

**DISEÑO DE UN REFRIGERADOR QUE OPERE EN PRESENCIA DE UN
AGENTE ANTIBACTERIAL. INGENIERÍA BÁSICA**

**DANIEL RICARDO JAIMES MORENO
JORGE EDUARDO MORENO MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO DE UN REFRIGERADOR QUE OPERE EN PRESENCIA DE UN
AGENTE ANTIBACTERIAL. INGENIERÍA BÁSICA**

**DANIEL RICARDO JAIMES MORENO
JORGE EDUARDO MORENO MORENO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director:

**CARLOS RODRIGO CORREA CELY
Doctor en Ciencia e Ingeniería de Polímeros**

Codirector

**IVÁN MAURICIO AMAYA
Doctor en Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	14
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1.1 Justificación	14
1.1.2 El problema que se aborda.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo General	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
2. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	16
2.1 FUNDAMENTOS DE LA REFRIGERACIÓN	16
2.1.1 Definición de un sistema de refrigeración	16
2.1.2 Tipos de refrigeración	16
2.1.3 Los refrigerantes	17
2.2 ALIMENTOS PERECEDEROS.....	17
2.2.1 Los cárnicos.....	18
2.2.2 Microorganismos en los cárnicos.....	18
2.3 AGENTES ANTIBACTERIANOS	18
2.3.1 Tratamiento con ozono.	19
2.4 EL OZONO	19
2.4.1 Generalidades del ozono.	19
2.4.2 Formas de generación de ozono.	20
2.4.3 Historia de la utilización del ozono.....	21
2.4.4 Diversas aplicaciones del ozono.....	22
2.4.5 El ozono en alimentos.....	22

2.4.6 Toxicidad del ozono	23
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	24
3.1 DESARROLLO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE GENERACION DE OZONO	24
3.1.1 Selección de la técnica de generación.....	24
3.1.2 Análisis de la generación de ozono a través de descargas eléctricas	25
3.1.3 Parámetros del sistema generador de ozono	25
3.1.4 Diferencia de tensión	26
3.1.5 Corriente Continua o Corriente Alterna	26
3.1.6 Frecuencia de operación.....	26
3.1.7 Electroodos	27
3.1.8 Gas de alimentación.	29
3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO GENERADOR DE OZONO ...	29
3.2.1 Presupuesto del circuito generador de ozono.....	34
3.3 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	34
3.3.1 Condiciones de diseño del sistema de refrigeración.....	35
3.3.2 Cargas térmicas parciales.....	35
3.3.3 Temperatura del evaporador y condensador	43
3.3.4 Selección del condensador y el evaporador	44
3.3.5 Planos mecánicos del refrigerador que se diseñó	45
4. TOMA DE DATOS Y RESULTADOS.....	48
4.1 PUNTOS DE OPERACIÓN DEL CIRCUITO GENERADOR DE OZONO	48
4.2 MEDIDAS DE CONCENTRACIÓN DE OZONO	54
4.3 SISTEMA DE REFRIGERACION CON GENERACIÓN DE OZONO	59
5. CONCLUSIONES	61
6. RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Electroodos.....	29
Figura 2. Bobina de ignición sencilla.....	30
Figura 3. Circuito generador de ozono.....	31
Figura 4. Plano eléctrico circuito generador de ozono.....	33
Figura 5. Dimensiones del refrigerador.....	38
Figura 6. Materiales de las paredes de refrigerador	38
Figura 7. Plano mecánico del refrigerador	46
Figura 8. Forma de onda a la salida del microcontrolador (Abscisa: 500[us] por división. Ordenada: 2 [V] por división).	51
Figura 9. Parámetros de la señal de salida del microcontrolador	52
Figura 10. Tensión a la salida de la bobina de ignición (Abscisa: 500[us] por división. Ordenada: 2 [V] por división)	53
Figura 11. Parámetros de la señal a la salida de la bobina de ignición	54
Figura 12. Analizador de ozono utilizado en las pruebas.....	55
Figura 13. Ozonizador prototipo.....	56
Figura 14. Acople entre el ozonizador y el analizador de ozono.....	56
Figura 15. Prueba malla 10 x 10cm	57
Figura 16. Prueba malla 5 x 5cm	58
Figura 17. Ciclo de encendido sistema de refrigeración y generación de ozono ...	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Efectos del ozono a diferente concentración	23
Tabla 2. Presupuesto del circuito generador de ozono.....	34
Tabla 3. Modelos de compresores.....	45
Tabla 4. Componentes del refrigerador	47
Tabla 5. Tensión promedio Frecuencia 2,36 KHz variando el ciclo de trabajo	49
Tabla 6. Tensión promedio Frecuencia 5,68 KHz variando el ciclo de trabajo	49
Tabla 7. Tensión promedio Frecuencia 4,88 KHz variando el ciclo de trabajo	49
Tabla 8. Tensión promedio Frecuencia 3,78 KHz variando el ciclo de trabajo	49
Tabla 9. Tensión promedio Frecuencia 3,04 KHz variando el ciclo de trabajo	50
Tabla 10. Tensión promedio Frecuencia 1,64 KHz variando el ciclo de trabajo	50
Tabla 11. Tensión promedio Frecuencia 1,01 KHz variando el ciclo de trabajo	50
Tabla 12. Tensión promedio Frecuencia 520 Hz variando el ciclo de trabajo	50

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Circuito prototipo generador de ozono	68
ANEXO B. Dimensiones referentes al refrigerador	69

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN REFRIGERADOR QUE OPERE EN PRESENCIA DE UN AGENTE ANTIBACTERIAL. INGENIERÍA BÁSICA.

AUTORES: DANIEL RICARDO JAIMES MORENO**
JORGE EDUARDO MORENO MORENO

PALABRAS CLAVES: OZONO, REFRIGERACIÓN, BACTERIAS.

DESCRIPCIÓN:

Para hacer uso racional y eficiente de la energía en un proceso físico-químico, que combinó la refrigeración de un alimento y la acción de un agente anti-bacterial (ozono).

El propósito de este documento es exponer una metodología, desde la ingeniería básica o conceptual, que brinde la información necesaria para el diseño y construcción de un sistema de refrigeración de bajo consumo, alternando su funcionamiento con la generación de ozono.

Se presentan los diferentes factores que afectan la generación de ozono, y se muestra el paso a paso a seguir para diseñar un circuito generador de alta concentración de ozono. De igual manera, se diseña un sistema de refrigeración de manera clara y fácil; explicando cada uno de los parámetros necesarios para su diseño. Buscando una generación eficaz se realizan diferentes pruebas, variando factores fundamentales para así determinar los mejores puntos de operación del circuito generador de ozono diseñado. Con las características determinadas se pone en funcionamiento el ozonizador y se estudia su comportamiento de generación.

Finalmente se propone un modo de funcionamiento alternante del sistema de refrigeración con el generador de ozono.

A manera de conclusión global, el diseño realizado es altamente satisfactorio, no solo porque es económico y técnicamente viable, sino porque aporta una nueva opción y queda abierta una ventana de investigación, en el grupo CEMOS.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Carlos Rodrigo Correa Cely, Doctor en Ciencia e Ingeniería de Polímeros. Codirector: Iván Mauricio Amaya, Doctor en Ingeniería Electrónica

ABSTRACT

TITLE: "DISEÑO DE UN REFRIGERADOR QUE OPERE EN PRESENCIA DE UN AGENTE ANTIBACTERIAL. INGENIERÍA BÁSICA."

AUTHORS: DANIEL RICARDO JAIMES MORENO**
JORGE EDUARDO MORENO MORENO

KEYWORDS: OZONE, REFRIGERATION, BACTERIA.

DESCRIPTION:

To make rational and efficient use of energy in a physical-chemical process, which combined refrigeration of food and the action of an anti -bacterial (ozone) agent.

The purpose of this document is to present a methodology from basic or conceptual engineering, to provide the necessary information for the design and construction of a cooling system low-power operation with alternating ozone generation.

The different factors that affect ozone generation are presented, too is presented the step by step forward to design a generator circuit of high ozone concentration. Similarly, was designed a cooling system in a clear and easy way; explaining each of the parameters required for your design. Looking for an effective generation different tests are performed, varying keys factors to determine the best operating points for ozone generator circuit designed. With certain characteristics is operated the ozone generator circuit and your behavior is studied.

Finally a mode of alternating operation of the cooling system with the ozone generator is proposed.

As an overall conclusion, the design of ozone generator circuit is highly satisfactory, not only because it is economical and technically feasible, but also because it provides a new option and it left open a window in research of CEMOS group.

* Work degree

** Faculty of Mechanical Engineering and Physical. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: Carlos Rodrigo Correa Cely, Doctor of Science and Polymer Engineering. Co-director: Ivan Mauricio Amaya, Doctor in Electronic Engineering

INTRODUCCIÓN

Este trabajo incluye la descripción de los principales componentes de la ingeniería conceptual relacionada con el diseño de un refrigerador, que opere en presencia de un agente anti-bacterial (ozono). Con esta investigación aplicada se busca brindar a futuro una alternativa que pueda disminuir el impacto ambiental de este tipo de equipos, haciendo un uso racional y eficiente de la energía (URE).

De igual forma, el equipo diseñado tiene como propósito aportar el equipo para oxidar crudos, objeto de un trabajo doctoral que se lleva a cabo en el doctorado en materiales de la UIS y del grupo CEMOS.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Justificación. Los alimentos se descomponen debido principalmente, a la combinación o acción separada de variables como: la temperatura, el oxígeno y los microorganismos. El efecto de esta última aumenta a medida que el nivel de agua en los alimentos incrementa. Deshidratarlos como primera alternativa implica alterar sus propiedades, e incrementar su costo comercial. Otra opción considerada en este trabajo, es generar una atmosfera que contenga un agente anti-bacterial para eliminar los microorganismos y contrarrestar los malos olores; operando en forma alterna con la refrigeración.

1.1.2 El problema que se aborda. Se propone el diseño conceptual de un refrigerador con bajo consumo de energía, al integrar durante su funcionamiento y en forma alternante, un agente anti-bacterial que ataque la causa de la descomposición de los alimentos.

Para resolver este problema se plantean los siguientes objetivos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General. Realizar la ingeniería conceptual de un refrigerador que opere en presencia de un agente anti-bacterial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones de diseño de un sistema de refrigeración junto con la generación controlada de un compuesto antibacteriano.
- Desarrollar las etapas comprendidas en la ingeniería básica o conceptual, del proceso físico-químico.
- Realizar los planos eléctricos y mecánicos correspondientes al nuevo sistema propuesto.

2. FUNDAMENTOS TEORICOS

A continuación, se hace un recorrido por la teoría que se estudió durante la realización del presente trabajo de grado.

2.1 FUNDAMENTOS DE LA REFRIGERACIÓN

Es necesario conocer la función y el proceso de la refrigeración, para poder contextualizarla en el trabajo que se realizó.

