

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ALEJANDRO JAVIER ALEGRE REYES**

**DESARROLLO DE MÉTODO PARA EXTRACCIÓN HÍBRIDA DE ACEITES  
ESENCIALES Y DESHIDRATACIÓN HÍBRIDA DE ALIMENTOS POR MEDIO DE  
UN SUSCEPTOR DE MICROONDAS**

**URUGUAIANA  
2021**

**ALEJANDRO JAVIER ALEGRE REYES**

**DESARROLLO DE MÉTODO PARA EXTRACCIÓN HÍBRIDA DE ACEITES  
ESENCIALES Y DESHIDRATACIÓN HÍBRIDA DE ALIMENTOS POR MEDIO DE  
UN SUSCEPTOR DE MICROONDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Bioquímica.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Elton Luís Gasparotto Denardin

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Vanderlei Folmer

**URUGUAIANA  
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

R457d Reyes, Alejandro Alegre

Desarrollo de método para extracción híbrida de aceites esenciales y deshidratación híbrida de alimentos por medio de un susceptor de microondas / Alejandro Alegre Reyes

102 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pampa, MESTRADO EM BIOQUÍMICA, 2021.

“Orientador: Elton Luís Denardin”

1. Extracción Híbrida de aceites esenciales. 2. Deshidratación Híbrida de Alimentos. 3. Purificación de Agua. 4. Susceptor de Microondas. I. Título.

**ALEJANDRO JAVIER ALEGRE REYES**

**DESARROLLO DE MÉTODO PARA EXTRACCIÓN HÍBRIDA DE ACEITES  
ESENCIALES Y DESHIDRATAÇÃO HÍBRIDA DE ALIMENTOS POR MEDIO DE  
UN SUSCEPTOR DE MICROONDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Bioquímica.

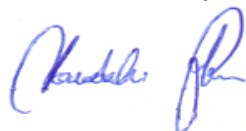
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: dia, mês e ano.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Elton Luís Gasparotto Denardin  
Orientador  
Examinador – Unipampa



---

Prof. Dr. Vanderlei Folmer  
Co - Orientador  
Examinador – Unipampa



---

Prof. Dr. Favero Reisdorfer Paula  
Examinador - Unipampa



---

Prof. Dr. Paulo Bayard Dias Gonçalves  
Examinador - Unipampa

Me gustaría dedicar este trabajo a Dios por ser tan presente y esencial en mi vida, el autor de mi destino y el guía que nunca me abandona.

Dedico también esta nueva conquista a mi esposa lanny por su amor, por su entrega y por su ejemplo de vida “en este mundo no existen barreras”.

A mi familia, especialmente a mis padres, Susana y Eduardo por creer en este proyecto de vida.

Y a mis hijas Sophia, Mariana y Javiera por su amor incondicional en cada segundo de vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, mi único salvador por permitirme comprender sus propósitos, interpretar sus señales por limpiar mi corazón, por su ayuda incondicional, gracias por aceptarme Señor. Amen!

A mis padres y hermanos, que me incentivaron en los momentos mas difíciles y comprendieron mi ausencia mientras me dedicaba a este trabajo.

A los amigos, que siempre estuvieran a mi lado, por su amistad incondicional y por su apoyo demostrado a lo largo de todo el tiempo..

A mis orientadores, profesor Elton, profesor Vanderlei que fueron muy importantes en la visión de este trabajo que con paciencia y dedicación conseguimos concluir.

A los profesores del programa de pós-graduación por su excelencia y enseñanzas que permitieron un mejor desarrollo en mi formación.

A la Universidade Federal do Pampa, esencial en mi proceso de formación, por su aporte de excelencia, y por todo lo que aprendí en estos años de curso.

A la CAPES por el aporte financiero a la investigación.

A todos los que participaron, directa o indirectamente en el desarrollo de este estudio.

Gracias a todos!

“Solo los que intentan lo absurdo pueden lograr lo imposible”.

Albert Einstein

## RESUMEN

Las metodologías tradicionales para la determinación de humedad, extracción de aceites esenciales o bien para destilar agua potable para fines de laboratorio, pueden realizarse sin inconvenientes a través de un equipamiento basado en tecnología de radiación electromagnética de microondas. Para aquello se dispuso de uno de origen doméstico el cual se modificó estructuralmente para conectarlo a un sistema de refrigeración unidos por un tubo conector de vapor cubierto con una protección metálica capaz de retener fugas de radiación, un aislante térmico para conservar la temperatura de traspaso cubierto por una delgada capa de aluminio. El uso de un susceptor de microondas (SM) fue clave para dos de los métodos en cuestión, deshidratación híbrida de alimentos y extracción híbrida de aceite esencial (DHA y EHAE), ya que absorbe una parte de la radiación electromagnética de la fuente emisora para disiparla en forma de calor, transformando este proceso de calentamiento en un mecanismo híbrido tanto para la extracción de aceites esenciales como para una deshidratación de alimentos. Entre otras consideraciones, para el método de deshidratación híbrida de alimentos (DHA), el uso de presión de vacío fue fundamental para favorecer la cinética y evitar el deterioro de la muestra por prolongadas exposiciones a microondas, a su vez la aplicación de una combinación de potencia y tiempo ayudó a conservar de mejor manera el color natural de la muestra en un total de 10 minutos en comparación con los 160 minutos para una deshidratación convencional. Para el método de extracción híbrida de aceite esencial (EHAE), la adaptación del concentrador favoreció en gran medida la visualización del aceite y la operación continua del proceso. Finalmente para el proceso de purificación de agua (PPA) es posible reducir de manera similar las concentraciones evaluadas en comparación con el equipo convencional pero además es altamente ventajoso en cuanto se refiere a materia prima y costo de operación.

Palabras clave: Deshidratación híbrida de Alimentos, Extracción híbrida de Aceite Esencial, Purificación de Agua, Susceptor de Microondas.



