

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN EXTRACTOR PROTOTIPO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM).

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Galindo G., Bárbara J.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico.

Caracas, 2010.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN EXTRACTOR PROTOTIPO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM).

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Jaime Hernández

Prof. Francisco Yáñez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Galindo G., Bárbara J.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico.

Caracas, 2010

Caracas, Octubre 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Bárbara J. Galindo G., titulado:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN EXTRACTOR
PROTOTIPO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA
POR MICROONDAS (EAM).”**

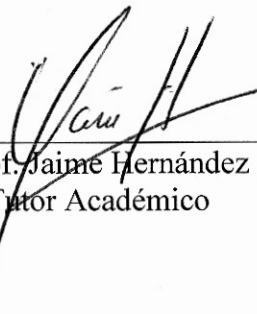
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



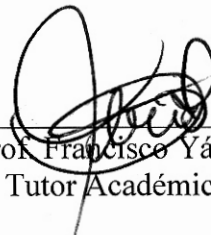
Prof. Luis García
Jurado



Prof. María Rodríguez
Jurado



Prof. Jaime Hernández
Tutor Académico




Prof. Francisco Yáñez
Tutor Académico

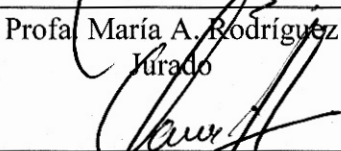
MENCIÓN HONORÍFICA

Nosotros, los abajo firmantes, miembros del jurado del Trabajo Especial de Grado titulado “*Diseño, Construcción y Evaluación de un Extractor Prototipo para el proceso de Extracción Asistida por Microondas (EAM)*” presentado por la Bachillera Barbará Galindo, CI. 17.312.899, para optar al título de Ingeniero Químico, decidimos otorgarle la **Mención Honorífica** a dicho trabajo tomando en cuenta los siguientes méritos:

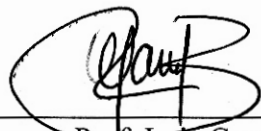
1. El trabajo desarrollado por la Bra. Galindo es el primero en su tipo desarrollado en la Escuela de Ingeniería Química e integra elementos que permiten el fortalecimiento de la línea de investigación de Extracciones No Convencionales.
2. El sistema de extracción desarrollado por el Bra. Galindo permitirá evaluar las condiciones de operación del sistema de extracción bajo presiones superiores a la atmosférica, permitiendo escoger las condiciones que maximicen el rendimiento de la producción de extractos de cacao y otras matrices vegetales, lo cual permitirá desarrollo de planta a escala piloto y posteriormente a escala comercial.
3. La Bra. Galindo mostró iniciativa, creatividad, disciplina y habilidad en la resolución de los problemas de programación planteados por el trabajo y en la toma de decisiones.
4. La Bra. Galindo desarrolló todas las actividades asociadas con la ingeniería básica y de detalles de este proyecto incluyendo las disciplinas que no son de su dominio formal (mecánica, electricidad, etc.). En todas ellas tuvo una sobresaliente actuación, logrando resultados confiables y satisfactorios. Esto resulta en una experiencia integral como profesional al trabajar en disciplinas propias de otras ramas de la ingeniería.
5. La Bra. Galindo demostró, tanto en el trabajo escrito como en la presentación oral del mismo, un excelente dominio de los aspectos teóricos y prácticos del problema planteado.



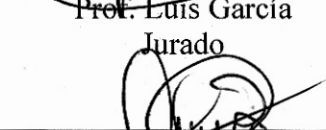
Prof. María A. Rodríguez
Jurado



Prof. Jaime A. Hernández
Tutor Académico



Prof. Luis García
Jurado



Prof. Francisco Yáñez
Tutor Académico

AGRADECIMIENTOS

Mi querida UCV, que se convirtió en mi hogar, ya que hay encontré a la más grande familia constituida por profesores, amigos, peores nada, para mi todos ustedes son mi segunda familia.

A mi familia, este logro es para ustedes, que siempre creyeron en mi aun cuando yo no lo hacia, a mi padre por ser el hombre mas especial en mi vida ayer, hoy y siempre, a Madre por su ejemplo de constancia aun en las peores circunstancias, siempre de pie luchando gracias a ti soy lo que soy hoy en día; a mi hermano Jean Carlos por siempre estar discutiendo conmigo, pero por encima de todo por tener esa fe ciega en mi y ser mi apoyo cuando lo he necesitado.

A mi familia putativa Francis, Frank, Marilú y Francisco, hace 14 años que entraron a mi vida y no hay nada en el mundo por lo que este mas agradecida, me abrieron la puerta de su casa y encontré a dos hermanos y mejores amigos a una madre y un padre que me acogieron como a su hija y me brindaron un hogar, no existen palabras para expresarles cuanto los quiero y les agradezco dejarme ser parte de su familia.

A mis amigos más antiguos Alexis y Gaby “mi Bu”, desde que los conocí el primer día del introductorio algo encajo, como tres piezas perfectas de un rompecabezas gracias por estar a mi lado a lo largo de estos 5 años.

A Mariellys y Teresita, esas amigas que no cambiaria ni por todo el oro del mundo, que en mis peores momentos me abrieron ellas y su familia las puertas de su casa y de su corazón permitiéndome ser una mas de su familia. Somos el mas perfecto trípode las adoro.

A mis compañeros de estudio que poco a poco fuimos creciendo juntos al igual que nuestra invaluable amistad, dándome un apoyo que no encuentro palabras para agradecerse los Francisco, Ángela, Nathalie, Andreina, a mi Pau Pau, Jean, Hussein, Keino, Oscar, Alejandro, entre otros que se escapan de mi mente pero nunca de mi corazón, mil gracias por ser y estar.

A mis concañeros Daniel, Alba, Giovanni, Patricia, Priscila, Richard, Ramón bebiéndose conmigo mis alegrías y mis desdichas, mostrando un apoyo incondicional siempre con nuestra “a por 2”.

A mis queridos profesores, Luis García, Humberto Kum, Jhonny Vázquez, Johliny Casanova, Adriana García, Trino Romero y Hermann Lago a quienes en estos momentos los rebautizo como mis grandes amigos siempre dándome apoyo y animo a lo largo de este difícil camino, siempre con la mejor expresión de aliento “vamos a los chinos”, me siento muy afortunada de que hayan sido mis profesores y agradezco el apoyo y comprensión que me brindaron frente a la pérdida de mi mamá, eso vale mas que mil palabras y mil agradecimientos gracias por estar conmigo.

A mis tutores Francisco Yánez y Jaime Hernández, siempre persiguiéndome para que terminara la tesis, en ustedes encontré un apoyo incalculable, de verdad que no puedo expresar el agradecimiento, respeto y cariño que les tengo, gracias de verdad.

Bárbara J. Galindo G

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN EXTRACTOR
PROTOTIPO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR
MICROONDAS (EAM).**

Tutor Académico: Prof. Jaime Hernández, Prof. Francisco Yánez. Tesis.

Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2010. 75

Pág.

Palabras Claves: Extracción por Microondas (EAM), extractor prototipo, manteca de cacao, cacao venezolano.

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Bioquímica (Módulo III) de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela, la cual tiene como objetivo principal, diseñar y construir un extractor prototipo, con la finalidad de facilitar los procesos de extracción permitiendo obtener resultados que conduzcan al escalamiento de la producción de extractos con un mayor rendimiento con respecto a los métodos de extracción.

Previo al diseño del extractor, se evaluaron diversos termoplásticos y solventes con la finalidad de determinar el material más adecuado para su construcción y el mejor solvente por medio de pruebas de inocuidad a condiciones tanto ambientales como de trabajo. Determinando que la configuración ideal solvente/termoplástico fue etanol/teflón.

Para el diseño del equipo, primero se determinó la presión de vapor del solvente a utilizar, con la misma se determino el límite mínimo de presión; por lo que en recipientes a presión se toma como mínimo un 10% de sobrepresión, en este caso se diseño para soportar un máximo de 10 atmosferas. En cuanto a la capacidad volumétrica del extractor se determino una capacidad de 150 mililitros. Para el tipo de tapas, se estableció el mismo espesor del recipiente cuya rosca posee un paso de 2 mm para evitar fugas de presión. Una de las tapas se diseño totalmente cerrada, y la segunda tapa posee un orificio en el centro de 15 mm diámetro, con una rosca con un paso de 1 mm, utilizado para colocar el conector por medio de una manguera se conecta al manómetro de baja midiendo una presión máxima de 40 psi.

Al evaluar el extractor se obtuvo un rendimiento en el extracto del 13,73% p/p, con un tiempo de extracción de 45 segundos, generándose una presión de 21,87 psia; en comparación al 4,03% que se obtiene de forma convencional, evidenciando el efecto positivo de trabajar a presiones superiores a la atmosférica para la extracción asistida por microondas.

INDICE GENERAL

Pág.

INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I.....	2
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
I.2. ANTECEDENTES	4
I.3. OBJETIVOS	2
I.3.1. General	6
I.3.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II	7
MARCO REFERENCIAL	7
II.1 EXTRACCIÓN	7
II.1.1 Técnicas de Extracción	8
II.2. MICROONDAS	9
II. 2.1. Equipo Microondas	10
II. 2.2. Absorción de Energía Microondas	11
II.3. EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS	12
II.4. TERMOPLÁSTICOS	16
II.4.1. Policloruro de Vinilo – PVC	17
II.4.1.1. Características del PVC	18
II.4.1.2. Especificaciones de los PVC a estudio.	19
II.4.2. Teflón	20
II.4.2.1. Características Distintivas	21
II.5. EXTRACTOR	22
II.5.2. Diseño de un Extractor	23
II.6. CACAO	24
II. 6.1. Manteca de Cacao	25
II. 7. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICO	26

CAPÍTULO III	28
METODOLOGÍA	29
III.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	29
III.2. PRUEBA DE INOCUIDAD AL AMBIENTE DE LOS MATERIALES A ESTUDIO ...	29
III.3. PRUEBA DE INOCUIDAD A LAS CONDICIONES DE TRABAJO	30
III.4. MODIFICACIÓN AL MICROONDAS	31
III.5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EXTRACTOR	31
III.6. EVALUACIÓN DEL EXTRACTOR	31
III.7. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	33
III.8. MATERIALES	33
CAPÍTULO IV	34
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
IV.1. PRUEBAS DE INOCUIDAD PARA LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	34
IV.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EXTRACTOR PROTOTIPO	43
IV.3. MODIFICACIONES AL HORNO MICROONDAS	46
IV.4. EVALUACIÓN DEL EXTRACTOR	47
CAPÍTULO V	50
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	55

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1. Espectro electromagnético.....	9
Figura N° 2. Equipo Microondas	11
Figura N° 3. Moléculas bipolares que tienden a alinearse con un campo eléctrico oscilatorio	11
Figura N° 4. Campo eléctrico aplicado a partículas cargadas en una solución	12
Figura N° 5. Gráfico de resistencia del PVC.....	18
Figura N° 6. Variedades del cacao.....	23
Figura N° 7 Equipo de Espectroscopía de Infrarrojo de doble haz	26
Figura N° 8. Equipo microondas marca Midea.....	31
Figura N° 9 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos (a) Acetato de etilo puro (b) Acetato de etilo en contacto con teflón a condiciones de trabajo (c) Acetato de etilo en contacto con teflón a condiciones ambientales.....	36
Figura N° 10 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos para el solvente hexano puro y con interacción con el PVC para agua caliente a presión (a) Hexano puro (b) Hexano en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones de trabajo (c) Hexano en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones ambientales.....	37
Figura N° 11 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos (a) Tolueno puro (b) Tolueno en contacto con teflón a condiciones de trabajo (c) Tolueno en contacto con teflón a condiciones ambientales.....	38
Figura N° 12 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos (a) Etanol puro (b) Etanol en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones de trabajo (c) Etanol en contacto con PVC agua fría a condiciones de trabajo (d) Etanol en contacto con teflón a condiciones de trabajo (e) Etanol en contacto con PVC agua caliente a condiciones de trabajo (f) Etanol en contacto con teflón a condiciones ambientales (g) Etanol en contacto con PVC agua caliente a condiciones ambientales (h) Etanol en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones ambientales (i) Etanol en contacto con PVC agua fría a condiciones ambientales.....	40
Figura N° 13 Plano para la construcción del extractor prototipo	43
Figura N° 14 Vista lateral del sistema de extracción.....	44
Figura N° 15 Vista lateral microondas modificado	45
Figura N° 16 Datos obtenidos para la constante de partición a distintas temperaturas	45
Figura N° 17 Termoplásticos antes de las pruebas de inocuidad.....	58
Figura N° 18 Termoplásticos después de la prueba de inocuidad a condiciones de trabajo	58
Figura N° 19 Termoplásticos después de la prueba de inocuidad a condiciones ambientales.....	59
Figura N° 20 Plano del recipiente del extractor prototipo.....	59

Figura N° 21 Plano de la tapa sellada del extractor prototipo	60
Figura N° 22 Plano de la tapa perforada del extractor prototipo.....	60
Figura N° 23 Vista superior del extractor prototipo	61
Figura N° 24 Vista lateral del extractor prototipo	61
Figura N° 25 Vista superior del microondas modificado.....	62
Figura N° 26 Sistema de extracción.....	62
Figura N° 27 Semillas de cacao trituradas antes del proceso de extracción.....	63
Figura N° 28 Procesos de separación posterior a la extracción asistida por microondas EAM.....	63
Figura N° 29 Semillas de cacao trituradas después del proceso de extracción	64
Figura N° 30 Envasado del extracto obtenido	64
Figura N° 32 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente acetato de etilo puro y en interacción con el teflón a condiciones de trabajo.....	65
Figura N° 33 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente acetato de etilo puro y en interacción con el teflón a condiciones ambientales	65
Figura N° 34 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente hexano puro y con interacción con el PVC para agua caliente a presión a condiciones ambientales	65
Figura N° 35 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente hexano puro y con interacción con el PVC para agua caliente a presión a condiciones de trabaj.....	65
Figura N° 36 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente tolueno puro y con interacción con el teflón a condiciones de trabajo	67
Figura N° 37 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente tolueno puro y con interacción con el teflón a condiciones ambientales	67
Figura N° 38 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a presión a condiciones de trabajo.....	68
Figura N° 39 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua fría a condiciones trabajo.....	68
Figura N° 40 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con teflón a condiciones de trabajo.....	69
Figura N° 41 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a condiciones de trabajo	69
Figura N° 42 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con teflón a condiciones ambientales	70
Figura N° 43 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a condiciones ambientales	70
Figura N° 44 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a presión a condiciones ambientales.....	71
Figura N° 45 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua fría a condiciones ambientales	71

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla N°1 Propiedades Fisicoquímicas del PVC	17
Tabla N°2 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua fría.....	19
Tabla N°3 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua fría a presión	19
Tabla N°4 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua caliente.....	19
Tabla N°5 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua caliente a presión	19
Tabla N°6 Propiedades Fisicoquímicas del Teflón	21
Tabla N°7 Propiedades Químicas del Teflón	21
Tabla N°8. Ácidos grasos presentes en la manteca de cacao	25
Tabla N°9 Nombre, Principio e Información Generada de las Técnicas de Análisis	26
Tabla N°10 Prueba de inocuidad al ambiente de los materiales a estudio	33
Tabla N°11 Prueba de inocuidad a condiciones de trabajo de los materiales a estudio	34
Tabla N°12 Regiones de los espectros infrarrojos de los compuestos más importantes para el Acetato de etilo	36
Tabla N°13 Regiones de los espectros infrarrojos de los compuestos más importantes para el Hexano.....	37
Tabla N°14 Regiones de los espectros infrarrojos de los compuestos más importantes para el Tolueno.....	38
Tabla N°15 Regiones de los espectros infrarrojos más importantes para el Etanol.....	39
Tabla N°16 Comparación de rendimientos obtenidos por EAM Convencional y EAM a presión, con una potencia del 100%	46
Tabla N°17 Datos obtenidos en la prueba de inocuidad al ambiente de los materiales a estudio	55
Tabla N°18 Datos obtenidos en la prueba de inocuidad a condiciones de trabajo de los materiales a estudio.....	56
Tabla N°19 Resultados obtenidos para las extracciones realizadas.....	57

INTRODUCCION

El método de Extracción Asistida por Microondas (EAM) es una tecnología innovadora que recientemente ha causado gran interés y auge en el mundo de los alimentos ya que permite una extracción rápida y eficiente del producto de interés. En este caso con la aplicación de esta metodología se puede lograr por ejemplo extracción de los principales ácidos grasos que conforman la manteca de cacao, como son: el ácido oleico, esteárico y palmítico. Además de los usos tradicionales de la manteca de cacao en la producción de chocolate y confitería, se puede utilizar en la producción de jabones y cosméticos.

La EAM emplea energía microondas para calentar la muestra en contacto con el solvente y así dividir los analitos de la muestra matriz en el solvente. La habilidad de calentar rápidamente la mezcla es la principal ventaja de esta técnica (Camel, 2000). La base de este trabajo de investigación consiste en diseñar y construir un extractor prototipo, con la finalidad de facilitar los procesos de extracción y permitir obtener resultados que conduzcan al escalamiento de la producción de extractos con un mayor rendimiento con respecto a los métodos de extracción. Una de las principales ventajas que presenta este extractor, es que permite trabajar a presiones superiores a la atmosférica, brindando la posibilidad de aumentar la temperatura por encima de la temperatura de ebullición.

Previo al diseño del extractor, se evaluaron diversos termoplásticos con la finalidad de determinar el material más adecuado para su construcción por medio de pruebas de inocuidad a condiciones tanto ambientales como de trabajo.

Para el diseño primero se determinaron los límites de presión a los que se va a operar el sistema, teniendo en cuenta los márgenes de seguridad necesarios en el diseño de recipientes a presión. Se evaluó en funcionamiento del sistema llevando a cabo una serie de extracciones a presiones superiores a la atmosférica. Posteriormente se calcularon los rendimientos obtenidos con la finalidad de establecer su desempeño.

Los resultados obtenidos se compararon con los resultados obtenidos en trabajos previos en la línea de investigación.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El método de Extracción Asistida por Microondas (EAM) es una tecnología innovadora que recientemente ha causado gran interés y auge en el mundo de los alimentos ya que permite una extracción rápida y eficiente del producto de interés. En este caso la aplicación de esta metodología se puede lograr por ejemplo extracción de los principales ácidos grasos que conforman la manteca de cacao como son el ácido oleico, esteárico y palmítico. Además de los usos tradicionales de la manteca de cacao en la producción de chocolate y confitería, se puede utilizar en la producción de jabones y cosméticos. En medicina convencional es un remedio para las quemaduras, la tos, resequedad en los labios, la fiebre, la malaria, el reumatismo, las mordidas de culebra y otras heridas (Bélanger, 2006)

La EAM consiste en el calentamiento de las muestras en contacto con solventes orgánicos en estado líquido con la aplicación de energía microondas. La separación de los componentes de interés de una muestra de extracción depende de la temperatura y de la naturaleza del solvente (Bélanger, 2006). El proceso de extracción asistido por microondas es relativamente nuevo en la separación específica de productos solubles en un fluido a partir de una amplia gama de materiales utilizando energía microondas. El principio del funcionamiento de la EAM consiste en sumergir el material a tratar en un solvente que es seleccionado por su propiedad de disolver los compuestos de interés. Luego de sumergida la muestra, se irradia por microondas, estas se difunden a través del solvente y algunas de ellas son absorbidas por el material de extracción. La eficiencia de la absorción por lo general se relaciona con el contenido de humedad que existe dentro del material, las moléculas de agua convierten la energía microonda en calor y por lo tanto existe un aumento de

temperatura dentro del material a tratar. La temperatura continúa aumentando hasta que la presión interna alcanza la capacidad de expansión de la matriz. Las sustancias que se encuentran localizadas alrededor del sistema químico pueden entonces fluir libremente.