2.1.1 Definición de un sistema de refrigeración. Un sistema de refrigeración, trata de un conjunto de elementos mecánicos, los cuales basados en principios de la termodinámica y la mecánica de fluidos, se encargan de transferir energía térmica de un punto a otro; en otras palabras, este conjunto mecánico, tiene como objetivo transferir energía en forma de calor, desde la parte interna del conservador hasta el exterior; llegando en esta forma a obtener bajas temperaturas en el interior del refrigerador.

2.1.2 Tipos de refrigeración. Existen dos tipos principales de sistemas de refrigeración: refrigeración por absorción y refrigeración por compresión. La Refrigeración por absorción, puede ser consultada por el lector en libros como el de Cengel y Boles¹.

¹ CENGEL, Yunus y BOLES, Michael. Termodinámica. Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill, 2009. p. 641-644.

La Refrigeración por compresión, como aclaran Cengel y Boles², logra las bajas temperaturas debido a la evaporación de un gas refrigerante; con ayuda de un evaporador. Utilizaremos este el tipo de refrigeración en nuestro proyecto debido a que es el más ampliamente utilizado, más económico y más eficiente térmicamente.

2.1.3 Los refrigerantes. Los refrigerantes, como presentan Cengel y Boles³, 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 medio ambiente. Existe un amplio espectro cuando se habla de refrigerantes. Si el lector quiere profundizar en los diferentes tipo de refrigerantes, se recomienda la le lectura del trabajo realizado por Plazas⁴.

2.2 ALIMENTOS PERECEDEROS

Un alimento perecedero, es aquél que es más propenso a iniciar su proceso de descomposición rápidamente. Este es el tipo de alimento que requiere de la refrigeración para mantener la calidad y aumentar su durabilidad, entre ellos encontramos algunos como los cárnicos, los lácteos, las frutas y las verduras. El objetivo de refrigerar los alimentos perecederos, es mantener la temperatura de estos, en un punto donde el deterioro metabólico y microbiológico sea mínimo. Se enfatiza en la carne, ya que esta se tomó como ejemplo.

² Ibíd., p. 620-626.

³ Ibíd., p. 626-628.

⁴ PLAZAS, Juan. Los refrigerantes y el medio ambiente. Trabajo de grado. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Facultad de Náutica de Barcelona. 2012. p. 65-82.

2.2.1 Los cárnicos. 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. Estos representan el máximo riesgo de intoxicaciones. La rápida descomposición en este tipo de alimentos, es causada principalmente, por el desarrollo de los microorganismos inherentes en la mayoría de los canales. El presente trabajo de grado tendrá un enfoque mayor hacia los cárnicos, debido justamente a su propensión al deterioro.

2.2.2 Microorganismos en los cárnicos. Carrillo y Audisio⁵ presentan la flora microbiana que se encuentra normalmente en la carne. Se asumió que la carne es mantenida en su respectiva cadena de frío, y por 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 psicrófilas, dentro las cuales se encuentran especies de: *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Brochothrix thermosphacta*, y algunas *Enterobacteriaceae* y *Lactobacillaceae*.

2.3 AGENTES ANTIBACTERIANOS

Algunas de las técnicas más comúnmente utilizadas para apoyar la refrigeración, consisten en la utilización de radiaciones ultravioleta, compuestos de amonio

⁵ 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.

cuaternario, aldehído fórmico, permanganato potásico, ozono, etc. Algunos de los componentes mencionados anteriormente, requieren que se vacíen los frigoríficos para su utilización, además de que después de su uso se generan algunos residuos tóxicos; sin embargo, este no es el caso del ozono.

2.3.1 Tratamiento con ozono. 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.

2.4 EL OZONO

Siendo el ozono el componente principal del presente trabajo de grado, es necesario dar claridad a diversos aspectos sobre este compuesto.

2.4.1 Generalidades del ozono. La molécula de ozono, está compuesta por 3 átomos de oxígeno (O₃). Para llegar a esta forma antes debe haberse dissociado una molécula de oxígeno (O₂) y los átomos libres (O), se debieron haber unido a otras moléculas de oxígeno. Guzel-Seydim, Greene y Seydim⁶, advierten que en una molécula de ozono, los tres átomos de oxígeno forman un triángulo isósceles; en el que los dos lados iguales miden 1.278 Å, y entre ellos forman un ángulo de aproximadamente 116°49'.

El ozono es un compuesto altamente inestable, debido a la naturaleza covalente de sus enlaces y la pequeña fuerza de estos. Su tendencia a cederle a otros compuestos uno de sus átomos de oxígeno, lo hace uno de los compuestos más

⁶ GUZEL-SEYDIM, Zeynep; GREENE, Annel y SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. En: LWT – Food Science and Technology. Abril, 2004. Vol. 37, No. 4, 454 p.

oxidantes que existen, únicamente superado por el fluoruro, además como advierten Seminario, Acuña y Williams⁷, en comparación con el cloro su velocidad de reacción es 3000 veces superior. Por todo lo anterior puede ser utilizado como agente antiséptico y bactericida.

2.4.2 Formas de generación de ozono. Para llevar a cabo la disociación de una molécula de oxígeno, como presentan López y Vásquez⁸, es necesario suministrarle una energía capaz de romper el doble enlace que une a sus átomos, esta energía generalmente tiene alguno de los siguientes orígenes; Radiación Ultravioleta, Descargas Eléctricas, Radioquímica y Electrólisis.

La Luz Ultravioleta como explica Casal⁹, golpea a las moléculas de oxígeno y por el efecto que la Radiación Ultravioleta genera en ellas, estas se dividen en dos átomos de oxígeno; y estos átomos se adhieren a otras moléculas. De esta forma se genera el ozono troposférico, por ejemplo; el cuál es muy común en la naturaleza ya que forma la capa de ozono que a su vez nos protege de los rayos ultravioleta.

La generación de ozono a través de descargas eléctricas como advierte Cañedo¹⁰, requiere que exista una elevada diferencia de potencial entre dos puntos, entre los cuáles hay moléculas de oxígeno. Cuando entre los dos puntos se produce una

⁷ SEMINARIO, L.A.; ACUÑA, F.J. y WILLIAMS, S. [online]. El ozono y su aplicación en la conservación de alimentos. [Citado junio, 2016]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publicliterature.PublicLiterature.search.html?type=keyword&searchkeyword=E1+Ozono+y+su+Aplicaci%C3%B3n+en+la+Consevaci%C3%B3n+de+Alimentos>.

⁸ LÓPEZ, Diana Carolina y VÁSQUEZ, 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.

⁹ CASAL, Carlos. Caracterización de la radiación ultravioleta en la provincia de Huelva e incidencia en la productividad y el valor biotecnológico de cultivos de interés comercial. Tesis doctoral Doctor en Ciencias Ambientales. Huelva: Universidad de Huelva. Departamento de química y ciencia de los materiales “Prof. J. Carlos Vílchez Martín”, 2010. 13 p.

¹⁰ 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.

descarga eléctrica, los electrones en ese espacio se aceleran, adquiriendo una gran energía cinética y produciendo choques capaces de romper las moléculas de oxígeno; para que posteriormente se constituyan las moléculas de ozono. Este fenómeno se presenta en la naturaleza, durante las tormentas eléctricas y a su vez es el modo de funcionamiento más común en los generadores de ozono comerciales.

La tercera fuente de energía, hace alusión a la radiación emitida por los isotopos radiactivos de estroncio, cobalto o cesio; ya que esta genera ozono. Sin embargo, por razones de seguridad esta fuente de energía es muy poco utilizada por el hombre para la obtención de ozono.

Finalmente, también es posible obtener ozono como un subproducto al separar ciertos compuestos a través del proceso de electrólisis; entre los compuestos que se pueden utilizar para producir ozono de esta forma, se encuentran el permanganato de potasio, el peróxido de bario, y el ácido sulfúrico.

2.4.3 Historia de la utilización del ozono. Deininger et al¹¹, presentan un recorrido por la historia del ozono, y de sus primeras aplicaciones como bactericida. Beutelspacher y Calderón¹², explican que rápidamente hubo un auge en la utilización del ozono, se pusieron en funcionamiento más plantas de tratamiento de agua y se constituyeron empresas especializadas en su adecuación y mantenimiento.

¹¹ DEININGER, Rolf; SKADSEN, Janice; SANFORD, Larry y MYERS, Anthony. Desinfección del agua con ozono. En: Simposio regional sobre la calidad del agua: desinfección efectiva (1: 27-29, octubre: Lima, Perú). Ozono. Lima: CEPIS, 1998. 9 p.

¹² BEUTELSPACHER, Erwin y CALDERÓN, José. Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua. Tesis de maestría Maestro en ciencias en ingeniería mecatrónica. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Academia de mecatrónica, 2005. 1 p.

2.4.4 Diversas aplicaciones del ozono. Por sus diferentes propiedades, el ozono, como aclaran López y Vásconez¹³; es utilizado en una gran cantidad de industrias, entre las que encontramos algunas tan diversas como: Medicina, Odontología, Industria Alimentaria, Sector Agropecuario y la Industria Química.

2.4.5 El ozono en alimentos. Pese a que como lo señala la revista Alimentaria¹⁴, en Europa se utiliza ozono para la conservación de carnes, desde antes de la segunda guerra mundial, en la investigación realizada para el desarrollo del presente trabajo de grado; no se encontraron estudios acerca de la utilización de ozono en carne refrigerada, previos al que como advierte Lawrie¹⁵ fue realizado por Kefford¹⁶ en 1948. Este estudio denotó que el ozono, puede ser utilizado para impedir el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento prolongado a temperaturas de refrigeración.

Estudios publicados a inicios de los 90 como el de Mitsuda en 1990, y el de Greer, Jones, Jeremiah, Murray y Robertson¹⁷ en 1991, fortalecieron investigaciones que se habían conocido aproximadamente treinta años atrás; como la de Kefford, expuesta en el párrafo anterior, y la de Kaess y Weidemann¹⁸; ya que estos concluyeron que efectivamente la utilización de ozono gaseoso inhibe o atenúa, según sea el caso la proliferación de microorganismos. La utilización del ozono en la industria alimenticia, cuenta con el apoyo de algunos entes gubernamentales como el ministerio de agroindustria argentino. En la revista de publicaciones de

¹³ LÓPEZ y VÁSCONEZ. Op. cit., p. 10-13.

¹⁴ El ozono y sus aplicaciones en la industria alimentaria. En: Alimentaria publicación oficial de la cámara costarricense de la industria alimentaria. Mayo, 2007. Vol. 91. 31 p.

¹⁵ LAWRIE, Ralston y LEDWARD, David. Lawrie's meat science. Seventh edition. Cambridge: Woodhead publishing limited, 2006. 278 p.

¹⁶ KEFFORD, F.J. En: Journalist council science, industry and research australian. 1948. Vol. 21. 116 p.

¹⁷ JONES, S.D.M.; GREER, G.G.; JEREMIAH, L.E.; MURRAY, A.C. y ROBERTSON, W.M. En: Meat Science. 1991. Vol. 29. 1 p.