## RESUMO

As metodologias tradicionais para determinação de umidade, extração de óleos essenciais ou destilação de água potável para fins laboratoriais, podem ser realizadas sem inconvenientes por meio de equipamentos baseados em tecnologia de radiação eletromagnética de microondas. Para tanto, foi disponibilizada uma fonte doméstica que foi modificada estruturalmente para conectá-la a um sistema de refrigeração unido por um tubo conector de vapor coberto com uma proteção metálica capaz de reter vazamentos de radiação, um isolante térmico para preservar a temperatura de transferência coberta. Por uma fina camada de alumínio. O uso de um susceptor de microondas (SM) foi fundamental para dois dos métodos em questão, desidratação híbrida de alimentos e extração híbrida de óleo essencial (DHA e EHAE), pois absorve parte da radiação eletromagnética da fonte emissora para dissipar em forma de calor, transformando esse processo de aquecimento em um mecanismo híbrido tanto para a extração de óleos essenciais quanto para a desidratação de alimentos. Entre outras considerações, para o método híbrido de desidratação de alimentos (DHA), o uso de pressão a vácuo foi fundamental para promover a cinética e evitar a deterioração da amostra por exposições prolongadas a microondas, por sua vez, a aplicação de uma combinação de potência e tempo ajudou a preservar melhor a cor natural da amostra em um total de 10 minutos em comparação aos 160 minutos da desidratação convencional. Para o método de extração híbrida de óleo essencial (EHAE), a adaptação do concentrador favoreceu sobremaneira a visualização do óleo e a operação contínua do processo. Por fim, para o processo de purificação de água (PPA), é possível reduzir as concentrações avaliadas de forma semelhante ao equipamento convencional, mas também é altamente vantajoso em termos de matéria-prima e custo operacional.

Palavras-chave: Desidratação Híbrida de Alimentos, Extração Híbrida de Óleo Essencial, Purificação de Água, Susceptor de Microondas.

## ABSTRACT

The traditional methodologies for the determination of humidity, extraction of essential oils or to distill drinking water for laboratory purposes, can be carried out without problems through equipment based on microwave electromagnetic radiation technology. For that, a domestic source was available which was structurally modified to connect it to a refrigeration system joined by a steam connector tube covered with a metallic protection capable of retaining radiation leaks, a thermal insulator to preserve the covered transfer temperature. by a thin layer of aluminum. The use of a microwave susceptor (SM) was key for two of the methods in question, hybrid dehydration of foods and hybrid extraction of essential oil (DHA and EHAE), since it absorbs a part of the electromagnetic radiation of the emitting source to dissipate it in the form of heat, transforming this heating process into a hybrid mechanism both for the extraction of essential oils and for the dehydration of food. Among other considerations, for the hybrid food dehydration method (DHA), the use of vacuum pressure was essential to favor the kinetics and avoid deterioration of the sample due to prolonged exposures to microwaves, in turn the application of a combination of power and time helped to better preserve the natural color of the sample in a total of 10 minutes in compared to 160 minutes for conventional dehydration. For the essential oil hybrid extraction method (EHAE), the adaptation of the concentrator greatly favored the visualization of the oil and the continuous operation of the process. Finally, for the water purification process (PPA), it is possible to reduce the concentrations evaluated in a similar way compared to conventional equipment, but it is also highly advantageous in terms of raw material!and operating cost.

Keywords: Hybrid Food Dehydration, Hybrid Essential Oil Extraction, Water Purification, Microwave Susceptor.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representación de la onda en el equipamiento.....	19
Figura 2 – Campo eléctrico y magnético asociado a microondas.....	20
Figura 3 – Campo eléctrico y magnético asociado a microondas.....	21
Figura 4 – Relación presión de vapor vs temperatura.....	24
Figura 5 – Efecto de un campo eléctrico externo.....	25
Figura 6 – Interacción entre las microondas y diferentes materiales.....	28
Figura 7 – Estructura superficial del carbón.....	31
Figura 8 – Fenómenos de dispersión $\alpha$ , $\beta$ y $\gamma$ .....	36
Figura 9 – Cristal de SiO <sub>2</sub> a) organizado. b) en estado vítreo.....	39
Figura 10 – Descripción de los calentamientos estudiados.....	41
Figura 11 – Citrus Sinensis. a) exocarpo. b) mesocarpo. c) endocarpo.....	43
Figura 12 – Pardeamiento no Enzimatico.....	45
Figura 13 - Efecto de la $a_w$ sobre algunos procesos de degradación de un alimento.....	47
Figura 14 – Arduino UNO.....	51
Figura 15 – Pantalla Principal del IDE Arduino.....	51
Figura 16 – Identificación de métodos para microondas. ....	53
Figura 17 – Esquema del prototipo de microondas.....	54
Figura 18 – Identificación real en base a figura 17.....	55
Figura 19 – Diagrama de comparación metodológica en estudio.....	56
Figura 20 – Proceso de pulverización y tamizado.....	57
Figura 21 – Material utilizado, sobre Tamiz n°24.....	57
Figura 22 – Susceptores. a) Arena de río b) Carbón Activo <sup>1</sup> c) Mezcla 8:1 (Arena/C.Activo <sup>1</sup> ).....	58
Figura 23 – Registro del Proceso de calibración.....	58
Figura 24 – Muestra y Superficie de Contacto antes del Tratamiento.....	59
Figura 25 – Equipamiento de Actividad de Agua.....	63
Figura 26 – Puntos de Muestreo para el análisis Colorimetrico.....	64
Figura 27 – Integración arduino – panel de microondas.....	65
Figura 28 – Curva de Calibración del Microondas.....	66
Figura 29 – Comportamiento Térmico de la Arena de Río.....	68
Figura 30 – Comportamiento Térmico del Carbón Activo.....	69

Figura 31 – Comportamiento Térmico de la Mezcla ARCA.....	71
Figura 32 – Deshidratación Convencional.....	73
Figura 33 – Curva Deshidratación por Microondas .....	74
Figura 34 – Registro visual barrido de la deshidratación por microondas.....	76
Figura 35 – Curvas de Intensidad Colorimetrica.....	78
Figura 36 – Registro Visual Deshidratación Especial Híbrida.....	81
Figura 37 – Intensidad vs Longitud de onda del tratamiento especial.....	82

