

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO MECATRÓNICO
2. **TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA ÓHMICA DE PARÁMETROS VARIABLES PARA PRUEBAS DE EFICIENCIA
3. **AUTORES:** Juan Pablo Acevedo Roa, Santiago Ramírez Sarmiento.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C
5. **FECHA:** marzo de 2011
6. **PALABRAS CLAVE:** calentamiento óhmico, parámetros variables, pruebas de eficiencia,
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es el diseño y construcción de una cámara óhmica de parámetros variables para la extracción de aceites esenciales para pruebas de eficiencia, se pretende construir un sistema ingenieril capaz de variar los parámetros como la potencia de entrada, la distancia y el tamaño de electrodos, esto con el fin de realizar pruebas de eficiencia y obtener la mejor configuración de parámetros posibles. Se presentan todos los aspectos ingenieriles del diseño (mecánico, electrónico y térmico) y se hace un análisis de resultados respecto a un protocolo de pruebas donde se estudia el tiempo de extracción y la cantidad de aceite.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACION:** Línea de Investigación de la USB: Nuevas tecnologías. Sub línea de Facultad de ingeniería: Diseño de ingeniería. Campo temático del Programa: Diseño de ingeniería, electrónica de potencia y termodinámica.
9. **METODOLOGÍA:** Es de carácter empirico-analitico, con un enfoque metodológico en el estudio, diseño y construcción de una cámara óhmica cuyos parámetros (potencia de entrada, volumen de la cámara y tamaño de electrodos) sean variables.
10. **CONCLUSIONES:** La máquina funciona para todo tipo de configuración, cada una con un tiempo de proceso y volumen diferente de aceite final. Así mismo, se puede concluir que diferentes configuraciones de parámetros pueden igualarse y dar resultados muy similares. Uno de los problemas generales cuando se diseña una máquina que necesita trabajar con mucha energía es la temperatura, en este trabajo se pudo evidenciar perfectamente que la temperatura es una variable que debe tenerse muy en cuenta en el diseño para el correcto funcionamiento al momento de la implementación. Con respecto a parámetros variables, la concentración de sal del dieléctrico podría asumirse como uno más, puesto que dependiendo de la cantidad de éste se puede extraer cantidades diferentes de aceite o en el peor caso perjudicar la muestra y/o dañar el circuito de potencia. Es de suma importancia proteger el circuito con fusibles ya que la resistencia al ser variable tanto en configuración como en tiempo puede generar corrientes no deseadas. Cabe aclarar que, aunque se lograron varias pruebas para la estimación de los parámetros y se obtuvo información importante para el estudio. No se logró la totalidad de configuraciones que se tenían estipuladas debido a los daños de la cámara.

Diseño y construcción de una cámara óhmica de parámetros variables para pruebas de eficiencia

Juan Pablo Acevedo Roa, acevedoroa@outlook.com

Santiago Ramírez Sarmiento, santiramirezs@hotmail.com

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Asesor: Héctor Manuel Vega, Ingeniería mecatrónica



Universidad de San Buenaventura

Facultad de Ingeniería (Bogotá)

Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C., Colombia

2022

Citar/How to cite (Acevedo, Ramírez, 2022). [1]

Referencia/Reference [1] Acevedo, J., Ramírez, S. (2022). *Diseño y construcción de una cámara óhmica de parámetros variables para pruebas de eficiencia* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de San Buenaventura Bogotá.

Estilo/Style:
IEEE (2020)



Biblioteca Digital (Repositorio)
www.bibliotecadigital.usb.edu.co

Bibliotecas Universidad de San Buenaventura

Biblioteca Fray Alberto Montealegre O.F.M. - Bogotá.

Biblioteca Fray Arturo Calle Restrepo O.F.M. - Medellín, Bello, Armenia, Ibagué.

Departamento de Biblioteca - Cali.

Biblioteca Central Fray Antonio de Marchena – Cartagena.

Universidad de San Buenaventura Colombia - www.usb.edu.co

Bogotá - www.usbbog.edu.co

Medellín - www.usbmed.edu.co

Cali - www.usbcali.edu.co

Cartagena - www.usbctg.edu.co

Editorial Bonaventuriana - www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

Revistas científicas – www.revistas.usb.edu.co

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto a nuestros familiares, especialmente en mi nombre Juan Pablo Acevedo Ra a mi padre Felipe Acevedo Rodríguez y mi madre Adriana María Roa Delgado, cuyo apoyo tanto emocional, económico y de trabajo hicieron posible la realización del proyecto ingenieril.

De parte mía Santiago Ramírez Sarmiento quiero dedicar este proyecto a mis padres Carlos Julián Ramírez Niño y Mary Luz Sarmiento Gómez por su incondicional apoyo y preocupación en cada momento del trabajo, a mi pareja Laura Nathalia Bonilla Prieto por estar a mi lado en cada momento difícil, a cada uno de mis amigos que nunca dejaron de creer en mis capacidades, a mis profesores por brindarme las bases profesionales que utilizaré en mi futuro laboral, a mi familia entera por ayudarme siempre a no desistir de este proceso de aprendizaje y por último a mis tíos Luz Marina Ramírez Moreno y Parmenio Moreno Moreno por brindarme todo su amor, apoyo y comprensión durante mi carrera, a todos ellos muchas gracias por acompañarme en este proceso.

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a nuestros familiares por su incondicional apoyo y ayuda para la búsqueda y compra de materiales, a su aporte de ideas que nos incitaron a resolver problemas desde perspectivas mucho más sencillas y eficaces.

Agradecemos con mucho entusiasmo a los diferentes profesores de la Universidad de San Buenaventura de la facultad de ingeniería, electrónica, aeronáutica y en especial mecatrónica en particular a Morian Nair Calderón, que nos explicaron temas de los que no se tenía tanta noción, así mismo, nos brindaron parte de su tiempo para tutorías y recomendaciones en el proceso de diseño y construcción de la parte mecánica, electrónica y térmica.

Finalmente, quisiéramos agradecer especialmente a los trabajadores del Hangar de la Universidad de San Buenaventura, particularmente a Nelson Enrique Zuica, pues su vasto conocimiento en el uso de herramientas de maquinado y materiales propicios para este proyecto son la razón clave de que éste se haya realizado con tanto éxito.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
I. INTRODUCCIÓN	16
II. CAPITULO 1	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema	20
Justificación y pregunta de Investigación	20
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	22
Alcances y Limitaciones	22
Marco Conceptual	22
Metodología	25
III. CAPITULO 2	26
Desarrollo de Ingeniería	26
Diseño mecánico: cámara óhmica	29
Diseño electrónico: convertor AC-AC	34
Diseño de PWM	35
Selección del Triac	40
Diseño del circuito Snubber	41
Selección del disipador de calor	43
Diseño térmico: condensador de hidrodestilación	45
IV. CAPITULO 3	51
Análisis de resultados	51
Obtención de los parámetros de funcionamiento para régimen permanente	51

Prueba de porcentaje de sal del dieléctrico	51
Definición del protocolo de las pruebas	53
Prueba mezcla blanca (baja cantidad de hojas-10 [g]).....	54
Prueba con el electrodo de 2 cm de radio.....	55
Prueba con el electrodo de 3 cm de radio.....	57
Prueba con el electrodo de 4.5 cm de radio.....	59
Prueba con el electrodo de 6 cm de radio.....	62
Prueba mezcla de color (alta cantidad de hojas – 100[g])	65
Prueba con el electrodo de 4.5 cm de radio.....	66
Consideraciones acerca de la construcción de la cámara	69
V. CONCLUSIONES.....	72
VI. RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS	74
ANEXOS.....	77
Anexo 1. Procedimiento para el uso de la cámara óhmica de parámetros variables.....	77

LISTA DE TABLAS

TABLA I. NOMENCLATURA DEL DISEÑO	26
TABLA II. VALIDACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE SAL.....	52
TABLA III.DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 2 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM).....	55
TABLA IV.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA PARA CONFIGURACIÓN 1.....	55
TABLA V. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 2 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM).....	56
TABLA VI.SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA DE LA CONFIGURACIÓN 2.....	56
TABLA VII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 3 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM).....	58
TABLA VIII. SEGUIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 3.....	58
TABLA IX. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 3 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM).....	58
TABLA X.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 4.	59
TABLA XI. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM).....	60
TABLA XII.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 5.....	60
TABLA XIII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM).....	61
TABLA XIV.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 6	61
TABLA XV. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 6 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM).....	62
TABLA XVI.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 7	63
TABLA XVII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 6 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM).....	63
TABLA XVIII.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 8	63

TABLA XIX.SEGUIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 9	64
TABLA XX. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM).....	66
TABLA XXI.SEGUIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 10.	66
TABLA XXII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM).....	67
TABLA XXIII.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 11.	67
TABLA XXIV. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 50 (CM).....	68
TABLA XXV.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 12.....	68

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diseño CAD de la cámara óhmica.....	29
Fig. 2. Potencia vs distancia entre electrodos para cuatro valores posibles de radio.	34
Fig. 3. Circuito rectificador de onda completa.....	35
Fig. 4. Comparación entre entrada y salida del circuito rectificador.	36
Fig. 5. Circuito de cruce por cero.....	36
Fig. 6. Señal rectificada vs señal de cruce por cero.	37
Fig. 7. Señal trapezoidal de 8.1 V vs señal de comparación de 3.9 V.	37
Fig. 8. Circuito generador de señal de diente de sierra.	38
Fig. 9. Figura diente de sierra.....	39
Fig. 10. Circuito comparador de voltaje.....	40
Fig. 11. Comparación de señal diente de sierra vs señal DC vs ancho de pulso.....	40
Fig. 12. Circuito de triac.....	41
Fig. 13. Circuito snubber para filtrar los transientes.	42
Fig. 14. Circuito conversor AC-AC controlado.	43
Fig. 15. Circuito térmico.	45
Fig. 16. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 2 cm.	57
Fig. 17. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 3 cm.	59

Fig. 18. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 4.5 cm.	62
Fig. 19. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 6 cm.	64
Fig. 20. Comparación entre las diferentes pruebas con indicadores de electrodo, distancia y potencia.	65
Fig. 21. Comparación de tiempo de las diferentes pruebas como parámetro de eficiencia.	65
Fig. 22. Comportamiento de la prueba para tres tipos de distancia entre electrodos para el electrodo de 4.5 cm a una potencia de 80 watts.	69
Fig. 23. Cámara Óhmica construida (Vista lateral).....	70
Fig. 24. Cámara Óhmica construida (Vista trasera).....	70
Fig. 25. Electrodo.	77
Fig. 26. Ensamblaje de electrodos y ejes (terminales de conexión).....	77
Fig. 27. Ensamblaje de tapas.....	78
Fig. 28. Ensamblaje de cámara y tapas.	78
Fig. 29. Cámara y base de trabajo.	79
Fig. 30. Ensamblaje de cámara y sistema ajustable.	79
Fig. 31. Visualización del sistema de reducción de distancia.	80
Fig. 32. Gramera con muestra de NaCl.	81
Fig. 33. Proceso de verter la muestra.	82
Fig. 34. Gramera con muestra de hojas de eucalipto.	82
Fig. 35. Mortero.	83
Fig. 36. Acople de termómetro y codo en tapón.	83
Fig. 37. Acople de codo con condensador refrigerante.....	84
Fig. 38. Acople de mangueras.....	84
Fig. 39. Acople de mangueras con bomba.	85
Fig. 40. Ensamblaje de sistema refrigerante con cámara.	85

Fig. 41. Posición de recipiente.	86
Fig. 42. Conexión de terminales eléctricas.	86
Fig. 43. Muestra final.	87
Fig. 44. Kit de decantación.....	88
Fig. 45. Embudo de decantación con la mezcla aceite agua.	88
Fig. 46. Muestra de aceite de eucalipto.	89

RESUMEN

En este proyecto se estudia, diseña y construye una cámara óhmica de parámetros variables para la extracción de aceites esenciales para las pruebas de eficiencia. Los parámetros variables son tres, la potencia de entrada a la cámara, la distancia entre electrodos y el tamaño de los mismo, esto con el fin de determinar cuál es la mejor configuración de parámetros para una mejor eficiencia de extracción de aceites. Para ello se propone entonces un estudio y diseño basado en las leyes de la física e ingeniería como la ley de ohm, circuitos eléctricos (AC y DC) y termodinámica con el fin de construir la cámara dentro de rangos estipulados en los objetivos de este mismo documento y cuyo funcionamiento sea competente. Se estipulan y realizan pruebas de eficiencia variando los parámetros mencionados anteriormente y la cantidad de la muestra, que en este caso es eucalipto, se analiza y discute cada uno de los resultados y se elige la mejor configuración. Finalmente, se hacen algunas recomendaciones de operación y se crea una guía de uso para posteriores pruebas o mejoras de la máquina.

Palabras clave — Calentamiento óhmico, parámetros variables, pruebas de eficiencia.

ABSTRACT

This project studies, designs and builds an ohmic chamber with variable parameters for the extraction of essential oils for efficiency tests. There are three variable parameters, the input power to the chamber, the distance between electrodes and their size, to determine the best parameter configuration for better oil extraction efficiency. For this, a study and design based on the laws of physics and engineering such as Ohm's law, electrical circuits (AC and DC) and thermodynamics are proposed to build the camera within the ranges stipulated in the objectives of this same document and whose operation is competent. Efficiency tests are stipulated and carried out by varying the parameters mentioned above and the amount of the sample, which in this case is eucalyptus, each of the results is analyzed and discussed and the best configuration is chosen. Finally, some operating recommendations are made, and a user guide is created for further tests or improvements of the machine.

***Keywords* — Ohmic heating, variable parameters, efficiency tests.**

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento óhmico es un proceso utilizado para calentar diferentes materiales, este se basa en la inducción de una corriente eléctrica que fluye a través de un material el cual se considera como una resistencia eléctrica que al aplicarle electricidad se ve transformada en calor, de igual forma es necesario tener en cuenta que en este tipo de procesos es de suma importancia la conductividad eléctrica del material al cual se le aplique el proceso de calentamiento.

Como se menciona en Prósper Ortega (2020) este proceso de calentamiento tiene grandes beneficios en la industria alimenticia y por esto mismo es que se ha convertido en uno de los más implementados ya que es capaz de reducir tiempos de trabajo y de igual forma mantener en óptimas condiciones algunas características de los elementos con los cuales se trabajen. Un claro ejemplo de esto se evidencia en Rangel Hernández (2017) donde se presenta un trabajo de investigación con relación al calentamiento óhmico en donde se evidencian mejores resultados de trabajo gracias a la aplicación de esta técnica.