¹⁸ KAESSE, G. y WEIDEMANN, J.F. En: Proceedings of the 9th meeting european meat research workers. Budapest, 1963. Paper N° 59.

esta entidad, Parzanese¹⁹ 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.

2.4.6 Toxicidad del ozono. Referente a la toxicidad del ozono, a continuación, en la Tabla 1. Se presentan los efectos del ozono a diferentes niveles de concentración.

Tabla 1. Efectos del ozono a diferente concentración

Efectos del ozono	Concentración (PPM)
Umbral olfativo	0,005-0,02
Máximo límite de exposición durante 8 horas	0,1
Irritación de la nariz y la garganta	>0,1
Fatiga, dolor de pecho y garganta seca	0,5-1
Dolor de cabeza, trastornos de coordinación, posible coma	1-10
Inmediatamente peligroso para la vida y la salud	10
Letal para pequeños animales en menos de 2 horas	15-20

¹⁹ PARZANESE, Magali. Tecnología para la industria alimentaria: Ozono en alimentos. En: Alimentos Argentinos. Junio, 2012. Vol. 54, p. 72-80.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

En este capítulo se presentarán los diseños del sistema de refrigeración y del sistema de generación de ozono, además de las diferentes pruebas que se realizaron.

3.1 DESARROLLO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE GENERACION DE OZONO

Es necesario definir bastantes cosas para llegar a tener diseñado un sistema de generación de ozono.

3.1.1 Selección de la técnica de generación. Como se presentó en el capítulo anterior, hay varias alternativas para generar ozono; por lo tanto, para seleccionar la forma de generación adecuada para el presente proyecto, se hizo un análisis de cada una de las alternativas presentadas en dicho capítulo.

En el caso de la opción de utilizar isótopos radiactivos de estroncio, cobalto o cesio; esta fue descartada por toda la complejidad en cuestiones de seguridad que se deben tener en cuenta al trabajar con elementos radioactivos. En cuanto a la técnica de electrólisis, esta se descartó debido a que, para generar ozono de esta forma, se requiere un suministro permanente del compuesto químico; que se seleccione para el proceso, y además de ocasiona un sobre costo. Finalmente, entre la generación con luz ultravioleta y la generación a través de descargas eléctricas, se seleccionó esta última, debido a que es la opción más económica y por ser un gas; este se propaga fácilmente por todo el recipiente que lo contenga, asegurando un mayor contacto de este con los alimentos a controlar. En cuanto a

seguridad, se debe mantener el generador de ozono con un buen aislamiento eléctrico de acuerdo con los niveles de tensión utilizados.

3.1.2 Análisis de la generación de ozono a través de descargas eléctricas. La generación de ozono utilizando descargas eléctricas, se presenta cuando entre dos puntos se tiene una diferencia de potencial, tal que se genera un campo eléctrico capaz de ionizar el gas de alimentación (aire u oxígeno) entre dichos puntos. Cuando la diferencia de tensión entre esos dos puntos supera al voltaje de ruptura del gas, entre ellos se crea una descarga eléctrica en ese espacio. Este fenómeno se conoce como efecto corona. La descarga eléctrica rompe las moléculas de oxígeno (O_2) que se encuentran en el aire, dando como resultado la aparición de dos átomos de oxígeno (O); que debido a su alta inestabilidad se unirán a una molécula de oxígeno, formando así moléculas de ozono (O_3). Las moléculas de ozono siguen aún siendo inestables, y éstas eventualmente en un breve periodo de tiempo, dependiente de las condiciones ambientales se descompondrán dando lugar a tres moléculas de oxígeno por cada dos de ozono.

3.1.3 Parámetros del sistema generador de ozono. Para diseñar el sistema generador de ozono, es necesario identificar los diferentes factores que afectan la generación, y realizar el respectivo análisis de cada uno de estos para detectar el modo en que afectan el proceso.

En la técnica de generación seleccionada, es decir la de descargas eléctricas; hay varios factores que influyen en la generación de ozono. Entre estos tenemos el valor de la diferencia de tensión entre los electrodos, el tipo de corriente (continua o alterna). En caso de ser alterna se debe tener en cuenta la frecuencia de operación. Otros factores son: la geometría y material de los electrodos, y el gas de alimentación

3.1.4 Diferencia de tensión. Para poder generar ozono, el voltaje mínimo debe ser el voltaje de ruptura. Este umbral depende del tipo de gas de alimentación, y se le puede hallar a través de la siguiente ecuación:

$$V_{min} = Kp1 * dg * P + Kp2 \quad (1),$$

Donde dg es el espacio de descarga en milímetros, P es la presión absoluta del gas de alimentación en Kilo pascales; y $Kp1$ y $Kp2$ son constantes adimensionales que dependen del tipo del gas de alimentación; $Kp1$ es 29,64 para aire y 26,55 para oxígeno y $Kp2$ toma el valor de 1350 para aire y 1480 para oxígeno. Aumentar la diferencia de tensión, también aumenta la intensidad de campo eléctrico, el estado de ionización del gas y el número de reacciones químicas que generan ozono. Sin embargo, esto únicamente ocurre hasta que el medio se satura. Pasado este punto, aumentar el voltaje únicamente incrementa la temperatura en los electrodos.

3.1.5 Corriente Continua o Corriente Alterna. En este punto es importante destacar que el mayor inconveniente que presentan las descargas corona es su inestabilidad. Se utiliza la descarga de barrera dieléctrica (DBD), la cual consiste en cubrir uno de los electrodos con un dieléctrico, limitando así la corriente y evitando posibles arcos eléctricos. La configuración de DBD requiere de corriente alterna, ya que el dieléctrico evita que se formen las descargas en corriente continua.

3.1.6 Frecuencia de operación. Utilizar una frecuencia de operación superior a la de la red eléctrica nos permite incrementar la producción de ozono, esto con base en que mientras más alta sea la frecuencia, menos tiempo tienen los electrones e iones para atravesar el espacio de descarga; aumentando el número de descargas.

Sin embargo, al igual que sucede con el nivel de tensión, la frecuencia de operación también tiene un punto crítico; más allá de dicho punto el aumento de la frecuencia únicamente acarreará calentamiento en los electrodos, debido al efecto Joule. Es imperativo decir que el calentamiento excesivo de los electrodos, es un efecto bastante nocivo en esta aplicación; no solamente porque se reduce la eficiencia del sistema, sino porque también las altas temperaturas reducen la vida media del ozono.

3.1.7 Electroodos. Existen un gran número de estudios^{20 21 22}, referentes a la geometría de los electrodos; debido a que a lo largo de los años se han utilizado una buena cantidad de topologías en la generación de ozono. Algunas de las más conocidas son las siguientes: cilindro-cilindro, alambre-cilindro, placa-placa, espiral-cilindro y alambre-placa. En el caso de las topologías alambre-cilindro y alambre placa existe una distribución de campo eléctrico no uniforme; según la literatura, a voltajes inferiores a 8 Kilovoltios y bajas concentraciones de ozono, estos presentan una mayor eficiencia. En concordancia con lo anterior, otros estudios revelan que la topología espiral-cilindro presenta características similares a las dos anteriores; pero con un aumento en su eficiencia. Finalmente, las celdas cilindro-cilindro y placa-placa son las adecuadas para altas concentraciones de ozono y niveles de tensión más elevados.

²⁰ Z FANG, Y QIU, Y SUN, H WANG, K EDMUND. Experimental study on discharge characteristics and ozone generation of dielectric barrier discharge in a cylinder–cylinder reactor and a wire–cylinder reactor. *Journal of Electrostatics*, 2008, vol. 66, no 7, p. 421-426.

²¹ A WARSITO, A SYAKUR, G SUSILOWATI. An Ozone Reactor Design with Various Electrode Configurations. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2011, vol. 1, no 2, p. 93.

²² JD MOON, JS JUNG. Effective corona discharge and ozone generation from a wire-plate discharge system with a slit dielectric barrier. *Journal of electrostatics*, 2007, vol. 65, no 10, p. 660-666.

Respecto a la configuración de los electrodos Takaki, K., Hatanaka, Y., Arima, K., Mukaigawa, S., y Fujiwara, T²³., realizaron un estudio entre tres tipos de distintas configuraciones; entre las que encontramos la multipunto, la plana y la tipo trinchera.

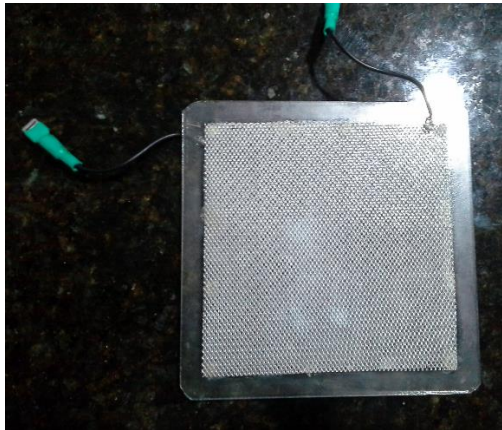
Les fue posible concluir que la configuración de los electrodos, incide en el número de descargas obtenidas; y que, entre las tres configuraciones analizadas, la configuración de electrodos multipunto presentó un mayor número de descargas, para la misma entrada de tensión. Por su puesto cuando de electrodos se habla, es fundamental hablar de su material, Mennad, B., Harrache, Z., Yanallah, K., Aid, D. A., y Belasri, A.²⁴, presentaron una investigación en la que se pusieron a prueba electrodos de tres tipos de materiales diferentes; unos de acero inoxidable, otros de cobre, y otros de aluminio. Para las pruebas realizadas utilizaron la topología cilindro-cilindro, y variando el radio de los electrodos midieron la concentración de ozono. El estudio concluyó que los electrodos de aluminio presentan ligeramente una mayor producción que los de cobre, y una producción absolutamente superior a la obtenida con los electrodos de acero inoxidable.

Con base en todo lo anterior, se decidió utilizar electrodos placa-placa multipunto de aluminio. En la figura 1, se muestran los electrodos utilizados. Consisten en dos mallas de aluminio de 10 x 10 cm separados por un dieléctrico (vidrio).

²³ TAKAKI, Koichi, et al. Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor. *Vacuum*, 2008, vol. 83, no 1, p. 128-132

²⁴ MENNAD, B., et al. Effect of the anode material on ozone generation in corona discharges. *Vacuum*, 2014, vol. 104, p. 29-32.