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – C. Dieléctrica y Tg de Disipación de Solventes y Sólidos.....	27
Tabla 2 – Muestras Encontradas, Illinois - USA .....	32
Tabla 3 – (%) Especies de Arena de Río Papaloapan, Veracruz-Mexico.....	32
Tabla 4 – Diferencia entre el Calentamiento Convencional y Microondas.....	40
Tabla 5 – Valores Medios para Parámetros Físico – Químicos del Río Uruguay ....	44
Tabla 6 – $a_w$ Mínima, Crecimiento, Producción y Toxinas de Hongos .....	48
Tabla 7 – Comparación de los Parámetros Físico-Químicos y Valores de las Definiciones de Calidad de Agua según ASTM, BSI, ISO y NC-ISO.....	50
Tabla 8 – Condiciones Para una Deshidratación Comparativa .....	60
Tabla 9 – Condiciones Para una Extracción Comparativa de Aceite Esencial .....	61
Tabla 10 – Condiciones Para Purificación de Agua.....	61
Tabla 11 – Relación entre Potencia Nominal y Potencia Absorbida por el Agua....	66
Tabla 12 – Indices Estadísticos en Función al Calor Disipado (Arena).....	68
Tabla 13 – Indices Estadísticos en Función del calor disipado (Carbón Activo).....	69
Tabla 14 – Indices Estadísticos en Función del Calor Disipado (ARCA).....	70
Tabla 15 – Desvío Patrón Deshidratación Convencional.....	72
Tabla 16 – Indices Estadísticos Deshidratación por Microondas.....	74
Tabla 17 – Deshidratación híbrida para Método Especial.....	80
Tabla 18 – Desvío Patrón para Método Especial .....	80
Tabla 19 – Desvío Patrón del Índice de Color.....	81
Tabla 20 – Eficiencia de Destilación a Presión Normal.....	83
Tabla 21 – Resultados del Proceso de Purificación de Agua.....	83
Tabla 22 – Indices Estadísticos del Proceso de Purificación de Agua.....	84
Tabla 23 – Desvío Patrón Extracción de aceite Esencial.....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

- HAF. – Horno de Aire Forzado
- HDS. – Hidrodestilación Simple
- PPM. – Proceso de purificación por microondas
- GAD. – Generador de Agua Destilada
- SM. – Susceptor de Microondas
- AR. – Arena de Río
- CA. – Carbón Activo
- ARCA. – Arena de Río y Carbón Activo
- DHA. – Deshidratación Híbrida de Alimentos
- 5-HMF. – 5-Hidroximetilfurfural
- EHAE. – Extracción Híbrida de Aceite Esencial
- DHCOI. – Digestión Híbrida de Compuestos Orgánicos e Inorgánicos
- AOAC – international. – Association of Official Analytical Chemistry
- PPA. – Proceso de Purificación de Agua
- PNE. – Pardeamiento no enzimático
- NMP/100mL. – Número más Probable por 100 ml
- VB. – Verde Brillante
- HPLC. – High Performance Liquid Chromatography
- CONAMA. – Conselho Nacional do Medio Ambiente
- PM. – Peso Molecular
- P. – Presión
- d. – Distancia
- PV. – Presión de Vacío
- H<sub>0</sub>. – Hipótesis Nula
- H<sub>1</sub>. – Hipótesis Alterna

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\tilde{\nu}$ . – Numero de onda

$c$ . – Velocidad de la luz

$\lambda$ . – Longitud de onda

$\mu$ . – Indicador de Polaridad

$\epsilon'$ . – Constante Dieléctrica

$\epsilon''$ . – Pérdida Dieléctrica

$\tan \delta$ . – Factor de Pérdidas

$a_w$ . – Actividad de Agua

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>CONCEPTOS GENERALES Y REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>19</b>
2.1	Fundamento a la tecnología de Microondas	19
2.1.1	Radiación Electromagnética	20
2.2	Factores que Influyen con Microondas	22
2.2.1	Potencia	22
2.2.2	Tiempo	23
2.2.3	Presión	23
2.2.4	Matriz del Alimento	24
2.2.5	Fenómenos Dieléctricos	24
2.2.6	Tipos de Materiales	27
2.2.6.1	Suceptores de Microondas	28
2.2.6.1.1	Grupos Funcionales mas Susceptibles a la Absorción de Microondas	29
2.2.6.1.2	Carbón Activo	30
2.2.6.1.3	Arena de Río	31
2.3	Espectrofotometria	32
2.3.1	Interacciones entre Sistemas y Flujo de Fotones	33
2.3.2	Mecanismos Dieléctricos	34
2.3.2.1	Fenomenos de Relajación en el Espectro de Radiofrecuencias y Microondas	35
2.3.2.2	Estado Vítreo	37
2.4	Diferencias en el Calentamiento Convencional – Microondas – Híbrido	40
2.4.1	Clentamiento Convencional vs Híbrido	40
2.4.2	Calentamiento Híbrido	40
2.5	Materia Prima, Procesos y Métodos en Estudio	42

2.5.1	Materia Prima.....	42
2.5.1.1	Naranja ( <i>Sitrus x Sinensis</i> ).....	42
2.5.1.2	Agua Potable.....	43
3.5.1.3	Agua Río Uruguay.....	43
2.5.2	Deshidratación de Alimentos.....	44
2.5.2.1	Pardeamiento no Enzimático.....	45
2.5.2.2	Humedad y Actividad de Agua.....	45
2.5.3	Extracción de Aceite Esencial.....	48
2.5.4	Purificación de Agua.....	49
2.6	Introducción Arduino UNO.....	50
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>52</b>
3.1	Objetivo General.....	52
3.2	Objetivos Específicos.....	52
<b>4</b>	<b>MATERIALES Y DESARROLLO DEL MÉTODO.....</b>	<b>53</b>
4.1	Diseño Conceptual del Equipo.....	53
4.2	Prototipo.....	53
4.3	Comparación de Equipos.....	55
4.4	Preparación del Susceptor.....	56
4.5	Preparación de la Curva de Calibración de Microondas.....	58
4.6	Materia Prima.....	59
4.6.1	Condiciones para la Deshidratación de Alimentos.....	60
4.6.2	Condiciones para la Extracción de Aceite Esencial.....	60
4.6.3	Condiciones para la Purificación de Agua.....	61
4.6.3.1	Evaluación del pH.....	61
4.6.3.2	Evaluación de la Turbidez.....	62
4.6.3.3	Evaluación de la Conductividad.....	62
4.6.3.4	Evaluación de la Dureza y Alcalinidad Total.....	62