Por esto mismo el propósito de este trabajo de investigación es el de implementar el calentamiento óhmico o calentamiento por efecto Joule variando los siguientes parámetros de trabajo: radios de electrodos, distancia entre electrodos y la potencia de entrada de la cámara, esto con el fin de encontrar la configuración de parámetros más eficiente para la extracción de aceites esenciales de las hojas de eucalipto.

De acuerdo con esto, el documento se puede definir en cuatro grandes puntos de trabajo que son los siguientes: primer punto donde se realizó el diseño ingenieril, en este capítulo se abarca el diseño mecánico de la cámara en el que se calcularon el radio y largo de esta, el eléctrico del sistema de alimentación diseñando el circuito que se encargaría de variar la potencia de entrada y el térmico donde se calculó el condensador que se requería para este experimento , el segundo punto siendo el análisis de resultados en este se comprobaron las diferentes configuraciones de parámetros mediante el funcionamiento de la cámara óhmica y su proceso de extracción de aceite para definir que configuración era la más eficiente, el tercer punto las conclusiones que dejó el trabajo de grado y el cuarto y muy importante las recomendaciones para apoyar próximos trabajos de investigación con información valiosa previa a la implementación de este método de extracción.

II. CAPITULO 1

Antecedentes

1. Calentador óhmico para extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas.

El propósito de este trabajo coincide con el desarrollo del presente, es una investigación nacional proveniente de la Universidad Tecnológica de Pereira. Propone el desarrollo de una cámara óhmica para el calentamiento y la extracción de aceites esenciales de las plantas. Hace uso de conocimientos físicos y matemáticos relacionándolos con parámetros que intervienen en el diseño de las dimensiones de la cámara para cumplir con los requisitos deseados, de igual forma emplea el software Matlab para la simulación, la construcción de la cámara y el buen funcionamiento de ésta. Lo evidencia con fotos, gráficas y cálculos. Como conclusión, el autor descarta las cámaras que son de campo eléctrico radial.

Nota. Fuente (Gutiérrez, 2018).

2. Evaluación de la cinética de extracción del aceite esencial de Caléndula Officinalis L. Mediante hidrodestilación y calentamiento óhmico asistido por hidrodestilación.

La investigación de este trabajo está enfocada más que todo a la cinética de la extracción del aceite de la flor de caléndula mediante la hidrodestilación y el calentamiento óhmico asistido por hidrodestilación. Se tocaron temas de interés como comparaciones de resultados con varios estados del espécimen en cuestión (seco o fresco), también se hizo la comparación entre los dos métodos mencionados anteriormente, sacando como conclusión que el método de calentamiento óhmico tuvo mejores resultados para la extracción del aceite en ambos estados de la flor y se evidenció que se gastó menos energía para el proceso. En este trabajo no se modeló matemáticamente la cámara sino el proceso de extracción en función del tiempo para poder conocer los parámetros que intervienen en éste como la concentración de aceite, la velocidad de extracción y la concentración en cualquier punto de tiempo.

Nota. Fuente (Sarmiento, 2017).

3. Evaluación del rendimiento del aceite esencial de caléndula (*Caléndula officinalis* L) obtenido por OAHD

Este trabajo es similar al anterior, cumple con los mismos objetivos y pretende decidir cuál proceso es el más eficiente, además de ello se evaluó el estado de la flor durante el tiempo de extracción, tiempo acumulado del aceite y el rendimiento de la extracción. Se llegó a la misma conclusión y es que el método de calentamiento óhmico asistido por hidrodestilación es el más eficiente en comparación con el calentamiento sólo por hidrodestilación.

Nota. Fuente (Meyer et al., 2018).

4. Ohmic heating: A promising technology to reduce furan formation in sterilized vegetable and vegetable/meat baby foods.

Es un trabajo dirigido al estudio de la eliminación de bacterias y componentes cancerígenos de algunas comidas de bebés haciendo uso del calentamiento óhmico. Se pretendía demostrar la utilidad y el potencial de este proceso para la eliminación de bacterias a una velocidad incrementada. Se tocaron otros temas de comparación con otros procesos que cumplen el mismo objetivo, pero son menos eficientes.

Nota. Fuente (Hradecky et al., 2014).

5. Low-frequency dielectric changes in cellular food material from ohmic heating: Effect of end point temperature.

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del calentamiento óhmico en los espectros dieléctricos de una patata a un rango de frecuencia definido después de pasar por dicho tratamiento a temperaturas desde 25 °C a 70 °C y compararlo con el calentamiento convencional a las mismas condiciones de trabajo. Se pudo concluir en este trabajo que para el caso de la patata si se calentaba

su tejido la conductividad de esta se incrementada en valores bajos de temperatura, también se evidenció que a la misma temperatura final el proceso de calentamiento óhmico mejora la capacidad de permeabilidad de la patata.

Nota. Fuente (Kulahrestha, & Sastry, 2006).

6. Bread baking using ohmic heating technology; a comprehensive study based on experiments and modelling

En este documento inician enunciando que el calentamiento óhmico es mejor conocido como calentamiento de Joule donde explican como es este proceso y sus beneficios como lo es calentar el material a trabajar de manera más rápida, una eficiencia más alta a comparación de otros procesos entre otros, también mencionan que los alimentos funcionan muy bien con este proceso ya que estos cuentan con cantidades de agua y sal adecuadas para el correcto funcionamiento de este método. Lo que se desea estudiar es la posibilidad de cocinar pan utilizando el método de calentamiento óhmico, después de realizar diferentes condiciones se concluyó que la conductividad de la masa disminuye dependiendo de su porosidad y a su vez dependiendo la cantidad de sal que se utilice en su preparación cambia de gran manera su calentamiento.

Nota. Fuente (Gally et al.,2016).

7. Performance of Electrode Materials During Food. Processing by Pulsed Electric Fields

En este trabajo se analiza el rendimiento de los materiales con que se puede construir un electrodo, específicamente se estudia el rendimiento en el proceso de pulsos de campos eléctricos teniendo en cuenta los efectos que pueden llegar a tener sobre la comida. Por esta misma razón el objetivo de este trabajo es reducir la liberación de iones metálicos escogiendo el material del que se va a hacer el electrodo. Se concluyó que es importante encontrar un material capaz de soportar altos niveles de voltaje y corriente, además de esto se concluyó que el titanio es un material capaz de reducir la propagación de iones metálicos.

Nota. Fuente (Gad et al., 2014).

Planteamiento del problema

Una cámara óhmica es una herramienta que cada vez más se va implementando en diferentes campos de la industria debido a su rendimiento en el proceso de calentamiento de material ya que este agiliza la obtención de resultados en las actividades donde se utiliza, por ejemplo, en la industria alimenticia se utiliza para diferentes tipos de procesos tales como pasteurización, descongelación, evaporación, deshidratación, fermentación y extracción, otro ejemplo es la industria farmacéutica, en este se utiliza para obtener algunos beneficios de plantas y otros materiales, sin embargo no se conoce con ciencia cierta qué parámetros son los que afectan el comportamiento del calentamiento óhmico y por ende su eficacia ante los procesos en donde se utiliza una cámara óhmica.

Por esto mismo se propone una cámara de calentamiento óhmico de parámetros variables cuyo fundamento físico logre que el material o cuerpo que se desea calentar sea rápido y que se pueda comprobar esto mediante pruebas de eficiencia.

Para este trabajo se analizará el comportamiento de la cámara mediante la extracción de aceites esenciales de ciertas plantas, con el fin de realizar diferentes pruebas es necesario tener en cuenta los parámetros variables que va a tener la cámara para poder aprovechar el máximo rendimiento de esta sin afectar de manera negativa la eficiencia del sistema.

Con el fin de llevar a cabo esto se realizarán los diferentes cálculos matemáticos cuyos resultados sean confiables y veraces, basándose en leyes físicas para evitar esas inexactitudes y diseñar una cámara que cumpla con el objetivo propuesto.

Justificación y pregunta de Investigación

La propuesta de trabajo que se plantea en este documento se desarrollará con el fin de aportar material de investigación acerca de uno de los métodos de extracción de aceites menos conocido como lo es la extracción por calentamiento óhmico, esta manera de extracción de aceites esenciales no ha sido muy investigada ya que en la mayoría de los casos se utiliza en la industria alimenticia para potenciar ciertas características de un alimento. La cámara óhmica se diseñará con el fin de innovar los métodos de extracción de aceites esenciales, brindar más información acerca de este tipo de extracción y a su vez desarrollar un dispositivo que sea capaz de trabajar mejorando

los resultado de los procesos en los que se vea involucrado generando así una mejor eficiencia, se realizarán los estudios de los temas asociados a la construcción de la cámara y al proceso de calentamiento óhmico, cálculos necesarios para la correcta implementación del diseño además de las pruebas que sean necesarias teniendo en cuenta los parámetros variables para la óptima construcción de la cámara.

Con el fin de lograr diseñar una cámara óhmica capaz de cumplir con los requerimientos enunciados anteriormente se van a utilizar diferentes conocimientos de ingeniería tales como, circuitos de potencia para desarrollar la fuente de alimentación variable del dispositivo con el fin de buscar la potencia adecuada de entrada para su correcto funcionamiento, conductividad eléctrica y térmica de materiales para conocer la manera de trabajo de los electrodos y de los componentes electrolíticos. Por último, se aplicarán análisis de sistemas para entender y explicar el proceso que se desarrolla en este dispositivo.

Otro motivo por el cual se desarrollará este trabajo es el de ser el primer paso para la base de datos de la Universidad de San Buenaventura con respecto a un proceso tan poco conocido como lo es el de calentamiento óhmico, además de esto brindar una herramienta para próximos estudiantes que quieran trabajar con ella buscando mejorar y aumentar los caminos de estudio para la implementación de los procesos que se llevan a cabo en la cámara óhmica. Es por esto se plantea la siguiente pregunta de trabajo:

¿Cuál será el mejor diseño con el que se pueden modificar los parámetros para el óptimo funcionamiento de la cámara?

Objetivo General

Establecer los parámetros físicos más relevantes en el rendimiento del calentador óhmico con los que se debe diseñar la cámara.

Objetivos Específicos

- Dimensionar los componentes de parámetros variables para la cámara.
- Proyectar el sistema para el control de la potencia entregada a la cámara.
- Definir el protocolo para la realización de las pruebas.

Alcances y Limitaciones

Alcances:

- Se pretende diseñar y construir un dispositivo de parámetros variables (potencia de entrada, área de electrodos y distancia entre electrodos) para la realización de pruebas de eficiencia.
- El ambiente en el que se va a desarrollar el proyecto es en Bogotá, específicamente en la universidad de San Buenaventura.

Limitaciones:

- Se variará el volumen de la cámara de 1 [L] a 3 [L].
- La potencia de entrada máxima será de 2000 Watts.
- La distancia entre los electrodos se variará entre 5 a 20 cm.
- Se construirá con 4 diferentes radios de electrodos [6, 4.5, 3, 2] cm.

Marco Conceptual

El proceso de liberación de aceites depende del método que se utilice para llevar a cabo este procedimiento, actualmente los métodos existentes son prensados, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles y con fluidos supercríticos como lo explican Cosío et al. (2012). Para saber que método emplear es necesario conocer bien la planta que se va a trabajar debido a que cada una de estas guarda el aceite en partes diferentes como lo son las hojas, raíces, semillas, frutos o en las flores como lo mencionan Cosío et al. (2012).

En este documento el método que se va a implementar junto al calentador óhmico es el de extracción de aceite por arrastre de vapor de agua o mejor conocido como hidrodestilación, este método muestra mejores resultados a comparación de los otros como se puede evidenciar en lo dicho por Hashemi et al (2017), Gavahian et al (2018) y en lo mencionado por Damyeh et al (2016) en donde se implementó este proceso de extracción. Previo a el proceso de extracción de aceite es posible realizar un proceso de machacado para agilizar la extracción, esto se debe a que después de machacar un poco la planta se puede obtener una cantidad de aceite inicial que luego de pasar por la cámara óhmica y la hidrodestilación este aumentará.

Después de cierto tiempo el líquido sometido a una temperatura constante empezará a evaporarse y es aquí donde ocurre el proceso de arrastre por vapor, luego de esto el material líquido pasa a un proceso de condensación lo cual permite el proceso de recolección de los materiales que se desean, en este caso los aceites esenciales, este procedimiento puede llevar desde minutos hasta incluso horas dependiendo el material y la temperatura a la que se trabaje es por esta razón que el calentamiento óhmico agiliza este proceso.

Electrodo.

Un buen conductor electrónico en contacto con un electrolito iónico para introducir un campo eléctrico o hacer fluir corriente a través de la sección electrolítica es denominado como electrodo según Sato (1998). Generalmente electrodos dispuestos axialmente dentro de una cámara electrolítica donde la corriente fluye desde un ánodo (parte de cargas positivas), hasta un cátodo (parte de cargas negativas).

Proceso de calentamiento Óhmico.

El proceso de calentamiento óhmico es una tecnología reinventada que consiste en la inducción de una corriente eléctrica que fluye a través de una resistencia, donde esa resistencia es considerada como el material que se desea calentar mencionado por Alwis et al (1992), aunque esta tecnología se haya creado desde hace ya un tiempo, resurgió de una manera singular para tratar con la temperatura de los materiales brindando eficacia y seguridad en la industria. Los estudios realizados en este campo y acerca de este tipo de calentamiento son aplicados principalmente a las

plantas y los alimentos. Además de ello esta tecnología es considerada novedosa y altamente aplicable debido a que aprovecha las cualidades de conductividad eléctrica y térmica de los materiales para producir calor desde su interior sin tener contacto con alguna superficie que se encuentre a una alta temperatura, o por procesos como convección y/o radiación como lo hacen las diferentes máquinas de calentamiento tradicionales, por lo tanto, brinda resultados rápidos, uniformes y altamente eficientes esto fue explicado por Gutiérrez (2018).

Como se mencionó anteriormente, el material que se ha de calentar generalmente son alimentos, a los cuales se les desea incrementar su temperatura sin perder sus nutrientes, o plantas, cuyos aceites son requeridos para la industria farmacéutica. Para este último se tiene un proceso de implementación que requiere profundización: hállese una cámara conectada a dos electrodos y estos conectados a una fuente de corriente alterna, la alternancia de la corriente eléctrica hace fluir la energía a través de una mezcla líquida de componentes que tienen una alta conductividad eléctrica que a su vez se encuentra en contacto con el sólido que representa la resistencia cuya masa incrementa su movimiento molecular uniformemente por la disipación de energía lo cual lo explicó Hradecky et al (2017) y el choque de electrones con las moléculas excitadas.