Actualmente los experimentos llevados a cabo en EAM han sido en escala de laboratorio, obteniendo pequeñas cantidades de productos, sin recuperación óptima de los solventes utilizados. Por las razones expuestas se propone estudiar los diferentes aspectos que permitan el diseño y construcción de un extractor piloto, que facilite los procesos de extracción y permita obtener resultados que conduzcan al escalamiento de la producción de extractos con un mayor rendimiento con respecto a los métodos de extracción.

I.2. ANTECEDENTES

A continuación se hará mención de los trabajos de investigación previos que sirven de base teórica para la aplicación del método de EAM.

ElKhorri y otros (2007). The microwave-assisted process: extraction and determination of fat from cocoa powder and cocoa nibs.

Propone que las grasas del cacao en polvo y los granos que han sido pre-tratados (disminuyendo el tamaño) sean extraídos empleando diferentes solventes que son relativamente transparentes a las microondas, como el éter de petróleo, hexano, etanol e isopropanol.

Se empleó un equipo de extracción asistida por microondas, operando con una frecuencia de 2450MHz a una potencia de salida variable oscilando entre 10W y 250W; acoplado a un equipo convencional Soxhlet.

Por otro lado, emplean irradiación siguiendo la siguiente frecuencia con una potencia completa de 250W por sesenta segundos (60s) mientras que se encuentra encendido (ON) y posteriormente por ciento veinte segundos (120s) apagada (OFF).

Los datos obtenidos demuestran que el método de extracción microondas es mucho más efectivo que el método convencional de extracción Soxhlet. Muestran que el contenido de grasa de las muestras de cacao en polvo obtenido por EAM en un tiempo de 450s es similar a los valores obtenidos utilizando métodos oficiales convencionales (Soxhlet) que toman hasta 6h. El contenido de grasa obtenido con la técnica de EAM para los granos de cacao ($44,7\% \pm 0,30$) son similares en términos de rendimiento que para aquellos obtenidos por el método Soxhlet ($44,4\% \pm 0,84$). Estos resultados no sólo muestran que la migración completa de la grasa de la matriz del alimento a los alrededores del extractor (éter de petróleo) es obtenida sólo luego de unos minutos de irradiación. También el tiempo de irradiación varía con el contenido de humedad residual de la muestra. La humedad en los tejidos crea un sobrecalentamiento localizado, causando una expulsión rápida y selectiva de la grasa

desde sus celdas. La eficiencia de extracción mejoró cuando el material contenía suficientes cantidades de agua.

Bastidas, M. (2008). Extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM) y extracción asistida por ultrasonidos (EAU).

En este trabajo de investigación se comparo la Extracción Asistida por Ultrasonido con las con la Extracción Asistida por Microondas, usando como matriz vegetal del cacao venezolano para analizar su eficiencia y viabilidad en la industria. Con la finalidad de conocer si este tipo de extracción es más eficiente que la otras técnicas. A la conclusión que obtuvieron fue que a través de distintos estudios se ha comprobado que la EAU es más eficiente que la de EAM. Además de que la eficiencia de extracción no solo depende de técnica, sino que también depende de la temperatura, el solvente y el tiempo de residencia. Se identificó la presencia de ácidos grasos del cacao debido a la existencia de bandas características correspondientes a los enlaces de grupos carbonilos (C=O), siendo la presencia de éste mayor en la fase rica en grasa.

También de noto que la potencia ejerce una fuerte influencia en la cantidad de manteca de cacao obtenida por medio de la EAM, mientras que al trabajar con temperaturas cercanas a la ambiental resultó ser más favorable en la evaluación del proceso de EAU. La reducción en el tamaño de materia prima resultó ser favorable ya que se registró un aumento en la intensidad de absorción del enlace C=O correspondiente a los ésteres de ácidos grasos para ambos métodos de extracción.

I.3. OBJETIVOS

En función de los aspectos planteados anteriormente, a continuación se muestran tanto el objetivo general como los objetivos específicos del presente trabajo de investigación.

I.3.1. General

Diseño, construcción y evaluación de un extractor prototipo para la extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM).

I.3.2. Objetivos Específicos

- 2.1. Realizar pruebas de la inocuidad de los diferentes materiales de construcción a condiciones ambientales.
- 2.2. Efectuar pruebas de la inocuidad de los diferentes materiales de construcción a condiciones de trabajo.
- 2.3. Realizar modificaciones a un horno microondas convencional para realizar el proceso de extracción.
- 2.4. Determinar las condiciones límites de operación del extractor.
- 2.5. Diseñar y construir el extractor con el material seleccionado.
- 2.6. Evaluar la eficiencia del extractor mediante pruebas de extracción, utilizando el cacao como matriz vegetal y comparar los resultados obtenidos con extracción por microondas convencional.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

II.1 EXTRACCIÓN

La extracción se define como la operación unitaria por la cual un componente se separa o elimina mediante el contacto con otro material o fase, que tiene mayor afinidad por él; el resto de los componentes, en cambio, permanecen en la matriz vegetal (Ordoñez, 1999). Los elementos que participan durante un proceso de extracción son la matriz vegetal (materia prima involucrada en el proceso) y el solvente. El proceso inicia al poner en contacto la matriz vegetal con el solvente, donde el mismo entra por los poros de la materia prima y solubiliza el extracto, siendo el extracto el componente a fin con el solvente seleccionado. Al culminar el proceso de extracción (cuando se retira la matriz vegetal del solvente) aún existe cierta cantidad de solución (solvente y extracto) retenida en las partículas sólidas por fuerzas de adhesión. Es por esta razón que ningún proceso de extracción es completo. Sin embargo, para el equilibrio del proceso se asume que todo el compuesto activo se encuentra disuelto en el solvente (Gamse, 2002).

La extracción utiliza como principio de separación la solubilidad de los compuestos implicados en el proceso (King, 1980). Por otro lado, la extracción sólido-líquido es ampliamente utilizada en las industrias químicas, este proceso se realiza por cargas, en forma continua y semicontinua, utilizando condiciones de operación por etapas o en contacto continuo. La forma más eficaz de favorecer la extracción sólido-líquido es a través de la difusión, disminuyendo el tamaño de la partícula para aumentar el área de transferencia de masa. (Henley y Seader, 1988)

II.1.1 Técnicas de Extracción

En la industria química existen diferentes métodos de realizar la separación de dos o más sustancias, esto depende de las propiedades fisicoquímicas de cada materia prima a utilizar y de la fuerza impulsora o principio a través del cual es más factible desarrollar el proceso. El mecanismo de extracción involucra dos fenómenos físicos, como lo son: la difusión, que se lleva a cabo a través de la pared celular y la convección que arrastra el contenido una vez que las paredes celulares se han roto. A continuación presentan algunas de las técnicas más usadas en la extracción de diferentes componentes de la materia prima.

Actualmente existen diferentes técnicas para la extracción, entre las cuales destacan las siguientes:

- **Hidrodestilación:** Consiste en separar mediante la adición de calor los diferentes componentes de una mezcla, aprovechando las diferencias de volatilidades de los compuestos. En este método, la materia vegetal es colocada en contacto directo con el solvente, luego aplicándole calor se comienza a destilar cuando alcance el punto de ebullición del solvente. El vapor del solvente generado por el incremento de la temperatura extrae consigo compuestos contenidos en el interior del material vegetal. La fase orgánica formada se separa del material vegetal basándose en el punto de quiebre, el cual es la temperatura de ebullición de la mezcla a presión atmosférica. La ubicación de la fase orgánica en la solución dependerá de la densidad de cada componente involucrado.
- **Extracción con arrastre de vapor (Soxhlet):** esta técnica trabaja con un solvente inicialmente en estado líquido y a presión atmosférica a través de su punto de ebullición cambia a estado gaseoso para permitir que el vapor penetre en el interior del material vegetal y así extraer los componentes de su interior por diferencia de concentración. Opera con el mismo principio que el método de hidrodestilación, su diferencia

radica en que el material vegetal no se encuentra en contacto directo con el solvente

- Extracción con fluido supercrítico: se basa en la transferencia de masa del interior del material vegetal hacia el exterior, usando como fuerza impulsora la difusión y aprovechando a su vez la difusividad del líquido en conjunto con la viscosidad del gas a partir de las condiciones de operación preestablecidas. El uso de un co-solvente puede mejorar la transferencia de masa y la selectividad del componente activo.
- Extracción asistida por ultrasonido (EAU): Esta técnica de extracción se fundamenta en la transferencia de masa del sólido al solvente que es sometido al ultrasonido, utilizando como fenómeno de transporte la difusión por la pared celular y la convección en los poros del sólido. Por acción del ultrasonido, las partículas sólidas y líquidas se encuentran en constante vibración y aceleración, dando como resultado el paso rápido del soluto de la fase sólida hacia el solvente.
- Extracción asistida por microondas (EAM): es una técnica de extracción, donde la muestra se calienta en contacto directo con el solvente por medio de la energía microondas. La temperatura de ebullición y la naturaleza del solvente separan los compuestos de interés de la materia prima.

II.2. MICROONDAS

Las microondas son ondas de energía electromagnética invisibles y muy cortas que viajan a la velocidad de la luz, que es 186,282 millas por segundo (Figura N° 1) (Gallawa, 2000). La región de las microondas yace entre las ondas de radio y las de radiación infrarrojo del espectro, ésta última posee longitudes de ondas y frecuencias de radio cortas. La longitud de onda recorre desde (1cm) a 1m correspondiendo a la frecuencia desde 30GHz a 300MHz (Liu, 2002). Las microondas viajan en línea recta y pueden ser reflejadas, transmitidas o absorbidas a lo largo del camino.

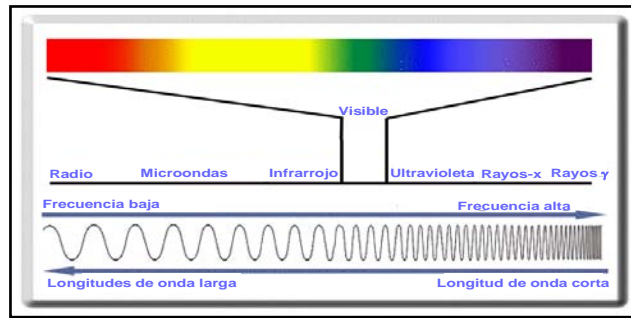


Figura N° 1. Espectro electromagnético (Bastidas, 2008).

La tecnología microondas utiliza ondas electromagnéticas que pasan a través del material y produce la oscilación de las moléculas, generando calor. En calentamientos convencionales, la superficie del material se calienta primero y luego el calor se desplaza hacia dentro. El calentamiento microondas genera calor dentro del material y calienta el volumen total más o menos a la misma velocidad.

La aplicación de energía electromagnética (irradiación) es una manera efectiva de calentar materiales no conductores porque la energía es transferida directamente a las moléculas del material. Las moléculas del material se estimulan y rotan millones de veces por segundo en respuesta al campo electromagnético. Esta rotación genera rápidamente calor dentro del material en una manera similar a la fricción. En orden de evitar ruptura, sólo longitudes de ondas limitadas han sido asignadas para hornos microondas industriales y domésticos con intención de calentar y secar. La frecuencia comúnmente utilizada para calentamiento microondas es 2,45GHz correspondiente a longitudes de ondas de 12,2cm.

II. 2.1. Equipo Microondas

El corazón del horno microondas es el magnetrón, un oscilador que convierte el pulso de alto voltaje en un pulso de potencia microonda. Las microondas entran en un guía de ondas cuyas paredes reflectoras permiten la transmisión de la radiación

desde el magnetrón hasta la cavidad del equipo microondas. La cavidad del microondas es una especie de caja donde las microondas interactúan con el sistema. (Fini et al., 1999).

En la Figura N° 2 se puede apreciar las principales partes que conforman un horno microondas doméstico.

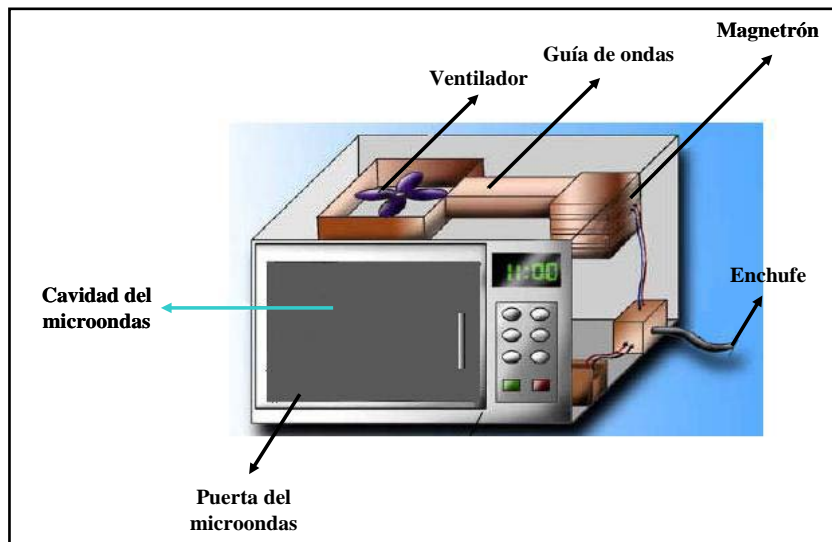


Figura N° 2. Equipo Microondas (Bastidas, 2008)

II. 2.2. Absorción de Energía Microondas

Existen dos mecanismos asociados con el calentamiento microondas: rotación dipolar y conducción iónica. Cuando una molécula es irradiada con microondas, ésta intentará alinearse con el campo eléctrico por rotación (Figura N° 3). Si la frecuencia de rotación molecular es similar a la frecuencia de irradiación microondas 2,45GHz la molécula continuamente se alineará y realineará con el campo oscilatorio, entonces, la energía eléctrica es absorbida por la molécula. Es obvio que compuestos con constantes dieléctricas altas tienden a absorber energía fácilmente bajo irradiación microondas, mientras que sustancias con menor polaridad o compuestos con ningún momento dipolar neto son inactivos al microondas.

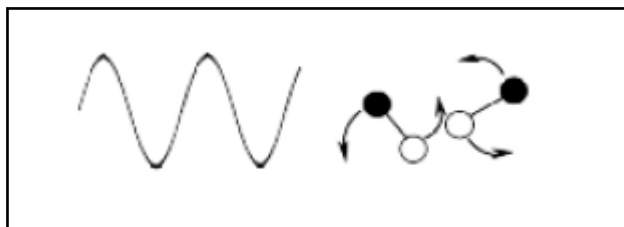


Figura N° 3. Moléculas bipolares que tienden a alinearse con un campo eléctrico oscilatorio (Liu, 2002).

El segundo mecanismo, que es la conducción iónica, también contribuye al efecto del calentamiento por microondas, siempre y cuando los iones se encuentren involucrados en la muestra. Cuando los iones se desplazan a través de la muestra bajo un campo aplicado, se genera calor por pérdidas de fricción, que dependen del tamaño, carga y conductividad de los iones, convirtiendo la energía cinética en calor como se muestra en la Figura N° 4.

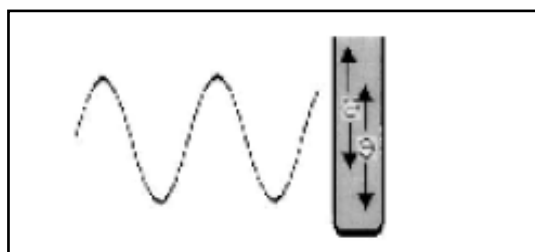


Figura N° 4. Campo eléctrico aplicado a partículas cargadas en una solución (Liu, 2002).

II.3. EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS

El método de Extracción Asistida por Microondas (EAM) es una tecnología innovadora que recientemente ha causado gran interés y auge en el mundo de los alimentos ya que permite una extracción rápida y eficiente. El uso de energía microondas para ayudar la extracción orgánica fue alcanzado por primera vez haciendo uso de sistemas domésticos convencionales a finales de los años ochenta (Camel, 2000). La EAM consiste en el calentamiento de la muestra en contacto con el extractor (principalmente solventes orgánicos en estado líquido) con energía

microondas. La división de los componentes de interés de la muestra matriz al extractor depende de la temperatura y de la naturaleza del extractor (Camel, 2000).

El proceso asistido por microondas es un modelo relativamente nuevo en la extracción de productos solubles en un fluido a partir de una amplia gama de materiales utilizando energía microondas. Ofrece muchas ventajas sobre tecnologías que actualmente involucran extracción con solventes tales como reducción en el consumo de energía, pequeño volumen de solventes químicos, uso de menor cantidad de solventes tóxicos y menor cantidad de productos de desechos (ElKhorri, 2007).

El principio del funcionamiento de la EAM consiste en sumergir el material de extracción en un solvente que es seleccionado por su habilidad de disolver los compuestos de interés y que son transparentes a las microondas. El material luego es irradiado por microondas. Las microondas viajan libremente a través del solvente y algunas de ellas son absorbidas por el material de extracción. La eficiencia de la absorción por lo general se relaciona con el contenido de humedad que existe dentro del material; las moléculas de agua convierten la energía microonda en calor y por lo tanto existe un aumento de temperatura dentro del material de extracción. La temperatura continúa aumentando hasta que la presión interna alcanza la capacidad de expansión de la matriz, creando de esta manera una explosión. Las sustancias que se encuentran localizadas alrededor del sistema químico pueden entonces fluir libremente. Estas sustancias migran al medio circundante que se encuentra relativamente frío, las atrapa y las disuelve (Bélanger et. al., 2006).

Se debe tomar en cuenta que, a diferencia de los calentamientos clásicos, los que utilizan microondas calientan toda la muestra simultáneamente sin calentar el recipiente. Por lo tanto, la solución alcanza su punto de ebullición de manera rápida, conduciendo a cortos tiempos de extracción (Camel, 2000).

Existen dos tipos de sistemas comerciales disponibles para la EAM: recipientes cerrados de extracción y hornos microondas enfocados. El primero lleva a cabo extracciones bajo presiones y temperaturas controladas. El último también es denominado Soxhlet asistido por microondas enfocados o extracción con solvente, en

este tipo de equipo sólo una parte del recipiente de extracción que contiene la muestra es irradiado con microondas.

Ambos sistemas que se mencionan anteriormente se encuentran disponibles como sistemas de modo múltiple y modo simple o sistemas enfocados. Un sistema multimodo permite una dispersión aleatoria de la radiación microonda dentro de la cavidad del microondas, por lo tanto cada zona en la cavidad y la muestra se irradian equitativamente. El modo simple o sistema enfocado permite la radiación microonda de manera enfocada en una zona donde la muestra se encuentra sujeta a un campo eléctrico más fuerte que en el caso previo (Mandal et al., 2007).

Las extracciones en fase líquida empleando la EAM, se basa en el hecho de que es posible sumergir la matriz a ser extraída, en un solvente que es caracterizado por pequeñas constantes dieléctricas y que son relativamente transparentes a las microondas.

Un medio transparente al microondas puede ser definido como un medio que no posee una constante dieléctrica significativa con respecto al objetivo buscado: hexano (1,9), isopropanol (18,3) al contrario del agua (80,4) que posee una gran constante dieléctrica (ElKhorri et al., 2007). Los solventes son seleccionados por su habilidad de disolver el componente en cuestión y por su relativa transparencia al microondas. Las sustancias químicas absorben la energía microonda en diferentes niveles. El parámetro utilizado generalmente, como medida de esta propiedad física, es la constante dieléctrica.