4.7	Análisis de Actividad de Agua.....	63
4.8	Colorimetría de Smartphone.....	63
4.9	Integración Placa Arduino – Panel de Microondas.....	64
4.9.1	Programación del Método DHA, 70% /2min + 30% /8min.....	65
4.10	Análisis Estadístico.....	65
<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
5.1	Curva de Calibración.....	66
5.2	Análisis de Susceptores.....	67
5.2.1	Arena de Río.....	67
5.2.2	Carbón Activo.....	69
5.2.3	Mezcla Arena de Río / Carbón Activo.....	70
5.3	Deshidratación de Alimentos.....	72
5.3.1	Evaluación Convencional.....	72
5.3.2	Evaluación del Equipo Propuesto y Pruebas Descriptivas.....	73
5.3.2.1	Colorimetría Descriptiva Para DHA.....	76
5.3.3	Evaluación Híbrida.....	79
5.3.3.1	Colorimetría y Tratamiento Especial de la Muestra, Método DHA.....	81
5.4	Purificación de Agua.....	82
5.5	Extracción de Aceite Esencial.....	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO I.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO II.....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los métodos tradicionales son demorados o de alto consumo energético, a raíz de esto “varios autores informan que las industrias necesitan una optimización del tiempo para obtener sus productos, así como para llevar a cabo análisis de control de calidad” (MARTINS et al. 2018 p.2; DOMENICO et al. 2017; RAPONI et al. 2017; Omolola et al. 2015). Respecto a esto, la necesidad de aplicar mejoras a procesos convencionales o simplemente el reemplazo total por otra tecnología, se puede analizar técnica y económicamente para predecir de alguna manera la viabilidad de un proyecto.

Basándose en la necesidad de optimizar técnicas convencionales que justifiquen el propósito de esta investigación fue necesario recopilar algunos antecedentes teóricos y prácticos importantes que dieran soporte a un punto de partida, como por ejemplo, una deshidratación convencional basado en el método del instituto adolfo lutz puede llegar a demorar 3 horas, una extracción convencional de aceite esencial puede tomar unas 2 horas y un proceso convencional de purificación de agua potable para fines de laboratorio, puede consumir hasta 30 litros de agua para producir 750cm<sup>3</sup> de agua destilada. A raíz de esto, la necesidad de elaborar una técnica capaz de mejorar de manera significativa, rapidez y calidad de un producto y mas aún ser una posibilidad de prototipo industrial, se torna un desafío altamente ejecutable con las herramientas actualmente disponibles de hoy en día .

Si bien el equipamiento que se propone engloba una técnica innovadora para sus diferentes métodos descritos, deshidratación híbrida de alimentos (DHA) en función de un susceptor de microondas (SM), extracción híbrida de aceite esencial (EHAE) en base a un susceptor de microondas (SM) y un proceso de purificación de agua (PPA) basado en irradiación directa de microondas. Todas juntas convergen en la generación de altas temperaturas debido a la absorción de estas ondas electromagnéticas.

Todos los materiales susceptores del mas diverso tipo pueden diferenciarse a partir de la constante dieléctrica y tangente de disipación y hacen parte desde el recipiente contenedor hasta la muestra con fines analíticos.

En la práctica el susceptor de microondas absorbe una parte de esa energía electromagnética transformándola en calor, aportandola al sistema para trabajar en

conjunto con la energía directa que emite la fuente. Este proceso es denominado calentamiento híbrido y fue puesto a prueba para los métodos propuestos DHA y EHAE donde en cada uno la función del susceptor de microondas tiene objetivos diferentes. Para el método DHA el susceptor ayuda a controlar el alto poder deshidratador de las microondas para conservar de buena forma texturas originales del alimento y el método DHAE el susceptor actúa como segunda fuente de calor con el objeto de aumentar el rendimiento. Se trabajó con dos tipos de susceptores: arena de río (AR) y carbón activo (CA), ambos muy diferentes en función a su tangente de disipación, se evaluó la generación de calor por grado de potencia irradiado de manera independiente AR y CA y otra en razón de 8:1 entre arena de río y carbón activo (ARCA), resolviendo utilizar carbón activo para el método EHAE y la mezcla ARCA para el método DHA.

El uso de presión de vacío fue considerado para ser aplicado al método de DHA para acelerar la deshidratación y como consecuencia reducir deterioros y tiempos de exposición de la muestra a la irradiación de microondas.

Todas las aplicaciones anteriores son consecuencia de la implementación de este equipamiento basado en los tres métodos vistos. El cual consta de un reactor estándar de microondas (doméstico), un sistema de refrigeración acoplado a un rotor de homogenización, ambas estructuras unidas por un tubo conductor de vapor de diseñado de acuerdo a la longitud de separación. Este tubo se cubrió con un material opaco como protección de fugas de radiación y sobre ella una espuma polimérica para evitar pérdidas térmicas. Para el proceso de EHAE se diseñó y adaptó un sistema concentrador de aceites para trabajar en condiciones normales y para DHA se diseñó y adaptó un sistema recolector de deshidratados para trabajar a presión de vacío. Finalmente y para cerrar una primera etapa en la proyección de este prototipo se adaptó un micro-controlador arduino a un panel táctil de microondas de iguales características de funcionamiento con el propósito de grabar y dar funcionamiento a métodos más complejos como el de la deshidratación de la cascara de naranja a través de un control remoto.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

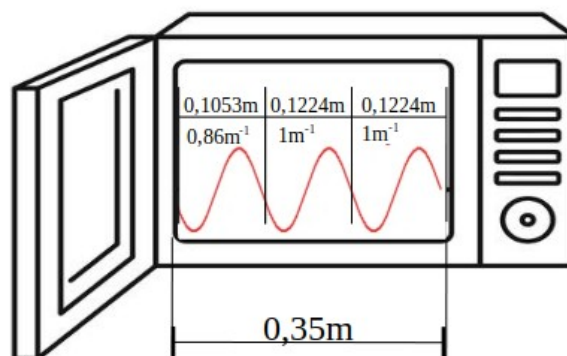
### 2.1 Fundamentos a la Tecnología de microondas