Conductividad eléctrica.

El principio físico inmerso en el desarrollo de este dispositivo es la conductividad eléctrica en relación con la conductividad térmica. Ambas tienen que ver con el movimiento molecular y la composición atómica. Como es bien sabido, en un metal hay electrones libres que pueden moverse fácilmente cuando se suministra energía y este movimiento a su vez depende de la temperatura como es expuesto por Rossi (1990). La conductividad eléctrica de un líquido se conoce como conductividad electrolítica debido a que la presencia de sal genera iones libres que lo dotan de una capacidad de conducción eléctrica considerablemente alta, este tipo de sustancias se utiliza para hacer del agua un buen conductor.

Efecto Joule.

Rossi (1990). Menciona que las resistencias dependen de la temperatura ya que ésta en sí es función de la corriente, es decir, si existe un aumento en la diferencia de tensión, existe un

aumento de corriente y directamente un incremento de la temperatura en una resistencia y consecuentemente la magnitud de la resistencia. Se pueden considerar las anteriores como variables proporcionales. Generalmente el efecto Joule, cuya definición es el calentamiento de las resistencias por una inducción de corriente es considerado como perjudicial para el ámbito de la electrónica, sin embargo, en el caso de un calentador óhmico se aprovecha este fenómeno para conseguir la meta de calentar un cuerpo (resistencia). Las secciones de los conductores generalmente son cilíndricas para obtener una mejor distribución uniforme de calor en el cuerpo como es considerado por Rossi (1990).

Un tema de suma importancia a tratar es la selección de la planta a la cual se le va a extraer la esencia, y el líquido donde va a estar sumergido, pues debido a los componentes de conductividad eléctrica de ambos, se puede determinar la velocidad con la cual se calentará y por ende extraerá todo el producto deseado. Generalmente se desea un calentamiento eficaz, relativamente rápido y uniforme y para ello se puede aumentar la conductividad del sólido impregnándolo de una solución conductora que sea capaz cambiar esa propiedad física como es expuesto por Reznik, D. (1988). Por otra parte, la frecuencia a la que las ondas de corriente fluirán a través del material es decisivo para el buen estado del producto final, Reznik, D. (1988). Ha demostrado experimentalmente que la ruptura estructural de los sólidos en este tipo de dispositivos es indirectamente proporcional con la frecuencia de la corriente alterna.

Metodología

Empírico-analítico: cuyo interés es el técnico, orientado a la interpretación y transformación del mundo material. Proporciona una estructura particular a la metodología de investigación en tanto que orienta el trabajo a la contrastación permanente de las aseveraciones teóricas con la verificación experimental, de manera que los cálculos generados a través de modelos matemáticos y simulaciones computacionales se deben retroalimentar con la experimentación, en la búsqueda de información cada vez más confiable y práctica para la solución del problema. Esta simbiótica debe llevar consigo una relación teórica al menos presumible entre variables, de manera que se puedan establecer relaciones funcionales entre ellas; igualmente y de acuerdo con los medios experimentales, también se deben establecer los parámetros experimentales convenientes.

III. CAPITULO 2

Desarrollo de Ingeniería

Dados unos parámetros estipulados para el diseño y la construcción como lo son, el tamaño de los electrodos y la potencia de entrada cuyos valores están asignados a continuación:

- Tamaño de electrodos escogidos [2, 3, 4.5, 6] cm
- Potencia máxima 2000 Watts

Se propone a continuación una metodología de diseño basada en tres temas principales, donde cada uno de estos es una parte esencial de la máquina.

El primero de ellos es el ***diseño mecánico*** donde se hace uso de la ley de ohm, el concepto de potencia y geometría para determinar las dimensiones que mejor se adaptan a los requerimientos principales. Este es el mecanismo donde se posiciona la muestra y se produce el calentamiento.

El segundo diseño es el ***diseño electrónico*** donde se hace uso de las teorías de circuitos AC y DC para la elaboración de un circuito modulador de ancho de pulso (PWM) para poder variar el requerimiento de la potencia hasta 2000 Watts. Este mecanismo es el que suministra energía a la máquina.

Finalmente se plantea un ***diseño térmico*** en donde se calcula las dimensiones del condensador de hidrodestilación necesario para la condensación del aceite. Se estudia y utilizan las principales teorías de la termodinámica y transferencia de calor para la selección del condensador más adecuado para el proyecto.

Las variables que se van a tener en cuenta para los cálculos del diseño de la cámara son:

TABLA I. NOMENCLATURA DEL DISEÑO

L_{max}	<i>Distancia máxima entre los electrodos</i>
L	<i>Distancia entre electrodos</i>
L_{min}	<i>Distancia mínima entre los electrodos</i>
A_E	<i>Área de los electrodos</i>
A_C	<i>Área interna de la cámara</i>
r_{max}	<i>Radio máximo de los electrodos</i>

r_{min}	<i>Radio mínimo de los electrodos</i>
r_c	<i>Radio de la cámara</i>
V_C	<i>Capacidad volumétrica de la cámara</i>
R_{ax}	<i>Resistencia eléctrica de la muestra</i>
R_{ax-max}	<i>Resistencia eléctrica máxima de la muestra</i>
I	<i>Corriente</i>
I_L	<i>Corriente nominal de la carga</i>
P	<i>Potencia de entrada</i>
P_{min}	<i>Potencia mínima de entrada</i>
P_{max}	<i>Potencia máxima de entrada</i>
G	<i>Conductividad de la muestra</i>
V	<i>Tensión</i>
V_{rms}	<i>Tensión eficaz.</i>
T_j	<i>Temperatura de la unión semiconductor.</i>
T_c	<i>Temperatura de la cápsula del transistor.</i>
P_{dis}	<i>Potencia disipada por el triac.</i>
$I_{OM} - I_{RM}$	<i>Corriente máxima del triac.</i>
R_s	<i>Resistencia de protección.</i>
C_s	<i>Capacitor de protección.</i>
V_{TM}	<i>Voltaje de semiconductor.</i>
T_a	<i>Temperatura ambiente.</i>
T_1	<i>Temperatura del vapor de entrada.</i>
T_2	<i>Temperatura del vapor de salida.</i>
\dot{Q}_{in}	<i>Flujo de calor de entrada</i>
\dot{Q}_v	<i>Flujo de calor de vapor</i>
\dot{Q}_p	<i>Flujo de calor de pérdidas</i>
\dot{Q}_i	<i>Flujo de calor ideal</i>
R_{cil}	<i>Resistencia térmica de un cilindro.</i>

$R_{convección}$	<i>Resistencia térmica por convección.</i>
$R_{conducción}$	<i>Resistencia térmica por conducción</i>
h_i	<i>Coefficiente de convección interno.</i>
A_i	<i>Area de la superficie interior que separa los dos fluidos.</i>
h_o	<i>Coefficiente de convección externo.</i>
A_o	<i>Area de la superficie exterior de la pared.</i>
k	<i>Conductividad térmica del nylon.</i>
t_1	<i>Temperatura del refrigerante de entrada.</i>
t_2	<i>Temperatura del refrigerante de salida.</i>
U	<i>Coefficiente de transferencia de calor.</i>
r_o	<i>Radio externo del condensador.</i>
r_i	<i>Radio interno del condensador.</i>
L_k	<i>Altura de condensador.</i>
ΔT_{LM}	<i>Diferencia logarítmica de la tempertaura.</i>
\dot{m}_v	<i>Caudal de vapor.</i>
\dot{m}_r	<i>Caudal de refrigerante.</i>
c_v	<i>Calor específico del vapor.</i>
\dot{c}_r	<i>Caudal del refrigerante.</i>
$R_{th(j-c)}$	<i>Resistencia térmica entre la unión y la cápsula.</i>
$R_{th(c-d)}$	<i>Resistencia térmica entre la cápsula y el disipador.</i>
$R_{th(d-amb)}$	<i>Resistemcia térmica entre el disipador y el ambiente</i>
R_3	<i>Resistencia de diseño 3</i>
C_2	<i>Condensador de diseño de carga y descarga</i>
r	<i>Constante de tiempo para circuito RC</i>
V_{out}	<i>Voltaje de salida del PWM</i>
V_{ina}	<i>Voltaje de entrada al circuito comparador 2</i>
V_{in1}	<i>Voltaje de entrada al amplificador operacional 2 (+)</i>
V_{in2}	<i>Voltaje de entrada al amplificador operacional 2 (-)</i>

$\%NaCl$	<i>Porcentaje de sal en la solución</i>
ρ_{NaCl}	<i>Densidad de la sal</i>

Diseño mecánico: cámara óhmica

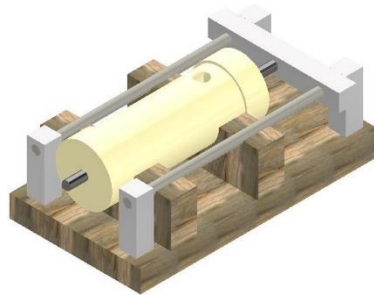


Fig. 1. Diseño CAD de la cámara óhmica.

Gutiérrez (2018) Concluye que se pueden considerar dos métodos para la construcción de la cámara, estos son con campo eléctrico radial y campo eléctrico axial, sin embargo, basándose en el mismo artículo se concluyó que mediante el método de campo eléctrico radial se obtenían resultados inferiores a los valores viables para el desarrollo del estudio, por lo tanto, se decide hacer el diseño de la cámara siguiendo el método de campo eléctrico axial teniendo en cuenta los parámetros variables de este documento.

Se desea diseñar una cámara óhmica con una capacidad variable de 3 [L] a 1 [L] de muestra y una potencia máxima de 2000 [Watts] por tal motivo se calcularán los siguientes parámetros

Se conoce que el volumen de un cilindro viene dado por la siguiente expresión:

$$V_c = LA_E \quad (1)$$

Donde:

$$V_c = 0.001 \text{ m}^3$$

Se conoce que la potencia eléctrica en un circuito viene dada por la ecuación 2,

Entonces, despejando la corriente máxima que se le va a suministrar al sistema se obtiene una expresión en términos de potencia y voltaje, parámetros ya estipulados:

$$P_{max} = V \cdot I \quad (2)$$

$$I = \frac{P_{max}}{V}$$

Reemplazando los valores

$$I = \frac{2000 \text{ Watts}}{120 \text{ V}}$$

$$I = 16.6 \text{ A}$$

A partir de las condiciones eléctricas del sistema se puede plantear las siguientes definiciones:

$$R_{ax} = \frac{L}{GA_E} \quad (3)$$

En la relación (3) se observa un nuevo parámetro G , éste hace referencia a la conductividad de la muestra. Esta ecuación indica que la conductividad es inversamente proporcional a la resistencia eléctrica de la muestra. Además de ello, conociendo la definición de potencia eléctrica en términos de corriente y resistencia:

$$P = (IR_{ax})I = I^2R_{ax} \quad (4)$$

Reemplazando la ecuación de resistencia axial (3) en la ecuación (4).

$$P = I^2 \left(\frac{L}{GA_E} \right) \quad (5)$$

Gracias a (1) y (5) se tienen dos ecuaciones para dar solución a las dos incógnitas a diseñar, con lo cual se procede a hacer la igualación del sistema, despejando el largo de (1) y reemplazando en la ecuación (5).

$$L = \frac{V_C}{A_E} \quad (6)$$
$$P = I^2 \left(\frac{\left(\frac{V_C}{A_E} \right)}{G A_E} \right)$$

Resolviendo y despejando el área de los electrodos:

$$P = I^2 \left(\frac{V_C}{G A_E^2} \right)$$
$$A_E = \sqrt{I^2 \left(\frac{V_C}{G P} \right)} \quad (7)$$

- **Conductividad de la muestra**

Gracias a los estudios hechos por Mateo et al (1998), Stone et al (2006) y Hassan et al (2014). Se presentan valores pequeños de conductividad para ciertos tipos de planta. Además de ello, se indica que existe una relación despreciable entre la masa de la planta y el volumen del líquido conductor. Esto quiere decir que la conductividad eléctrica en su mayor proporción es aportada por la mezcla que en este caso es agua con cloruro de sodio. Según Gutiérrez (2018) se recomienda usar una solución de agua con 1% de cloruro de sodio con 1 [s/m] de conductividad.

Siendo así se utiliza la ecuación (7) para calcular el área de los electrodos.

$$A_E = \sqrt{(16.666 A)^2 \left(\frac{0.001 m^3}{\left(1 \frac{s}{m}\right) (2000 Watts)} \right)}$$

$$A_E = 0.01178 m^2$$

El electrodo posee una sección circular, por ende:

$$A_E = \pi r_c^2 \quad (8)$$

Despejando el radio:

$$r_c = \sqrt{\frac{A_E}{\pi}}$$

$$r_c = \sqrt{\frac{0.01178 m^2}{\pi}}$$

$$r_c = 0.0612 m \rightarrow 6.0 cm$$

Se considera que el radio de la cámara va a ser el mismo para el electrodo más grande.

Ahora, reemplazando el valor del área de la cámara en (6) se encuentra la longitud mínima de esta.

$$L_{min} = \frac{0.001 m^3}{0.01178 m^2}$$

$$L_{min} = 0.0848 m \rightarrow 8.48 cm$$

Para hallar la longitud máxima de la cámara se utiliza la capacidad máxima de 3 litros, con el valor del área de la cámara, descritos en la ecuación (6).

$$L_{max} = \frac{0.003 \text{ m}^3}{0.01178 \text{ m}^2}$$

$$L_{max} = 0.2546 \text{ m} \rightarrow 25.46 \text{ cm}$$

Una vez obtenidos los parámetros de diseño, se puede hacer una relación de potencia contra longitud para tres radios de electrodos propuestos que no sobrepasen las medidas de la cámara y que incluyan todas las posibles configuraciones, tal como se observa en la gráfica 1.

