uf/g | Menos de 10 uf/g | 12.000 ufc/g | 1.100 ufc/g |
| 15 DÍAS | Menos de 10 uf/g | Menos de 10 uf/g | 6.200.000 ufc/g | 30.000 ufc/g |

Se pudo apreciar como la carne en contacto con ozono disminuyó drásticamente la cantidad de coliformes totales, hasta en un 99,94%, aumentando de esta forma el tiempo de vida útil de la carne.

7.4 ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGETICO

En base a la toma de datos y cálculos realizados en el capítulo anterior donde se determinó el costo de energía mensual del sistema de refrigeración y del sistema generador de ozono se pudo realizar la siguiente tabla comparativa:

Tabla 16. Comparación del consumo energético

| ANÁLISIS DEL COSTO DE REFRIGERACIÓN | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------|-----------|
| Aplicación: | | Cámara de Refrigeración | | | | | | |
| voltaje del sistema | | 115 [v] | | | | | | |
| Corriente del compresor | | 5 [a] | | | | | | |
| Potencia | | 575 [watts] | | | | | | |
| Corriente de encendido | | 15 [a] | | | | | | |
| Potencia encendido | | 1725 [watts] | | | | | | |
| Valor kilowatt | | 431 [pesos] | | | | | | |
| | time on [seg] | Ciclos del día | Horas encendido | Energía [(kw/hora)-dia] | Energía encendido [(kw/hora)-dia] | Energía circuito [(kw/hora)-dia] | Kw-mes | Costo mes |
| -20 ° | 167 | 124,5 | 5,775416667 | 3,320864583 | 0,05965625 | 0 | 101,416 | 43710,1 |
| 7 ° | 40 | 72,85 | 0,809444444 | 0,465430556 | 0,034907292 | 9,605 | 24,6151 | 10609,1 |

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la diferencia del costo de energía de un congelador cárnico actual, comparado con el sistema propuesto en este proyecto, el cual combina la refrigeración junto con el generador de ozono es aproximadamente un 75% más costoso, con lo que se puede concluir que es una alternativa a tomar en cuenta y de gran interés para profundizar en investigación en este y otros productos alimenticios para ser refrigerados.

8. CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo del presente proyecto se investigó y se tuvieron en cuenta diferentes agentes antibacteriales, seleccionando como mejor alternativa el ozono por su alta eficiencia bactericida.
- Se diseñó un sistema de refrigeración con un rango de temperatura de operación de 0 a 10 grados Celsius y un volumen de 150 litros aproximadamente de acuerdo a los objetivos del proyecto para lo cual se calculó el compresor en función de las cargas térmicas a extraer.
- Se estudiaron diversas formas de generación de ozono, de los cuales se seleccionó el método de descargas eléctricas debido a su fácil construcción, efectividad y economía, de esta manera y acto seguido se diseñó un prototipo generador de ozono.
- Se desarrolló e implementó un sistema de refrigeración con un generador de ozono diseñado previamente para que trabajaran en conjunto y así evitaran la pronta descomposición de los alimentos cárnicos.
- Por medio de los análisis de consumo energético donde se midieron los costos mensuales de energía de un congelador cárnico del mercado y el sistema implementado en este proyecto, se logró evidenciar que el primero tiene un costo energético de hasta un 75% más alto, esto se debe a que un congelador cárnico tradicional tiene un gasto energético de 101 KW-H mes y el sistema acá propuesto tan solo 24 KW-H mes, dicha diferencia se debe a que el consumo del compresor no es lineal para diferentes temperaturas, siendo un equipo mucho más eficiente cuando se trata de temperaturas más altas.

- En un refrigerador con una temperatura de 7 grados Celsius, la carne logró prolongar su vida útil gracias a la ayuda del Ozono hasta en 12 días más, esto se debe a que la carne en contacto con ozono disminuyó drásticamente la cantidad de coliformes totales, hasta en un 99,94%.
- El efecto combinado de la refrigeración y ozonización muestra resultados muy positivos tanto para los alimentos como para el ahorro energético.

9. RECOMENDACIONES

- Para la generación de ozono se utilizan altos voltajes (por encima de 1Kv), por esta razón se deben tomar todas las precauciones inherentes al riesgo eléctrico.
- Se debe evitar estar expuesto al ozono periodos prolongados de tiempo, debido a que esto puede acarrear molestias al organismo; como dolor de cabeza e irritación de nariz y garganta.
- Investigar sobre métodos para medir la concentración de ozono, ya que no son fáciles de conseguir en nuestro entorno y son bastante costosos.
- Para la realización de pruebas microbiológicas, como las presentadas en este proyecto de grado, es necesario realizar los traslados de las muestras cárnicas con la mayor asepsia posible, de lo contrario los resultados obtenidos serán poco confiables.
- Como con cualquier aparato, el mantenimiento del sistema generador de ozono propuesto debe ser realizado por personas que conozcan su principio de funcionamiento, de no ser así pueden producirse fallas en el sistema, acarreando un aumento en el consumo de energía eléctrica, una inadecuada preservación de los cárnicos, e incluso cortos de corriente.

BIBLIOGRAFÍA

AGUAYO, Encarnación. Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en freso. Tesis de doctorado. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, 2003. p. 56-63

CAÑEDO, Ricardo. Diseño de un equipo generador de ozono clínico para blanqueamiento dental. Trabajo de grado Ingeniero Electrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e ingeniería. Departamento académico de ingeniería. 2012. 17 p

CARRILLO, Leonor y AUDISIO, Marcela. Manual de microbiología de los alimentos. San Salvador de Jujuy: Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Agrarias, UN JU, 2007. p. 102-115

GALVIS, Alberto, et. al. Evaluación del funcionamiento de un generador de ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano. En: Ingeniería y competitividad. 2011. Vol. 7, p. 65-72

LÓPEZ, Diana Carolina y VÁSCONEZ, Juan Pablo. Diseño e implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano. Trabajo de grado Ingeniero en Electrónica y Control. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Departamento de automatización y control industrial, 2013. p. 4-5

NIETO, Antonio. Diferencia de temperatura en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. En: Cero grados Celsius, Febrero de 2012.

PARZANESE, Magali. Tecnología para la industria alimentaria: Ozono en alimentos. En: Alimentos Argentinos. Junio, 2012. Vol. 54, p. 72-8