El interés de varios científicos en aprovechar la tecnología del horno de microondas inventado por el norteamericano Percy Spencer quien en 1945 realiza sus primeras pruebas con alimentos para luego lanzarlo al mercado en 1947, generó tal curiosidad que ya hay “más de 43.750 publicaciones sobre reacciones asistidas por microondas desde 1986 hasta 2016” (ESTEL, 2017. p.56). Estos hornos de microondas si bien su tecnología es la misma hasta los días de hoy, se componen básicamente de un condensador con capacidad para almacenar 2100V, un transformador de bobina doble (220V / 2000V), una caja metálica para contener la radiación y “un dispositivo de tubo de vacío llamado magnetrón” (MITANI, 2019, p.2; SILVAN, 1994), diseñado para generar  $2,45 \times 10^9$  ondas por segundo a 4000V de tensión (JERBY, 2006. p.2). En la figura 1, se puede representar que desde la antena hacia la pared metálica del reactor hay una  $d=0,35\text{m}$ ,  $\tilde{\nu}=2,86 \text{ m}^{-1}$  ondas y una longitud de onda de  $\lambda=0,1224 \text{ m}$ . La ecuación 1 nos entrega el valor de la longitud de onda y la ecuación 2 el número de onda, ( $v=3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ;  $f=2,45 \text{ GHz}$ ).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Figura 1: Representación de la onda en el equipamiento



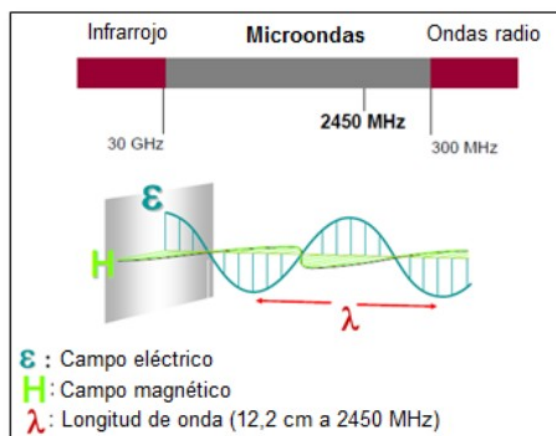
Fuente: Autor

### 2.1.1. Radiación Electromagnética

La energía de microondas posee un bajo contenido energético en sus fotones (0.03 kcal/mol), la cual al ser comparada con la energía de los enlaces químicos, que va de un intervalo de 20 a 80 kcal/mol se considera relativamente baja, en consecuencia, las microondas no podrían afectar directamente la estructura molecular. Por lo tanto, el efecto de la excitación de las moléculas por las microondas es puramente incremento de la energía cinética. (CORREA, 2011. p.7). Las ondas de microondas son radiaciones electromagnéticas cuya frecuencia oscila entre 300 MHz y 300 GHz, correspondientes a longitudes de onda de 1 mm a 1 m (RIBEIRO, 2018. p.45; TADINI et al., 2016), es una energía no ionizante, es decir, no afecta los enlaces químicos ni provoca cambios moleculares por la eliminación de electrones (RIBEIRO, 2018. p.45; LIEW et al., 2016).

Son el resultado de la acción de dos campos perpendiculares: campo eléctrico y campo magnético representada en la figura 2. En particular las microondas, actúan sobre las moléculas del material que se exponen a ellas a través de dos mecanismos: rotación di-polar y conducción iónica (RIBEIRO, 2018. p.45; LETELIER; BUDZINSKI; 1999). Estos mecanismos se encargan de calentar el material convirtiendo la energía electromagnética en calor.

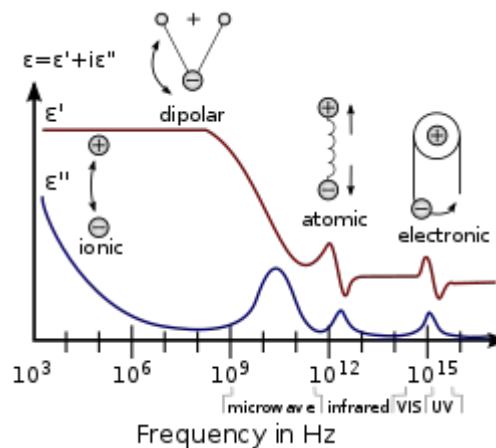
Figura 2: Campo eléctrico y magnético asociado a microondas.



Fuente: Tesis, (Galindo, 2016)

Según Tadini et al. (2016), la rotación dipolar ocurre por la aplicación de un campo eléctrico que promueve el alineamiento de moléculas con momento dipolar y, cuando estas moléculas regresan al estado desordenado, la energía que fue absorbida durante su alineamiento se disipa en forma de calor (RIBEIRO, 2018. p.45). Este proceso de alineación y relajación de tipo alternada de las moléculas ocurre dos mil cuatrocientos cincuenta millones de veces por segundo ( $2,45 \times 10^9 \text{ Hz}$ ), generando calor a través de la fricción molecular. La figura 3, muestra las moléculas polares antes y después de ser sometidas a un campo eléctrico. Este fenómeno tiene lugar en materiales como el agua, polímeros y aceites.

Figura 3: Fenómenos responsables del calentamiento de los materiales cuando son sometidos a las microondas.



Fuente: Wikipedia (acceso: 23/01/2021)

Por otro lado los iones se mueven como respuesta a un campo eléctrico. Los iones están eléctricamente cargados y reciben energía cinética suministrada por el campo eléctrico. Los iones chocan entre sí, convirtiendo la energía cinética en calor. El número de colisiones aumenta a medida que aumenta la frecuencia, incrementando la temperatura del material. Este fenómeno tiene lugar en los sólidos iónicos como: NaCl, MgO, etc. (GALINDO, 2016. p.33). De una manera similar, sucede cuando colocamos a prueba una misma frecuencia pero a potencias en puntos extremos, por ejemplo, la fuerza de la radiación electromagnética de un microonda a una potencia nominal de 1200 watt (100%) calentará 10 veces más que

a una potencia de 120 watt (10%). Un router Wi-Fi standar de 2,45GHz usado para transferencia de datos de internet, irradia ondas electromagneticas de microondas a una potencia de 100mw esto como consecuencia trae una baja energía cinética haciendo que las colisiones entre iones del aire y rotaciones polares se produzcan de una manera debil.

## **2.2 Factores que influyen con microondas**

Los métodos descritos basados en la asistencia por microondas, deshidratación de alimentos, extracción de aceites esenciales y procesos de purificación de agua convergen en cuatro factores de tipo general, potencia, tiempo, presión, y estado de la matriz del alimento.