Para la elaboración de la gráfica se utilizó la siguiente ecuación:

$$P = \frac{GA_E V^2}{L} \quad (9)$$

A partir de las longitudes máximas y mínimas, se evaluó la potencia requerida para cada uno de los valores entre el siguiente rango.

$$L \in [8.488 \text{ cm}, 25.46 \text{ cm}]$$

Con los siguientes valores de radio:

$$r_{max} = 6.0 \text{ cm}$$

$$r_1 = 4.5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 3 \text{ cm}$$

$$r_{min} = 2 \text{ cm}$$

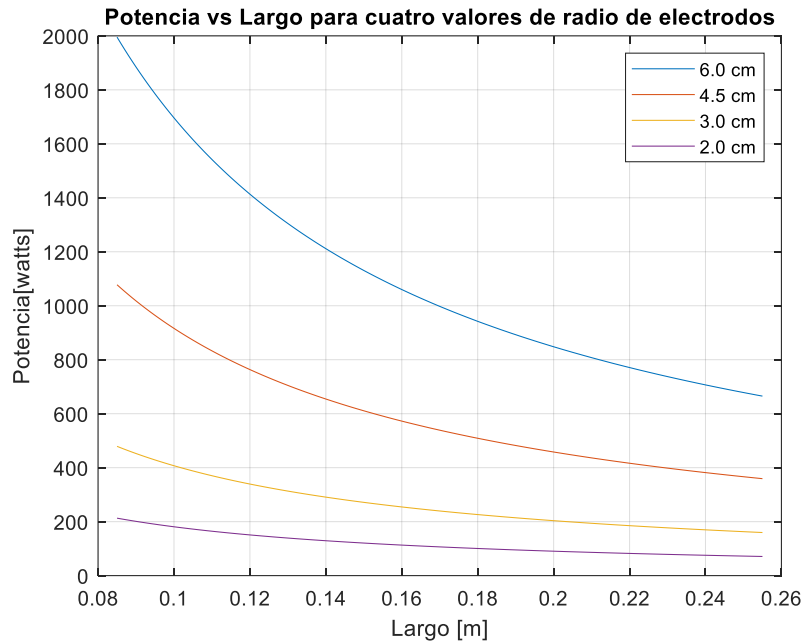


Fig. 2. Potencia vs distancia entre electrodos para cuatro valores posibles de radio.

Así pues, es posible conocer la potencia requerida para cada posible configuración de parámetros.

Diseño electrónico: conversor AC-AC

Para suministrar la potencia máxima planteada es necesario conocer el valor de la resistencia de la cámara, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R_{ax}} \quad (10)$$

Donde:

$$P = 2000 \text{ Watts}$$

$$V_{rms} = 120 \text{ V}$$

Entonces,

$$2000 \text{ Watts} = \frac{(120 \text{ V})^2}{R_{ax}}$$

$$R_{ax} = \frac{(120 \text{ V})^2}{2000 \text{ W}}$$

$$R_{ax} = 7.2 \Omega$$

Diseño de PWM

Con el fin de controlar la potencia que se va a suministrar a la cámara se plantea el diseño de un circuito modulador de ancho de pulso (PWM) para controlar la potencia mediante la variación del ángulo de disparo para la activación de un triac.

Para sincronizar la señal del PWM con la tensión de la red, se requiere un detector de cruce por cero, este se logra mediante un rectificador de onda completa como se muestra en la figura (2), el cual hace uso de un transformador reductor con entrada de 120 V y salida es de 12 V. A la salida del rectificador se posiciona una resistencia R1 de 100k como carga.

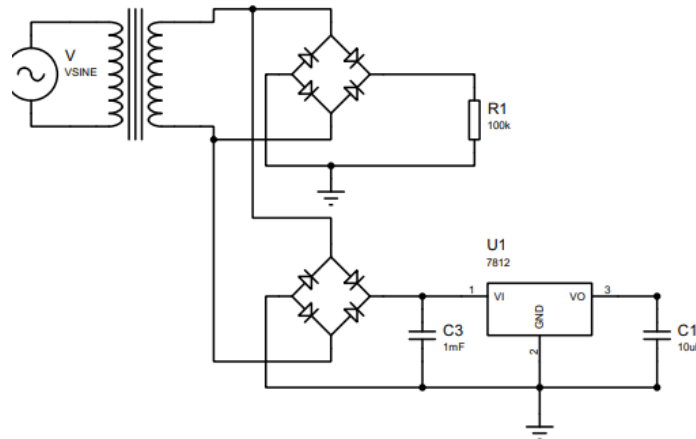


Fig. 3. Circuito rectificador de onda completa.

Se puede observar la comparación de la salida con respecto a la entrada en términos de tensión en la figura (3)

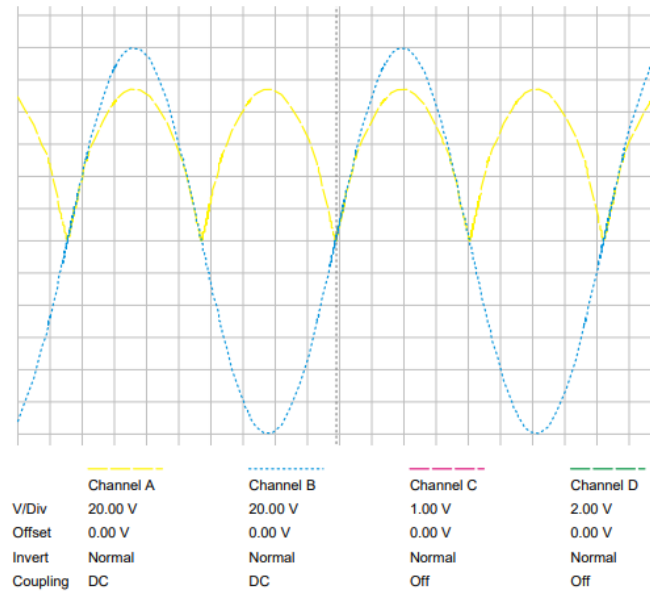


Fig. 4. Comparación entre entrada y salida del circuito rectificador.

Además, se puede evidenciar en la figura (2) el uso de un regulador de voltaje de 12 V (LM812) para asegurar y alimentar los amplificadores operacionales que actúan en el circuito.

Una vez obtenido este resultado, el circuito que determine el cruce por cero de la señal de salida se muestra en la figura (4).

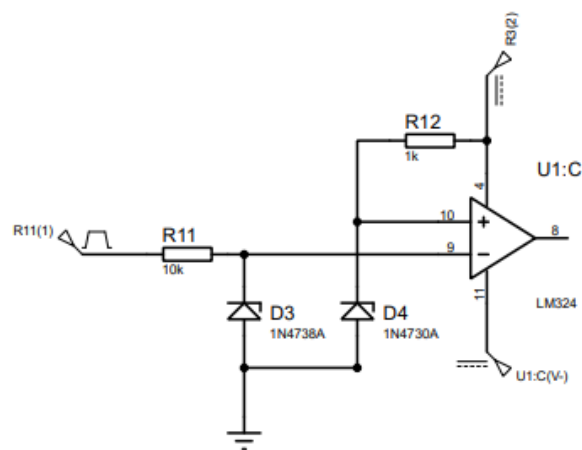


Fig. 5. Circuito de cruce por cero.

El primer Zener de 8,2V es para volver la señal rectificada una señal trapezoidal, suprimiendo los picos de voltaje que van a entrar al amplificador operacional.

El segundo Zener que aparece de 3,9V sirve como punto de comparación de la señal rectificada y recortada.

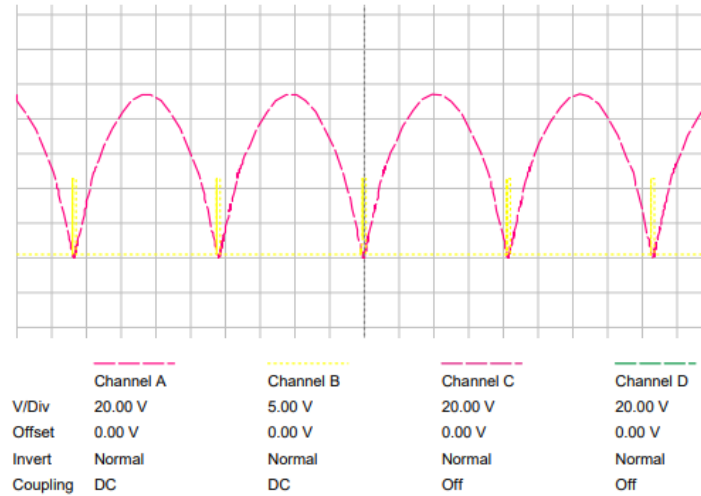


Fig. 6. Señal rectificada vs señal de cruce por cero.

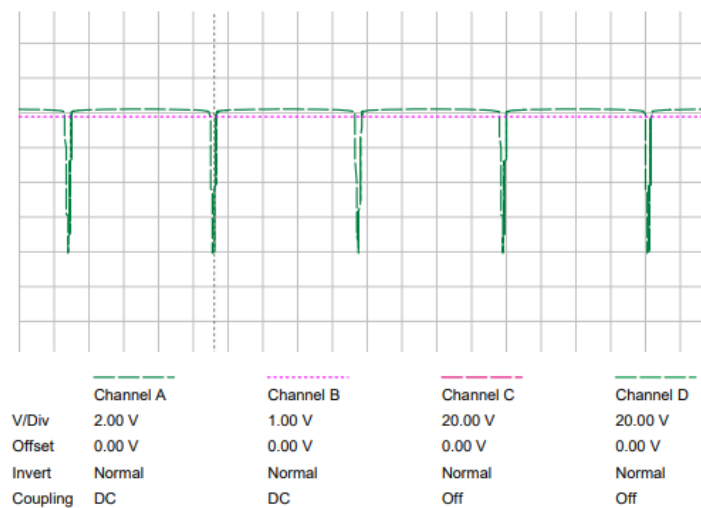


Fig. 7. Señal trapezoidal de 8.1 V vs señal de comparación de 3.9 V.

Así como lo menciona Electrónica y Automatización (2015) a la salida del comparador existirán pulsos estrechos de cruce por cero como lo muestra la figura (5) que actuarán como la llave de activación del transistor presentado en la figura (7), donde la dinámica de funcionamiento indica que el condensador se va a cargar a través de la resistencia de R_3 que va del colector a V_{cc} , este genera la curva que se asemeja a la rampa del diente de sierra. después en el lapso que llega la

señal alta a la base el transistor se satura y el condensador se descarga a través del transistor en un estado de baja impedancia, generando así una señal diente de sierra presentada en la figura (8).

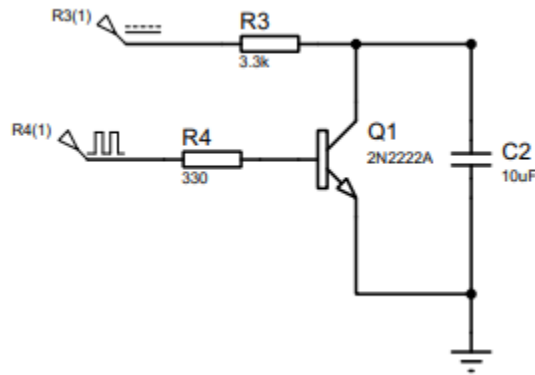


Fig. 8. Circuito generador de señal de diente de sierra.

Para poder conocer el valor de la resistencia R_3 y del capacitor de carga y descarga se toma en cuenta la constante de tiempo de un circuito RC, de la siguiente manera:

$$\tau = R_3 C_2 \quad (11)$$

Y,

$$\tau > \frac{1}{2 \cdot 60 \text{ Hz}}$$

Entonces se elige una resistencia comercial de:

$$R_3 = 3.3k\Omega$$

Y, por lo tanto,

$$C_2 = 2.5 \mu F$$

Cuyo valor comercial más cercano es de:

$$C_2 = 10 \mu F$$

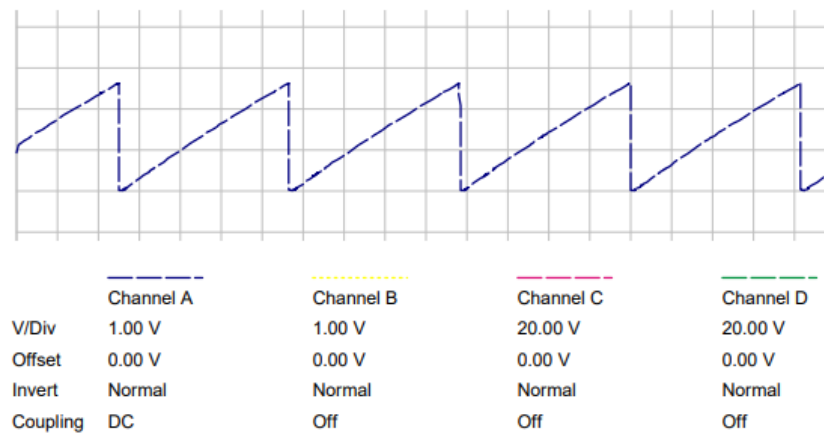


Fig. 9. Figura diente de sierra.

Paso siguiente de la generación de la rampa se diseña un circuito comparador como se observa en la figura (9) cuyo fin es el de comparar la señal de salida del condensador y la señal DC variante proporcionada por un potenciómetro y donde se encuentren esas dos poder estipular el ancho de la señal PWM. Además de ello se observa un comparador antes del circuito, éste actúa como filtro de la señal.

Se utilizará un potenciómetro con un valor de $5 \text{ k}\Omega$ para variar la señal DC y poder seguir el razonamiento reportado por Circuito Generador de Señal PWM con Amplificadores Operacionales (s.f)

$$V_{out} = +V_{ina} \quad \text{si} \quad V_{in1} > V_{in2}$$

$$V_{out} = -V_{ina} \quad \text{si} \quad V_{in1} < V_{in2}$$

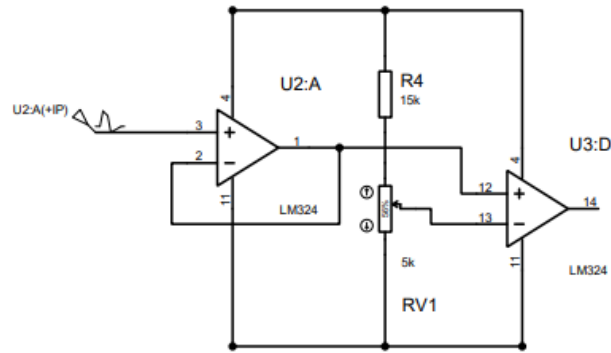


Fig. 10. Circuito comparador de voltaje.

Finalmente, la salida del comparador acciona el optoacoplador seleccionado (MOC3021) donde cada que se varía la referencia se envía una señal al LED acoplado y este excita el triac como lo muestra la figura (13) que representa el circuito final de control de potencia.