Las variables que influyen en el proceso de EAM se listan a continuación.

- *Solventes*: La selección adecuada de los solventes es fundamental para obtener un proceso de extracción óptimo. Los solventes involucrados en el proceso de EAM dependen básicamente de la solubilidad del compuesto activo, la interacción entre el solvente y la materia prima y finalmente por la absorción de las microondas por parte del solvente (Mandal, 2007). Lo que se busca es que el solvente posea una alta selectividad hacia el compuesto y/o compuestos que se quieran extraer, es decir, que sean afines con el compuesto activo. Es posible que empleando un solvente selectivo

hacia el compuesto de interés exista la extracción de otros compuestos no deseados. Resulta común, en la mayoría de los casos, utilizar aquellos solventes empleados en los métodos tradicionales de extracción. Sin embargo, los solventes óptimos considerados en los métodos tradicionales no necesariamente son los más adecuados para la EAM.

- *Potencia*: La potencia empleada en el microondas y el tiempo de irradiación son dos factores que se encuentran interrelacionados. Es posible que al utilizar una potencia moderada con un tiempo de extracción mayor resulte beneficioso para algunos casos. La potencia empleada en el microondas es directamente proporcional a la temperatura alcanzada, es decir, mientras mayor sea la potencia aplicada en una muestra mayor será la temperatura que alcanza la solución expuesta a las microondas. Cuando se alcanzan temperaturas elevadas y se está operando bajo una potencia alta, existe ruptura de las paredes celulares, como resultado de lo anterior, existe extracción de impurezas o de extractos no deseados. Mientras que a potencias bajas la ruptura de la pared celular ocurre gradualmente y permite una extracción selectiva (Mandal, 2007).

- *Tiempo de extracción*: El tiempo de extracción involucrado en el proceso de EAM es otro aspecto importante que se debe tomar en consideración. Generalmente, al aumentar el tiempo de extracción, la cantidad de compuesto activo incrementa aunque existe el riesgo de que ocurra degradación. Para evitar la degradación de los compuestos termolábiles como es el caso de las grasas de cacao, es necesario trabajar con tiempos de extracción cortos o en su defecto, trabajar con temperaturas por debajo de los 60 °C (ElKhorri, 2007). La mayoría de las veces es suficiente trabajar con tiempos de extracción entre 15-20 minutos, pero se ha demostrado que con tan solo 40 segundos se han obtenido recuperaciones excelentes (Mandal, 2007). El tiempo de irradiación también se encuentra influenciado por las propiedades dieléctricas del solvente. Solventes tales como el agua, etanol y metanol pueden calentarse en tiempos de irradiación prolongados por lo que se vería afectado los constituyentes termolábiles presentes en la muestra (Mandal, 2007).

- *Tamaño de partícula:* El tamaño de partícula de los materiales de extracción por lo general oscila entre (0,1mm-2mm) (Mandal, 2007). Los materiales en forma de polvos finos pueden mejorar el proceso de extracción ya que poseen un área superficial mayor, lo que hace que exista un mejor contacto entre el material de extracción y el solvente. Estos tamaños también mejoran el contacto entre el material de extracción y el solvente permitiendo una mayor penetración de la microonda (Mandal, 2007). La desventaja de utilizar partículas muy finas o en su defecto, materiales que sean polvos muy finos es la separación de la matriz del solvente luego de la irradiación microondas. En estos casos lo que normalmente se utiliza es la centrifugación. El tamaño de partícula afecta la profundidad de penetración de la microonda y por otro lado también afecta el calentamiento y la uniformidad de este efecto. Los tamaños irregulares se encuentran sujetos a un calentamiento no uniforme debido a la diferencia en el grosor de la partícula, mientras que aquellas partículas de forma esférica o cilíndrica con diámetros de 20-60 mm se calentarán uniformemente ya que el calentamiento se encontrará enfocado hacia el centro de la partícula (Gunasekaran, 2002).

II.4. TERMOPLÁSTICOS

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals; fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados. Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables, después de enfriarse la forma no cambia y arden. Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces generalmente disminuyen estas propiedades (Miravete, 2000).

II.4.1. Policloruro de Vinilo – PVC

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un moderno, importante y conocido miembro de la familia de los termoplásticos. Es un polímero obtenido de dos materias primas naturales cloruro de sodio o sal común (NaCl) (57%) y petróleo o gas natural (43%), siendo por lo tanto menos dependiente de recursos no renovables que otros plásticos. Es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que por su amplia versatilidad es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, preservación de alimentos y artículos de uso diario, entre otros (Miravete, 2000).

El PVC se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco. Es inodoro, insípido e inocuo, además de ser resistente a la mayoría de los agentes químicos. Es ligero y no inflamable por lo que es clasificado como material no propagador de la llama. No se degrada, ni se disuelve en agua y además es totalmente reciclable. Su fortaleza ante la abrasión, bajo peso (1,4 g/cm³), resistencia mecánica y al impacto, son las ventajas técnicas claves para su elección en la edificación y construcción. Gracias a la utilización de aditivos tales como estabilizantes, plastificantes y otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, teniendo así gran variedad de aplicaciones (Miravete, 2000).

Tabla N°1 Propiedades Físicoquímicas del PVC (Materiales Compuestos I, 2000)

Punto de ebullición (°C)	- 13,9 +/- 0,1
Punto de congelación (°C)	- 153,7
Densidad a 28,11°C (gr/cm ³)	0,8955
Calor de fusión (Kcal/mol)	1,181
Calor de vaporización	5.735
Viscosidad a - 10°C (mP)	2,63
Presión de vapor a 25°C (mm)	3,000
Calor específico del líquido (cal/g)	0,38

II.4.1.1. Características del PVC

- **Forma y Tamaño de la Partícula:** Su forma es esférica y en algunos casos tiene similitud a la de una bola de algodón. El tamaño varía según se trate de resina de suspensión o de pasta. En el caso de la resina de suspensión, el diámetro de la partícula va de 40 micrones (resina de mezcla) a 80-120 micrones (resina de uso general). En el caso de resina de pasta, el diámetro de la partícula es de 0.8 a 10 micrones.
- **Porosidad de la Partícula:** Es característica de cada tipo de resina. A mayor porosidad, mayor facilidad de absorción del plastificante, acortándose los ciclos de mezclado y eliminando la posibilidad de que aparezcan “ojos de pescado” (fish eyes) en el producto terminado.
- **Peso Molecular:** Su promedio se mide indirectamente valuando la viscosidad específica en soluciones al 0.4% de nitrobenzeno o la viscosidad inherente en soluciones al 0.5% de ciclohexanona. En el primer caso, nos da valores de 0.30 a 0.71 y en el segundo de 0.650 a 1.348, con valor K de 50 a 75. Conforme disminuye el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán más bajas serán más fácilmente procesables, las propiedades físicas en el producto terminado, tales como la tensión y la resistencia al rasgado, serán más pobres; el brillo y la capacidad de aceptar más carga será mejor y la fragilidad a baja temperatura será menor.
- **Gravedad Específica:** Los valores típicos para la resina de suspensión tipo homopolímero son de 1.40 g/cc y para copolímeros cloruro-acetato de vinilo son de 1.36 a 1.40 g/cc. Los compuestos modifican su gravedad específica al adicionar cargas o plastificantes. El plastificante reduce el peso específico; por cada 10 partes de DOP se reduce en aproximadamente 0.02 gramos, mientras que la carga lo aumenta en función del tipo de carga de que se trate.

- **Estabilidad Térmica:** A mayor peso molecular, se tiene mayor estabilidad térmica. Durante su procesamiento, la resina se degrada al recibir calor y trabajo. La degradación se presenta en forma de amarillamiento y empobrecimiento de las propiedades mecánicas del producto. Es para evitar esto que se adicionan los estabilizadores (Miravete, 2000).

A continuación se presenta el gráfico de resistencia del PVC en la figura N°4

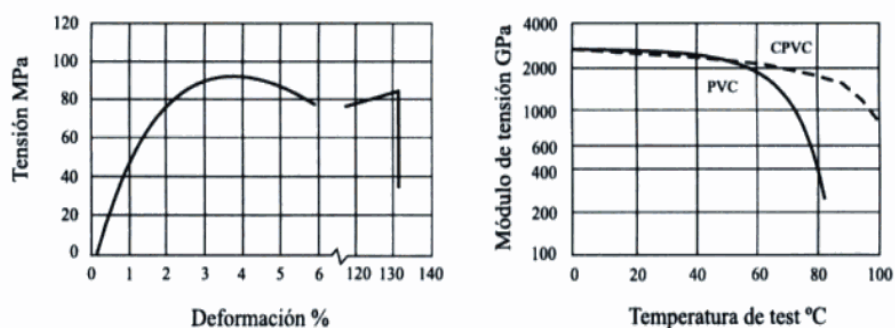


Figura N°5. Grafico de resistencia del PVC (Materiales Compuestos I, 2000)

II.4.1.2. Especificaciones de los PVC a estudio.

- PVC agua fría: tubería de color beige.

Tabla N°2 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua fría (Manuales PAVCO, 2005).

Diámetro Nominal in.	Presión de trabajo (psi) a 23°C
1/2	10
3/4	15
1	20
1 1/2	25

- PVC agua fría a presión: tubería color beige.

Tabla N°3 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua fría a presión (Manuales PAVCO, 2005).

Diámetro Nominal in.	Presión de trabajo (psi) a 23°C
1/2	500
3/4	400
1	315
1 1/2	250
2	250

- PVC agua caliente: tubería color naranja.

Tabla N°4 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua caliente (Manuales PAVCO, 2005).

Diámetro Nominal in.	Presión de trabajo (psi) a 82°C
1/2	15
3/4	15
1	15

- PVC agua caliente a presión: tubería color gris.

Tabla N°5 Relación presión de a determinada temperatura para PVC agua caliente a presión (Manuales PAVCO, 2005).

Diámetro Nominal in.	Presión de trabajo (psi) a 82°C
1/2	100
3/4	100
1	100

II.4.2. Teflón

El teflón es un polímero muy resistente que fue descubierto por casualidad en el año 1938 por un trabajador de la empresa Du Pont llamado Roy J. Plunkett. Este polímero, también llamado PTFE por la abreviación de politetrafluoretileno, tiene la característica de repetir una de sus unidades, la F2C-CF2 (Miravete, 2000).

La característica resistente del teflón hace referencia a que es capaz de soportar altísimas temperaturas, de hasta unos 300°C, por períodos prolongados y sin sufrir ninguna clase de daño. Además es resistente a gran parte de los ácidos y bases existentes, y resulta insoluble ante muchos de los disolventes orgánicos. Uno de los grandes usos que se le ha dado es para una permanente "lubricación" de las partes móviles en las naves espaciales, ya que a la temperatura y condiciones a las que se opera, el aceite común no sirve.

Las características resistentes del teflón se deben a los átomos de flúor que posee, los que logran crear una especie de barrera que dificulta y a veces impide el daño que las altas temperaturas y los agentes químicos le podrían provocar a su estructura carbonada. Todas estas fabulosas características del teflón lo convierten en un material muy versátil, que permite su uso en múltiples ámbitos. Entre ellos es posible encontrar su uso en artefactos de cocina como ollas y sartenes, ya que, como se ha mencionado anteriormente, el teflón es resistente a temperaturas muy altas e impide además que los alimentos se adhieran a la superficie de la olla o sartén en el que están siendo preparados.

Además de ser útil en la cocina debido a su resistencia a altas temperaturas, ésta característica es rescatada también para la fabricación de revestimientos de cables, ya que además, posee una gran capacidad aislante. Entre otros usos podemos encontrar la fabricación de objetos como mangueras y tubos que serán sometidos a químicos corrosivos y también se utiliza en pinturas y barnices. Por último, uno de los usos más sorprendentes del teflón es su utilización en la fabricación de revestimientos de aviones y naves espaciales, una vez más, debido a su enorme resistencia a las temperaturas extremas (Miravete, 2000).

II.4.2.1. Características Distintivas

- Su alta temperatura de utilización 260°C.
- Su aguante a casi todos los productos químicos.
- Su bajo coeficiente de rozamiento.

Tabla N°6 Propiedades Físicas del Teflón (Materiales Compuestos I, 2000)

Propiedades	Teflón TFE Virgen
Resistencia a la tensión (Kg/cm ²)	280
Módulo de Plastodeformación (Kg/cm)	2
Dureza Durómetro (Shore)	51
Impacto izod. (Kg/cm)	15.5
Factor de desgaste (min./Kg m h)	2.95
Estática, carga de 35Kg/cm	0.05
Dinámica, PV = 5000 (105) 15m/min.	0.01

Tabla N°7 Propiedades Químicas del Teflón (Materiales Compuestos I, 2000)

Propiedades	Norma ASTM	Teflón Puro
<i>Densidad</i> (gr/cm ²)	D - 792	2.16
<i>Absorción de Humedad</i> (%)		0
<i>T° de trabajo Máxima</i> (°C)		260

II.5. EXTRACTOR

Un extractor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida

para sustancias químicas, y está gobernado por un algoritmo de control (Levenspiel,1986). Los extractores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los componentes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias para que se lleve a cabo la extracción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura necesaria para la extracción.

II.5.2. Diseño de un Extractor

Para el diseño de un extractor se ha de conocer el tamaño y tipo de extractor, y las condiciones de operación más adecuadas para el fin propuesto. Como esto puede exigir que las condiciones en el extractor varíen con la posición y con el tiempo, es necesario efectuar la integración adecuada para las condiciones de operación. Por otra parte, las características geométricas del extractor determinan la trayectoria del fluido a través del mismo, y fijan las condiciones de mezclado que contribuyen a diluir la alimentación y redistribuir la materia y el calor. Por consiguiente, antes de poder predecir el funcionamiento de un extractor se ha de tener en cuenta muchos factores, constituyendo el principal problema del diseño, el conocimiento del modo más adecuado de tratar estos factores (Wade, 1993).

Entre los parámetros determinantes en el diseño de un extractor se encuentran:

- Propiedades térmicas y físicas.
- Estabilidad y la capacidad de control del proceso.
- Consideraciones especiales de calor y la transferencia masiva.
- Riesgos de seguridad y la corrosión.
- Temperatura y presión de operación, para determinar material y espesor del mismo.

II.6. CACAO

Los granos de cacao son las semillas provenientes del árbol *Theobroma Cacao* perteneciente a la familia esterculiáceas y son originarios de trópicos húmedos de América, noroeste de América del Sur y de la zona amazónica. Cada semilla consta de dos cotiledones y del pequeño embrión de la planta, todos cubiertos por la piel. El cotiledón es la forma con que aparece la primera hoja en el embrión de las plantas con semilla. Es en éstos donde se origina el sabor y el aroma característico del cacao (Rodríguez, 2006). Los cotiledones constan de la grasa, conocida como manteca de cacao, que conforma casi la mitad del peso seco de la semilla.

Existen tres variedades principales de cacao: cacao criollo (Figura N° 6-A) que posee una cáscara delgada y tierna, es el más apreciado y contiene los cotiledones blancos; el cacao forastero (Figura N° 6-B) que posee una cáscara gruesa y dura es el más producido y además posee cotiledones de color púrpura, y el cacao trinitario (Figura N° 6-C) que presenta características de los antes mencionados, tiene dentro del mismo fruto semillas con los cotiledones que abarcan desde el color casi blanco al totalmente púrpura, también se le conoce como cacao híbrido.

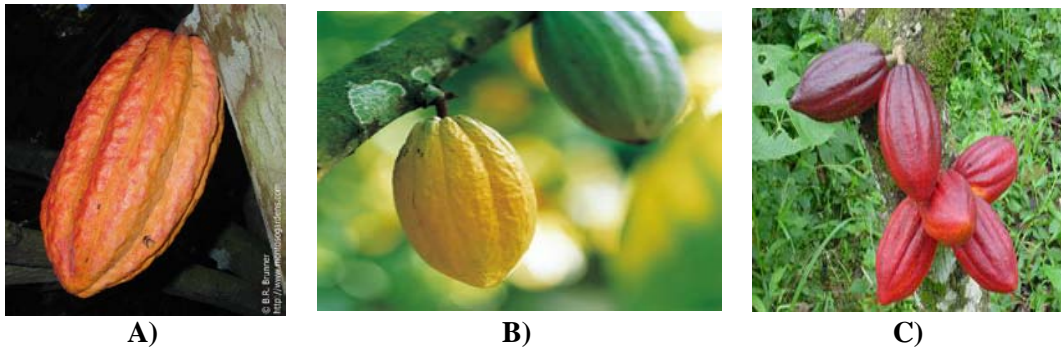


Figura N° 6. Variedades del cacao (A) Cacao Criollo, (B) Cacao Forastero y (C) Cacao Trinitario (Bastidas, 2008).

El fruto proveniente del árbol *Theobroma cacao* es conocido tradicionalmente bajo el nombre de mazorca. Éste mide aproximadamente veinticinco centímetros de largo y se encuentra sostenido por un pedúnculo fuerte. Su forma varía pero la más

común es la elipsoidal. Al madurar, toma diferentes colores: rojas, anaranjadas, moradas o amarillas. El fruto del cacao contiene de diez a cincuenta semillas o almendras, colocadas en cinco filas sobre una placenta central. El número, tamaño y forma de las semillas es una característica varietal (Cartay, 1999).

La composición en las semillas es diferente según la variedad de cacao y del proceso de fermentación empleado. El grano de cacao en general, contiene alrededor del 55% en peso de grasa. La grasa proveniente del cacao es llamada manteca de cacao y funde a una temperatura cercana a la corporal (Barbagallo, 2007). El cacao es más que una fuente de calorías y confecciones. Los químicos y las sustancias en el cacao pueden ser extraídos e incorporados en cosméticos y medicinas.

II. 6.1. Manteca de Cacao

La manteca de cacao es la grasa producida de una o más de las siguientes fuentes: granos de cacao, licor de cacao (masa de cacao), torta de cacao y aquella extraída mediante procesos mecánicos y/o por la vía de solventes permitidos, de la torta o polvo de cacao fino (Liendo, 2004).

Cacao en grano, cacao sin cáscara ni germen, cacao en pasta, torta del prensado de cacao, torta del prensado por expulsión o polvo impalpable de cacao por un procedimiento mecánico y/o con la ayuda de disolventes autorizados.

La manteca de cacao es considerada el subproducto de mayor importancia en el proceso de transformación industrial de los granos de cacao por sus características físicas y químicas que le confiere propiedades funcionales muy solicitada en la industria alimentaria (Liendo, 1996).

La manteca de cacao está fundamentalmente constituida por triglicéridos (aprox. 94%) con pequeñas cantidades de diglicéridos (aprox. 4%) y monoglicéridos (<1,3%). Los triglicéridos son ésteres de ácidos grasos con el triol glicerol, o glicerina. Cuando los triglicéridos son sólidos a temperatura ambiente se les llama grasas, y cuando son líquidos se les llama aceites (Wade, 1993).

Los ácidos grasos de los triglicéridos comunes son ácidos carboxílicos de cadena larga y recta de 12 a 20 átomos de carbono (Wade, 1993). La manteca de cacao se encuentra constituida principalmente por los ácidos palmítico, esteárico y oleico. La concentración aproximada de estos principales ácidos grasos se puede observar en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Ácidos grasos presentes en la manteca de cacao (Ordóñez, 1999).