### **2.2.1 Potencia**

Este factor está directamente relacionado con el aumento de temperatura de la matriz vegetal y el alcance del punto de ebullición. De esta manera, las altas temperaturas contribuyen al aumento del rendimiento y mejoran la eficiencia de extracción (RIBEIRO, 2018. p48; WANG; WELLER, 2006) la cinética de deshidratación y la cinética de purificación de agua. Sin embargo, temperaturas y potencias más altas también pueden resultar en la degradación de compuestos termosensibles, lo que perjudica la calidad del aceite recuperado (RIBEIRO, 2018. p.48; WANG; WELLER, 2006; CHEMAT; CRAVOTTO, 2013).

Por su parte un deshidratado rápido puede conducir a una reacción de maillard ya que se desarrolla durante los procesos de tostado, horneado y grillado de los alimentos, pudiendo también ser inducidas por un reactor de microondas según los trabajos de (XIAO et, al. 2019 p. 3) Así, la combinación de potencias bajas o moderadas con mayor tiempo de exposición puede resultar más eficiente, pues a niveles de potencia menores, la ruptura de la pared celular se produce de forma paulatina y provoca menos daño a los componentes de la matriz vegetal. Por su parte combinar altas potencias en cortos periodos y bajas potencias en un periodo de tiempo mayor asegura deshidrataciones mas controladas.

### 2.2.2 Tiempo

El tiempo de extracción es una variable importante a estudiar en el proceso de extracción asistida por microondas (RIBEIRO, 2018. p.48; MANDAL; MOHAN; HEMALATHA, 2007; CHEMAT; CRAVOTTO, 2013). Esta variable tiende a presentar una condición ideal, ya que tiempos de extracción muy cortos no favorecen la extracción completa del aceite esencial y tiempos de extracción largos pueden provocar la degradación de los constituyentes del aceite (RIBEIRO, 2018. p.45; MANDAL; MOHAN; HEMALATHA, 2007; SUI et al. , 2012). A su vez tiempos de deshidratación prolongados apuntan a efectos no deseados como el pardeamiento no enzimático que son “un conjunto de reacciones muy complejas que conducen en diversos alimentos a la formación de pigmentos pardos y negros (melanoidinas) y a modificaciones favorables o no del olor y sabor” (BRUMOVSKY, 2017 p. 3)

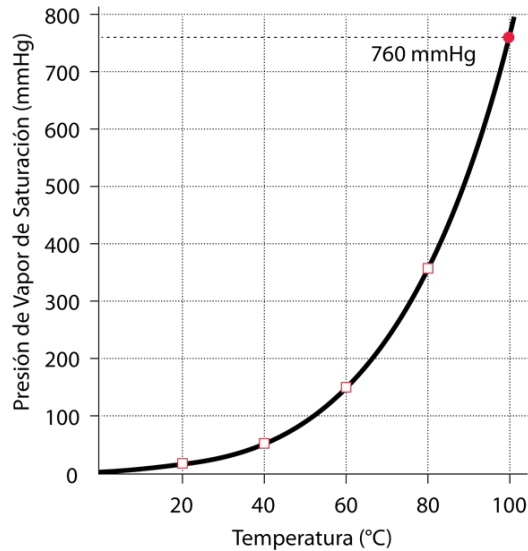
En los procesos que son asistidos por microondas, existe una variable tiempo llamada tiempo de inducción y se califica como el tiempo necesario para alcanzar el punto de ebullición de un líquido. Estudiar cómo se comporta el tiempo de inducción en el proceso es importante porque, al reducirlo, también se reduce el tiempo total de extracción (RIBEIRO, 2018. p.48; GOLMAKANI et al., 2017), deshidratación y el tiempo para purificar agua.

### 2.2.3. Presión

Considerar el efecto de la presión para los métodos utilizados fue determinante para re-evaluar el factor tiempo considerado anteriormente, según la figura 4, la presión de vapor de agua a presión normal, 760mmHg el agua ebulle a 100°C mientras que la modificación de esta a una presión de vacío de 130mmHg la nueva temperatura de ebullición sería de 53,4°C, este efecto modifica la atmósfera del sistema tornando a las partículas mas livianas logrando que los métodos (DHA) Y (EHAE) disminuyan el tiempo de residencia, evita las altas temperaturas de exposición del producto e impide la descomposición de sustancias sensibles al calor (DIAZ; OROZCO, 2018 p. 5).



Figura 4: Relación presión de vapor vs temperatura.



Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu> (acceso: 23/01/2021)

#### 2.2.4 Matriz del Alimento

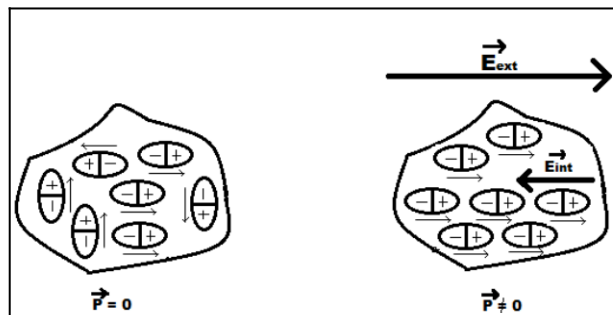
Para los métodos utilizados DHA y EHAE, dos características de la matriz del alimento son importantes: tamaño de partícula y contenido de humedad. La reducción del tamaño de las partículas de la muestra promueve un aumento de la superficie de contacto y una mayor absorción de ondas electromagnéticas (RIBEIRO, 2018. p.52; CHEMAT; CRAVOTTO, 2013; FRANCO-VEGA et al., 2016). En cuanto al contenido de humedad, las muestras húmedas permiten una mayor interacción entre las ondas de microondas y las moléculas de agua, resultando en un rápido calentamiento, ruptura de la pared celular y liberación de aceite esencial (RIBEIRO, 2018. p.52; LETELLIER; BUDZINSKI, 1999; CAMEL, 2000; CHÁVEZ, 2007; CHEMAT; CRAVOTTO, 2013).