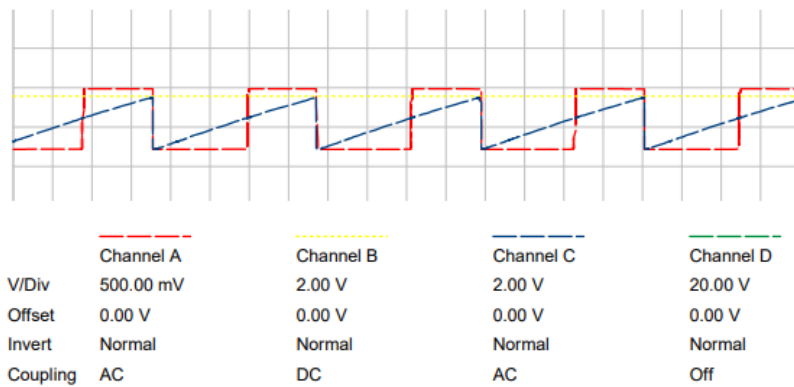


Fig. 11. Comparación de señal diente de sierra vs señal DC vs ancho de pulso.

Selección del Triac

Para el cálculo de triac se asume que por éste va a fluir la corriente máxima. La cual ya se calculó con anterioridad y tiene un valor de:

$$I_{oM} = 16.7 A$$

Para el triac, se tiene en cuenta el doble de la corriente nominal del circuito para la selección de este elemento:

$$I_{RM} = 2(16.7 A)$$

$$I_{RM} = 33.4 A$$

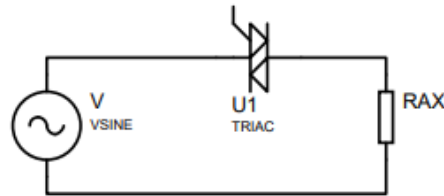


Fig. 12. Circuito de triac.

Teniendo en cuenta el valor obtenido y la corriente de descarga del capacitor del circuito de freno que se calculará posteriormente, se escoge el dispositivo Triac Bta41 cuya corriente máxima nominal es de 40 A con un ángulo de disparo de 0° , su temperatura de funcionamiento máxima es de 125°C y la tensión máxima de operación es 600V.

Diseño del circuito Snubber

Tal como lo menciona Carrión et al (1994). cuando se usa un dispositivo triac en un circuito principal se debe tener en cuenta que pueden ser muy sensibles a un cambio brusco de voltaje y si por la dinámica del circuito existe un transiente que produce un dv/dt alto, que el triac no puede bloquear, el circuito fallará. Para ello se implementa un circuito RC paralelo al dispositivo triac, que ayuda a eliminar ese transiente. Este circuito se conoce como circuito Snubber. El cálculo del circuito Snubber está basado en la información recopilada por Rashid (2004). y se tiene en cuenta la figura (12).

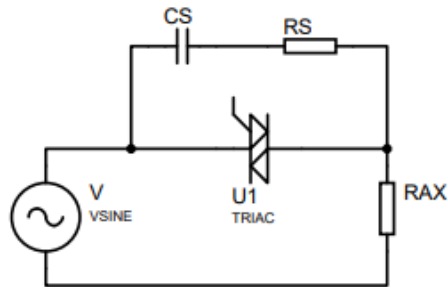


Fig. 13. Circuito snubber para filtrar los transientes.

La corriente nominal de carga se puede calcular teniendo en cuenta la resistencia máxima de la cámara, con la ayuda de la gráfica (1) y la ecuación (10):

$$R_{ax-max} = \frac{V_{rms}^2}{P_{min}}$$

$$R_{ax-max} = \frac{(120 V)^2}{(80 Watts)}$$

$$R_{ax-max} = 180 \Omega$$

$$I_L = \frac{V}{R_{ax-max}} = 0.666 A$$

Si se considera que la corriente de carga es 10 veces la corriente nominal, se tiene que:

$$R_s = \frac{V}{I_L} = \frac{120 V}{10 \cdot 0.666 A}$$

$$R_s = 18 \Omega$$

La ecuación 14, explicada por Rashid (2004) es útil para calcular el valor de C_s y haciendo uso de la hoja de datos del triac seleccionado, donde menciona que, $dv/dt=500 V/\mu s$. Se reemplazan los valores y se consigue:

Se reemplazan los valores y se consigue:

$$C_s = \frac{0.632RV_s}{(R_s + R_{ax-max})^2 \frac{dv}{dt}} \quad (14)$$

$$C_s = \frac{0.632(7.2 \Omega)(120 V)}{(18 \Omega + 180 \Omega)^2 \left(500 \frac{V}{\mu s}\right)}$$

$$C_s = 278 \text{ nF}$$

Los valores comerciales de los componentes obtenidos se presentan a continuación:

$$C_s = 330 \text{ nF}$$

$$R_s = 18 \Omega$$

Se le agrega dos resistencias en paralelo al capacitor y una vez concluidos estos resultados, se presenta el circuito final de control de potencia.

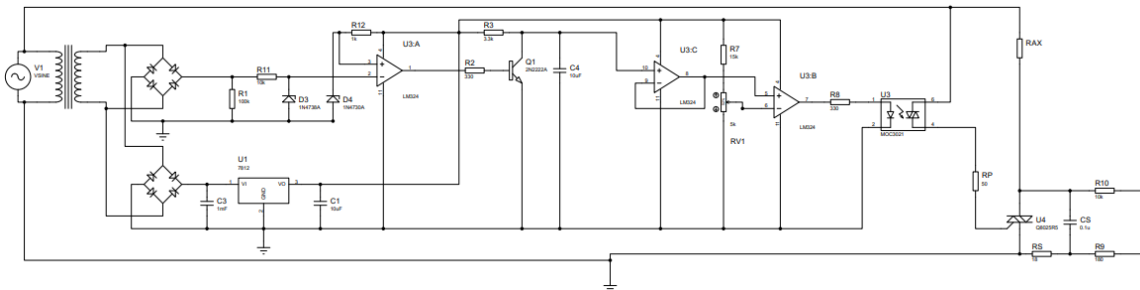


Fig. 14. Circuito conversor AC-AC controlado.

Selección del disipador de calor

Como todo circuito de potencia existen pérdidas de energía en forma de calor debido a la conmutación. Así que es necesario que a través de convección de transfiera el calor a un disipador para mantener la temperatura lo más baja posible.

El disipador estará ajustado al triac calculado anteriormente. Cuyas especificaciones del fabricante son las siguientes.

$$R_{th(j-c)} = 0.9 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_{th(d-amb)} = 50 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$T_j = 125 \text{ } ^{\circ}C$$

$$T_c = 95 \text{ } ^{\circ}C$$

$$V_{TM} = 1 \text{ } V$$

La potencia que disipa el semiconductor está modelada por la ecuación 11.

$$P_{dis} = V_{TM} I_{RM} \quad (15)$$

$$P_{dis} = (1V)(16.6A) = 16.6 \text{ } W$$

Esto quiere decir que para suministrar la mayor potencia a la cámara cuyo valor son 2000 W el triac debe disipar 16.6 W.

Siguiendo los razonamientos de Trujillo et al (2011) se tiene en cuenta la analogía de circuitos electrónicos para calcular la resistencia térmica entre la cápsula y el disipador.

$$T_j - T_c = P_{dis} \cdot R_{th(c-d)} \quad (16)$$

$$R_{th(c-d)} = \frac{T_j - T_c}{P_{dis}}$$

$$R_{th(c-d)} = \frac{125 \text{ } ^{\circ}C - 95 \text{ } ^{\circ}C}{16.6 \text{ } W}$$

$$R_{th(c-d)} = 1.85 \frac{^{\circ}C}{W}$$

La resistencia térmica que determina el disipador se calcula con la ayuda de la ecuación (17), teniendo en cuenta que la temperatura ambiente de Bogotá es: 18.5°C aproximadamente y siguiendo la figura (11).

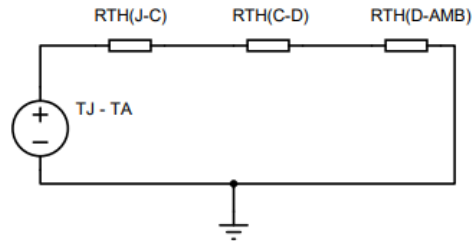


Fig. 15. Circuito térmico.

$$R_{th(d-amb)} = \frac{T_j - T_a}{P_{dis}} - (R_{th(j-c)} + R_{th(c-d)}) \quad (17)$$

$$R_{th(d-amb)} = \frac{100\text{ }^{\circ}\text{C} - 18.5\text{ }^{\circ}\text{C}}{16.6\text{ W}} - \left(0.9\frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 1.85\frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right)$$

$$R_{th(d-amb)} = 2.15\frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Se debe elegir un disipador con un valor de resistencia térmica inferior a este resultado. Para las medidas del triac elegido se escoge el disipador en la página de Fischer elektronik con referencia ICK BGA (27 x 27 x 22) mm cuya resistencia térmica es de $2\frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$.

Diseño térmico: condensador de hidrodestilación

Para poder hallar el flujo de calor del vapor, se considera que el calor de entrada al condensador es igual a la suma del calor de vapor más el calor de las pérdidas como se representa en la ecuación (18).

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_p \quad (18)$$

Y según Cengel et al (2004) el calor de pérdidas de un cilindro, como en este caso el condensador, está representado por:

$$\dot{Q}_p = \frac{T_1 - t_1}{R_{cil}} \quad (19)$$

Donde,

$$R_{cil} = R_{conducción} + R_{convección}$$

$$R_{conducción} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi L_k k}$$

$$R_{convección} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi L_k k} + \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o A_o}$$

Simplificando:

$$R_{cil} = \frac{(h_i A_i)(h_o A_o) \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + (2\pi L_k k)(h_o A_o) + (2\pi L_k k)(h_i A_i)}{(2\pi L_k k)(h_i A_i)(h_o A_o)}$$

Reemplazando el valor de la resistencia del cilindro en la ecuación (16) se obtiene lo siguiente:

$$\dot{Q}_p = \frac{(2\pi L_k k)(h_i A_i)(h_o A_o)(T_1 - t_1)}{(h_i A_i)(h_o A_o) \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + (2\pi L_k k)(h_o A_o) + (2\pi L_k k)(h_i A_i)} \quad (20)$$

Asumiendo los valores que se desean para el condensador:

$$r_i = 0.015 \text{ m}$$

$$r_o = 0.03 \text{ m}$$

$$A_i = \pi 2 r_i h_k$$

$$A_o = \pi 2 r_o h_k$$

El radio interno es por donde se transporta el vapor de agua, y el radio externo es por donde pasa el refrigerante para la condensación además de ello, como lo dicta (Goodfellow, s.f):

$$k = 0.24 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

Y como lo menciona (Cengel, Y. et al., 2004):

$$h_i = 30 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_o = 505 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ya con cada uno de los valores necesarios para el cálculo de \dot{Q}_p y reemplazando en la ecuación 18 se obtiene el siguiente resultado:

$$\dot{Q}_p = \frac{30236.55 \frac{W^3}{m^3 \cdot ^\circ C^2} \cdot L_k^3}{334.36 \frac{W^2}{m^2 \cdot ^\circ C^2} \cdot L_k^2}$$

$$\dot{Q}_p = 90.43 \frac{W}{m} \cdot L_k$$

Se despeja el flujo de calor de vapor de la ecuación (18):

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_p$$

$$\dot{Q}_v = 2k \frac{J}{s} - 90.43 \frac{J}{s \cdot m} \cdot L_k$$

Es decir,

$$\dot{Q}_v = 7.2 \cdot 10^6 \frac{J}{h} - 325.5 \cdot 10^3 \frac{J}{h \cdot m} \cdot L_k$$

Se puede redefinir el flujo de calor \dot{Q} dentro de un recipiente, así como lo hizo Gutiérrez (2019).

$$\dot{Q}_v = UA_c \Delta T_{LM} \quad (21)$$

Donde ΔT_{LM} como se menciona en la tabla 1 es la variable de la temperatura a una escala logarítmica y tiene por definición,

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (22)$$

Como se puede observar en la ecuación (19) los términos de la diferencia de temperaturas ΔT_1 y ΔT_2 en este caso son a contraflujo, entonces:

$$\Delta T_1 = T_1 - t_2 \quad (23)$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1 \quad (24)$$

T_1 es considerada como la temperatura de ebullición de la disolución. Para fines prácticos se utilizará el valor de ebullición del agua en estado normal, referenciada en la ciudad de Bogotá, con un valor de $T_1 = 93^\circ C$.

Mientras que, para la temperatura de salida del vapor condensado en el diseño del condensador se considerará como $T_2 = 70^\circ C$. t_1 es la temperatura del refrigerante considerada como la temperatura ambiente en Bogotá, $t_1 = 18.5^\circ C$.

Entonces, haciendo uso de la ecuación (25) expuesta por Cengel et al (2004) para un intercambiador de calor se tiene que:

$$t_2 = t_1 + \frac{\dot{Q}_l}{\dot{m}_r c_r} \quad (25)$$

Para simplificar los cálculos posteriores se determinará una temperatura de salida del refrigerante cuyo intercambiador será considerado como ideal, entonces se puede hacer uso de la misma ecuación (25) para la determinación del flujo de calor de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_v c_v (T_1 - T_2)$$

Donde se propone un flujo másico de vapor de $\dot{m}_v = 0.3 \frac{kg}{s}$ y el calor específico del vapor de agua tiene un valor de $c_v = 2.016 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, entonces,

$$\dot{Q}_i = \left(0.3 \frac{kg}{s}\right) \left(2.016 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right) (93^\circ C - 70^\circ C)$$

$$\dot{Q}_i = 13.91 kW$$

Para el flujo másico del refrigerante se utilizará una bomba de $\dot{m}_r = 0.08 \frac{kg}{s}$ y conociendo el calor específico $c_r = 4.18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ se reemplazan los valores en la ecuación (25)

$$t_2 = 18.5^\circ C + \frac{13.91 kW}{\left(0.08 \frac{kg}{s}\right) \left(4.18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right)}$$

$$t_2 = 60.1^\circ C$$

Por ende, reemplazando en (22), (23) y (24)

$$\Delta T_1 = 93^\circ C - 60.1^\circ C = 33^\circ C$$

$$\Delta T_2 = 70^\circ C - 18.5^\circ C = 51.5^\circ C$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{33^\circ C - 51.5^\circ C}{\ln\left(\frac{33^\circ C}{51.5^\circ C}\right)}$$

$$\Delta T_{LM} = 41.6^\circ C$$

El coeficiente de transferencia de calor U se puede asumir con un valor de $6000 \left[\frac{kJ}{m^2 h^\circ C}\right]$ como lo anunció Cengel et al (2004).