Ácidos Grasos	Número de carbonos	Insaturaciones	Porcentaje, [%]
Oleico	18	1	38,1
Linoleico	18	2	2,0
Esteárico	18	0	35,4
Palmítico	16	0	24,4

Además de los usos tradicionales de la manteca de cacao en la producción de chocolate y confitería, ésta también se utiliza en la producción de jabones y cosméticos. En medicina tradicional es un remedio para las quemaduras, la tos, los labios secos, la fiebre, la malaria, el reumatismo, las mordidas de culebra y otras heridas. Se dice que es antiséptico y diurético.

II. 7. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICO

Entre los métodos de caracterización química se encuentran una serie de técnicas y procedimientos con el fin de identificar y cuantificar la composición química de los compuestos contenidos en una mezcla de sustancias.

A continuación en la tabla N°9 se presenta un cuadro con la técnica de caracterización y análisis químico, con el principio de la técnica, información obtenida y algunos aspectos importantes.

Tabla N°9 Nombre, Principio e Información Generada de las Técnicas de Análisis (Rius, 2007).

Nombre de la Técnica	Principio de la Técnica	Información Generada
Espectroscopia de Infrarrojo	Debido a la energía suministrada, esta técnica se basa en la absorción de radiación IR por las moléculas en vibración, permitiendo el análisis cualitativo y cuantitativo de la muestra analizada.	Genera una curva de Transmitancia en función de la longitud de onda, permitiendo identificar y cuantificar los compuestos puros pero sobre todo los grupos funcionales contenidos en una muestra. Permite el análisis de polímeros, aditivos, contaminantes ambientales y diversas áreas de industria química y de la medicina.

A continuación en la figura N°7 se presenta una imagen del equipo de caracterización que trabaja por espectroscopia de infrarrojo.

**Figura N°7** Equipo de Espectroscopia de Infrarrojo de doble haz (Rius, 2007).

El espectrofotómetro de doble haz, permite la obtención de espectros IR en el rango 250-4000 cm^{-1} . Los espectros de las muestras pueden ser registrados en modo Transmitancia o Absorbancia. Para la cuantificación de los espectros IR, se debe situar en el recorrido del haz de referencia el sustrato sin depósito o bien una pastilla de bromuro potásico con objeto de compensar la Transmitancia o Absorbancia correspondiente al soporte de la muestra problema.

Cada compuesto químico tiene asociado un espectro infrarrojo característico, donde los picos de absorción corresponden a determinadas energías de vibración de los enlaces químicos presentes. Por lo tanto, esta técnica permite detectar la presencia, en el material analizado, de diferentes impurezas. Por último, es posible cuantificar el número de enlaces presentes en la muestra analizada, conociendo previamente la absorptividad asociada al tipo de enlace correspondiente.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la metodología a seguida para cumplir con el objetivo general y los objetivos específicos planteados en el presente Trabajo Especial de Grado. Así como, se hace una breve descripción de los equipos y materiales utilizados.

III.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión bibliográfica acerca de los fundamentos en la extracción asistida por microondas, partes y funcionamiento del microondas, extracción de manteca a partir del cacao venezolano, estudio de los solventes, material de construcción para el extractor y resultados obtenidos por trabajos previos como antecedentes al trabajo a realizado.

III.2. PRUEBA DE INOCUIDAD AL AMBIENTE DE LOS MATERIALES EN ESTUDIO

- Se seleccionaron los plásticos a estudiar, en este caso los termoplásticos.
- Se seleccionaron los solventes a utilizar para el estudio a partir de los más utilizados en la extracción asistida por microondas.
- Se cortó un trozo de cada plástico para cada solvente seleccionado.
- Se colocó cada trozo de plástico en una fiola previamente lavada, curada e identificada.
- Se procedió a adicionar en las fiolas los diferentes solventes hasta sobrepasar el nivel de cada plástico, tomando nota de los mililitros usado en cada caso.

- Se tapo cada fiola y se dejó expuesta al ambiente por 30 días.
- Transcurridos los 30 días, se realizaron pruebas visuales a las muestras tales como cambio de color, absorción de los solventes y deterioro del material.
- Se recolectaron los solventes para las pruebas de infrarrojo con la finalidad de buscar la presencia de trazas de los termoplásticos en la muestra.
- Se pesaron los plásticos antes de la realización de las pruebas, luego de realizada la prueba se dejó secar el material y se realizaron pruebas de pérdida de peso a cada plástico.

III.3. PRUEBA DE INOCUIDAD A LAS CONDICIONES DE TRABAJO

- Los termoplásticos y solventes a utilizados en esta prueba, fueron los no descartados en la prueba anterior.
- Se cortó un trozo de cada plástico para cada solvente.
- Se determinó el tiempo de ebullición del solvente por medio de un barrido de tiempo, aumentándose consecutivamente en 5 seg hasta que se determinó el punto de ebullición del solvente al observar las primeras formaciones de burbujas con una potencia del 100%.
- Se tomó nota del tiempo de residencia obtenido.
- Se colocó cada trozo de plástico en una fiola previamente lavada, curada e identificada.
- Se procedió a adicionar en las fiolas los diferentes solventes hasta sobrepasar el nivel de cada plástico y se tomó nota de los mililitros usados en cada caso.
- Se colocó la fiola dentro del microondas, con el tiempo de residencia obtenido previamente y se procedió a fijar la potencia de operación.
- Se retiró la muestra del microondas y se procedió a filtrarla.
- Se realizaron las pruebas visuales a las muestras tales como cambio de color, absorción de los solventes y deterioro del material.

- Se recolectaron los solventes para las pruebas de infrarrojo y se realizaron pruebas de pérdida de peso a cada plástico.

III.4. MODIFICACIÓN AL MICROONDAS

- Se realizó una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento y medidas de seguridad en el manejo de microondas.
- Se retiraron los complementos del microondas que no son necesarios para las pruebas.
- Se realizó una abertura en la parte superior del microondas sin alterar su funcionamiento, con la finalidad de establecer una conexión entre el extractor y un manómetro de baja colocado a un lado del microondas.
- Para efectos de seguridad se retiró la cubierta metálica del microondas y se colocaron laminas de acrílico para asegurar la parte eléctrica del sistema.

III.5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EXTRACTOR

- Se seleccionó el material óptimo para la construcción.
- Se calculó la presión mínima de operación, siendo esta la presión de vapor del solvente utilizado.
- Se calculó el espesor requerido para la presión máxima a la cual se desea trabajar.
- Se calculó el diámetro interno y la altura del extractor a una capacidad volumétrica establecida.
- Establecidos estos parámetros se procedió a la construcción del extractor, que constó de un cilindro y dos tapas, donde una es cerrada y la otra perforada con la finalidad de realizar las mediciones de presión.

III.6. EVALUACIÓN DEL EXTRACTOR

- Una vez construido el extractor se procedió a evaluarlo, para ello se utilizó el solvente óptimo para el material seleccionado.
- Se utilizó una carga inicial de materia vegetal entre 40 y 70 gramos.
- Se midió con la ayuda de un cilindro graduado la cantidad de 80 ml de solvente.
- Con el tiempo de extracción obtenido en pruebas previas, se procedió a fijar la potencia de operación.
- Se retiró la muestra del microondas, se procedió a filtrarla y se llevaron las semillas a la estufa durante 24 horas para su secado.
- Se almacenó el producto extraído en envases de color ámbar y se refrigeraron para evitar su oxidación.
- Se procedió a medir el rendimiento por diferencia de peso.

III.7. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo de Microondas utilizado es el que se presenta a continuación.



Figura N° 8. Equipo microondas marca Midea (Fuente: Propia Elaboración).

El horno microondas marca Midea, se utilizó para realizar las extracciones con la técnica de Extracción Asistida con Microondas, el mismo cuenta con una

potencia de 1200 Watts y una frecuencia de 2450 MHz y posee una bandeja rotatoria de vidrio que ofrece una irradiación uniforme a través de la muestra. Además cuenta con un panel de control donde se manipula el tiempo de residencia y los niveles de potencia.

III.8. MATERIALES

Los materiales utilizados en este Trabajo Especial de Grado se listan a continuación.

- Semillas de cacao.
- Mortero de porcelana.
- Espátula de acero inoxidable.
- Fiolas de 250 mL.
- Beakers de 100 mL.
- Beakers de 250 mL.
- Pipetas de 10 mL.
- Cilindros graduados de 50 mL.
- Pera de succión.
- Embudo de vidrio para filtrado.
- Papel de filtro.
- Estufa de secado.
- Picetas.
- Solventes (tolueno, hexano, propanol, acetato de etilo).
- Frascos de color ámbar de recolección de muestras de 15 mL.
- Balanza marca Adventurer
- Guantes.
- Mascarillas.
- Etiquetas.
- Marcadores.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se exponen todos los análisis y discusión de los resultados en el diseño y construcción del extractor evaluado utilizando como materia prima el grano de cacao demostrando así el logro de los objetivos planteados en este Trabajo Especial de Grado.

IV.1. PRUEBAS DE INOCUIDAD PARA LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

A continuación se presenta la tabla N°10 con los porcentajes de pérdida en peso de los termoplásticos para cada configuración con los solventes previamente seleccionados: Tolueno, Hexano, Etanol y Acetato de Etilo; así como las apreciaciones visuales en los mismos para las pruebas de inocuidad a condiciones ambientales.

Tabla N°10 Prueba de inocuidad al ambiente de los materiales a estudio (Fuente: Propia Elaboración).

Tolueno		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	13,68	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	42,48	Se decoloro el termoplástico
PVC agua caliente	18,39	Se decoloro el termoplástico
PVC agua caliente a presión	48,84	No hubo reacción
Teflón	0,16	No hubo reacción
Hexano		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	0,01	El solvente cambio de color
PVC agua fría a presión	0,21	El solvente cambio de color
PVC agua caliente	0,00	El solvente cambio de color
PVC agua caliente a presión	0,04	No hubo reacción

Teflón	3,87	El solvente cambio de color
Etanol		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	0,85	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	0,24	No hubo reacción
PVC agua caliente	0,94	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	0,59	No hubo reacción
Teflón	0,24	No hubo reacción
Acetato de etilo		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	13,49	El termoplástico incremento su tamaño
PVC agua fría a presión	8,69	Se decoloro el termoplástico
PVC agua caliente	15,58	El termoplástico incremento su tamaño
PVC agua caliente a presión	15,83	El termoplástico incremento su tamaño
Teflón	0,20	No hubo reacción

En la tabla N°10 se muestran las interacciones obtenidas entre los solventes y materiales a estudio a condiciones ambientales, donde son puestos en contacto a presión y temperatura ambiente en diversas fiolas, por un lapso de 30 días. Los aspectos tomados en cuenta en este caso son los cambios o distorsiones que se pueden observar tanto para los solventes como para los termoplásticos. Se observaron cambios en el color del solvente, color, textura y peso de los termoplásticos. Entre las observaciones obtenidas se puede resaltar, una decoloración de los PVC de agua fría a presión y de agua caliente al interactuar con el Tolueno; se observó un cambio de color del Hexano al interactuar con los PVC de agua fría, agua fría a presión, de agua caliente y el teflón. No se presentó ninguna reacción adversa al interactuar el Etanol con los termoplásticos, por otra parte los PVC se vieron afectados en su totalidad al interactuar con el Acetato de etilo, por lo cual las configuraciones Acetato de etilo con PVC fueron descartados (ver anexo B).

A continuación se presenta la tabla N°11 con los porcentajes de pérdida en peso de los termoplásticos para cada configuración con los solventes previamente

seleccionados: Tolueno, Hexano, Etanol y Acetato de Etilo, así como las apreciaciones visuales en los mismos para las pruebas de inocuidad a condiciones de trabajo.

Tabla N°11 Prueba de inocuidad a condiciones de trabajo de los materiales a estudio (Fuente: Propia Elaboración).

Tolueno TEMP. EBULLICION 110°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 3 MIN.		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	57,09	Se deterioro y agrieto
PVC agua fría a presión	21,88	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente	34,41	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente a presión	45,28	Se deterioro y agrieto
Teflón	0,05	No hubo reacción
Hexano TEMP. EBULLICION 69°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 2 MIN CON 22 SEG.		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	0,03	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	0,01	No hubo reacción
PVC agua caliente	0,01	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	0,05	No hubo reacción
Teflón	0,04	No hubo reacción
Etanol TEMP. EBULLICION 78°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 15 SEG.		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	0,03	Se deterioro y agrieto
PVC agua fría a presión	0,02	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente	0,03	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	0,01	No hubo reacción
Teflón	0,09	No hubo reacción
Acetato de etilo TEMP. EBULLICION 71°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 45 SEG.		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
Teflón	0,00	No hubo reacción

En la tabla N°11 se muestran las interacciones obtenidas entre los solventes y materiales a estudio a condiciones de trabajo, donde son puestos en contacto y expuestos a las microondas por el tiempo de ebullición del solvente a usar. Los

aspectos tomados en cuenta en este caso son los cambios o distorsiones que se pueden observar tanto para los solventes como para los termoplásticos, en menor proporción que en las pruebas ambientales debido al tiempo de exposición.

Entre las observaciones obtenidas se puede resaltar, un deterioro en los PVC de agua fría y de agua fría a presión al interactuar con el Etanol y los PVC se vieron afectados en su totalidad al interactuar con el Tolueno presentando significativas pérdidas de peso, por lo cual las configuraciones Tolueno con PVC fueron descartados. De los resultados obtenidos se puede resaltar que en el caso del teflón no se observaron reacciones adversas ni pérdidas de peso apreciables en su interacción con ninguno de los solventes, a diferencia de los diversos PVC los cuales presentaron deterioro (ver anexo B).

En la siguiente tabla se muestra los grupos funcionales y los anchos de banda necesarios para la interpretación de los espectros infrarrojos del solvente Acetato de etilo en el análisis de las muestras obtenidas experimentalmente.

Tabla N°12 Regiones de los espectros infrarrojos de los compuestos más importantes para el Acetato de etilo (Fundamentos de Química orgánica, 2003).

Grupo Funcional	Banda (cm⁻¹)	Intensidad
C-H	2960-2850	Media
-C-O-	1150-1050	Fuerte
C=O	1780-1640	Fuerte

A continuación se muestra la Figura N°9, en donde se comparan los espectros infrarrojos obtenidos del solvente en interacción con el teflón, para las pruebas de inocuidad tanto a condiciones ambientales como de trabajo comparándolas con el espectro del solvente puro obtenido (NIST Chemistry WebBook, 2008).

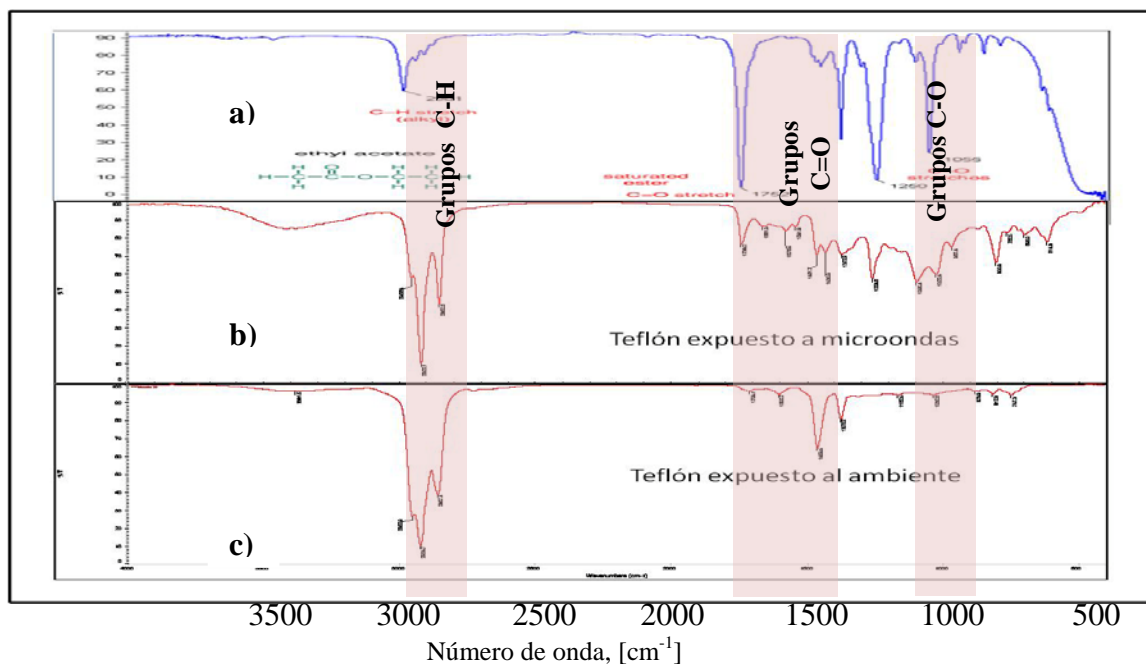


Figura N° 9 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos (a) Acetato de etilo puro (b) Acetato de etilo en contacto con teflón a condiciones de trabajo (c) Acetato de etilo en contacto con teflón a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

En la figura N°9 se presentan los espectros infrarrojos obtenidos para el solvente acetato de etilo puro y el solvente en contacto con el teflón, tanto a condiciones ambientales como de trabajo. Se puede observar una variación entre el espectro obtenido para el solvente puro con los espectros a las otras condiciones evidenciando una modificación en su composición inicial, indicando una alteración del mismo lo cual podría disminuir su funcionalidad y selectividad. Al ocurrir una interacción entre el solvente y el termoplástico en estudio se presenta un desgaste del material afectando directamente sus propiedades y durabilidad en el tiempo, por lo cual esta configuración no es favorable (ver anexo D).

En la siguiente tabla se muestra los grupos funcionales y los anchos de banda necesarios para la interpretación de los espectros infrarrojos del solvente Hexano en el análisis de las muestras obtenidas experimentalmente.

Tabla N°13 Regiones de los espectros infrarrojos de los compuestos más importantes para el Hexano (Fundamentos de Química orgánica, 2003).

Grupo Funcional	Banda (cm^{-1})	Intensidad
C-H	2960-2850	Media

A continuación se muestra la Figura N°10, en donde se comparan los espectros infrarrojos obtenidos del solvente en interacción con el PVC para agua caliente a presión para las pruebas de inocuidad, tanto a condiciones ambientales como de trabajo comparándolas con el espectro del solvente puro obtenido (NIST Chemistry WebBook, 2008).

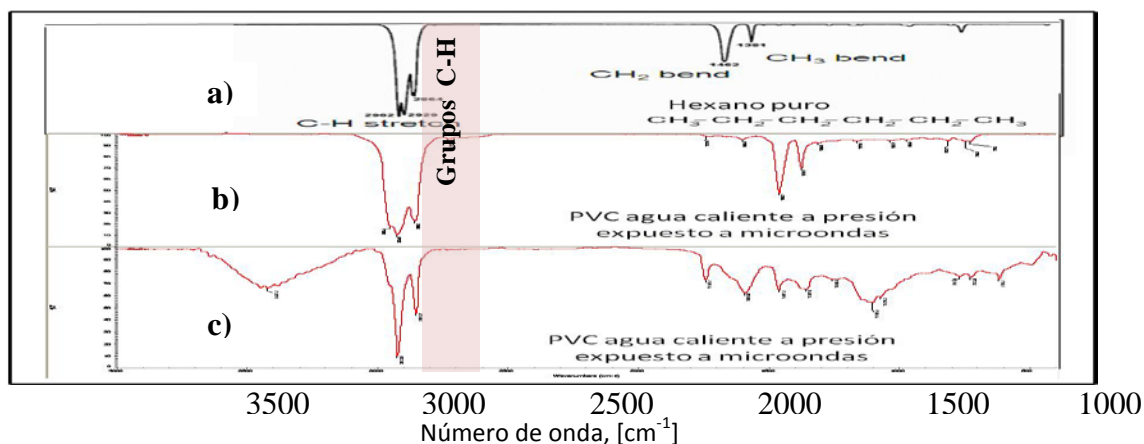



Figura N° 10 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos para el solvente hexano puro y con interacción con el PVC para agua caliente a presión (a) Hexano puro (b) Hexano en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones de trabajo (c) Hexano en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

En la figura N°10 se puede observar un cambio entre el espectro obtenido para el solvente puro con los espectros a las otras condiciones evidenciando una modificación en su composición inicial, indicando una contaminación del mismo lo cual podría disminuir su funcionalidad y selectividad. Al ocurrir una interacción entre el solvente y el termoplástico en estudio se presenta un desgaste del material afectando directamente su durabilidad en el tiempo, por lo cual esta configuración no es la más factible (ver anexo D).