#### 2.2.5. Fenómenos Dieléctricos

Los materiales se componen normalmente de partículas con carga eléctrica dispuestas de tal modo que cualquier región macroscópica del material es eléctricamente neutra. Cuando se aplica un campo eléctrico externo sobre el

material (que es un componente de la radiación electromagnética de microondas), dicho campo actúa ejerciendo una fuerza sobre cada carga individual, y la desplaza ligeramente de su posición de equilibrio anterior, haciendo que el material adquiera una determinada polarización, figura 5. La polarización adquirida compensa en parte el campo eléctrico del exterior, haciendo que aparezca un campo eléctrico en el interior del material (HERNANDEZ, 2014. p.12).

Figura 5: Efecto de un campo eléctrico externo.



Fuente: Hernandez, 2014. Momento dipolar ( $P$ ) adquirido por el alineamiento de los dipolos en un material ante la presencia de un campo eléctrico externo

Las propiedades dieléctricas determinan, de forma macroscópica, la interacción de la energía electromagnética con los materiales (HERNANDEZ, 2014. p.12; METAXAS; MEREDITH, 1983). La propiedad dieléctrica más utilizada es la permitividad del material. Ésta describe como se propagan las ondas electromagnéticas a través de él, la reflexión de las ondas desde la superficie del material y la atenuación de la energía al atravesarlo (HERNANDEZ, 2014. p.12; NELSON, 1983).

El calentamiento por microondas o calentamiento dieléctrico como también se le conoce, se genera uniformemente dentro de la matriz en dirección a su superficie. En el calentamiento dieléctrico dos propiedades físicas son evidentes cuando el material es expuesto a esta radiación: la constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) y el factor de disipación ( $\tan\delta$ ). La constante dieléctrica corresponde a la capacidad de una molécula ser polarizada por un campo eléctrico o la capacidad de absorber energía de las microondas (RIBEIRO, 2018. p.45; OLETELLIER; BUDZINSKI; 1999; CAMEL, 2000; MANDAL; MOHAN; HEMALATHA; 2007). El factor de disipación ( $\tan\delta$ ),

expresada por la ecuación 3 representa la eficiencia del material en disipar la energía electromagnética que es convertida en calor (RIBEIRO, 2018. p.46; OLETELLIER; BUDZINSKI; 1999; CAMEL; 2000; MANDAL; MOHAN; HEMALATHA; 2007; TADINI; 2016). En otras palabras, cuanto mayor sea el valor del factor de pérdida o del ángulo de pérdida ( $\tan \delta$ ), mayor será el calentamiento dieléctrico de un material bajo irradiación de microondas. Generalmente, los disolventes se clasifican en alta ( $\tan \delta > 0,5$ ), media ( $\tan \delta 0,1 - 0,5$ ) y baja absorción de microondas ( $\tan \delta < 0,1$ ). (RANA, 2014.p.4)

$$(\tan \delta) = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (3)$$

Donde,  $\varepsilon''$  corresponde a la pérdida dieléctrica que indica la eficiencia de la conversión de energía de microondas en calor y  $\varepsilon'$  corresponde a la constante dieléctrica.

El mínimo valor de  $\varepsilon''$  es 0, que corresponde a un medio sin pérdidas. Las pérdidas del material incluyen dos efectos: el efecto de pérdidas debidas a la rotación dipolar y el efecto de pérdidas provocado por el movimiento de los iones libres (conductividad iónica). Ambos términos se agrupan, en  $\varepsilon''$  (HERNANDEZ, 2014. p.13). En la tabla 1 se pueden apreciar algunas constantes dieléctricas ( $\varepsilon'$ ) y tangente de perdidas ( $\tan \delta$ ) para ayudar entender la naturaleza de este fenómeno que envuelve la absorción de microondas y disipación de calor.

Estas propiedades ( $\varepsilon''$ ), ( $\varepsilon'$ ) y ( $\tan \delta$ ) son fundamentales en la eficiencia de todos los métodos por ver en esta investigación (microondas), ya que influyen en el calentamiento del solvente hasta el punto de ebullición, contribuyendo también a la ocurrencia de una extracción por solvente caliente (RIBEIRO, 2018. p.46; LETELLIER; BUDZINSKI; 1999), en función también a la cantidad de agua libre en una deshidratación de alimentos y lógicamente, para procesos de purificación de agua.

Tabla 1: C. Dieléctrica y Tg de Disipación de Solventes y Sólidos

Material	Constante Dieléctrica $\epsilon' ^a$	Tan $\delta$ $\times 10^{-3}$
Agua	80,0	157,00
Metanol	32,6	-
Silicio	11-12	5-15
Oxido de Calcio	11,8	-
Oxido de Manganeso	9,7	-
Oxido de Aluminio	8,8	0,60
Porcelana	6,0	14,00
Carbón Activo <sup>1</sup>	5,9	570 – 800
Vidrio	4-7	2,00
Dióxido de Silicio	4,5	-
Oxido de Fierro	4,2	-
Vidrio Pyrex	4,0	0,60
Cuarzo	3,8	0,75
Arena	3-5	-
Polietileno	2,3	0,20
Limoneno	2,3	-
Teflón	2,1	0,30
Ácido Ascórbico	2,1	-
Vacío	1,0	-

a: 20°C; 1: Origen de coco. Fuente: Rana, 2014.p.5; Shkal, 2018. p.119;

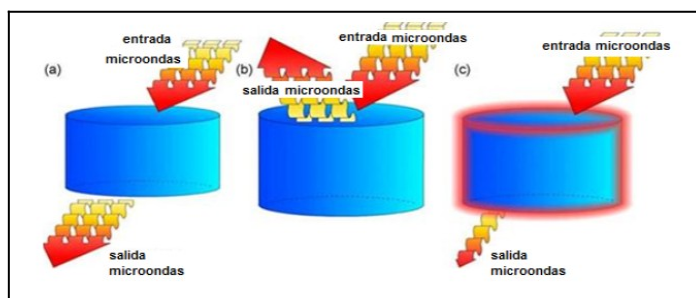
<https://www.rfcafe.com> (23-01-2021).

## 2.2.6 Tipos de Materiales

Los materiales se pueden clasificar en tres categorías según la forma en que interaccionan con la radiación microondas (GALINDO, 2016, p.29; CLARK et. al 2000), ver figura 6.