Figura 1. Electrodo



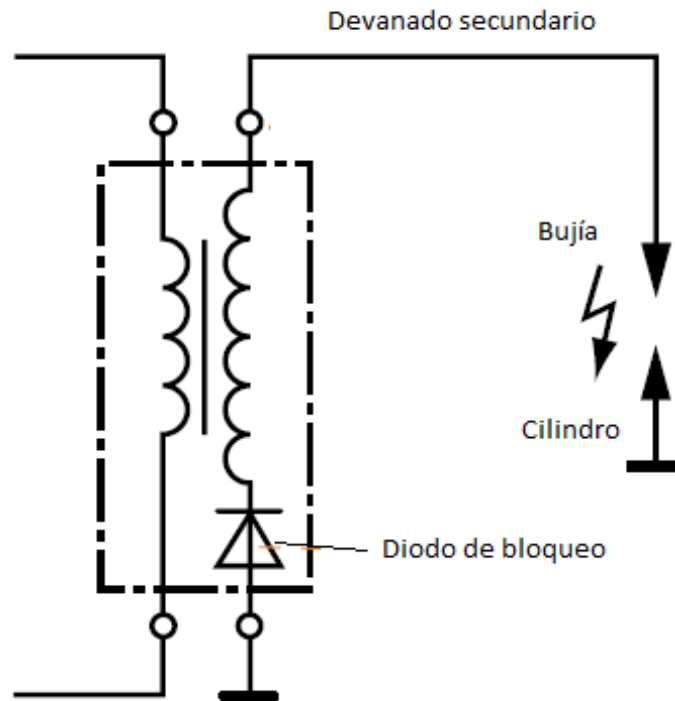
3.1.8 Gas de alimentación. Si bien es cierto que la producción de ozono mejora cuando se utiliza oxígeno puro como gas de alimentación, esa opción no fue considerada en el presente trabajo de grado, porque la utilización de éste como gas de alimentación, generaría un sobre costo y esto algo que no se desea, ya que, si bien se buscó un buen nivel de generación, también se buscó que la propuesta fuera lo más económica y simple posible. Por estas razones el gas de alimentación que se escogió fue aire en su estado natural, sin variar ninguna de las condiciones ambientales.

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO GENERADOR DE OZONO

La manera más sencilla de obtener alta tensión es usando un transformador, pero la mayoría de transformadores funcionan a 60 Hz y son muy robustos. Después de probar con varios transformadores que se tenían disponibles, la máxima tensión que se pudo obtener fue de 5 KV aproximadamente. Pensando en obtener una mayor tensión se decidió usar una bobina de ignición (bobina de encendido),

debido a que en su terminal de alta se pueden obtener de unos 10 KV a 40 KV. En la figura 2 se observa el diagrama de una bobina de ignición sencilla.

Figura 2. Bobina de ignición sencilla.



Para poder obtener alta tensión en el devanado secundario de la bobina de encendido, se debe variar bruscamente la tensión en el devanado primario, para someterla a cambios bruscos de corriente. Debido al comportamiento eléctrico de la bobina, los cambios bruscos de corriente se ven reflejados en considerables niveles de tensión en sus extremos. Aprovechando el efecto transformador se pueden conseguir tensiones muy altas. Este concepto que se aplicó es básicamente el mismo utilizado en el encendido de un automóvil.

El circuito electrónico utilizado para generar ozono consta de dos etapas. La primera etapa es un generador de pulsos, de frecuencia y ciclo de trabajo variable. Esta etapa se implementó con un microcontrolador ATMEGA328. Con el generador de pulsos se está garantizando la variación brusca de tensión en el devanado primario de la bobina de encendido.

La segunda etapa del circuito es la de potencia, esta consta de dos transistores BD137 Y BU931, que son los encargados de suministrar la potencia necesaria a la bobina de encendido. Los datasheet de los transistores se anexan al final del documento. En la figura 3 se observa la implementación del circuito generador de ozono.

Figura 3. Circuito generador de ozono



Finalmente, para poder generar ozono es necesario conectar los electrodos al circuito. Un electrodo va conectado al terminal del devanado secundario de la bobina de encendido, el otro electrodo va conectado a tierra.

El consumo de potencia del circuito generador de ozono se calculó midiendo la corriente de consumo y multiplicándola por el voltaje de alimentación (12 voltios DC). La corriente medida fue de 1,56 Amperios; determinando el consumo de potencia del generador de ozono en 18,72 Watts.

El plano eléctrico del circuito generador de ozono se puede observar en la figura 4.

3.2.1 Presupuesto del circuito generador de ozono. En la tabla 2 se encuentran los precios de los componentes usados para implementar el circuito prototipo generador de ozono.

Tabla 2. Presupuesto del circuito generador de ozono

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO (\$)
Microcontrolador ATMEGA328	1	15000
Cristal 16 MHz	1	1000
Transistor BD137	1	1000
Transistor BU931	1	3000
Bobina de ignición	1	30000
Resistencia	5	500
Capacitor electrolítico 10 uf	2	600
Capacitor cerámico 22 pf	2	600
Regulador 7805	1	1500
Diodo 1N4001	1	300
Bornera	2	1500
Led 5mm	1	200
Socket para integrado	1	1000
TOTAL		56200

Observando el precio del circuito prototipo se concluye que es de muy bajo costo.

3.3 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

A continuación, se presentan algunos de los aspectos relacionados con el sistema de refrigeración, y que fueran abordados en el presente trabajo de grado.

3.3.1 Condiciones de diseño del sistema de refrigeración. El diseño de un sistema de refrigeración está compuesto principalmente por tres componentes:

3.3.1.1 Volumen del equipo: Para el presente proyecto se decide tomar arbitrariamente un volumen de 150 litros para el diseño del refrigerador, volumen con el cual se realizaron todos los cálculos respectivos tanto a nivel de refrigeración como de ozonización.

3.3.1.2 Temperatura de operación: Se tomó una temperatura de operación entre 0 y 10°C, esto se hizo de acuerdo a los estudios realizados previamente. Se tomó una temperatura que se encuentre en los rangos de refrigeración, sin alcanzar temperaturas de congelación para que se pueda tener un ahorro energético.

3.3.1.3 Carga térmica: La carga térmica necesaria a extraer, es un dato necesario para poder determinar la capacidad del compresor. Esta se determina por medio de un balance térmico.

3.3.2 Cargas térmicas parciales. Existen muchos factores que afectan la carga térmica de un sistema de refrigeración, pero solo se tendrán en cuenta tres:

3.3.2.1 Carga térmica generada por el producto: El producto es a quien principalmente se debe retirar el calor para mantenerlo en el estado de conservación que se desea. La carga térmica del producto se determina a través de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{producto}} = \text{Kilos} * (T_e - T_i) * C_e , \quad (2)$$

donde:

Q= carga térmica del producto [Kcal]

Kilos= cantidad de carne a enfriar [Kg]

T_e = temperatura de ingreso de la carne [$^{\circ}\text{C}$]

T_i = temperatura interior del conservador [$^{\circ}\text{C}$]

C_e = Calor específico de la carne a determinada temperatura [$\text{Kcal}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$]

Para calcular la carga térmica generada por el producto, se eligió los embutidos, ya que estos tienen el C_e más alto (0,89) entre los cárnicos²⁵. Esto ocasionó que el sistema de refrigeración seleccionado tuviera un mayor margen de seguridad.

La carne presenta una densidad de $250 \text{ [kg/m}^3\text{]}$; para un el volumen de 150 litros, la capacidad total equivale a 37,5 Kilogramos de carne. Para las características técnicas del refrigerador se utilizaron solo 28 Kilogramos de carne, se recomienda llenar un refrigerador hasta con el 75% total de su capacidad neta. Otro factor determinante para poder determinar la carga térmica a extraer del producto, es la temperatura a la que ingresa y a la que se quiere conservar. Se tomó a una temperatura ambiente igual a 27°C de ingreso de la carne, y a 3°C la temperatura a la cual se quiere llevar.

Una vez obtenidos los valores de todas las variables, se reemplazan en la ecuación principal

$$Q_{\text{producto}} = 28 * (27 - 3) * 0,89 \quad (3)$$

$$Q_{\text{producto}} = 598 \text{ [Kcal]}$$

Convirtiendo a BTU

$$288 \text{ [Kcal]} = 2373 \text{ [BTU]}$$

²⁵ DEVESA, M. y SELLÉS, V. Balance término de una instalación frigorífica. En: IES Beatriu Fajardo de Mendoza (BENIDORM) INSTALACIONES FRIGORICAS. 13 p

3.3.2.2 Carga térmica generada por transmisión a través de las 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.

$$Q_{paredes} = A * \left(\frac{(T_e - T_i)}{R_{total}} \right), \quad (4)$$

donde:

Q= carga térmica generada por transmisión a través de las paredes [Kcal]

R_total = Resistencia total de las laminas $\left[\frac{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}{Kcal} \right]$

Te= temperatura exterior [°C]

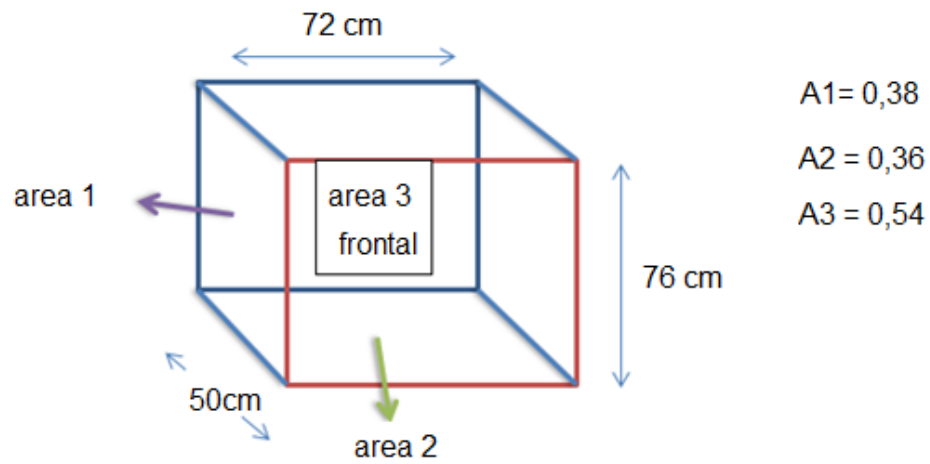
Ti= temperatura interior del conservador [°C]

A = Área de exposición [m^2]

Para esta ecuación se utiliza una temperatura exterior de 27°C, que es la temperatura promedio en Bucaramanga y se utiliza una temperatura interior equivalente a 3°C.

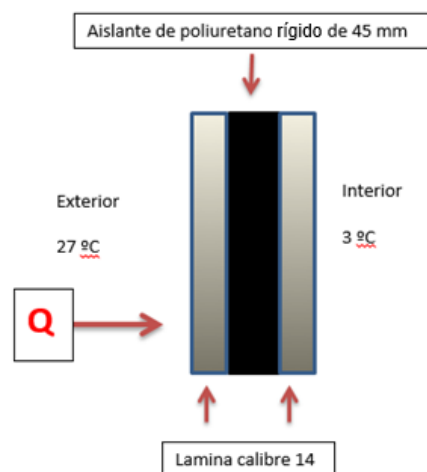
Se determinaron las caras para establecer en las áreas del refrigerador, y estas se pueden apreciar en la Figura 5.