En la siguiente tabla se muestra los grupos funcionales y los anchos de banda necesarios para la interpretación de los espectros infrarrojos del solvente Tolueno en el análisis de las muestras obtenidas experimentalmente.

Tabla N°14 Regiones de los espectros infrarrojos de los compuestos más importantes para el Tolueno (Fundamentos de Química orgánica, 2003).

Grupo Funcional	Banda (cm^{-1})	Intensidad
C-H	2960-2850	Media
	1600-1500	Fuerte

A continuación se muestra la Figura N°11, en donde se comparan los espectros infrarrojos obtenidos del solvente en interacción con el teflón para las pruebas de inocuidad, tanto a condiciones ambientales como de trabajo comparándolas con el espectro del solvente puro obtenido (NIST Chemistry WebBook, 2008).

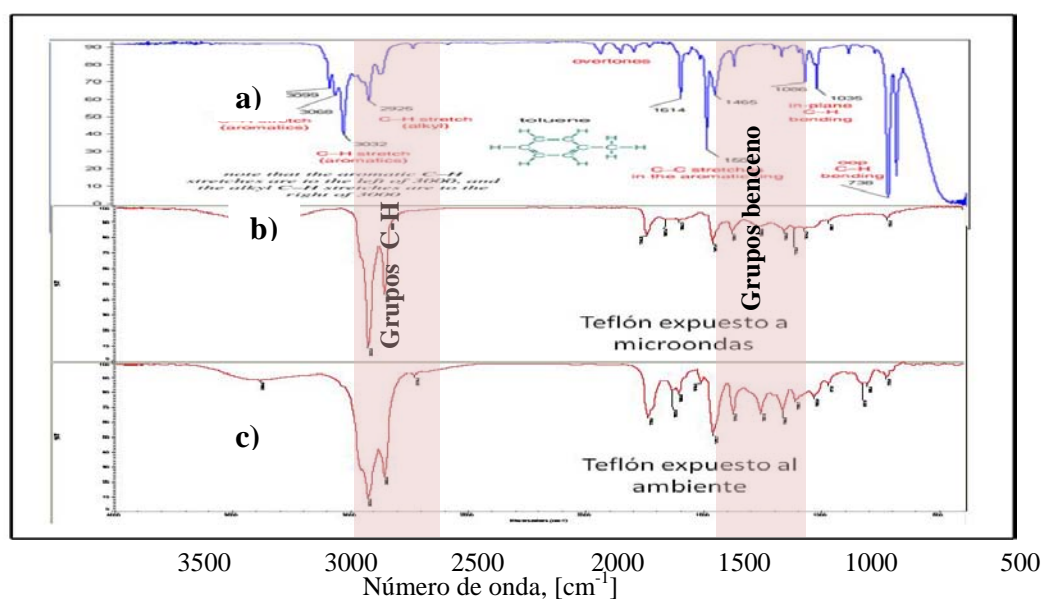


Figura N° 11 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos (a) Tolueno puro (b) Tolueno en contacto con teflón a condiciones de trabajo (c) Tolueno en contacto con teflón a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

En la figura N°11 se puede observar una alteración entre el espectro obtenido para el solvente puro con los espectros a las otras condiciones evidenciando un cambio en su composición inicial, indicando una contaminación del mismo lo cual podría disminuir su funcionalidad y selectividad. Al ocurrir una interacción entre el solvente y el termoplástico en estudio se puede ver afectadas sus propiedades físicas y químicas afectando directamente su durabilidad en el tiempo, por lo cual esta configuración no es la más adecuada (ver anexo D).

En la siguiente tabla se muestra los grupos funcionales y los anchos de banda necesarios para la interpretación de los espectros infrarrojos del solvente Etanol en el análisis de las muestras obtenidas experimentalmente.

Tabla N°15 Regiones de los espectros infrarrojos más importantes para el Etanol (Fundamentos de Química orgánica, 2003).

Grupo Funcional	Banda (cm ⁻¹)	Intensidad
C-H	2960-2850	Media
-C-O-	1150-1050	Fuerte
O-H	3700-3100	Baja

A continuación se muestra la Figura N°12, en donde se comparan los espectros infrarrojos obtenidos del solvente en interacción con los diversos termoplásticos en estudio para las pruebas de inocuidad, tanto a condiciones ambientales como de trabajo comparándolas con el espectro del solvente puro obtenido (NIST Chemistry WebBook, 2008).

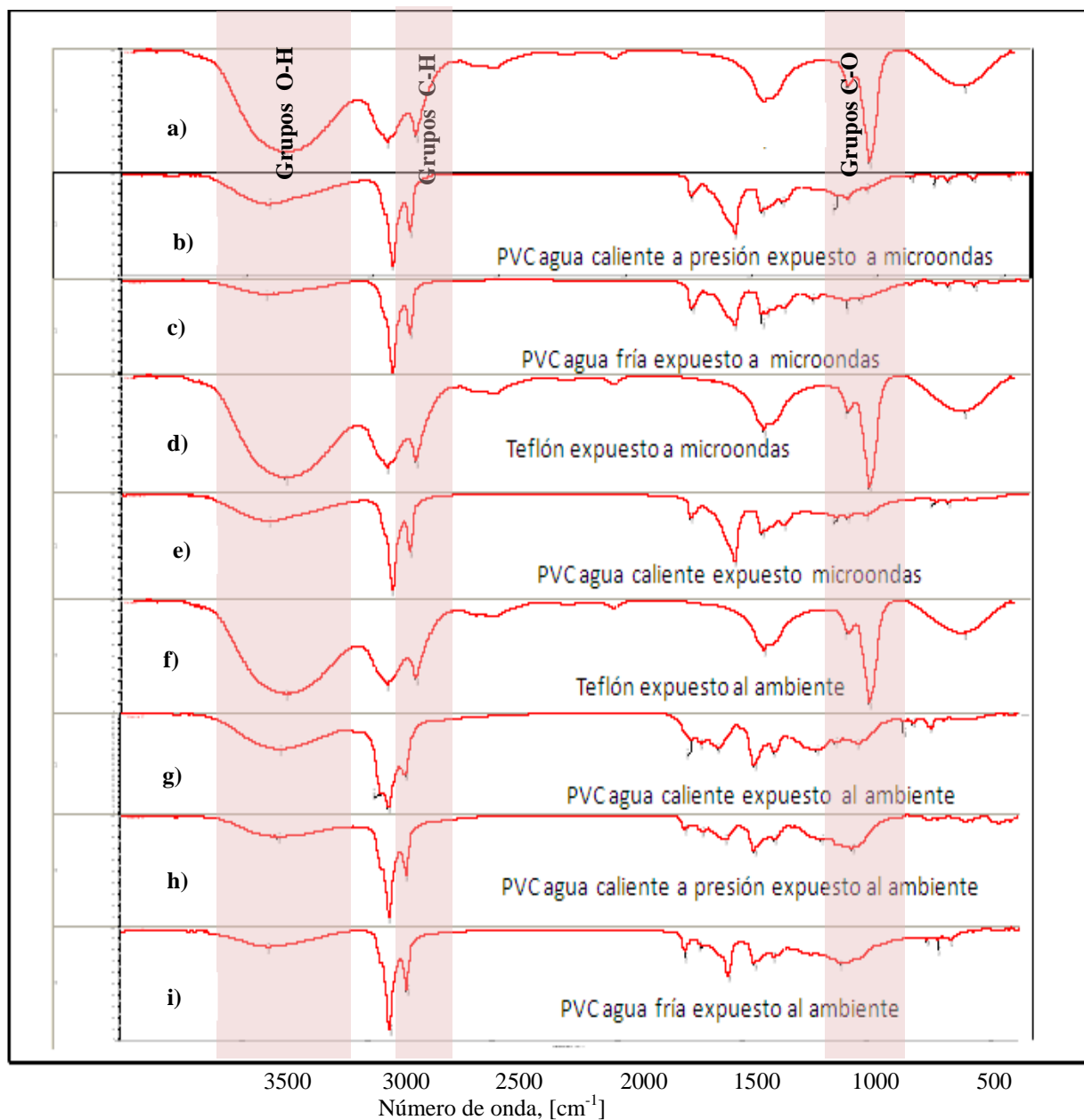


Figura N° 12 Comparaciones de los espectros infrarrojos obtenidos (a) Etanol puro (b) Etanol en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones de trabajo (c) Etanol en contacto con PVC agua fría a condiciones de trabajo (d) Etanol en contacto con teflón a condiciones de trabajo (e) Etanol en contacto con PVC agua caliente a condiciones de trabajo (f) Etanol en contacto con teflón a condiciones ambientales (g) Etanol en contacto con PVC agua caliente a condiciones ambientales (h) Etanol en contacto con PVC agua caliente a presión a condiciones ambientales (i) Etanol en contacto con PVC agua fría a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

En la figura N°12 se observan los espectros donde se interactúa con los diversos tipos de PVC se puede apreciar una distorsión con respecto al obtenido para el solvente puro modificando su composición química inicial, lo cual indica una contaminación del mismo disminuyendo su funcionalidad, al mismo tiempo al ocurrir una interacción entre el solvente y el termoplástico a estudio se presenta un desgaste del material afectando directamente su durabilidad en el tiempo, por lo cual las configuraciones con PVC no son las adecuadas, ya que presentan claramente una interacción desfavorable con el solvente.

Por otra parte se puede observar que los espectros obtenidos del solvente cuando se trabaja con el teflón no presentan ninguna variación apreciable respecto a la obtenida para el solvente puro, conservando cada uno sus propiedades físicas y químicas, siendo la configuración más adecuada ya que no compromete la composición del solvente ni del termoplástico (ver anexo D).

IV.2.DISEÑO Y CONTRUCCION DEL EXTRACTOR PROTOTIPO.

El diseño de este extractor tiene como finalidad proporcionar las condiciones para realizar extracciones a presión, permitiendo elevar la temperatura por encima de la temperatura de ebullición. Por esta razón el extractor tiene que poseer ciertas características como: ser inocuo a los componentes presentes en la extracción, permitir el paso de las microondas libremente, soportar presiones superiores a la atmosférica y soportar temperaturas hasta 200°C.

El aspecto de la inocuidad fue estudiado previamente; en el caso del paso libre de las microondas, es necesario que la constante dieléctrica del material de construcción no posea una significativa respecto al objetivo buscado, en el caso del teflón (2,1) al compararla con la del vidrio (3,8) se puede establecer que el teflón permite libremente el paso de las microondas.

Por otra parte este termoplástico posee una gran resistencia mecánica y soporta temperaturas hasta 260°C; cubriendo así con todos los aspectos necesarios para la construcción del extractor.

El primer paso es determinar la presión a la que se va a someter el recipiente, en este caso será la presión de vapor del solvente a utilizar, el cual será Etanol. Teniendo la presión de vapor del solvente se determina el límite mínimo de presión; para el diseño de recipientes a presión se toma como mínimo un 10% de sobrepresión con el fin de determinar el espesor de pared del recipiente, en este caso por facilidades de construcción y para tener un margen más amplio para experimentar se diseño para soportar un máximo de 10 atmosferas. En cuanto a la capacidad volumétrica del extractor, se tomaron en cuenta los volúmenes utilizados previamente en la línea de investigación de extracción por microondas, teniendo como volumen de diseño una capacidad de 150 mililitros.

Para determinar la altura y el diámetro internos del extractor se tomó como premisa que a mayor área de contacto mejor será la extracción, por lo cual con un volumen definido se estableció un diseño donde las mediadas internas, diámetro interno y altura sean proporcionales, teniendo así el recipiente completamente diseñado.

Por otra parte las tapas, ambas se diseñaron con el mismo espesor del recipiente cuya rosca posee un paso de 2 mm para evitar fugas de presión. Una de las tapas se diseño totalmente cerrada, y la segunda tapa posee un orificio en el centro de 15 mm diámetro, con una rosca con un paso de 1 mm, utilizado para colocar el conector cuyo material al igual que el extractor es teflón, el cual por medio de una manguera se conecta al manómetro de baja midiendo una presión máxima de 40 psi. En la figura N°13 se muestra el plano del extractor a construir, en el diseño del mismo se tomaron en cuenta los parámetros utilizados el diseño de recipientes a presión, para ver los cálculos necesarios para su dimensionamiento ver (anexo A).

A continuación se muestra el plano de construcción del extractor prototipo, con los valores de diseño obtenidos en el dimensionamiento del mismo (ver anexo C)

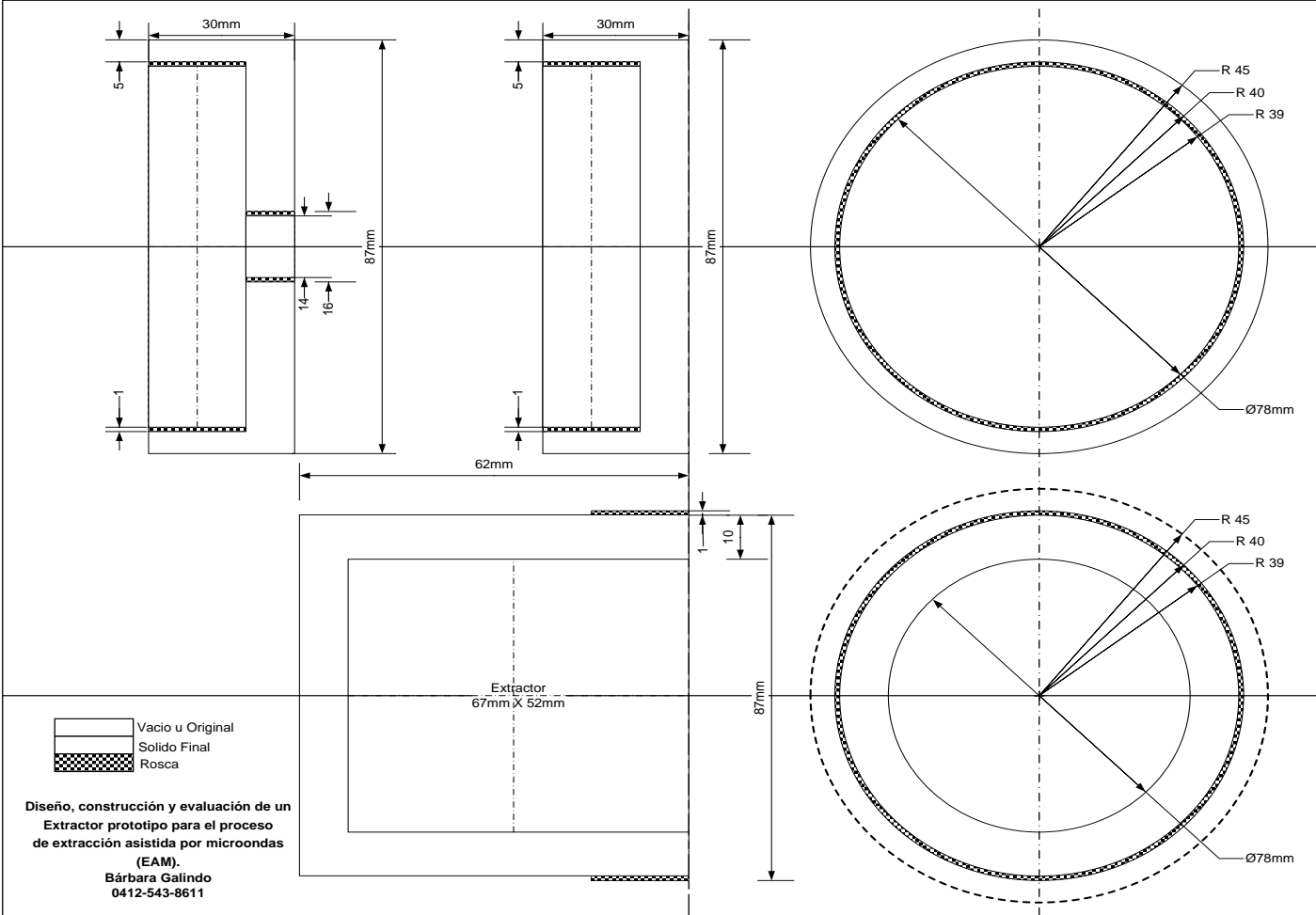


Figura N°13 Plano para la construcción del extractor prototipo (Fuente: Propia Elaboración)

A continuación se presenta una foto del sistema de extracción.



Figura N°14 Vista lateral del sistema de extracción (Fuente: Propia Elaboración).

En la figura anterior se puede observar el sistema de extracción compuesto por: el extractor el microondas, manguera de conexión y el manómetro de baja.

IV.3.MODIFICACIONES AL HORNO MICROONDAS.

Para la conformación de este sistema fue necesario realizar ciertas modificaciones al horno microondas, inicialmente se le retiraron los complementos innecesarios para su funcionamiento como en este caso un grill en la parte interna superior del mismo. Para la realización de la abertura necesaria para la conexión con el manómetro, se realizó un estudio previo para ubicar el lugar óptimo, donde las microondas no tuviesen mínima o ninguna incidencia; esto se detecto en la parte superior del mismo. Luego de realizada la abertura, con un beaker y agua caliente colocados sobre el orificio, se realizaron pruebas para asegurar que no hubiesen escapes de microondas,

obteniendo en todo momento una temperatura en el agua igual a la ambiental. Para efectos de seguridad se retiró la cubierta metálica del microondas y se colocaron laminas de acrílico para asegurar la parte eléctrica del sistema. A continuación se presenta en la figura N°15 con las modificaciones realizadas al microondas.



Figura N°15 Vista lateral microondas modificado (Fuente: Propia Elaboración).

IV.4.EVALUACION DEL EXTRACTOR

Durante la realización de las extracciones al ser un recipiente cerrado el sistema llega a su presión autógena y como podemos observar en la figura N°16 mostrada a continuación que conforme aumenta la temperatura la constante de partición de vaporización va aproximándose al 1, el cual representa la razón entre la fracción de vapor y la fracción de líquido.