Finalmente, para hallar la altura del tubo se puede despejar el valor de L_k de la ecuación (21) en términos de todos los valores ya conocidos, tal como sigue.

$$L_k = \frac{\dot{Q}_v}{2\pi r_k U \Delta T_{LM}}$$

$$L_k = \frac{7.2 \cdot 10^6 \frac{J}{h} - 325.5 \cdot 10^3 \frac{J}{h \cdot m} \cdot L_k}{2\pi(0.015 m) \left(6000 \frac{kJ}{m^2 h^\circ C}\right) (41.6^\circ C)}$$

Operando y despejando, se tiene que,

$$L_k = 0.3 m$$

Se toma un valor de $L_k = 30 cm$ cuyo valor comercial más cercano es $L_k = 25 cm$.

IV. CAPITULO 3

Análisis de resultados

En el presente capítulo se presentará detalladamente el protocolo de realización de pruebas, así como la obtención de resultados y el análisis de estos a través de gráficas y tablas que ilustran de una mejor manera la información.

Los resultados están organizados de la siguiente manera:

Una temática general que abarca el objetivo principal, y es la sección siguiente llamada “Obtención de los parámetros de funcionamiento para régimen permanente”. Esta sección contiene 3 pruebas que resumen todo el proceso.

1. Prueba de porcentaje de sal del dieléctrico: esta prueba se hace antes de las pruebas de funcionamiento de la máquina con el objetivo de determinar cuál es la mejor concentración de sal de la muestra, hace una comparación.
2. Pruebas de eficiencia: en este apartado se define el protocolo general de las dos siguientes pruebas.
3. Prueba mezcla blanca (baja cantidad de hojas – 10[g]): En esta sección se hacen 4 pruebas para cada uno de los electrodos [2,3,4,5,6] cm con un poca cantidad de muestra, variando la distancia entre dos valores [10, 20] cm y la potencia entre [55, 80] Watts y se representan en tablas y figuras los datos obtenidos junto con su respectivo análisis.
4. Prueba mezcla de color (alta cantidad de hojas – 100[g]): Una vez obtenida la mejor configuración de la prueba anterior se realizan 3 pruebas para 3 distancias entre electrodos propuestas, entre [5,10, 20] cm, a una potencia fija. Igualmente se tabula y grafica la información del tiempo y volumen que dura la extracción y se analiza.

Obtención de los parámetros de funcionamiento para régimen permanente

Prueba de porcentaje de sal del dieléctrico

Para el análisis de resultados fue necesario realizar diferentes experimentos previos para obtener de manera experimental datos importantes del mismo funcionamiento de la cámara óhmica, uno de ellos es la *prueba de porcentaje de sal del dieléctrico*.

La prueba se realizó con la siguiente configuración de parámetros: 5 cm de distancia entre electrodos, tensión de 40 V y los electrodos de 4.5 cm de radio con el fin de estandarizar un porcentaje de sal para todas las demás pruebas. Conociendo los parámetros con los cuales se iban a realizar esta prueba se obtuvo el volumen de trabajo de la cámara para poder saber la cantidad de sal que se tendría que añadir. Esto se realizó con el fin de comprobar el porcentaje de sal adecuado para realizar las pruebas de extracción de aceite, empezando por el valor estipulado por Gutiérrez (2018) de 1% y disminuyendo este hasta encontrar uno con el cual funcionara correctamente el circuito de potencia junto con la cámara óhmica y el líquido que se tendría en ella, ya que no se va a utilizar agua destilada para la realización de este experimento pero si agua potable que contiene variedad de minerales los cuales afectarán su conductividad es necesario definir con qué porcentaje de sal es capaz de trabajar, los resultados de estas pruebas se pueden evidenciar en la tabla 2 donde se resume el funcionamiento de la cámara con los diferentes valores de concentración.

TABLA II. VALIDACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE SAL

PORCENTAJE DE SAL [%]	CANTIDAD DE SAL [g]	FUNCIONAMIENTO
1	12.21	Falla (corto circuito)
0.8	9.77	Falla (corto circuito)
0.7	8.55	Falla (corto circuito)
0.5	6.10	Óptimo (Evaporación eficaz)
0.3	3.66	Óptimo (Evaporación eficaz)

Como se aprecia en la Tabla 2 en algunas concentraciones de sal se evidenciaron fallas en su funcionamiento impidiendo que se lograra finalizar su respectiva prueba, la tabla 3 es una ejemplificación de cuánto tiempo le tomó antes de mostrar una falla.

Prueba con el electrodo de 4.5 cm de radio utilizando una concentración de 0.7% a 5 cm de distancia entre electrodos y una potencia de aproximadamente 250 W (Tensión de 40 V).

Después de los diez minutos del experimento, alcanzando una temperatura de 43°C se presenta la falla mencionada la cual se definió como un corto en el circuito de control de potencia debido a que al ser tan alto el porcentaje de sal y existir un cambio de conductividad por factores como la disolución iónica, aumento de la temperatura y esto generó la falla.

Se repitió este experimento con diferentes concentraciones de sal llegando a la conclusión de trabajar con el 0.3%.

Definición del protocolo de las pruebas

1. Se propusieron 2 grandes pruebas que abarcan la totalidad de las siguientes. La primera es: Prueba mezcla blanca (10g de hojas), cuya cantidad de hojas de eucalipto es baja.
2. Para la prueba blanca se diseñaron 4 pruebas para los cuatro tamaños de electrodos propuestos, cuyos radios son [2,3,4.5,6] cm.
3. A cada una de las cuatro pruebas con los electrodos se les varió la distancia de entre las siguientes [10,20] cm.
4. Y a su vez, se les aplicó una varianza en la potencia entre [55,80] Watts. Midiendo tensión (V_{rms}) con un multímetro conectándolo a las terminales y a su vez, una pinza amperimétrica para medir la corriente (I_{rms}).
5. Una vez estipulados los parámetros, se tomaba el tiempo total para la evaporación del dieléctrico junto con el aceite.
6. Se midió el tiempo y el volumen desde la primera gota de hidrato que cae al recipiente y los intervalos siguientes hasta llegar a 150 ml. Se fijó un volumen estándar para poder validar con seguridad la eficiencia de la máquina, debido a que si se dejaba que se

evaporara toda la muestra existente entre 1 a 3 L (dependiendo de la configuración) el proceso sería extremadamente demorado.

7. Una vez obtenido el hidrato final, se decantaba la muestra (ver anexo 1) para obtener la cantidad total de aceite.
8. Conociendo la cantidad de aceite final, se obtiene el porcentaje de todo el hidrato y se grafica la cantidad de aceite vs el tiempo que toma conseguirlo para cada intervalo [20,40,60,80,100,150] ml (de hidrato), hallando el porcentaje a través de una regla de tres.
9. La segunda gran prueba: Prueba mezcla de color (100g de hojas), cuya cantidad de hojas de eucalipto es alta. Se propuso el mismo procedimiento, pero haciendo uso de la configuración más eficiente en términos de tiempo obtenida en la Prueba mezcla blanca (10g de hojas). Variando el parámetro de la distancia de entre [5,10,20]cm y dejando fijo el electrodo y la potencia.

NOTA: Es importante mencionar que este tipo de máquina se prestaba para muchas pruebas de eficiencia siguiendo el protocolo mencionado anteriormente, se tenía planeado hacer más de 32 *tipos de prueba* debido a las diferentes combinaciones de electrodos, distancia y potencia. Específicamente 4 configuraciones de distancia entre electrodos, para cuatro configuraciones de distancia y cuatro configuraciones de potencia. Pero lamentablemente, el material de la cámara

debido a su uso excesivo y constante, ya que era mucho material que se podía extraer, se expandió debido al calor lo que ocasionaba fugas de líquido y daños en el proceso y fallas en la recolección de datos. Sin embargo, el proceso resultó útil para la determinación de la eficacia en términos de tiempo, pero no de volumen.

Prueba mezcla blanca (baja cantidad de hojas-10 [g])

Para esta prueba se estableció una cantidad de diez gramos de las hojas de eucalipto, en cada uno de los siguientes experimentos se agregaron estas cantidades y se fueron variando la configuración de los parámetros de trabajo para evaluar cual es el más eficiente, en las siguientes

páginas se dividieron las pruebas por el tamaño de electrodo implementado, reportado con anterioridad.

Prueba con el electrodo de 2 cm de radio

Utilizando el electrodo de 2 cm con una longitud de la cámara de 10 cm y una potencia de 55 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA III.DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 2 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN HIDRATO (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
9	20	0.05
18	40	0.1
25	60	0.15
30	80	0.2
38	100	0.25
48	150	0.375

Adicional a esta prueba se realizó un seguimiento durante todo el proceso de trabajo desde el momento en que se puso a trabajar la máquina hasta el final de la prueba cuando se obtuvieron los 150 ml de hidrato, este seguimiento se puede apreciar en la tabla 4:

TABLA IV.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA PARA CONFIGURACIÓN 1

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
33	<i>Alcanza 90°</i>
40	<i>Primera gota</i>

88	<i>Alcanza 150 ml</i>
----	-----------------------

Estas dos tablas se repitieron en cada una de las pruebas realizadas variando los diferentes parámetros de trabajo para luego comparar los resultados.

Utilizando el electrodo de 2 cm con una longitud de la cámara de 20 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA V. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 2 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
9	20	0.05
12	40	0.1
18	60	0.15
22	80	0.2
30	100	0.25
43	150	0.375

TABLA VI. SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA DE LA CONFIGURACIÓN 2

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
30	<i>Alcanza 90°</i>
32	<i>Primera gota</i>
72	<i>Alcanza 150 ml</i>

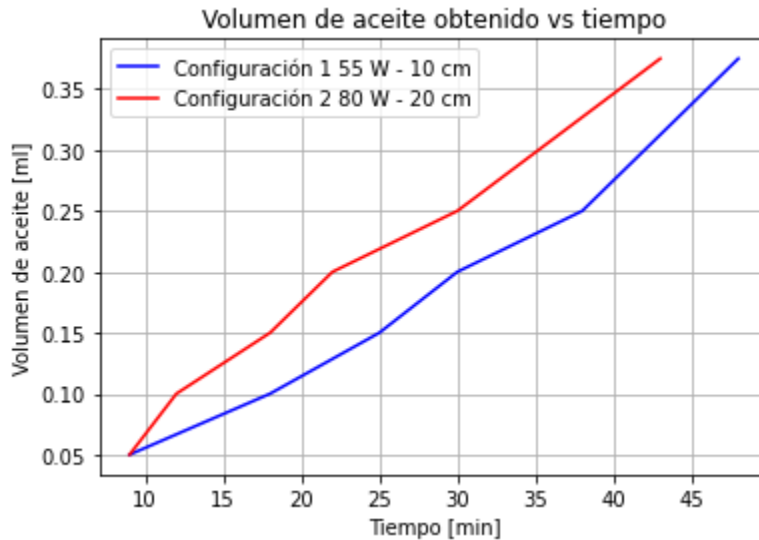


Fig. 16. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 2 cm.

Las figuras, 16,17,18,19 muestran el comportamiento de la prueba en términos de la cantidad de aceite conseguido con respecto al tiempo para todos los tamaños de electrodos propuestos [2,3,4,5,6]cm y con dos tipos de configuraciones para cada uno: distancia entre ellos de [10, 20]cm y potencia de [55,80]watts.

Prueba con el electrodo de 3 cm de radio

Utilizando el electrodo de 3 cm con una longitud de la cámara de 10 cm y una potencia de 55 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

En la tabla 8 se menciona un suceso imprevisto, debido a que existieron algunas fugas por mal sellado del tapón por donde iba el vapor y por verter toda la mezcla cubriendo hasta el límite la cámara. Además de que se perdió bastante cantidad de muestra, se hizo presión al tapón y eso ocasionó que la fuerza se devolviera en forma de explosión. Sin embargo, se hace un estudio con los datos obtenidos para tener una visualización del proceso.

TABLA VII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 3 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
5	20	0.05
8	30	0.075
10	Falla debido a fuga y presión	Falla debido a fuga y presión

TABLA VIII. SEGUIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 3.

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
35	<i>Alcanza 90°</i>
37	<i>Primera gota</i>
-	<i>Alcanza 150 ml</i>

Utilizando el electrodo de 3 cm con una longitud de la cámara de 20 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA IX. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 3 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
5	20	0.05
7	40	0.1
8	60	0.15
11	80	0.2
13	100	0.25

17	150	0.375
----	-----	-------

TABLA X.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 4.

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>FASE DE LA PRUEBA</i>
30	<i>Alcanza 90°</i>
32	<i>Primera gota</i>
49	<i>Alcanza 150 ml</i>

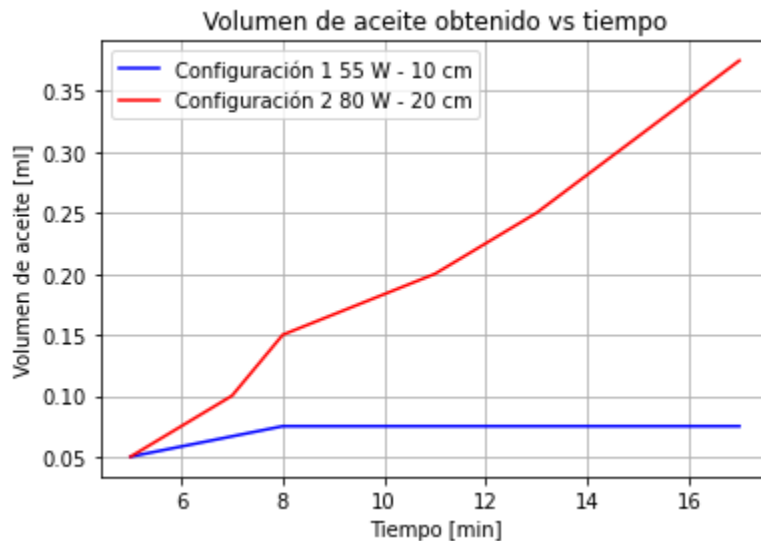


Fig. 17. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 3 cm.

Prueba con el electrodo de 4.5 cm de radio

Utilizando el electrodo de 4.5 cm con una longitud de la cámara de 10 cm y una potencia de 55 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA XI. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
3	20	0.05
7	40	0.1
10	60	0.15
13	80	0.2
17	100	0.25
23	150	0.375

TABLA XII. SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 5.