Figura 5. Dimensiones del refrigerador



Se analizó la transferencia de calor por conducción que se presenta entre los diferentes materiales de las paredes del conservador cárnico, como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6. Materiales de las paredes de refrigerador



Cálculo de la resistencia total a la transferencia de Calor

$$R_{total} = R_{aire} + R_{lamina} * 2 + R_{poliuretano} \quad (5)$$

Se realizó el cálculo respectivo de la resistencia del aire

$$R_{aire} = R_{aireInterno} + R_{aireExterno} \quad (6)$$

$$R_{aireInterno} = 1/h_{aire_interno} \quad (7)$$

$$R_{aireExterno} = 1/h_{aire_externo} \quad (8)$$

$$h_{aire} = 10 \text{ [kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

$$h_{aire} = 20 \text{ [kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

$$R_{aireInterno} = 1/10 \quad (7)$$

$$R_{aireExterno} = 1/20 \quad (8)$$

$$R_{aire} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} = 0,15 \left[\frac{m^2 * h * C}{Kcal} \right] \quad (6)$$

Se realizó el cálculo respectivo de la resistencia de la lámina

$$R_{lamina} = \text{EspesorLamina}/K_{lamina} \quad (9)$$

De acuerdo con la tabla de propiedades térmicas de materiales de construcción y aislantes de MILIARIUM, la conductividad térmica de la lámina seleccionada es 53 [W/m*K]

$$\text{Espesor de la Lámina de acero} = 0,0019 \text{ [m]}$$

$$K \text{ de la lámina} = 53 \text{ [W/m}^\circ\text{K]}$$

$$53 \text{ [W/m * K]} = 45,57 \left[\frac{m * h * C}{Kcal} \right]$$

$$R_{lamina} = 0,0019 \text{ [m]} / 45,57 \left[\frac{m * h * C}{Kcal} \right] \quad (9)$$

$$R_{lamina} = 0,0000417 \left[\frac{m^2 * h * C}{Kcal} \right] \quad (9)$$

Se realizó el cálculo respectivo de la resistencia del poliuretano

$$R_{poliuretano} = \text{EspesorPoliuretano} / K_{poliuretano} \quad (10)$$

$$\text{Espesor del poliuretano} = 0,045 \text{ [m]}$$

$$K \text{ del poliuretano} = 0.02 \text{ [W/m*K]}$$

$$0,02 \text{ [W/m * K]} = 0,0172 \left[\frac{m * h * C}{Kcal} \right]$$

$$R_{poliuretano} = 0,045 \text{ [m]} / 0,0172 \left[\frac{m * h * C}{Kcal} \right] \quad (10)$$

$$R_{poliuretano} = 2,6167 \left[\frac{m^2 * h * C}{Kcal} \right] \quad (10)$$

$$R_{total} = R_{aire} + R_{lamina} * 2 + R_{poliuretano} \quad (5)$$

$$R_{total} = 0,15 + (0,0000417 * 2) + 2,6167 = 2,766 \left[\frac{m^2 * h * C}{Kcal} \right] \quad (5)$$

Área total de exposición

$$A = ((A1 + A2 + A3) * 2) [m^2] \quad (9)$$

$$A = 2,56 [m^2] \quad (9)$$

Reemplazando (5) y (9) en (4) se obtiene:

$$Q_{paredes} = A * ((Te - Ti)/R_{total}) \quad (4)$$

$$Q_{paredes} = 2,56 * \left(\frac{(27 - 3)}{2,766} \right) = 22,21 [Kcal/h] \quad (4)$$

Convirtiendo a BTU

$$23,07[Kcal/h] = 88,13[BTU]$$

3.3.2.3 Carga térmica generada por renovación de aire: La carga térmica generada por renovación de aire, es la que se genera cada vez que se abren y se cierran las puertas del refrigerador. Esto genera un intercambio entre el aire interno y el externo, esta carga térmica va directamente ligada con el volumen del refrigerador. El número de aperturas por día debe ser calculado experimentalmente. Teniendo este dato se puede calcular la carga térmica generada por renovación de aire.

$$Q_{renovacion} = V * \rho * N^{\circ} \text{ de renovaciones} * (h_e - h_i), \quad (11)$$

donde:

Q= carga térmica por renovaciones de aire [Kcal]

V = Volumen de la cámara en metros cúbicos [m^3]

ρ = densidad del aire [Kg/m³]

h_e = entalpia del aire exterior [KJ/Kg]

h_i = entalpia del aire interior [KJ/Kg]

Para determinar el calor de renovación, debemos conocer las variables anteriormente mencionadas, las cuales están totalmente determinadas.

El volumen V corresponde al interior de la cámara de refrigeración, es decir $V=0.15$ [m³]. La densidad del aire ρ fue calculada por medio del software EES con una temperatura de $T=25$ [°C] y presión de $P=101.3$ [Kpa] ($\rho=1.184$ [Kg/m³]). La entalpía de aire exterior también fue calculada usando EES, con $T=25$ [°C] y $P=101.3$ [Kpa] ($h_e=298.4$ [KJ/Kg]). La entalpía de aire interior se calculó con una $T=3$ [°C], que corresponde a una temperatura media deseada de refrigeración y $P=101.3$ [Kpa] ($h_i=276.3$ [KJ/Kg]). Por último, se hizo un conteo en algunas tiendas donde se vende carne, y se determinó que en promedio se hacen 10 aperturas/hora.

Ahora, reemplazando datos tenemos:

$$Q_{renovacion} = 0.15 * 1.184 * 10 * (298.4 - 276.3) \quad (11)$$

$$Q_{renovacion} = 39.25 \text{ [Kjul]} \quad (11)$$

Convirtiendo a BTU

$$47,69[\text{Kjul}] = 37,2[\text{BTU}]$$

La carga térmica total la determinamos con la sumatoria de las cargas térmicas parciales que en nuestro caso son las del producto y las de las paredes

$$Q_{total} = Q_{producto} + Q_{paredes} + Q_{renovación} \quad (12)$$

$$Q_{total} = 2373 + 88,13 + 37,2 = 2500,38 [BTU] \quad (12)$$

3.3.3 Temperatura del evaporador y condensador. Nieto²⁶ presenta unos criterios para seleccionar la temperatura del evaporador y del condensador, que se exponen a continuación.

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°C.

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 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°C.

Temperatura del evaporador: -5°C.

Temperatura del condensador: 45°C

²⁶ NIETO, Antonio. Diferencia de temperatura en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. En: cero grados celcius. Febrero, 2012.

3.3.4 Selección del condensador y el evaporador. Teniendo en cuenta las temperaturas seleccionadas para cada uno de ellos y la carga térmica total calculada, se realizó una búsqueda en el catálogo de selección y aplicación de compresores y unidades condensadoras Maneurop; con la finalidad de encontrar un compresor y un evaporador que satisfaga nuestras condiciones de diseño.

Como se puede apreciar en la Tabla 3., se tienen varios modelos de compresores del catálogo mencionado que difieren entre ellos por la temperatura de operación de su evaporador y condensador. En la tabla presentada, TE es Temperatura del evaporador, TC es temperatura del condensador y PF es capacidad térmica [BTU].

Primero se realizó un barrido horizontal en TE hasta encontrar la temperatura seleccionada para el evaporador (-5°C), luego se hace un barrido vertical en TC, y se señalan las diferentes temperaturas correspondientes a la temperatura de condensación seleccionada (45°C). Relacionando los dos barridos realizados se encontraron varios modelos de compresores que cumplen con nuestras temperaturas de evaporación y condensación; pero difieren entre ellos en su PF. Se seleccionó aquel compresor cuya carga térmica fue ligeramente mayor o igual a la carga térmica total calculada para el sistema de refrigeración. Debido a esto el modelo seleccionado fue el MTZ 018 que tiene una carga térmica de 6857[BTU/h]. La carga térmica del compresor es superior a la carga térmica calculada, por lo tanto, con este compresor se cuenta con un margen de seguridad apropiado. Este compresor tiene un consumo de potencia incluyendo los ventiladores de 0.9 KW

Tabla 3. Modelos de compresores

Datos de Operación 60 Hz																MTZ R134a	
Modelos	TE	+20°C		+15°C		+10°C		+5°C		0°C		-5°C		-10°C		-15°C	
		TC	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.	P.A.	P.F.
MTZ 018	45	23751	1.2	19109	1.2	15160	1.1	11843	1.1	9096	1.0	6857	0.9	5058	0.8	3642	0.7
	50	22208	1.3	17758	1.3	13983	1.2	10826	1.1	8220	1.0	6108	0.9	4420	0.8	3096	0.7
	55	20666	1.5	16406	1.4	12805	1.3	9809	1.2	7345	1.1	5358	0.9	3782	0.8	2549	0.7
	60	18995	1.6	14947	1.5	11544	1.3	8725	1.2	6427	1.1						
MTZ 022	45	30331	1.5	24659	1.5	19775	1.4	15621	1.4	12123	1.3	9212	1.2	6823	1.0	4887	0.9
	50	28323	1.7	22925	1.6	18295	1.5	14370	1.4	11078	1.3	8350	1.2	6119	1.0	4319	0.9
	55	26314	1.8	21191	1.7	16816	1.6	13119	1.5	10034	1.3	7488	1.2	5416	1.0	3751	0.9
	60	24017	1.9	19203	1.8	15111	1.7	11674	1.5	8826	1.4						
MTZ 028	45	36758	2.0	30515	2.0	24997	1.9	20154	1.8	15928	1.7	12273	1.5	9133	1.3	6454	1.1
	50	34539	2.2	28568	2.1	23299	2.0	18681	1.9	14659	1.7	11181	1.5	8196	1.3	5650	1.1
	55	32321	2.4	26621	2.3	21601	2.2	17208	2.0	13389	1.8	10089	1.6	7259	1.3	4846	1.1
	60	29872	2.6	24474	2.5	19732	2.3	15596	2.1	12009	1.8						

3.3.5 Planos mecánicos del refrigerador que se diseñó. En la figura 9. se aprecia el plano mecánico del refrigerador, que además de señalar las partes que los componen, también nos muestra su posicionamiento dentro de este. Se puede observar que el generador de ozono se encuentra en la parte alta, debido a que es un gas más denso que el aire y tiende a caer. En la Tabla 6. Se encuentra una descripción de cada uno de los componentes del refrigerador.

En los anexos se encuentran unos planos complementarios del diseño del refrigerador.