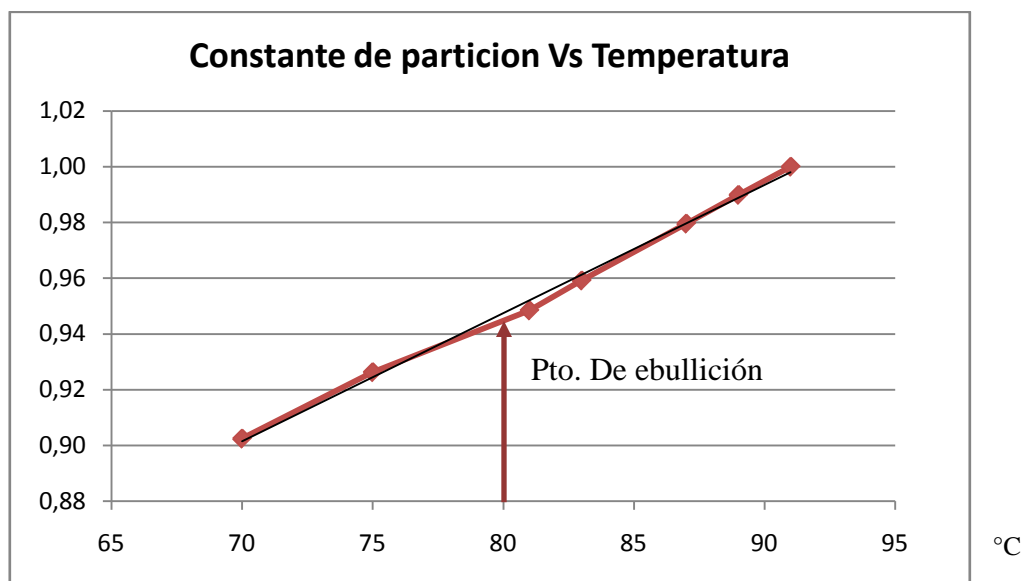


Figura N°16 Datos obtenidos para la constante de partición a distintas temperaturas (Fuente: Propia Elaboración).

En la figura N°16 se puede observar los datos obtenidos experimentalmente son consistentes con la tendencia lineal ascendente que caracteriza a los gráficos para la constante de partición.

La constante de partición es una medida de la tendencia del componente i a vaporizarse. Si su valor es alto, el componente tiende a concentrarse en el vapor; si es bajo, tiende a concentrarse en el líquido, por otro lado si el valor es igual a la unidad, el componente se dividirá igualmente entre el vapor y el líquido. Por lo cual en este caso se puede asegurar que a las temperaturas trabajadas la matriz vegetal se encuentra siempre en contacto con el solvente en estado líquido.

A continuación se presenta la tabla N°13 con los valores de rendimiento obtenidos comparándolos con los obtenidos en (Bastidas, 2008).

Tabla N°16 Comparación de rendimientos obtenidos por EAM Convencional y EAM a presión, con una potencia del 100% (Fuente: Propia Elaboración).

Tipo de extracción	Muestra N°	Presión (psia)	Tiempo de extracción (seg)	Rendimiento %
EAM Convencional	IA	13,37336	6	3,0667
EAM Convencional	IIA	13,37336	8	4,0312
EAM a Presión	IB	17,37336	30	5,9464
EAM a Presión	IIB	20,37336	35	7,48919
EAM a Presión	IIIB	21,87336	45	13,7328

En la tabla N°13 se presentan los valores de rendimiento de la EAM a distintas presiones de operación (presión y tiempo). Es notorio resaltar que tanto para EAM convencional como para la EAM a Presión el valor de porcentaje de rendimiento es directamente proporcional al tiempo de extracción. Como la presión es una consecuencia directa de la temperatura, a medida que aumenta el tiempo de extracción, la presión de vapor se incrementara aumentando a su vez el valor del porcentaje de rendimiento obtenido. Al comparar los rendimientos obtenidos con los de EAM convencional, se evidencia un aumento del rendimiento mayor al 100%.

Como el sistema en estudio está diseñado para soportar presiones mayores, esto permite obtener mayores temperaturas y rendimiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En el presente capítulo se presentan las conclusiones obtenidas en este Trabajo Especial de Grado basadas en el análisis y discusión de resultados.

- El teflón fue el único termoplástico que mostro mayor resistente a todos los solventes empleados en este trabajo, tanto a condiciones ambientales como de trabajo.
- La configuración etanol/teflón no presentó alteraciones físicas ni químicas, por lo cual fue elegida como la configuración a utilizar para el sistema de estudio.
- Se estableció una capacidad volumétrica de 150 mililitros.
- Se diseñaron las tapas con un paso de 2 mm para evitar fugas de presión.
- El extractor se diseño para soportar un máximo de 10 atmosferas.
- Al trabajar con mayores tiempos de extracción, generando presiones superiores a la atmosférica se obtiene un mayor rendimiento.
- Al evaluar el extractor se obtuvo un rendimiento en el extracto del 13,73%, al compararlo con el rendimiento obtenido con la EAM convencional de 4,03%, se evidencia un aumento del rendimiento mayor al 100%.

RECOMENDACIONES

En la búsqueda de realizar futuras mejoras en la aplicación del método de EAM utilizando el extractor prototipo, desarrollado en el presente Trabajo especial de Grado, se presentan las siguientes recomendaciones que pueden ser empleadas en las próximas investigaciones en el área.

- Evaluar la interacción de otros alcoholes solventes en el cuerpo humano con un mayor punto de ebullición, para determinar si se puede aumentar el rendimiento sin tener que trabajar a condiciones más severas de presión.
- Realizar las modificaciones necesarias para establecer un flujo de solvente/extracto continuo, con la finalidad de disminuir la temperatura y aumentar el rendimiento.
- Realizar pruebas a una escala superior, para este tipo de extracción a presión.
- Utilizar otro proceso de separación diferente a la decantación, para verificar si de esta manera existe mayor recuperación del extracto.
- Estudiar la proporción solvente/materia vegetal para el sistema, para obtener una recuperación óptima del extracto.
- Utilizar una manguera de teflón o un tubo de vidrio al realizar las extracciones a presión, para asegurar que no existan interacciones desfavorables con el material de la manguera.

BIBLIOGRAFÍA

- **Miravete, A (2000)** Materiales Compuestos I.
- **Bastidas, M (2008)** extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM) y extracción asistida por ultrasonidos (EAU). Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.
- **Barbagallo, G (2007)** Chocolate Aspectos Técnicos. Disponible en [http://www.ms.gba.gov.ar/CalidadAlimentaria/Barbaga Ilo.pdf](http://www.ms.gba.gov.ar/CalidadAlimentaria/Barbaga%20Ilo.pdf). Consultado el 15 de Noviembre de 2009
- **Bélanger J. et al. (2006)** Applications of microwave-assisted processes (MAPTM) to environmental analysis. Anal Bioanal Chem. Vol. 386:1049-1058.
- **Camel V. (2000)** Microwave-assisted solvent extraction of environmental simples. Trends in Analytical Chemistry. 19, 4.
- **Cartay R. (1999)** El Cacao Venezolano en el mercado mundial: situación actual y perspectivas. Proyecto Conicit N° 96001539.
- **ElKhorri S. et al. (2007)**. The microwave-assisted process: Extraction and determination of fat from cocoa powder and cocoa nibs. Journal of Food Engineering. Vol. 79, 1110-1114.
- **Fini A. et. al. (1999)**. Chemistry by microwaves. Pure Application Chemistry. Vol. 71, 573-579.
- **Gallawa J. (2000)** Basic Principles of Microwave Energy. Disponible en: http://www.gallawa.com/microtech/Ch2_Sample.pdf. Consultado el 10 de septiembre de 2009
- **Gamse T. (2002)** Liquid-Liquid Extraction and Solid-Liquid Extraction. Institute of Thermal Process and Environmental Engineering. Graz University of Technology. 25, A-8010.

-
- **Gunasekaran, N. (2002)** Effect of fat content and food type on heat transfer. Disponible en: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd08302002095934/unrestricted/Nishkaran-Thesis.pdf>. Consultado el 20 de Septiembre de 2009
 - **Gutsche, D. (2008)** Fundamentos de Química Orgánica. Disponible en http://www.uv.es/jcastell/Determinacion_estructuras_metodos_fisicos.pdf consultado el 15 de agosto de 2010.
 - **Henley, E., Seader, J. (1988)**. Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química. Editorial Reverté S. A. España.
 - **King, J. (1980)**. Procesos de Separación. pp 19. Editorial Reverté S. A. España.
 - **Levenspiel, O (1986)**. Ingeniería de las Reacciones Químicas. Editorial Reverté.
 - **Liendo, R. et. al. (1996)** Caracterización de la manteca de cacao de cultivares criollos e híbridos de (*Theobroma cacao* L.) del FONAIAP. Disponible en: <http://www.redcacao.info.ve/memorias/pdf/cacao.pdf>. Consultado el 5 de Octubre de 2009.
 - **Liendo, R. (2004)** Manteca de cacao. Revista CENIAP HOY N° 5.
 - **Liu C. (2002)** Microwave assisted organic synthesis. Literature Seminar.
 - **Mandal V. et al. (2007)** Microwave assisted extraction-an innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. *Pharmacognosy Reviews*. 1, 1.
 - **NIST, Chemistry WebBook (2008)**. Infrared Spectrum. Estados Unidos. Disponible en: <http://webbook.nist.gov/Chemistry>. Consultada el 22 de Agosto de 2010.
 - **Ordóñez, J. (1999)** Tecnología de los Alimentos. Editorial Síntesis. Volumen I; pp 348.
 - **Rius, C. (2007)**. Espectroscopía de infrarrojo y espectrometría de masas. Disponible en: <http://wearcheckiberica.es> (Consultada el 18 de Agosto de 2010).

- **Rodríguez, N. (2006)** Beneficio del cacao (*Theobroma cacao* L.). Disponible en <http://ftpctic.arg.ucv/intranet/agronomia/cultrop2/beneficioguia.pdf>. Consultado el 24 de Noviembre de 2009.
- **Soledad Z. (2007)** Extracción de manteca a partir de las semillas del cacao (*Theobroma cacao* L.) utilizando dióxido de carbono en condiciones supercríticas como solvente. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.
- **Wade, L. (1993)** Química Orgánica, 2da edición. México. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- **Walas, S. (1990)** Chemical Process Equipment Selection and Design. Editorial Butterworth-Heinemann.

ANEXOS

En esta sección del Trabajo Especial de Grado se presentan los Anexos correspondientes a la materia prima, equipos y material utilizado, así como también cálculos tipos y los espectros infrarrojos adicionales.

ANEXO A CÁLCULOS TIPOS

En cuanto a cálculos tipos, se presentan las ecuaciones empleadas en el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

CALCULO DEL PORCENTAJE EN PERDIDA DE PESO

$$\% \text{ en pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100\% \quad \text{ECUACION N}^\circ 1$$

Peso inicial: peso inicial del termoplástico (gr).

Peso final: peso final del termoplástico (gr).

Ejemplo para configuración etanol/teflón a condiciones de trabajo

$$\% \text{ en pérdida de peso} = \frac{0,4103 - 0,4099}{0,4103} \times 100\% = 0,09\%$$

CALCULO DE LA PRESION DE VAPOR DEL ETANOL

$$\ln P^v (kPa) = A - \frac{B}{T(K)+C} \quad \text{ECUACION N}^\circ 2$$

Donde

P^v : presión de vapor.

T: temperatura.

A, B, C: constantes de Antoine.

$$\ln P^v = 16,9 - \frac{3424}{T(K) - 55,72}$$

Punto de ebullición del etanol 78,4°C

$$P^v = 16,9 - \frac{3424}{351,4 - 55,72} = 204,37 \text{ kpa}$$

CALCULO DEL ESPESOR MINIMO REQUERIDO

$$e = \frac{P \times R}{S - 0,6 \times P}$$

ECUACION N° 3

Donde

e: espesor del cilindro en pulgadas.

P: presión de diseño o presión máxima permitida en lb/pulg².

S: valor del esfuerzo del material en lb/pulg².

R: radio interior en pulgadas.

$$e = \frac{P \times 1,24}{3982,52 - 0,6 \times 14,57} = 0,04 \text{ plg} = 1 \text{ mm}$$

Para proporcionar un margen más amplio de presión para experimentar y por facilidades de construcción, se diseño para soportar 10 atmosferas de presión. Teniendo a continuación el cálculo de su espesor.

$$e = \frac{P \times 1,24}{3982,52 - 0,6 \times 146,96} = 0,39 \text{ plg} = 10\text{mm}$$

CALCULO DE LA ALTURA Y EL DIÁMETRO DEL EXTRACTOR

Tomando en cuenta que a mayor área de contacto mayor será la transferencia de masa, se tomo como base de diseño que el diámetro interno del extractor seria igual a su altura.

$$V = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H \quad \text{ECUACION N° 4}$$

Teniendo $D = H$

$$V = \pi \times \frac{H^3}{4}$$

Teniendo por un censo en previas extracciones en microondas se fijo un volumen de 150cm^3 .

$$H = D = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}}$$

$$H = D = \sqrt[3]{\frac{150 \text{ cm}^3 \times 4}{3,14}} = 6 \text{ cm} = 60\text{mm}$$

CALCULO DEL RENDIMIENTO

Calculado para la extracción a 23,2 psia.

$$\% R = \left[\frac{\text{masa}_{\text{inicial}}(\text{gr}) - \text{masa}_{\text{final}}(\text{gr})}{\text{masa}_{\text{inicial}}(\text{gr})} \right] \times 100\% \quad \text{ECUACION N}^\circ 5$$

$$\% R = \left[\frac{40,06 \text{ gr} - 34,56 \text{ gr}}{40,06 \text{ gr}} \right] \times 100\% = 13,73 \%$$

ANEXO B TABLA DE DATOS OBTENIDOS

A continuación se presentan las tablas con los datos obtenidos en el desarrollo del Trabajo Especial de Grado

Tabla N°17 Datos obtenidos en la prueba de inocuidad al ambiente de los materiales a estudio (Fuente: Propia Elaboración).

Tolueno			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
PVC agua fría	0,8047	0,9415	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	2,3141	2,7389	Se decoloro
PVC agua caliente	1,3119	1,4958	Se decoloro
PVC agua caliente a presión	2,261	2,7494	No hubo reacción
Teflón	0,6397	0,6381	No hubo reacción
Hexano			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
PVC agua fría	0,8722	0,8723	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	1,6122	1,6143	El solvente cambio de color

PVC agua caliente	1,629	1,629	El solvente cambio de color
PVC agua caliente a presión	2,3386	2,339	No hubo reacción
Teflón	0,6204	0,6591	El solvente cambio de color
Etanol			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
PVC agua fría	1,3831	1,3916	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	1,5915	1,5939	No hubo reacción
PVC agua caliente	1,1543	1,1637	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	2,6896	2,6955	No hubo reacción
Teflón	0,6031	0,6007	No hubo reacción
Acetato de etilo			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
PVC agua fría	1,054	1,1889	Incremento su tamaño
PVC agua fría a presión	1,73	1,8169	Se decoloro
PVC agua caliente	1,4663	1,6221	Incremento su tamaño
PVC agua caliente a presión	2,1822	2,3405	Incremento su tamaño
Teflón	0,5657	0,5677	No hubo reacción

Tabla N°18 Datos obtenidos en la prueba de inocuidad a condiciones de trabajo de los materiales a estudio (Fuente: Propia Elaboración).

Tolueno TEMP. EBULLICION 110°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 3 MIN.			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
PVC agua fría	1,6474	2,2183	Se deterioro y agrieto
PVC agua fría a presión	1,3482	1,5670	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente	1,9179	2,2620	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente a presión	2,5377	2,9905	Se deterioro y agrieto
Teflón	0,3815	0,3810	No hubo reacción
Hexano TEMP. EBULLICION 69°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 2 MIN CON 22 SEG.			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones

PVC agua fría	1,5323	1,5320	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	1,2763	1,2762	No hubo reacción
PVC agua caliente	1,7838	1,7837	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	3,1044	3,1049	No hubo reacción
Teflón	0,2737	0,2741	No hubo reacción
Etanol TEMP. EBULLICION 65°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 15 SEG.			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
PVC agua fría	1,5232	1,5235	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	1,4085	1,4083	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente	0,9217	0,9220	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	2,6452	2,6453	No hubo reacción
Teflón	0,4103	0,4099	No hubo reacción
Acetato de etilo TEMP. EBULLICION 71°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 45 SEG.			
Termoplástico	Peso inicial (gr)	peso final (gr)	observaciones
Teflón	0,2705	0,2705	No hubo reacción

Tabla N°19 Resultados obtenidos para las extracciones realizadas (Fuente: Propia Elaboración).

prueba	seco (gr)	extracto seco (gr)	Rendimiento (%)	presión absoluta (psia)	tiempo (seg)
Nº 1	68,25	64,19	5,95	14,7	30
Nº 2	75,71	71,26	5,87	14,7	30
Nº 3	72,75	67,30	6,30	14,7	35
Nº 4	72,46	67,90	7,49	14,7	35
Nº 5	40,06	34,56	13,73	14,7	45

ANEXO C IMÁGENES

En esta sección de los anexos se presentan imágenes adicionales tomadas durante la realización de este Trabajo Especial de Grado.



Figura N°17 Termoplásticos antes de las pruebas de inocuidad (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°18 Termoplásticos después de la prueba de inocuidad a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°19 Termoplásticos después de la prueba de inocuidad a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

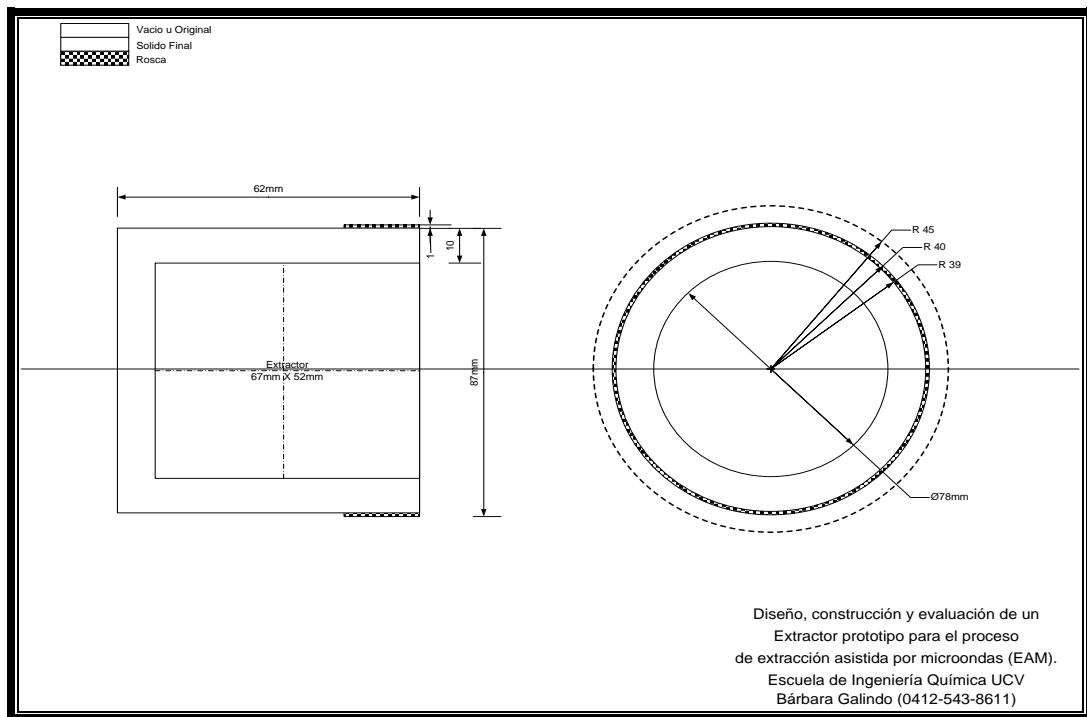


Figura N°20 Plano del recipiente del extractor prototipo (Fuente: Propia Elaboración).