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>FASE DE LA PRUEBA</i>	<i>TIEMPO (min)</i>
23	Alcanza 90°	23
25	Primera gota	25
48	Alcanza 150 ml	48

Utilizando el electrodo de 4.5 cm con una longitud de la cámara de 20 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA XIII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
2	20	0.05
4	40	0.1
7	60	0.15
9	80	0.2
11	100	0.25
16	150	0.375

TABLA XIV. SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 6

<i>TIEMPO (min)</i>	<i>FASE DE LA PRUEBA</i>
30	<i>Alcanza 90°</i>
33	<i>Primera gota</i>
49	<i>Alcanza 150 ml</i>

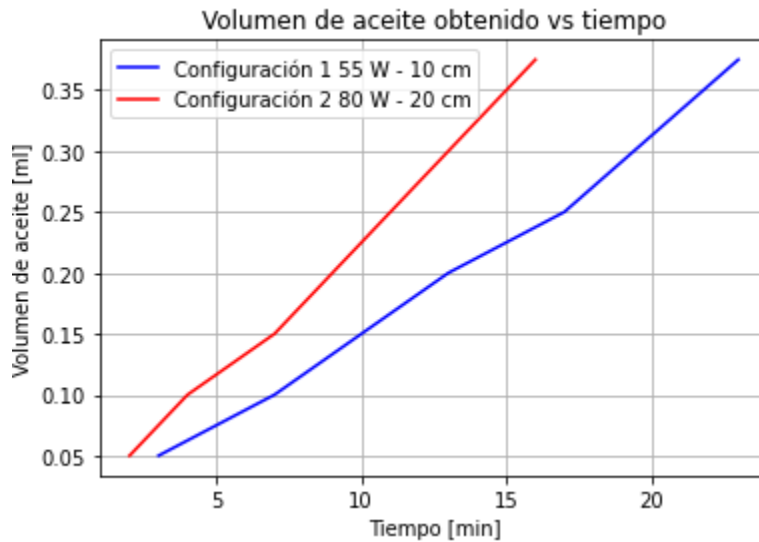


Fig. 18. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 4.5 cm.

Prueba con el electrodo de 6 cm de radio

Utilizando el electrodo de 6 cm con una longitud de la cámara de 10 cm y una potencia de 55 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA XV. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 6 (CM) A 55 (WATTS) - 40 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
7	20	0.05
11	40	0.1
14	60	0.15
19	80	0.2
25	100	0.25
30	150	0.375

TABLA XVI.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 7

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
40	Alcanza 90°
41	Primera gota
71	Alcanza 150 ml

Utilizando el electrodo de 6 cm con una longitud de la cámara de 20 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevó en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 0.375 ml de aceite.

TABLA XVII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 6 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
8	20	0.05
15	40	0.1
23	60	0.15
28	80	0.2
33	100	0.25
38	150	0.375

TABLA XVIII.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 8

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
45	Alcanza 90°
50	Primera gota
80	Alcanza 150 ml

Por último, se realizó una prueba con el electrodo de 4.5 cm de radio con una configuración de 5 cm de distancia entre electrodos y 20 voltios de entrada.

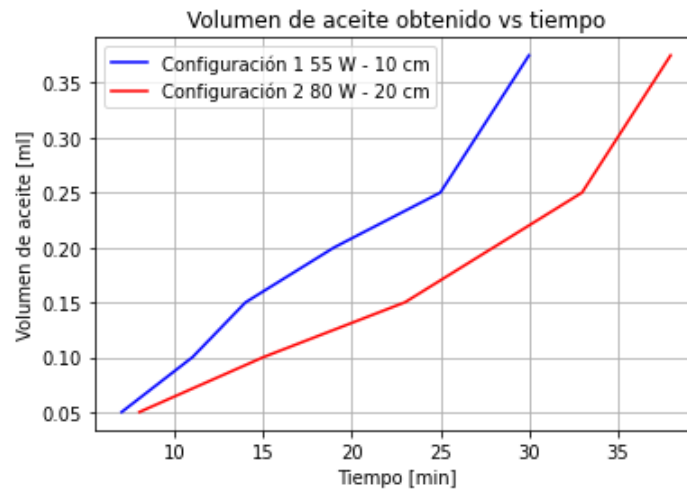


Fig. 19. Comportamiento de la prueba para dos tipos de configuraciones para el electrodo de 6 cm.

TABLA XIX.SEGUIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 9

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
53	Alcanza 90°

Sin embargo, solo se pudo registrar el tiempo que tardó en alcanzar los 90 grados Celsius debido a que se llenó en su totalidad la cámara con la mezcla de agua y cloruro de sodio generando que al evaporarse esta no tuviera espacio a donde ir y por la presión interna explotara, por esto mismo se recomienda dejar espacio dentro de la cámara para que el vapor pueda expandirse y realizar el proceso de manera adecuada como en las pruebas anteriores.

Finalmente, como se observa en la figura 20, la configuración que obtuvo el mejor resultado en términos de tiempo fue la configuración del electrodo de 4.5 cm de radio a una tensión de 80 (Watts) - 70 (Volts) y una longitud de la cámara de 20 cm. Ya que a pesar de que se encontraba en la distancia máxima, realizó la prueba mucho más rápido que el resto de las configuraciones.

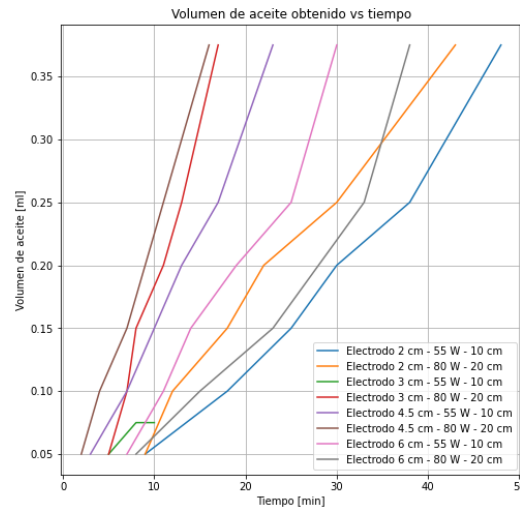


Fig. 20. Comparación entre las diferentes pruebas con indicadores de electrodo, distancia y potencia.

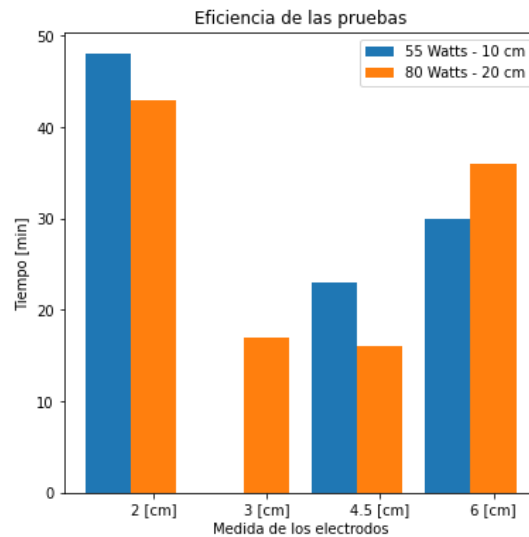


Fig. 21. Comparación de tiempo de las diferentes pruebas como parámetro de eficiencia.

Por esta razón se hicieron nuevas pruebas, reportadas en la siguiente sección, con más cantidad de hojas para 3 diferentes configuraciones de distancias y evaluar el resultado.

Prueba mezcla de color (alta cantidad de hojas – 100[g])

En esta prueba se aumentó la cantidad de hojas utilizadas al momento de la extracción del aceite con el fin de conseguir una mayor cantidad de este material, de igual forma se fueron cambiando los parámetros de trabajo de la cámara para evaluar la óptima configuración.

NOTA: Para este caso, se realizó el mismo proceso de decantación (ver anexo 1) y se obtuvieron aproximadamente 2 ml de aceite, es decir el 1.333 %.

Prueba con el electrodo de 4.5 cm de radio

Utilizando el electrodo de 4.5 cm con una longitud de la cámara de 20 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevo en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 2 ml de aceite.

TABLA XX. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 20 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
1	20	0.3
4	40	0.53
7	60	0.8
9	80	1.06
10	100	1.333
14	150	2

TABLA XXI.SEGUIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 10.

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
44	Alcanza 90°
48	Primera gota
55	Alcanza 150 ml

Utilizando el electrodo de 4.5 cm con una longitud de la cámara de 10 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevo en extraer

diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 2 ml de aceite.

TABLA XXII. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 10 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
1	20	0.3
3	40	0.53
5	60	0.8
8	80	1.06
9	100	1.333
10	150	2

TABLA XXIII.SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 11.

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
40	Alcanza 90°
42	Primera gota
48	Alcanza 150 ml

Utilizando el electrodo de 4.5 cm con una longitud de la cámara de 5 cm y una potencia de 80 watts se puso a trabajar la cámara óhmica tabulando el tiempo que le llevo en extraer diferentes cantidades del hidrato en el recipiente medidor, después de realizar la decantación de la mezcla se obtuvo un volumen de 2 ml de aceite.

TABLA XXIV. DATOS DE CONFIGURACIÓN DE ELECTRODO 4.5 (CM) A 80 (WATTS) - 70 (VOLTS) Y UNA LONGITUD DE LA CÁMARA DE 50 (CM)

TIEMPO (min)	VOLUMEN MUESTRA (ml)	VOLUMEN ACEITE (ml)
1	20	0.3
3	40	0.53
4	60	0.8
6	80	1.06
7	100	1.333
8	150	2

TABLA XXV. SEGUIMIENTO FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN 12.

TIEMPO (min)	FASE DE LA PRUEBA
39	Alcanza 90°
40	Primera gota
45	Alcanza 150 ml

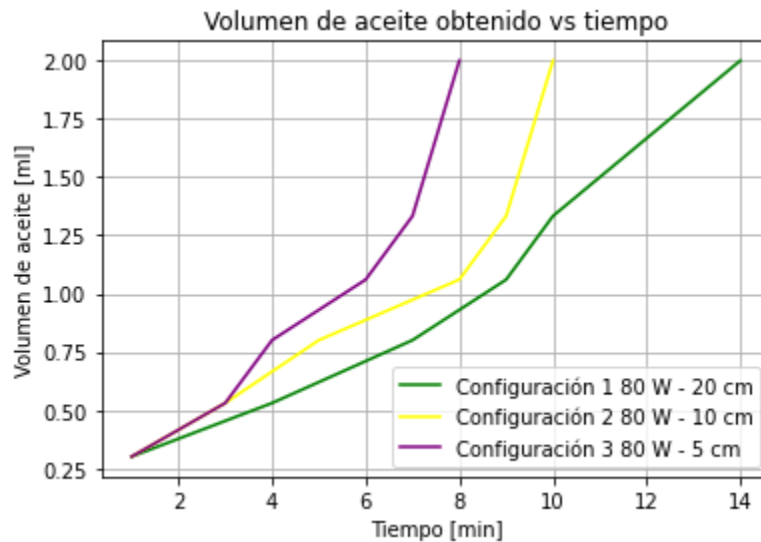


Fig. 22. Comportamiento de la prueba para tres tipos de distancia entre electrodos para el electrodo de 4.5 cm a una potencia de 80 watts.

La figura 23 representa el comportamiento de la prueba en términos de la cantidad de aceite conseguido con respecto al tiempo para el tamaño de electrodo elegido 4.5 cm, a potencia constante 80 watts y con tres tipos de configuraciones para la distancia [5,10,20]cm.

Consideraciones acerca de la construcción de la cámara

La cámara se construyó en Nylon 6, junto con los diferentes acoples para los electrodos, éstos y los ejes se construyeron con acero inoxidable, para evitar la corrosión tanto del ambiente, para los ejes de la cámara (terminales de conexión) y del mecanismo móvil, como la salinidad para los electrodos. A los electrodos se les hizo un canal en el perímetro para colocar empaques y evitar las posibles fugas de líquido. Los soportes del mecanismo de reducción de distancia y la barra movable se hicieron con aluminio y finalmente, la base con madera de pino. Se le hicieron roscas tanto a las extremidades de la cámara como a las tapas junto con un par de palancas a cada tapa para su fácil ajuste y desajuste. Cada uno de los elementos y materiales se compraron en bruto y se mecanizaron en el torno y la fresa para obtener las medidas calculadas en el capítulo 2.

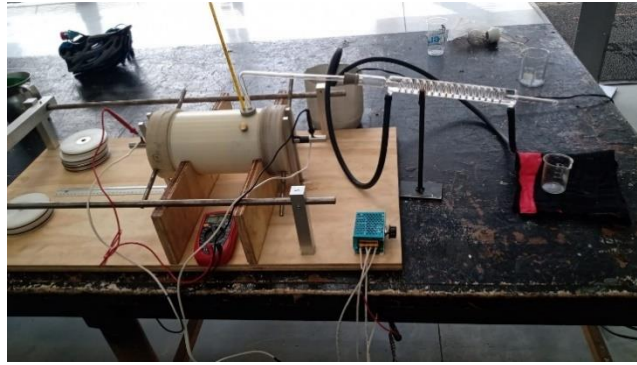


Fig. 23. Cámara Óhmica construida (Vista lateral).



Fig. 24. Cámara Óhmica construida (Vista trasera).

A diferencia de la prueba de Gutiérrez, F. F. V. (2018) la temperatura de evaporación la alcanzaba en aproximadamente 10 min, mientras que para la mejor prueba reportada con anterioridad se tiene un tiempo de calentamiento de 30 min. Esto ocurre debido a que se tiene una muestra mucho más grande y una potencia más baja para el calentamiento. Pero ocurre algo con la prueba de **electrodo 4.5 (cm) a 55(Watts) - 40 (Volts) y una longitud de la cámara de 10 cm** de la sección de la mezcla blanca, ya que el proceso de calentamiento está sólo 10 min por arriba de la prueba de la cámara estática de Gutiérrez, F. F. V. (2018). Es decir, si se realiza la prueba con los parámetros elegidos como mejores, con la reducción de la distancia a 5 cm se tendría una eficiencia mucho más grande respecto a la prueba elegida, ya que se obtendría material mucho más rápido (teniendo en cuenta que se requerían únicamente 150 ml de mezcla).

Configuración ideal para la mejor eficiencia (**4.5 cm de radio a una tensión de 80 (Watts)**
- 70 (Volts) y una longitud de la cámara de 5 cm.)