Figura 7. Plano mecánico del refrigerador

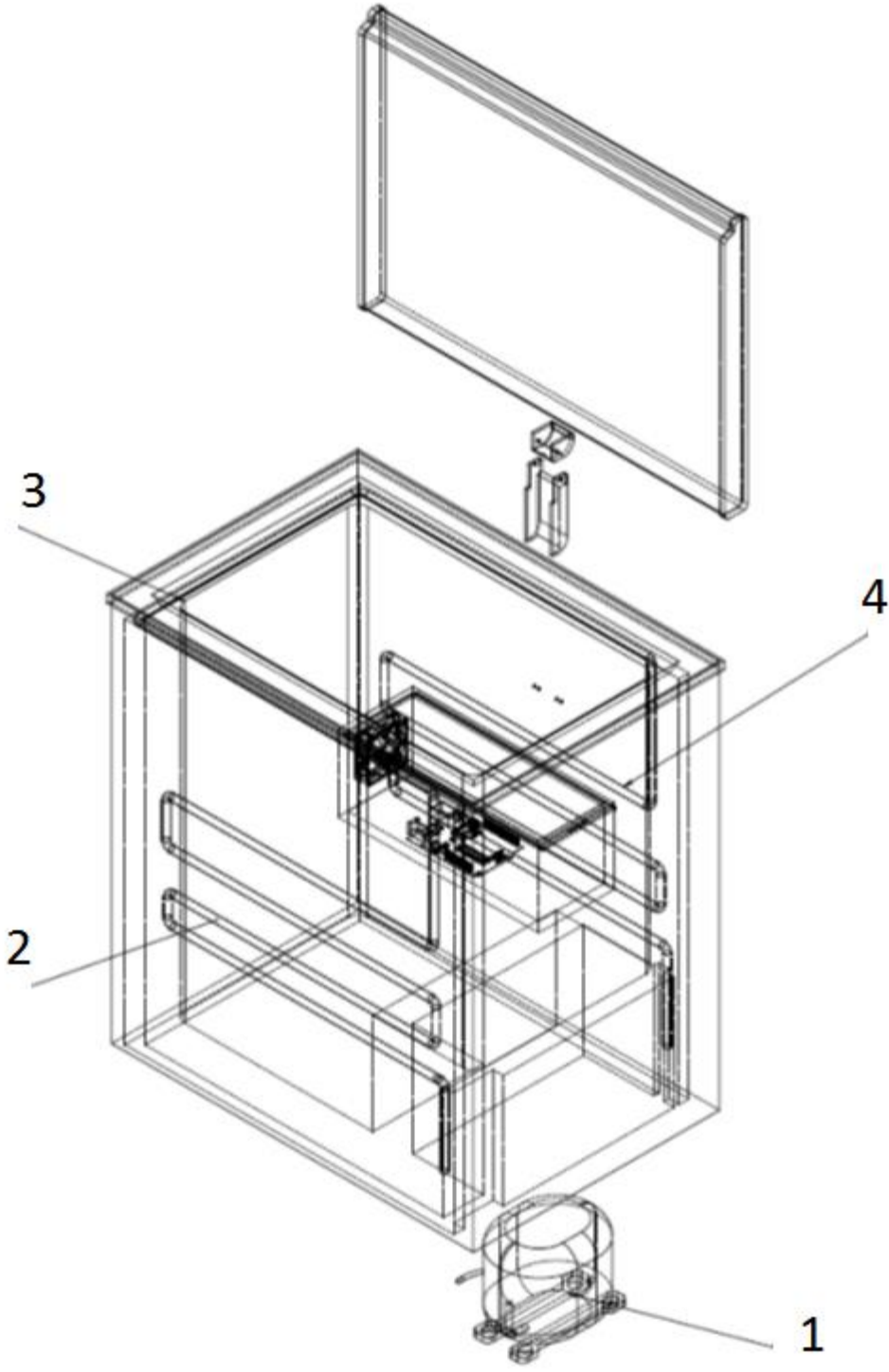


Tabla 4. Componentes del refrigerador

Ítem N°	Parte	Descripción	Cantidad
1	Compresor	Aumenta temperatura del líquido R134-A y aumenta la temperatura del mismo.	1
2	Condensador	El líquido a alta temperatura intercambia calor con el ambiente, enfriándose poco a poco pero manteniendo presión.	1
3	Válvula expansión	El líquido es estrangulado y luego pasa por un tubo capilar, de manera que la presión cae de manera abrupta y el líquido se expande.	1
4	Evaporador	El líquido intercambia calor con la cámara de refrigeración, mientras la cámara se enfría, el líquido gana calor para iniciar un nuevo ciclo en el compresor.	1

4. TOMA DE DATOS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan las pruebas realizadas con el diseño elaborado.

4.1 PUNTOS DE OPERACIÓN DEL CIRCUITO GENERADOR DE OZONO

Para fijar los parámetros adecuados de operación del circuito generador de ozono, se decidió hacer un barrido tanto en frecuencia como en el ciclo de trabajo del generador de pulsos. En cada punto de operación se tomó el valor de la tensión a la salida. Para poder medir la tensión a la salida, teniendo en cuenta que era del orden de los miles de voltios, se decidió implementar un divisor de tensión. Este divisor consta de once resistencias en serie, diez resistencias de $10\text{ M}\Omega$ y una resistencia de $100\text{ K}\Omega$; por lo tanto, si se mide la tensión en la resistencia de $100\text{ K}\Omega$ y se obtiene un valor de 30 V , esto implica que a la salida hay una tensión de 30 kV .

La toma de datos se hizo de manera aleatoria y sin variar los niveles de tensión de la fuente de alimentación (12 V DC), cada dato se tomó diez veces. Al final se realizó un promedio aritmético de todos los datos, para así poder determinar cuál era la frecuencia y ciclo de trabajo que presentaba mayor voltaje a la salida. A continuación, se presentan las tablas con los promedios (ver Tablas 5 a 12), las tablas con todas las medidas se anexan al final del documento.

Tabla 5. Tensión promedio Frecuencia 2,36 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 2.36 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
24,24	5,238
50,12	8,438
76,01	27,26
87,50	30,32

Tabla 6. Tensión promedio Frecuencia 5,68 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 5.68 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
24,29	9,802
50,12	15,002
76,07	14,948
87,26	//

Tabla 7. Tensión promedio Frecuencia 4,88 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 4.88 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
24,29	10,192
50,12	10,998
73,33	13,838
80,08	13,49

Tabla 8. Tensión promedio Frecuencia 3,78 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 3.78 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
27,08	6,974
46,63	9,66
73,38	24,7
85,07	24,74

Tabla 9. Tensión promedio Frecuencia 3,04 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 3.04 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
25	5,694
50,61	12,878
75	19,11
83,79	20,52

Tabla 10. Tensión promedio Frecuencia 1,64 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 1,64 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
24,01	8,332
49,84	9,513
75,99	21,1
86,51	33,41

Tabla 11. Tensión promedio Frecuencia 1,01 KHz variando el ciclo de trabajo

Frecuencia 1,01 KHz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
24,24	9,596
49,49	16,36
76,77	17,03
87,73	35,6

Tabla 12. Tensión promedio Frecuencia 520 Hz variando el ciclo de trabajo

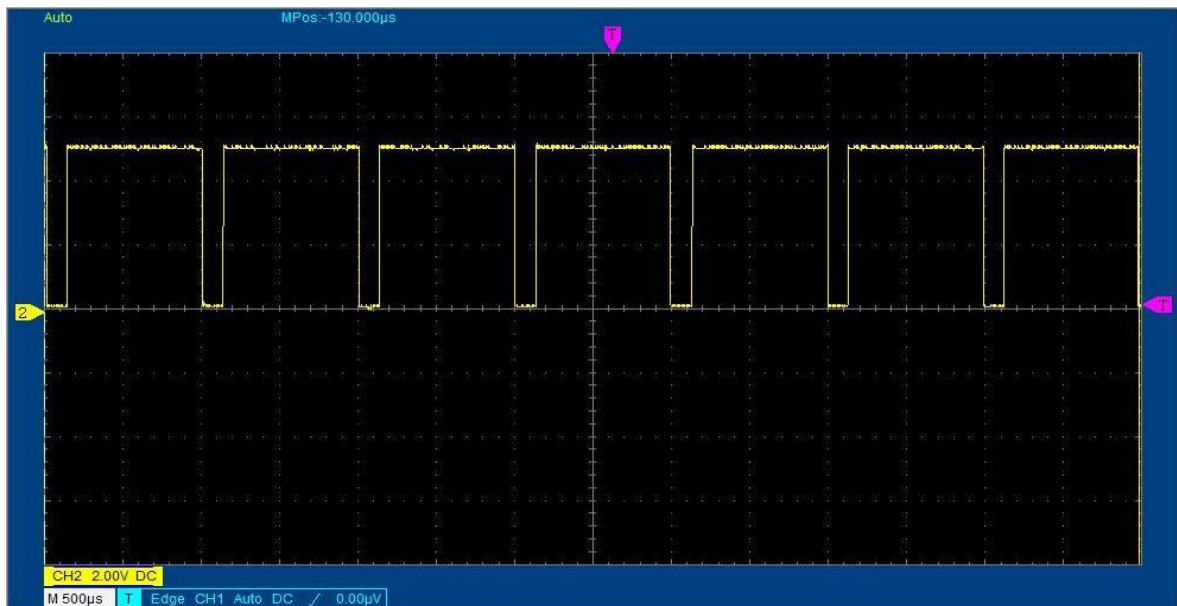
Frecuencia 520 Hz	
Duty (%)	Promedio Voltaje PK-PK [kV]
24,74	14,85
50	25,818
76,04	31,32
82,29	30,678

La fuente de alimentación utilizada para realizar las pruebas entrega máximo 3 Amp. Por esta razón a la frecuencia de 5,68 KHz y un ciclo de trabajo 87,26% no se pudo tomar el voltaje, ya que el circuito consumía una corriente mayor a la entregada por la fuente.

Al comparar los promedios de las medidas tomadas, se concluyó que a la frecuencia de 1,01 KHz y a un ciclo de trabajo del 87,73 % se obtiene el mayor voltaje; que es de 35,6 kV. Por esta se determinó esta frecuencia y ciclo de trabajo como puntos de operación del generador de pulsos.

En la figura 8, se observa la forma de onda a la salida el microcontrolador tomada con un osciloscopio. Esta señal es una señal cuadrada, que garantiza la variación brusca de tensión en el devanado primario de la bobina de encendido.

Figura 8. Forma de onda a la salida del microcontrolador (Abscisa: 500[us] por división. Ordenada: 2 [V] por división).