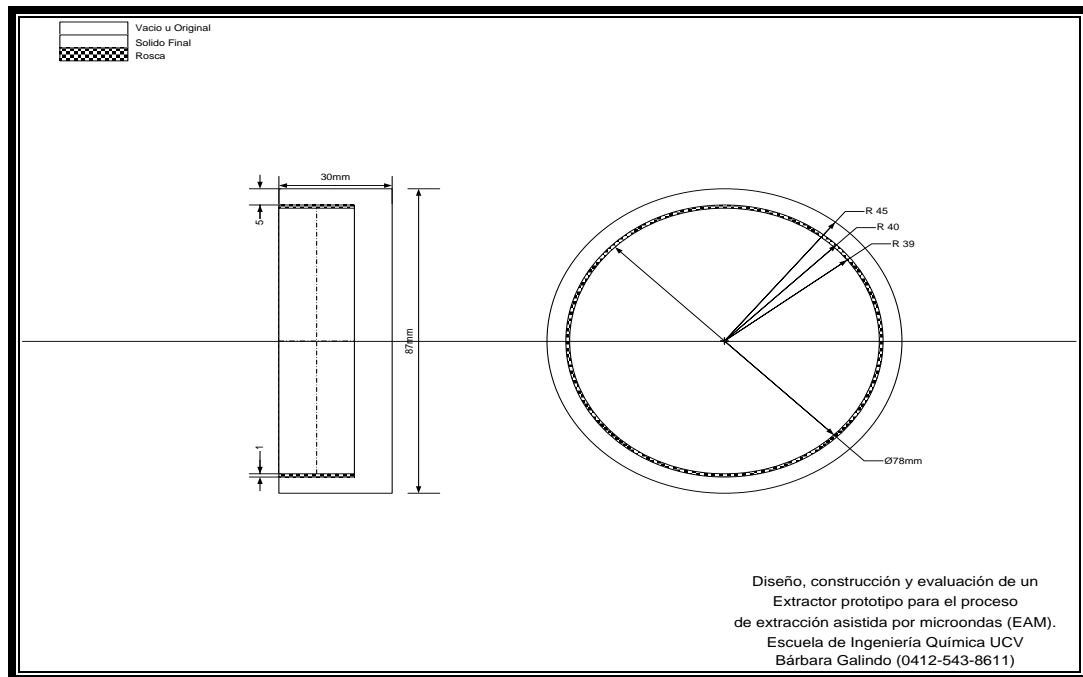


Figura N°21 Plano de la tapa sellada del extractor prototipo (Fuente: Propia Elaboración).

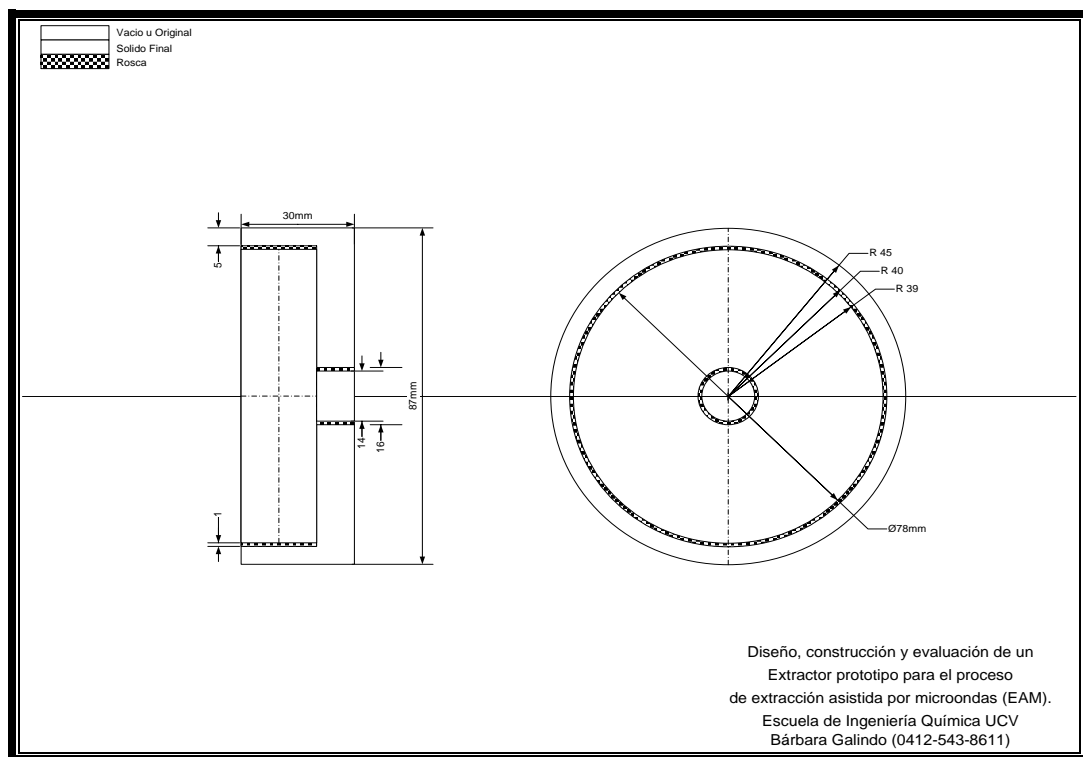


Figura N°22 Plano de la tapa perforada del extractor prototipo (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°23 Vista superior del extractor prototipo (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°24 Vista lateral del extractor prototipo (Fuente: Propia Elaboración).

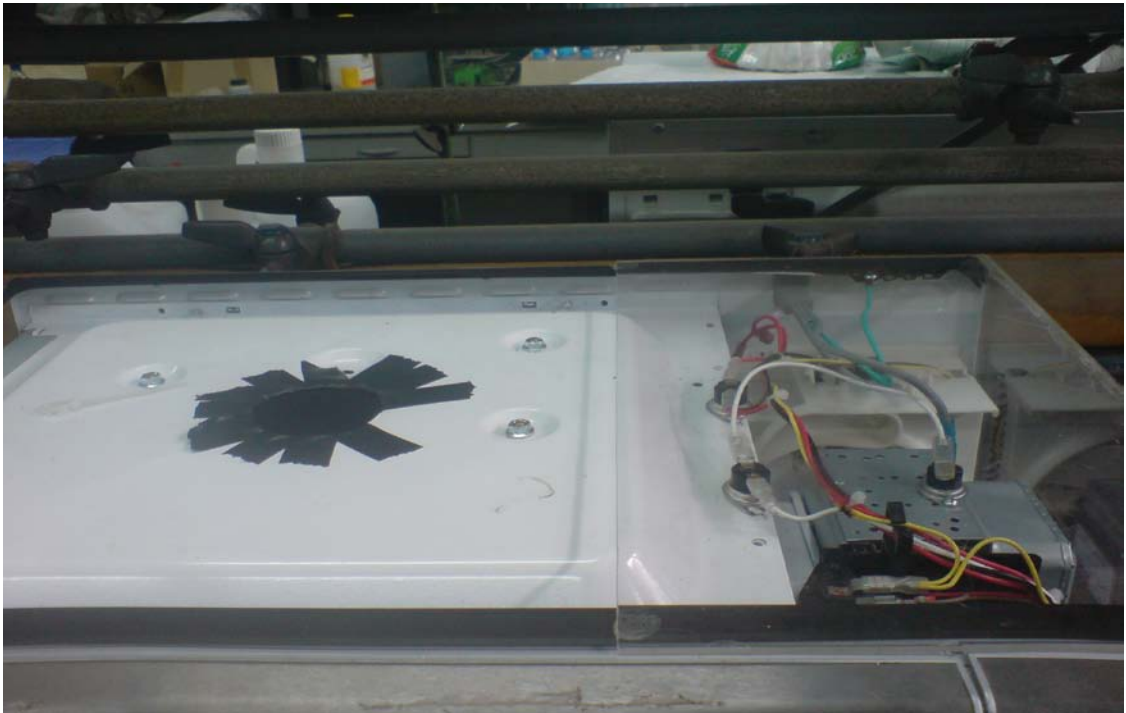


Figura N°25 Vista superior del microondas modificado (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°26 Sistema de extracción (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°27 Semillas de cacao trituradas antes del proceso de extracción (Fuente: Propia Elaboración).

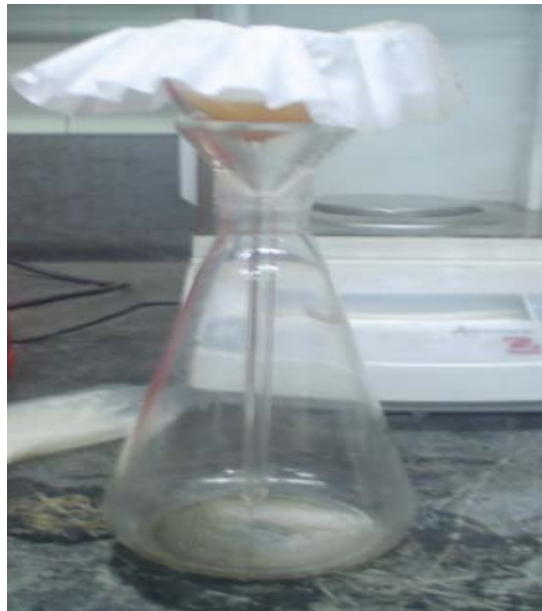


Figura N°28 Procesos de separación posterior a la extracción asistida por microondas EAM (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°29 Semillas de cacao trituradas después del proceso de extracción (Fuente: Propia Elaboración).



Figura N°30 Envasado del extracto obtenido (Fuente: Propia Elaboración).

ANEXO D ESPECTROS INFRARROJOS

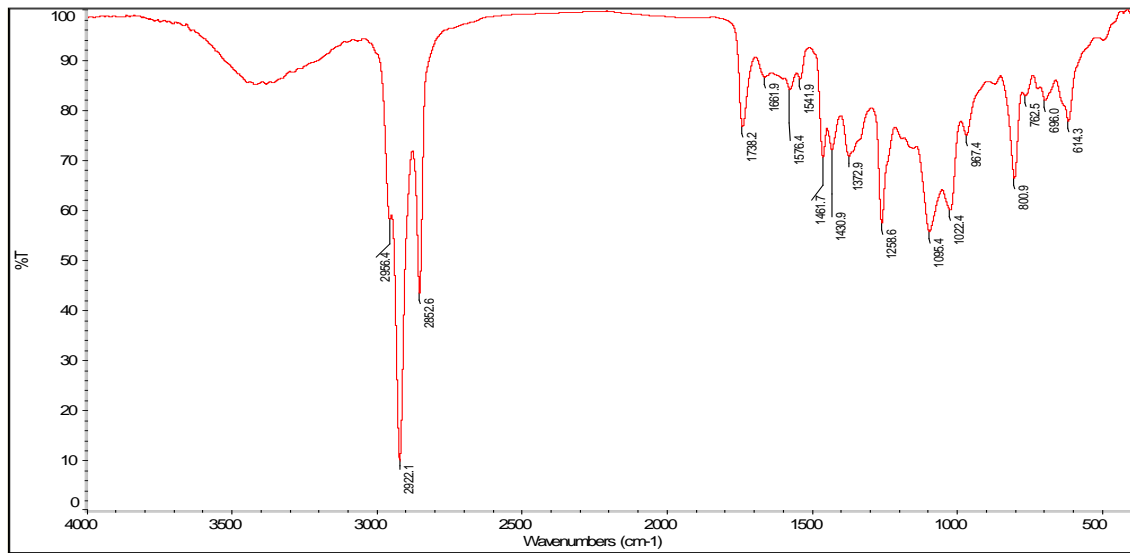


Figura N° 32 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente acetato de etilo puro y en interacción con el teflón a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

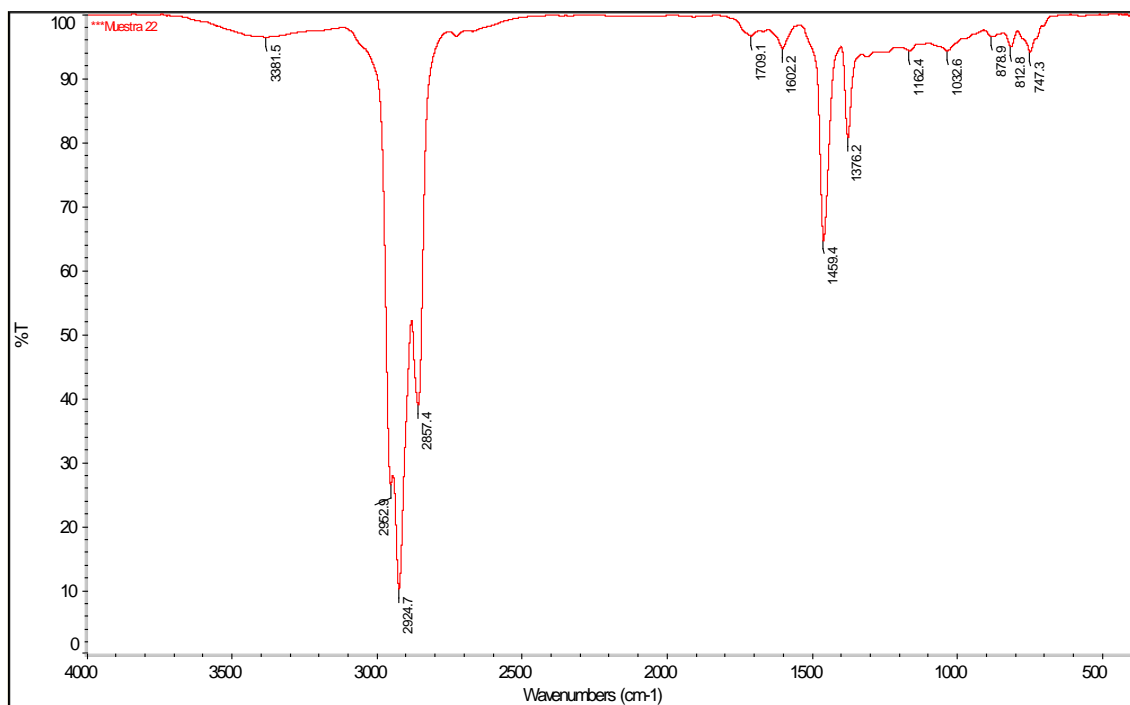


Figura N° 33 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente acetato de etilo puro y en interacción con el teflón a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

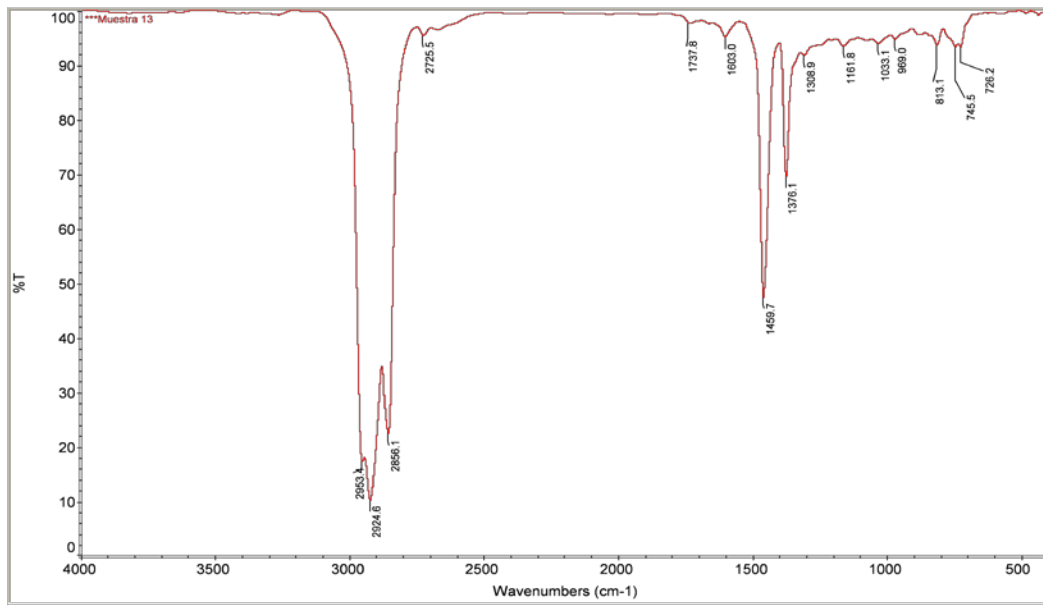


Figura N° 34 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente hexano puro y con interacción con el PVC para agua caliente a presión a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

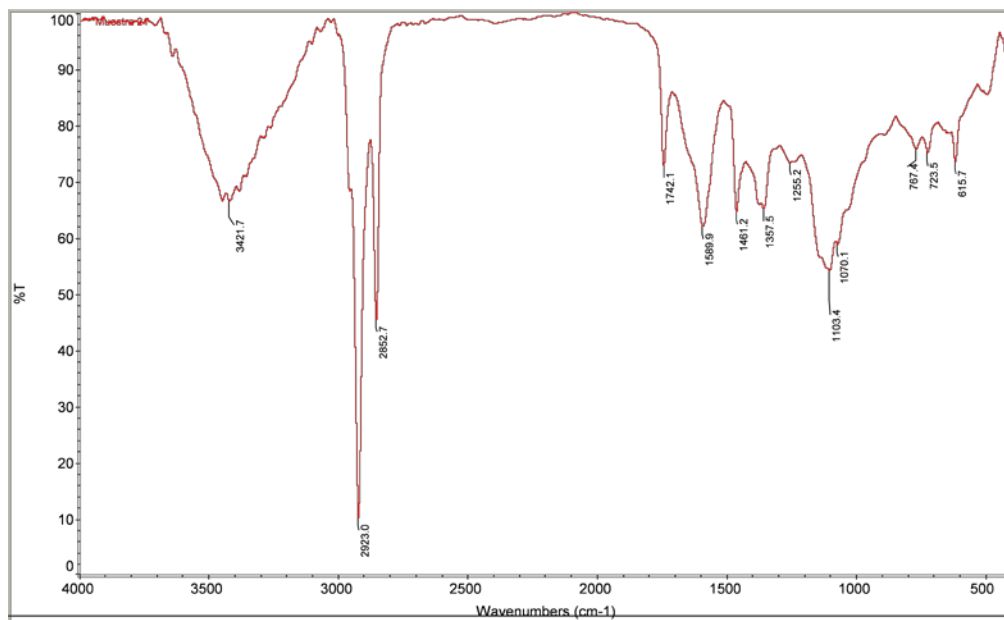


Figura N° 35 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente hexano puro y con interacción con el PVC para agua caliente a presión a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

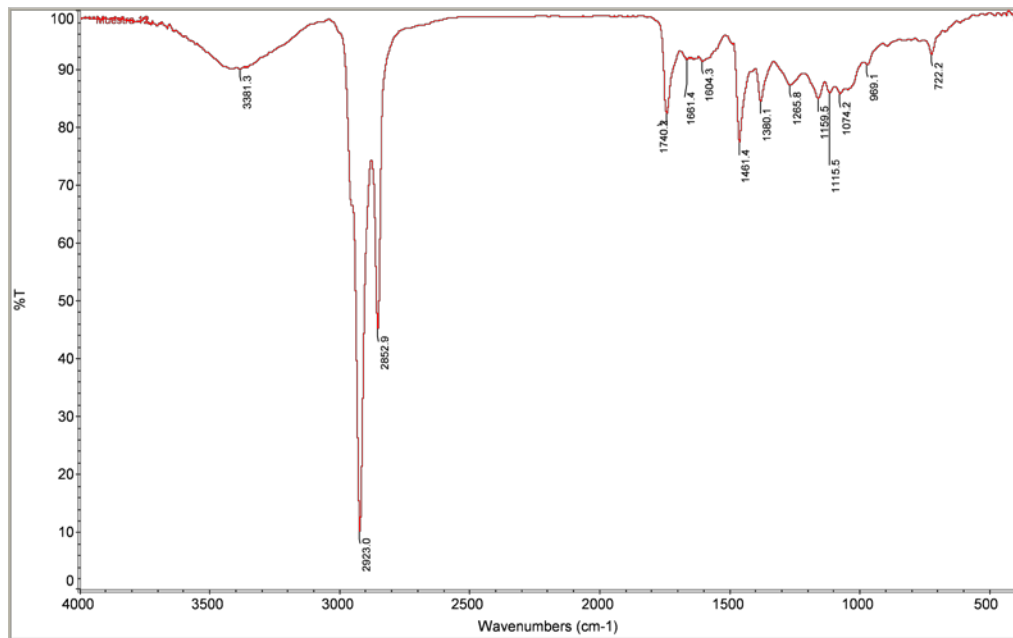


Figura N° 36 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente tolueno puro y con interacción con el teflón a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