V. CONCLUSIONES

Se logró diseñar y construir una cámara óhmica de parámetros variables para pruebas de eficiencia, cuyos parámetros variables son el radio de los electrodos de 6 cm a 2 cm, la distancia entre ellos, de 5 cm a 20 cm y la potencia suministrada con una variación entre 0 y 2000 Watts.

La máquina funciona para todo tipo de configuración, cada una con un tiempo de proceso y volumen diferente de aceite final. Así mismo, se puede concluir que diferentes configuraciones de parámetros pueden igualarse y dar resultados muy similares.

Uno de los problemas generales cuando se diseña una máquina que necesita trabajar con mucha energía es la temperatura, en este trabajo se pudo evidenciar perfectamente que la temperatura es una variable que debe tenerse muy en cuenta en el diseño para el correcto funcionamiento al momento de la implementación.

Con respecto a parámetros variables, la concentración de sal del dieléctrico podría asumirse como uno más, puesto que dependiendo de la cantidad de éste se puede extraer cantidades diferentes de aceite o en el peor caso perjudicar la muestra y/o dañar el circuito de potencia. Es de suma importancia proteger el circuito con fusibles ya que la resistencia al ser variable tanto en configuración como en tiempo puede generar corrientes no deseadas. Sin embargo, a uso pausado la cámara óhmica funciona perfectamente, haciendo que esta máquina sea una herramienta capaz de conseguir cualquier cantidad de aceite de manera eficiente.

Para futuros trabajos se pretende obtener el aceite de una manera controlada y automatizada, ya conociendo los parámetros y los materiales del diseño.

Cabe aclarar que, aunque se lograron varias pruebas para la estimación de los parámetros y se obtuvo información importante para el estudio. No se logró la totalidad de configuraciones que se tenían estipuladas debido a los daños de la cámara.

VI. RECOMENDACIONES

1. Si se sube la tensión próxima a 120 V y con una resistencia de cámara muy baja, las hojas de la muestra se queman en su totalidad dejando un líquido negro dentro de la cámara y la muestra final no es propicia para extracción ni estudio.
2. Construir la cámara con el material teflón, debido a que el nylon en su ficha técnica aguanta 100°C que es la temperatura para la evaporación del agua, pero realmente a los 90°C que es la temperatura de evaporación del agua en Bogotá, este material se expande y provoca daños en el funcionamiento.
3. Realizar un circuito de control de potencia digital, ya que el analógico presenta muchas fallas si no se obtienen materiales de calidad.
4. Proteger el circuito regulador de potencia con fusibles de corriente 1.2 – 1.25 veces la corriente nominal (17 A) para protegerlo de posibles sobrecargas.
5. Sellar perfectamente cada uno de los orificios de la cámara, pues si no se encuentran completamente sellados pueden existir fugas de fluido tanto de agua como de vapor y dañar la prueba o ser peligrosos y causar explosiones debido a la presión. (Recomendación adicional: incluir una válvula de alivio)
6. Utilizar una cantidad considerable de eucalipto o cualquier otra planta de la cual se quiera extraer aceite, en lo posible de 100 gramos o más de esta.

REFERENCIAS

- Alwis, A. A. P., & Fryer, P. J. (1992). Operability of the ohmic heating process: electrical conductivity effects. *Journal of Food Engineering*, 15(1), 21-48.
- Carrión, P.; Gálvez, P. (1994). Diseño de redes snubbers mediante técnicas de optimización, para la protección de Tristones contra sobretensiones Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, volumen (10), pp.111-123.
- Cengel, Y.; Pérez, H. (2004). Heat transfer: a practical approach. transferencia de calor. McGraw-Hill.
- Electrónica para todos. 2022. Circuito Generador de Señal PWM con Amplificadores Operacionales. [virtual] Recuperado en: <http://www.electronicworld.com.mx/uncategorized/circuito-generador-de-senal-pwm-con-amplificadores-operacionales/>
- Cosío, S., Álvarez, M., & Meléndez, L. (2012). PROCEDIMIENTOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN PLANTAS AROMÁTICAS. CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S. C. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/540/1/rodriguez_m.pdf
- Coughlin, R.; Driscoll, F. (1998). Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. Pearson educacion.
- Damyeh, M. S.; Niakousari, M. (2016). Impact of ohmic-assisted hydrodistillation on kinetics data, physicochemical and biological properties of Prangos ferulacea Lindle. essential oil: Comparison with conventional hydrodistillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, volumen (33), pp. 387-396.
- Electrónica y Automatización (2015). Laboratorio 4: Circuito de control de potencia con Triac [archivo PDF]. Recuperado de <http://lcr.uns.edu.ar/electronica/eya/labs/Laboratorio%204.pdf>.
- Gad, A.; Jayaram, S. H.; Pritzker, M. (2014). Performance of electrode materials during food processing by pulsed electric fields. *IEEE Transactions on Plasma Science*, volumen (42), pp. 3161-3166.
- Gally, T.; Rouaud, O.; Jury, V.; Le-Bail, A. (2016). Bread baking using ohmic heating

- technology; a comprehensive study based on experiments and modelling. *Journal of Food engineering*, volumen (190), pp. 176-184.
- Gavahian, M.; Lee, Y.; Chu, Y. (2018). Ohmic-assisted hydrodistillation of citronella oil from Taiwanese citronella grass: Impacts on the essential oil and extraction medium. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, volumen (48), pp. 33-41.
- Gutiérrez, F. (2018, Junio). Calentador óhmico para extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas. *Scientia et Technica*, volumen (23), pp. 160-167.
- Gutiérrez, F. (2019 Diciembre 12). NOVEL DATA-DRIVEN CONTROL APPROACHES Application in essential oil extraction processes [Tesis de doctorado]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Hashemi, S.; Nikmaram, N.; Esteghlal, S.; Khaneghah, A.; Niakousari, M.; Barba, F.; Koubaa, M. (2017). Efficiency of Ohmic assisted hydrodistillation for the extraction of essential oil from oregano (*Origanum vulgare* subsp. *viride*) spices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, volumen (41), pp. 172-178.
- Hassan, A. E.; Bhiah, K.; Al-Zurfya, M. T. (2014). Effect of organic extracts on the growth and flowering of marigold plants (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Organics*, volumen (1), pp. 22-30.
- Hradecky, J.; Kludska, E.; Belkova, B.; Wagner, M.; Hajslova, J. (2017). Ohmic heating: A promising technology to reduce furan formation in sterilized vegetable and vegetable/meat baby foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, volumen (43), pp. 1-6.
- Izaguirre-Silva, J., Belmares-Cerda, R., & Cruz-Hernández, M. (2013). Uso de Tecnologías Emergentes para la Elaboración de Bebidas Funcionales (Aloe Vera). *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9). <http://www.actaquimicamexicana.uadec.mx/?p=566>
- Kulshrestha, S.; Sastry, S.; (2006). Low-frequency dielectric changes in cellular food material from ohmic heating: effect of end point temperature. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, volumen (7), pp. 257-262.
- Meyer Torres, G., Sarmiento, O. I., Ramírez, R. I., & Guevara, O. (2018). Evaluación del rendimiento del aceite esencial de caléndula (*Calendula officinalis* L) obtenido por OAHD. *Revista Ion*, 31(1), 13-19.

- Prósper Ortega, J. (2020). INTENSIFICACIÓN DE PROCESOS DE INACTIVACIÓN MICROBIANA Y ENZIMÁTICA EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO MEDIANTE APLICACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS MODERADOS. Instituto de Ingeniería de alimentos para el desarrollo, Universitat Politècnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/157862>
- Poliamida - Nilón 6 - Catalogo en linea - Materiales en pequeñas cantidades para el diseño - Goodfellow. (s/f). Recuperado el 13 de abril de 2021, de Goodfellow.com. Recuperado de <http://www.goodfellow.com/S/Poliamida-Nilon-6.html>
- Rangel Hernández, J. (2017). Efecto de las condiciones de procesamiento en la calidad nixtamalera, química y nutracéutica de harinas nixtamalizadas por un proceso de calentamiento óhmico continuo. Universidad Autónoma de Querétaro, Tesis. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1158>
- Rashid, M.; (2004). Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones. Pearson Educación.
- Rossi, R. J. (1990). *U.S. Patent No. 4,933,585*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Sato, N. (1998). *Electrochemistry at metal and semiconductor electrodes*. Elsevier.
- Sarmiento Pérez, O. I. (2017). Cinética de extracción del aceite esencial de *Calendula officinalis* L. mediante hidrodestilación y calentamiento ohmico asistido por hidrodestilación.
- Trujillo, F., Pozo, A., & Triviño, A. (2011). *Electrónica de Potencia (N.1)*. Universidad de Málaga. https://ocw.uma.es/pluginfile.php/2176/mod_resource/content/0/calculo_de_disipadores.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento para el uso de la cámara óhmica de parámetros variables

1. Definir el radio de electrodos a usar.



Fig. 25. Electrodos.

2. Ensamblar los dos electrodos en los ejes y ajustar la tuerca con ayuda de la llave.



Fig. 26. Ensamblaje de electrodos y ejes (terminales de conexión).

3. Posicionar los electros en las tapas.



Fig. 27. Ensamblaje de tapas.

4. Cerrar la cámara.



Fig. 28. Ensamblaje de cámara y tapas.

5. Ubicar la cámara en la zona de trabajo.



Fig. 29. Cámara y base de trabajo.

6. Ensamblar el eje ajustable al sistema (barra) de movimiento y ajustarlo con ayuda de la perilla.



Fig. 30. Ensamblaje de cámara y sistema ajustable.

7. Definir la distancia de separación entre electrodos para la realización de la prueba.
8. Con ayuda del sistema movable y la regla ubicar el electrodo en la posición deseada.



Fig. 31. Visualización del sistema de reducción de distancia.

9. Calcular el volumen con ayuda de la ecuación (26).

$$V_c = \pi \cdot r_c^2 \cdot L \quad (26)$$

10. Calcular el 0.3% de sal del volumen de trabajo definido en el paso anterior con ayuda de la ecuación (27).

$$m_{NaCl} = \frac{\%NaCl}{100} \cdot (\rho_{NaCl} \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot L)$$

De donde $\rho_{NaCl} = 2.16 \frac{g}{cm^3}$ (Todas las medidas de distancia y masa deben estar en *cm* y *g* respectivamente).

11. Con ayuda de la gramera digital obtener la cantidad de sal.



Fig. 32. Gramera con muestra de NaCl.

12. Verter la cantidad de agua del paso 9 en el recipiente estandarizado.

13. Mezclar la cantidad de sal calculada junto con el volumen de trabajo calculado.

14. Verter la mezcla en la cámara por el orificio más grande. (**IMPORTANTE: No vertir toda la mezcla a la cámara, es necesario dejarle espacio de aproximadamente 2 cm con respecto a la superficie del orificio, medido con el pie de rey, para que pueda evaporarse correctamente**).



Fig. 33. Proceso de verter la muestra.

15. Con ayuda de la gramera pesar la cantidad de hojas de Eucalipto que se desea.



Fig. 34. Gramera con muestra de hojas de eucalipto.

16. Para ayudar al proceso machacar en lo más posible la cantidad del paso 15 con la ayuda del mortero.



Fig. 35. Mortero.

17. Introducir la cantidad de hojas a la cámara por el orificio mayor.
18. Introducir el termómetro y el codo refrigerante en el tapón mayor.



Fig. 36. Acople de termómetro y codo en tapón.

19. Introducir el tapón del otro extremo del codo en el condensador de hidrodestilación.



Fig. 37. Acople de codo con condensador refrigerante.

20. Colocar las mangueras de refrigeración en los orificios del condensador y ubicarlo en la base.



Fig. 38. Acople de mangueras.

21. Conectar la manguera inferior del condensador a la bomba de agua y la manguera superior al recipiente del refrigerante.

22. Colocar la bomba de agua en el recipiente del refrigerante (**IMPORTANTE: No manipular la bomba conectada y fuera del agua**).



Fig. 39. Acople de mangueras con bomba.

23. Tapar el orificio más grande de la cámara con ayuda del tapón del paso 18.



Fig. 40. Ensamblaje de sistema refrigerante con cámara.

24. A la salida del condensador de hidrodestilación ubicar el recipiente que recolectará la muestra.



Fig. 41. Posición de recipiente.

25. Conectar el regulador de potencia a los terminales de los ejes y encender.

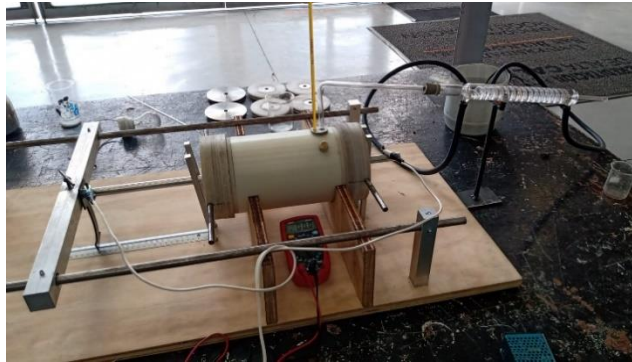


Fig. 42. Conexión de terminales eléctricas.

26. Ubicar en el rango de 0 a 120 Voltios la tensión deseada para el desarrollo de la prueba.

27. Cuando ya se haya recolectado el líquido con el aceite requerido, apagar el regulador de potencia y desconectar las terminales de los ejes.



Fig. 43. Muestra final.

28. Dejar en reposo la cámara hasta que baje su temperatura.
29. Desacoplar el sistema refrigerante y de condensación desde el tapón mayor, separar el codo del condensador y limpiar (**Nota: con mucho cuidado**)
30. Desacoplar el sistema movable (barra) del eje ajustable.
31. Revisar si aún queda agua en la cámara y verterla por el orificio mayor.
32. Destapar la cámara y desacoplar los electrodos.
33. Limpiar todo residuo tanto de la cámara como de los electrodos ya que estos pueden afectar en las próximas pruebas.

34. Utilizar el juego de herramientas para decantar sustancias, vertiendo la mezcla obtenida luego del proceso en el embudo de decantación.



Fig. 44. Kit de decantación.

35. Esperar a que las dos sustancias se separen, el aceite por su densidad quedará arriba y el agua abajo.



Fig. 45. Embudo de decantación con la mezcla aceite agua.

36. Después de este proceso de separación se obtendrá el elemento final, aceite de eucalipto.



Fig. 46. Muestra de aceite de eucalipto.