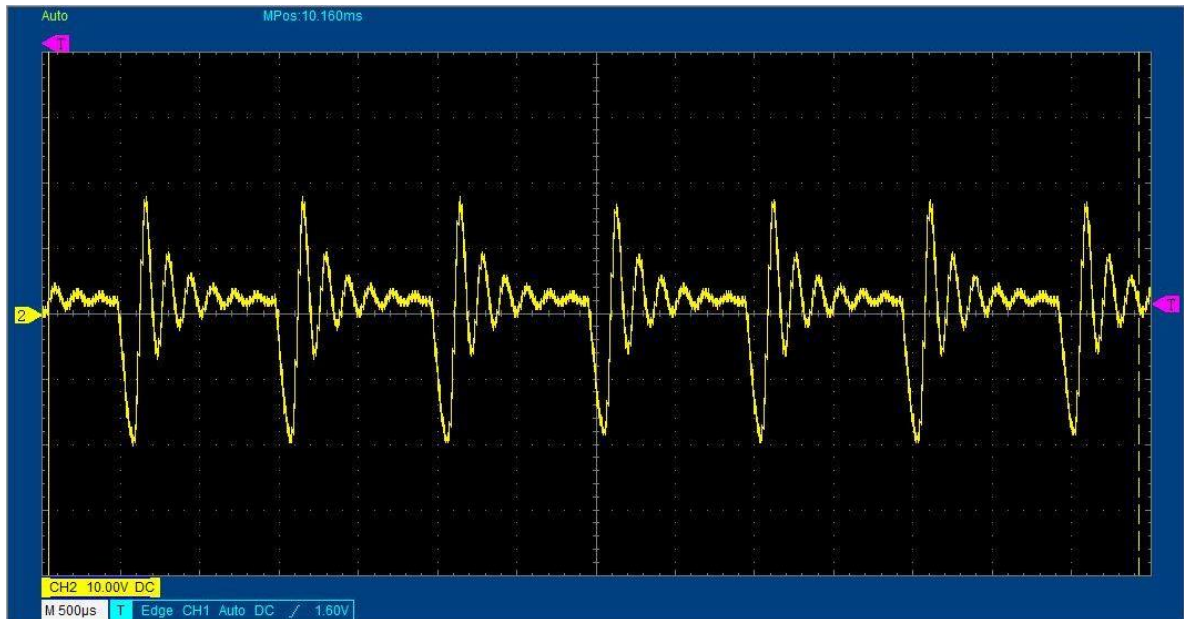
La figura 9, muestra los parámetros de esta señal medidos por el osciloscopio. Tiene un voltaje pico a pico de 5.16 voltios, y evidencia que la señal cuadrada tiene una frecuencia de 1,01 KHZ a un ciclo de trabajo del 87,73 %.

Figura 9. Parámetros de la señal de salida del microcontrolador

<input checked="" type="checkbox"/> Open			
Source CH2			
Param	Value	Param	Value
Freq	1.01kHz	Average	4.36V
Period	991.71µs	PK2PK	5.16V
Rise	10.00µs	RMS	4.65V
Fall	10.00µs	VTop	5.04V
PPulse	860.00µs	VBase	80.00mV
NPulse	120.00µs	VMid	2.56V
Preshoot	0.81%	VMax	5.20V
OverShoot	3.23%	VMin	40.00mV
PDuty	87.76%	VAmp	4.96V
NDuty	12.24%		

En la figura 10 se aprecia la forma de onda de la tensión a la salida de la bobina de ignición tomada con el osciloscopio. Esta señal que fue medida por medio del divisor de tensión explicado previamente; es la tensión que se presenta en uno de los electrodos. El otro electrodo va conectado a tierra, por esto se presentan descargas eléctricas entre ellos.

Figura 10. Tensión a la salida de la bobina de ignición (Abscisa: 500[us] por división. Ordenada: 2 [V] por división)



En la figura 11 se observa los parámetros de esta señal medidos por el osciloscopio. La tensión pico a pico registrada fue de 38.00 voltios, pero este valor hay que multiplicarlo por 1000 debido al factor de conversión del divisor de tensión.

Figura 11. Parámetros de la señal a la salida de la bobina de ignición

<input checked="" type="checkbox"/> Open			
Source CH2			
Param	Value	Param	Value
Freq	2.11kHz	Average	600.00mV
Period	472.92µs	PK2PK	38.00V
Rise	40.00µs	RMS	6.57V
Fall	850.00µs	VTop	14.60V
PPulse	101.00µs	VBase	-18.80V
NPulse	10.00µs	VMid	-2.20V
Preshoot	4.79%	VMax	17.60V
OverShoot	8.98%	VMin	-20.40V
PDuty	90.99%	VAmp	37.62V
NDuty	9.01%		

4.2 MEDIDAS DE CONCENTRACIÓN DE OZONO

Para medir la concentración de ozono que genera el circuito, se realizó un monitoreo de la concentración de ozono. Para esto se trasladó el ozonizador hasta un laboratorio especializado en medición de gases, donde se contaba con el analizador de ozono, 49C O₃ de Thermo Environmental Instruments Inc. que se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Analizador de ozono utilizado en las pruebas



Este modelo fue apropiado para las pruebas debido a sus especificaciones técnicas:

Precisión: 1ppb

Tiempo de respuesta: 20 segundos

Rango de medida hasta 200ppm.

El ozonizador se adecuó para la prueba. Siendo nuestro recipiente de prueba, construido en acrílico, con un volumen de 9 litros de volumen y de dimensiones 15x15x40cm. Se utilizó un ventilador, para absorber aire del medio y de esta manera surtir de gas la celda. Lo anterior se ve en la figura 13.

Figura 13. Ozonizador prototipo.



Fue necesario realizar un acople entre el ozonizador y el analizador a través de un racor y una manguera que llevaba el aire desde el uno hacia el otro, para así poder monitorear el proceso. El acople se muestra en la Figura14.

Figura 14. Acople entre el ozonizador y el analizador de ozono



Debido al alto costo de las pruebas, se realizaron únicamente dos monitoreos, cada uno con un par de electrodos de igual material e idéntico dieléctrico pero diferente área. Se utilizaron electrodos placa-placa multipunto de aluminio, uno de tamaño 5 x 5cm y otro de 10 x 10cm, ambas pruebas de aproximadamente media hora de duración. Cada una de las pruebas consistió en encender el ozonizador por 10 minutos, y al cabo de este tiempo apagarlo sin abrir la caja del ozonizador, para poder analizar en una misma curva la producción de ozono y la estabilización del sistema. En las Figuras 15 y 16 se presentan las curvas obtenidas.

Figura 15. Prueba malla 10 x 10cm

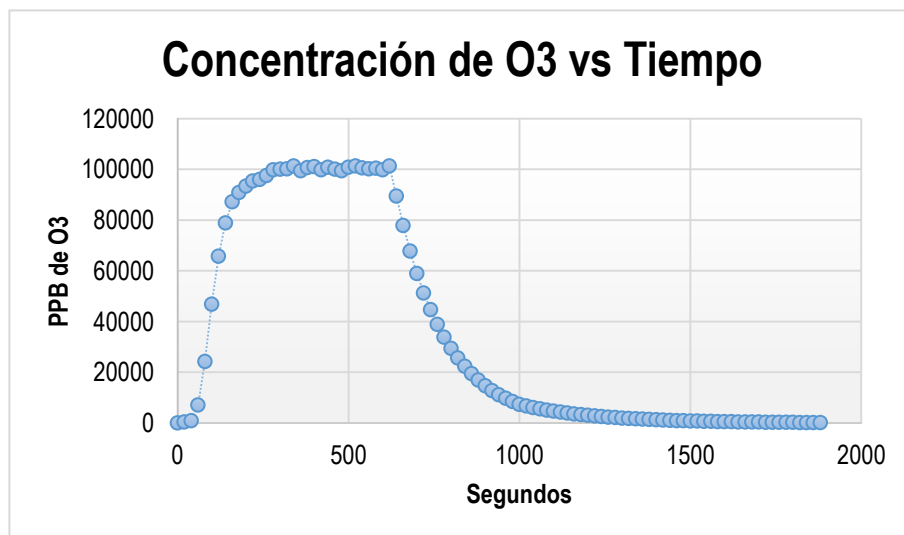
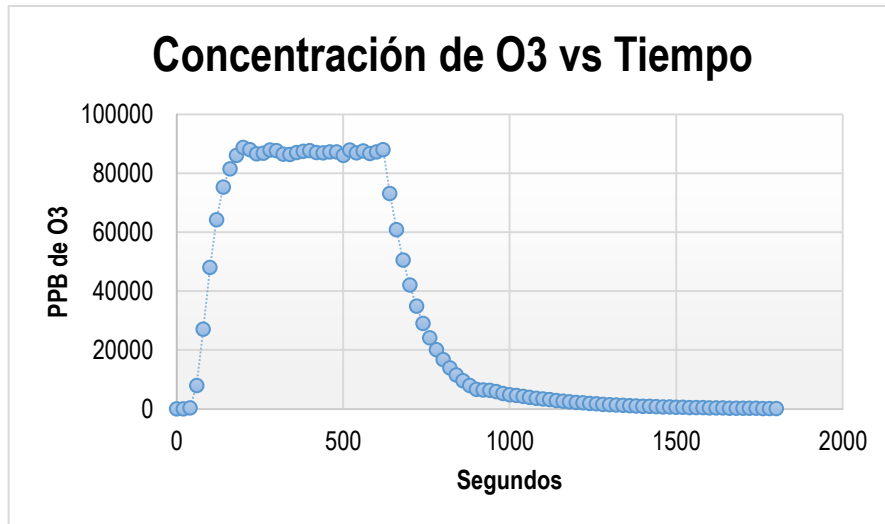


Figura 16. Prueba malla 5 x 5cm



Analizando las dos curvas anteriores, se concluye que la concentración de ozono medida tiene cuatro comportamientos distintos. Inicialmente presenta un tiempo muerto, que tiene una duración de aproximadamente un minuto, y en el cual se puede apreciar que pese a que existe generación de O₃ las medidas de concentración son muy bajas, esto se debe a que el ozono en esos primeros instantes aún no se ha expandido por todo el recipiente.

Posteriormente existe un segundo momento que dura aproximadamente dos minutos durante los cuales la concentración presenta un gran incremento. Para la celda de 10 x 10cm es de aproximadamente 925,2ppm por segundo, y para la otra celda es alrededor de 858,9ppm por segundo.

Luego, en ambos casos la concentración se establece en torno a ciertos valores, para el caso de la celda de 5 x 5cm este valor de establecimiento fue aproximadamente 90ppm; y para la otra celda fue un valor cercano a las 100ppm. El periodo de establecimiento duró hasta que se apagó el ozonizador sobre los diez minutos de iniciada la prueba.

A partir de ese momento se observa un decaimiento en la concentración de O₃ en el interior del recipiente. Es necesario aclarar que esta caída de concentración no representa la destrucción del ozono, ya que el analizador de ozono está tomando muestras de aire a razón de 1 litro por minuto. Esto quiere decir que, al cabo de diez minutos, prácticamente todo el gas del recipiente ha sido renovado, debido a que este tiene una capacidad de 9 litros.