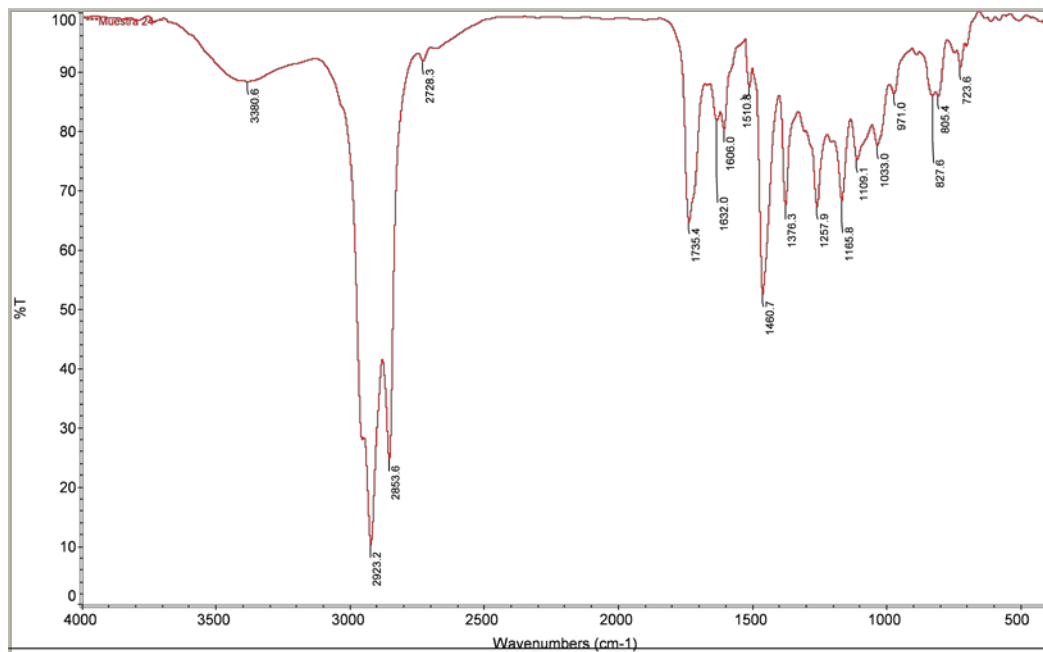


Figura N° 37 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente tolueno puro y con interacción con el teflón a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

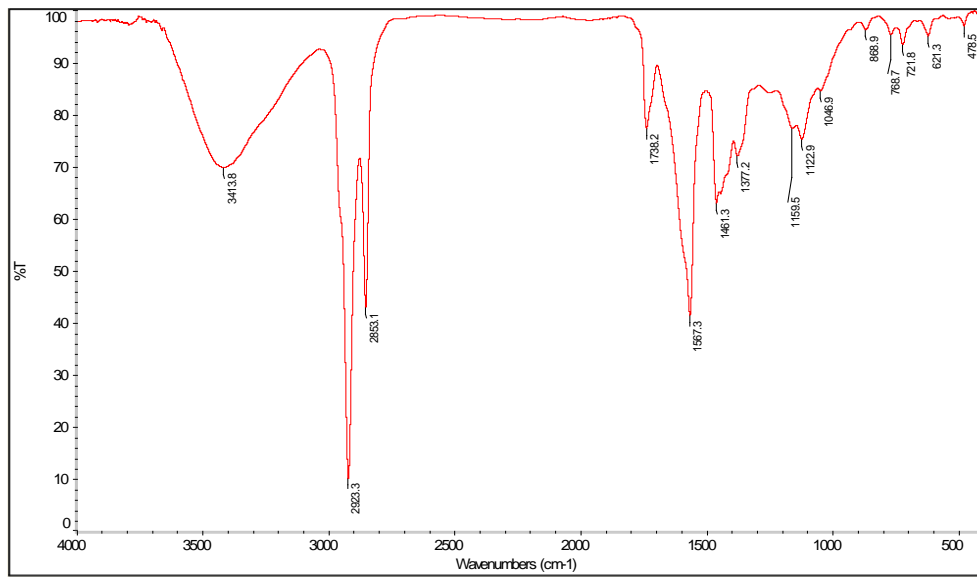


Figura N° 38 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a presión a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

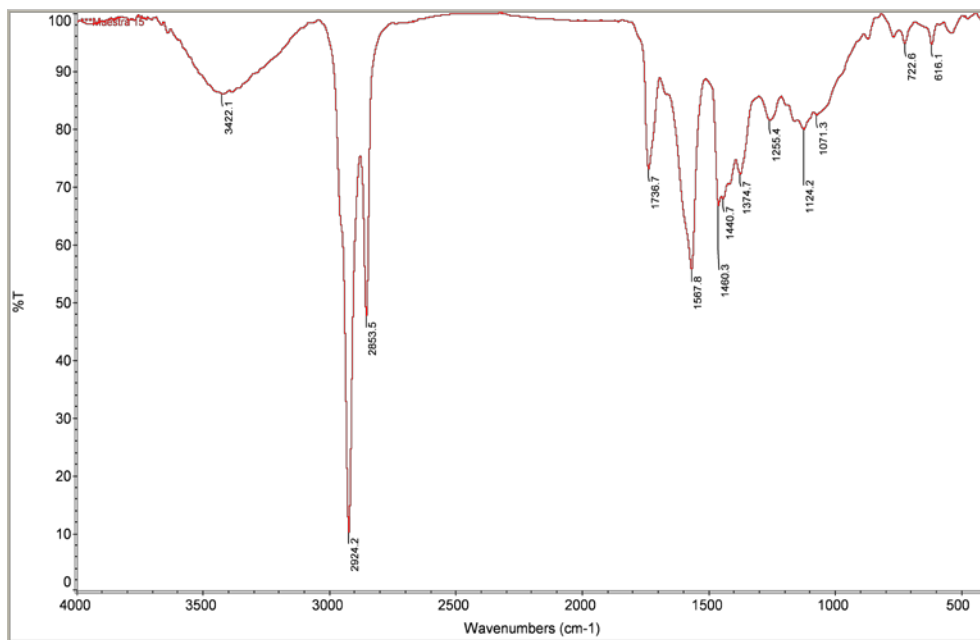


Figura N° 39 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua fría a condiciones trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

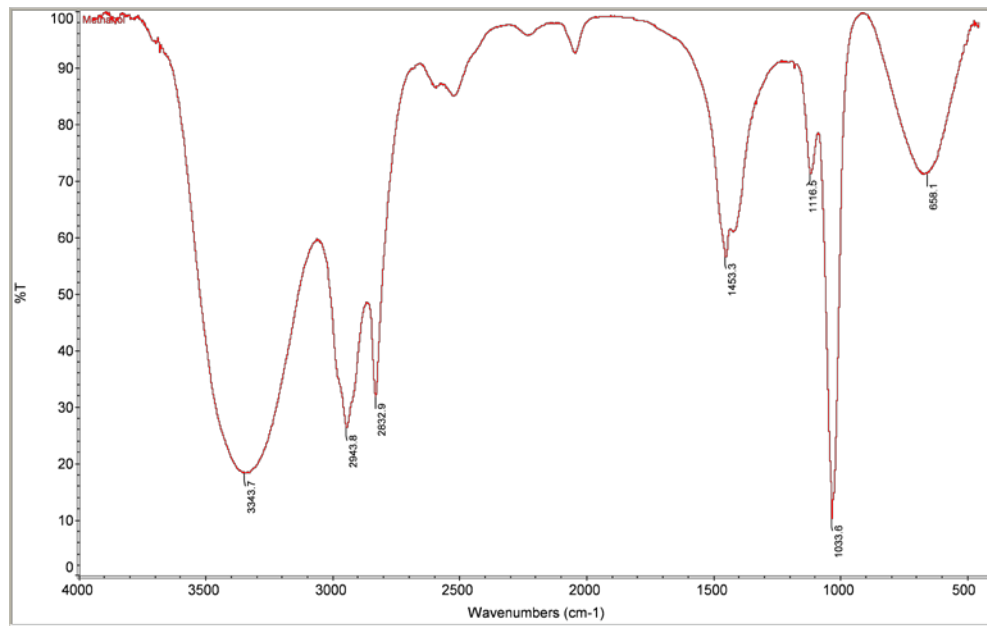


Figura N° 40 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con teflón a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

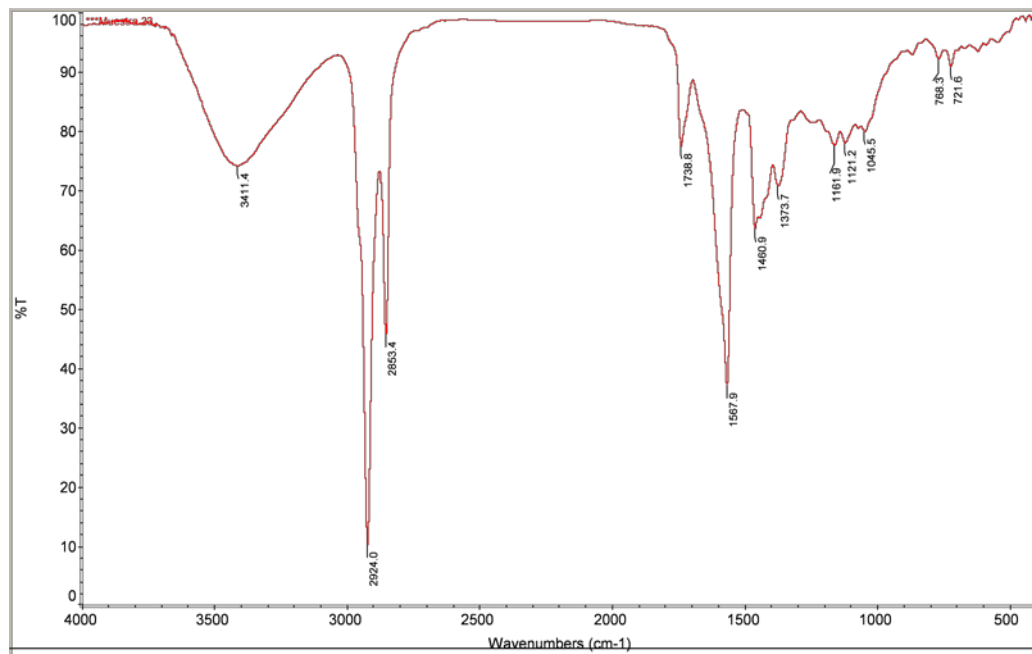


Figura N° 41 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a condiciones de trabajo (Fuente: Propia Elaboración).

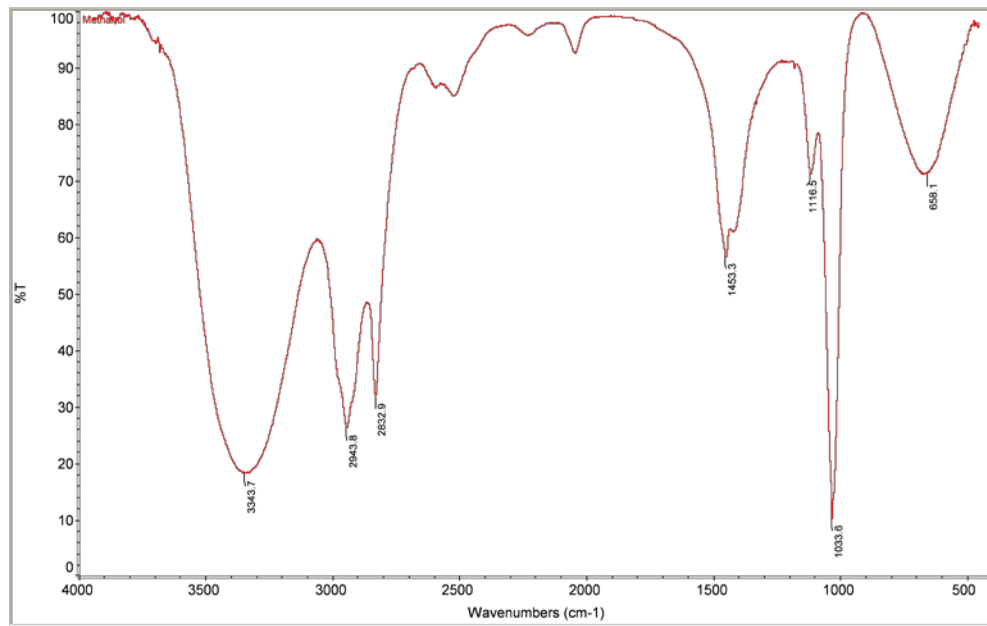


Figura N° 42 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con teflón a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

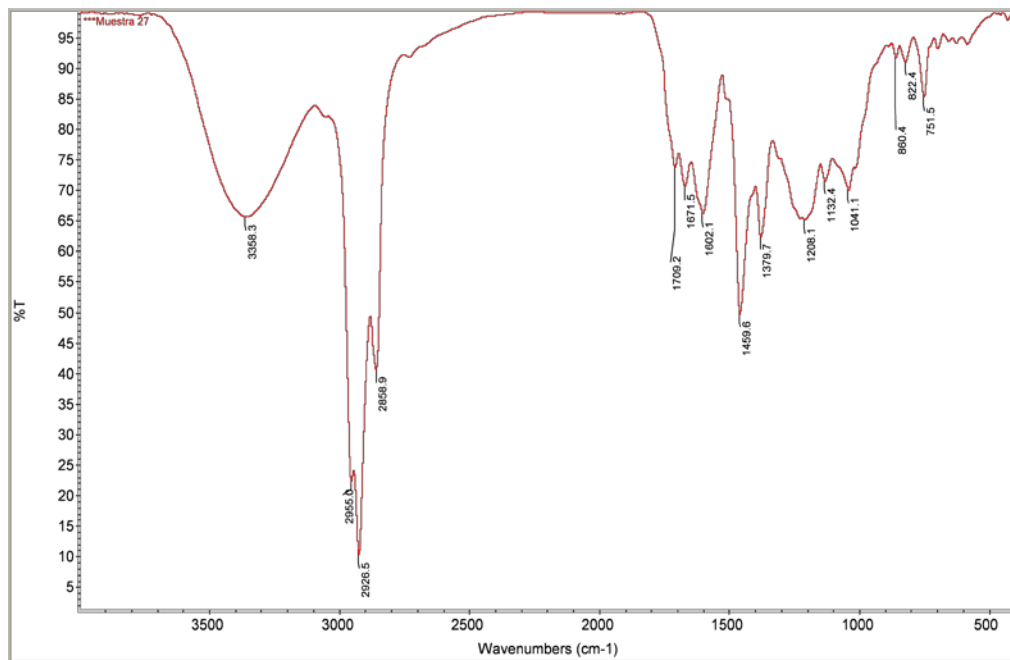


Figura N° 43 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

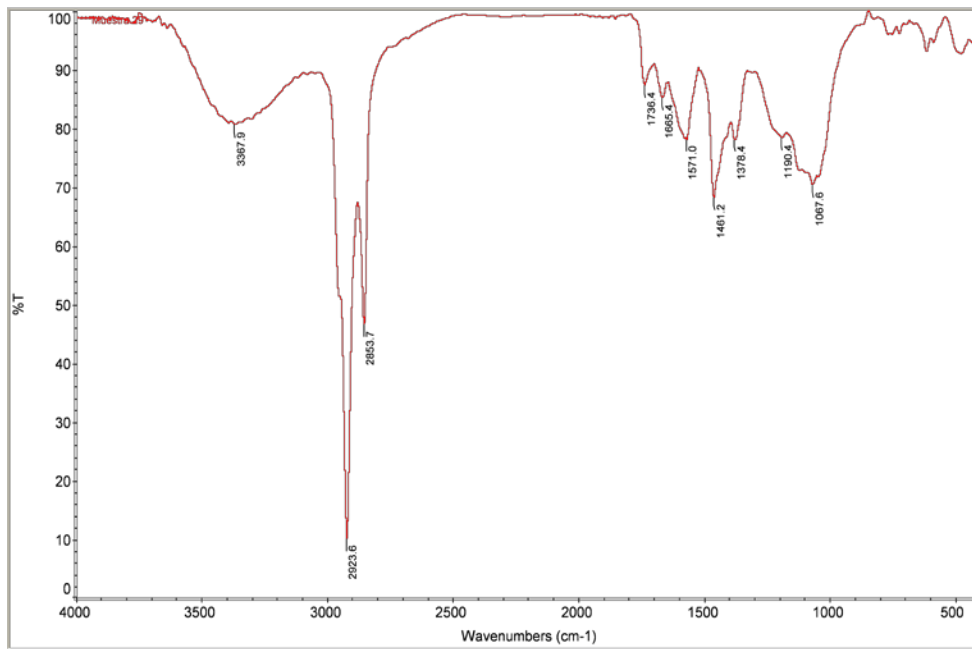


Figura N° 44 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua caliente a presión a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).

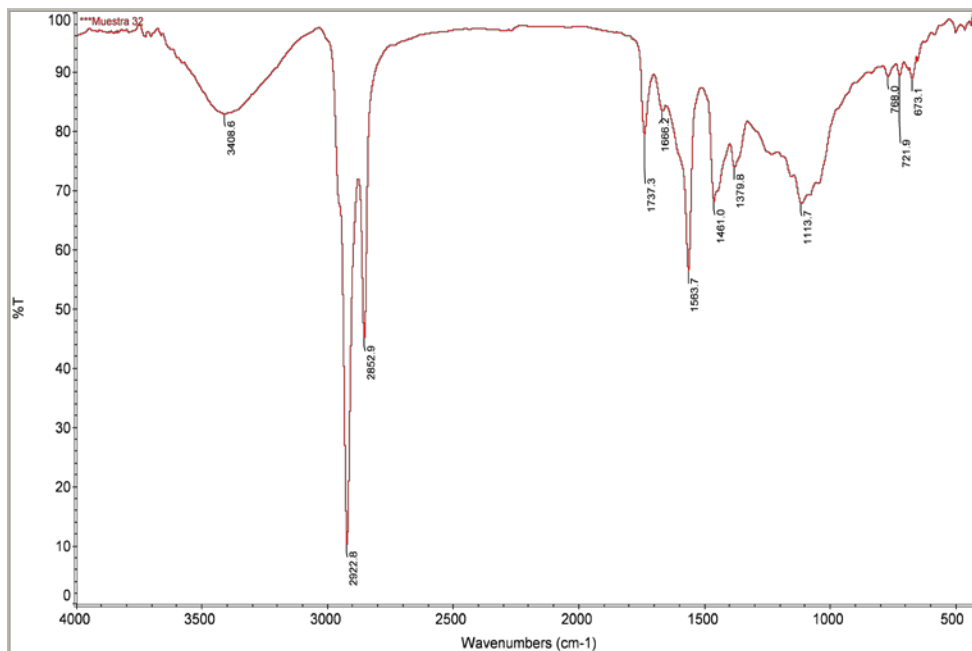


Figura N° 45 Espectro infrarrojo obtenido para el solvente etanol puro y con interacción con PVC agua fría a condiciones ambientales (Fuente: Propia Elaboración).