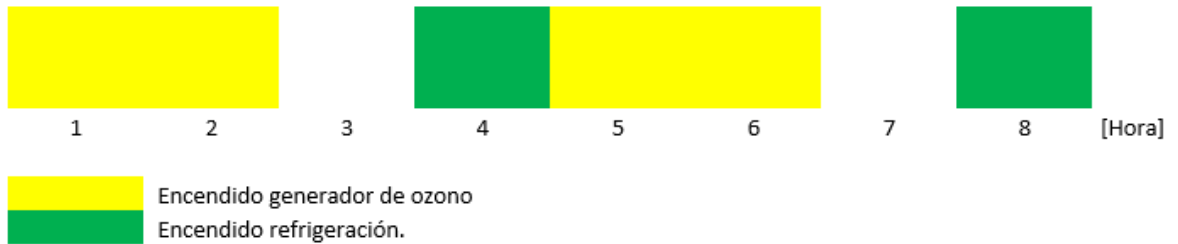
Si se quisiera medir experimentalmente la rata de destrucción del ozono, se requiere un sensor que no extraiga muestras del gas contenido en el recipiente. Hasta el momento no se ha encontrado un sensor que mida altas concentraciones de ozono y que cumpla con este requisito.

4.3 SISTEMA DE REFRIGERACION CON GENERACIÓN DE OZONO

Pensando en hacer uso racional y eficiente de la energía, se decidió alternar el encendido del refrigerador con el encendido del generador de ozono. Para implementar esto se usará un temporizador digital programable.

Se programarán ciclos de encendido alternados entre el sistema de refrigeración y el sistema de producción de ozono. Un ciclo corresponderá a dos horas de producción de ozono, una hora sin refrigeración ni producción de ozono (hora muerta), y una hora de refrigeración. Estos ciclos iniciaran una vez que el refrigerador se cierre por un largo periodo de tiempo (en las noches, en los días de descanso). En la figura 19 se pueden observar los ciclos de encendido propuesto del sistema de refrigeración y del generador de ozono.

Figura 17. Ciclo de encendido sistema de refrigeración y generación de ozono



Como ya se mencionó, la prueba de medir la concentración de ozono se realizó dentro de un recipiente de nueve litros de volumen. Usando la celda de 10 X 10cm se alcanzó una concentración de establecimiento de 100 ppm al cabo de tres minutos. Ahora se requiere saber en cuanto tiempo se alcanza la concentración de 100 ppm en el refrigerador diseñado (150 litros de volumen). Para esto se realiza una regla de tres simple lo que nos da como resultado un tiempo de 50 minutos. Al mantener encendido el generador de ozono por dos horas se está garantizando una concentración de 100 ppm en el refrigerador y se está dando un tiempo para que el ozono cumpla con su función de agente antibacteriano.

5. CONCLUSIONES

- Durante la investigación se consideraron varios agentes antibacterianos; se seleccionó el ozono por ser gas de alta eficacia bactericida, que no deja residuos tóxicos y se expande fácilmente dentro del refrigerador.
- Se encontraron diversos métodos de generación de ozono, de los cuales se eligió el método de generación por descargas eléctricas usando barrera dieléctrica (DBD). Este es el sistema más económico y práctico para implementación.
- Se experimentó con acero y aluminio como materiales para la fabricación de los electrodos. Se observó mayor producción de ozono utilizando los electrodos de aluminio, teniendo las mismas condiciones eléctricas y ambientales; ratificando las evidencias científicas, obtenidas en el estudio Effect of de anode material on ozono generation in corona discharges de Takaki, K., Hatanaka, Y., Arima, K., Mukaigawa, S., y Fujiwara.
- La rata de generación de ozono se puede ajustar a la necesidad, actuando sobre tres variables fundamentales: el nivel de tensión aplicado a los electrodos, la frecuencia, ciclo duty de los pulsos de voltaje y el área de los electrodos. Para este último caso se determinó un aumento del 11% de la concentración de ozono cuando se aumentó el área de los electrodos a un 400%.
- El sistema generador de ozono debe mantenerse con un buen nivel de aislamiento para minimizar el riesgo por alto voltaje.

- Se dificultó la medición de la concentración del ozono, porque no hay disponibilidad de equipos de medición en ningún laboratorio de la universidad.

6. RECOMENDACIONES

- Para la implementación y prueba de circuitos que generen altos voltajes (por encima de 1 Kv), se debe tener especial cuidado con el riesgo eléctrico inherente al alto voltaje. Por esto es necesario utilizar superficies con alto grado de aislamiento, no utilizar manillas de puesta a tierra; y tener especial cuidado al realizar mediciones, las cuales se deben hacer por métodos indirectos.
- Cuando se está probando el sistema generador de ozono, se puede aprovechar pruebas organolépticas para evitar concentraciones, que puedan llegar a causar molestias al organismo; como irritación de nariz y garganta, dolor de cabeza.
- Investigar sobre métodos e instrumentos para medir la concentración de ozono. No es fácil encontrarlos en nuestro medio y son muy costosos.

BIBLIOGRAFÍA

BEUTELSPACHER, Erwin y CALDERÓN, José. Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua. Tesis de maestría Maestro en ciencias en ingeniería mecatrónica. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Academia de mecatrónica, 2005.

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.

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.

CASAL, Carlos. Caracterización de la radiación ultravioleta en la provincia de Huelva e incidencia en la productividad y el valor biotecnológico de cultivos de interés comercial. Tesis doctoral Doctor en Ciencias Ambientales. Huelva: Universidad de Huelva. Departamento de química y ciencia de los materiales "Prof. J. Carlos Vílchez Martín", 2010.

CENGEL, Yunus y BOLES, Michael. Termodinámica. Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill, 2009.

DEININGER, Rolf; SKADSEN, Janice; SANFORD, Larry y MYERS, Anthony. Desinfección del agua con ozono. En: Simposio regional sobre la calidad del agua: desinfección efectiva (1: 27-29, octubre: Lima, Perú). Ozono. Lima: CEPIS, 1998.

DEVESA, M. y SELLÉS, V. Balance término de una instalación frigorífica. En: IES BEATRIU FAJARDO DE MENDOZA (BENIDORM) INSTALACIONES FRIGORICAS.

El ozono y sus aplicaciones en la industria alimentaria. En: Alimentaria publicación oficial de la cámara costarricense de la industria alimentaria. Mayo, 2007. Vol. 91.

GUZEL-SEYDIM, Zeynep; GREENE, Annel y SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. En: LWT – Food Science and Technology. Abril, 2004. Vol. 37, No. 4

JD MOON, JS JUNG. Effective corona discharge and ozone generation from a wire-plate discharge system with a slit dielectric barrier. Journal of electrostatics, 2007, vol. 65, no 10

JONES, S.D.M.; GREER, G.G.; JEREMIAH, L.E.; MURRAY, A.C. y ROBERTSON, W.M. En: Meat Science. 1991. Vol. 29.

KAESS, G. y WEIDEMANN, J.F. En: Proceedings of the 9th meeting european meat research workers. Budapest, 1963. Paper N° 59

KEFFORD, F.J. En: Journalist council science, industry and research australian. 1948. Vol. 21.

L.A.; ACUÑA, F.J. y WILLIAMS, S. Seminario, [online]. El ozono y su aplicación en la conservación de alimentos. [Citado junio, 2016]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publicliterature.PublicLiterature.search.html?type=keyword&searchkeyword=El+Ozono+y+su+Aplicaci%C3%B3n+en+la+Consevaci%C3%B3n+de+Alimentos>

LAWRIE, Ralston y LEDWARD, David. Lawrie's meat science. Seventh edition. Cambridge: Woodhead publishing limited, 2006.

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.

MENNAD, B., et al. Effect of the anode material on ozone generation in corona discharges. Vacuum, 2014, vol. 104

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

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

PLAZAS, Juan. Los refrigerantes y el medio ambiente. Trabajo de grado. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Facultad de Náutica de Barcelona. 2012.

TAKAKI, Koichi, et al. Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor. Vacuum, 2008, vol. 83, no 1

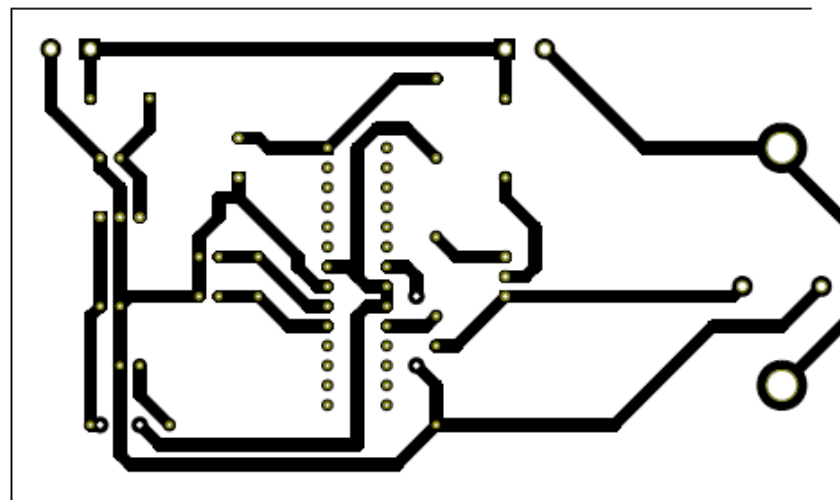
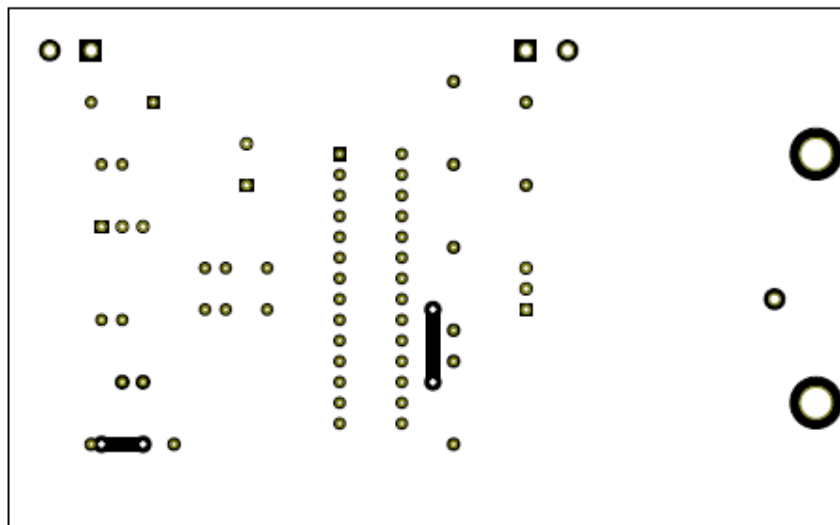
WARBITO, A; SYAKUR, A y SUSILOWATI, S. An Ozone Reactor Design with Various Electrode Configurations. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2011, vol. 1, no 2

Z FANG, Y QIU, Y SUN, H WANG, K EDMUND. Experimental study on discharge characteristics and ozone generation of dielectric barrier discharge in a cylinder–cylinder reactor and a wire–cylinder reactor. *Journal of Electrostatics*, 2008, vol. 66, no 7

ANEXOS

ANEXO A Circuito prototipo generador de ozono

Se anexan el layout de las caras top y bottom de la PCB (circuito prototipo generador de ozono).



ANEXO B. Dimensiones referentes al refrigerador

Se presentan algunas dimensiones referentes al refrigerador.

- Compartimiento principal.