- Transparentes: son aquellos materiales con baja constante dieléctrica. La radiación microondas traspasa este tipo de materiales sin sufrir ninguna atenuación.
- Opacos: son materiales conductores. La radiación microondas es reflejada y no penetra en este tipo de materiales.
- Susceptores: son materiales con alta constante dieléctrica. Absorben la radiación microondas, siendo la cantidad de energía absorbida mayor a medida que aumenta su constante dieléctrica.

Figura 6: Interacción entre las microondas y diferentes materiales



Fuente: Tesis, Galindo, 2016. a) transparente b) opaco c) susceptible

### 2.2.6.1 Susceptores de Microondas

El agua, que es el susceptible de microondas más simple, puede ser empleada en materiales porosos o higroscópicos como elemento susceptible de microondas (GALINDO, 2016. p.41; ALAYLI, 1997). El principal mecanismo de absorción de microondas de los materiales dieléctricos es la polarización de los dipolos debido a la aplicación de un campo eléctrico. Aquellos materiales que exhiben mayor movilidad de los dipolos presentan un comportamiento susceptible de microondas más eficiente.

La polarización está íntimamente relacionada con el tipo de material y afecta directamente a la movilidad (GALINDO, 2016. p.41; DONALD, 2001).

- Polímeros amorfos: existe una alta movilidad, suficiente para que se produzca la polarización.
- Polímeros semicristalinos: su estructura es más rígida, tienen menor movilidad y, debido a ello, poseen constantes y resistencias menores que los amorfos. La excepción se produce cuando tienen cadenas asimétricas que aumenta su constante dieléctrica.
- Partículas carbonosas: Las partículas carbonosas son excelentes susceptibles de microondas, convirtiendo con facilidad la energía generada por microondas en energía térmica. Estos materiales muestran altos valores de  $\epsilon''$  y, por lo tanto, también altos valores de  $\tan \delta$ . Las partículas carbonosas absorben la radiación electromagnética debido a la presencia de electrones  $\pi$  deslocalizados, los cuales pueden moverse libremente. La energía cinética de

los electrones aumenta hasta tal punto que pueden saltar del material, provocando la ionización de la atmósfera cercana. A nivel macroscópico se observa la formación de arcos eléctricos y, a nivel microscópico, se pueden formar puntos calientes o “hot spots” . (GALINDO, 2016. p.47; MENÉNDEZ, 2010)

#### 2.2.6.1.1 Grupos funcionales más susceptibles a la absorción de microondas

Así pues, los materiales poliméricos formados por grupos funcionales dotados de fuertes dipolos absorben microondas sin la necesidad de incorporar partículas susceptoras. Los grupos epoxi, amino, hidroxilo y cianatos son algunos ejemplos de los grupos funcionales con fuertes dipolos. (GALINDO, 2016. p.41)

El momento dipolar de una molécula representa la distorsión de la nube electrónica entre dos átomos con distinta electronegatividad. Así, si una molécula está compuesta únicamente por dos átomos, a mayor diferencia de electronegatividad entre ambos, mayor será su momento dipolar. Dentro de los grupos funcionales con fuertes o medios dipolos destacan los hidroxilos, epóxidos, aminos, cianos, imidas, derivados clorados, etc.(GALINDO, 2016. p.43)

- Grupo hidroxilo: El grupo hidroxilo está formado por un átomo de hidrógeno y otro de oxígeno, cuyas electronegatividades son bastante diferentes lo que conduce a un momento dipolar significativo. Cuantos más grupos hidroxilo posea una molécula, más susceptible será de absorber la radiación microondas.
- Grupo epóxido: El grupo epóxido está formado por dos átomos de carbono y uno de oxígeno. A su vez los átomos de carbono estarán unidos a otros átomos de carbono e hidrógeno, según se trate de un epóxido terminal o no. Los átomos de oxígeno son bastante electronegativos pero los átomos de carbono poseen una polaridad media. Por esta razón la diferencia de electronegatividades en este caso no es tan evidente como en el caso del grupo hidroxilo (un átomo de hidrógeno presenta una electronegatividad menor que un átomo de carbono), siendo ésta la causa de que este grupo sea

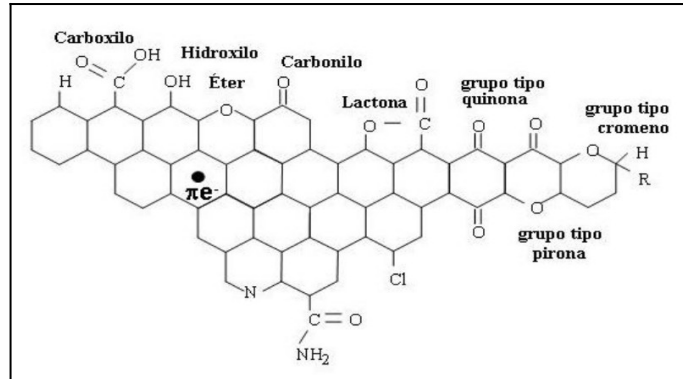
menos adecuado que el grupo hidroxilo para acoplar con la radiación microondas. A pesar de ello presenta cierta tendencia al acoplamiento, lo que no ocurre con cadenas hidrocarbonadas. Tal como ocurre en el caso de los grupos hidroxilo, la absorción de radiación microondas será mayor a medida que se incremente la cantidad de grupos epóxido.

- Grupo amino: El grupo amino está formado por un átomo de nitrógeno y hasta tres hidrógenos. La electronegatividad de un átomo de nitrógeno es ligeramente inferior a la de un átomo de oxígeno. Por esta razón se comportará de un modo similar a un grupo hidroxilo frente a la radiación microondas, siendo menos susceptible de la misma que éste último.
- Grupo ciano: El grupo ciano está compuesto por un átomo de nitrógeno y otro de carbono a través de un enlace triple. La diferencia de electronegatividades entre los dos átomos implicados no es demasiado importante, y por ello este grupo, a pesar de acoplar con la radiación en estudio, no destaca como uno de los más adecuados para trabajar con microondas.
- Grupo imida: El grupo imida está formado básicamente por un átomo de nitrógeno unido a dos carbonilos (C=O). Tal como se ha comentado en este apartado la mayor diferencia de electronegatividad entre un átomo de carbono y uno de oxígeno generará dipolos que acoplarán con la radiación microondas.

#### 2.2.6.1.2 Carbón Activo

La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno. (SEVILLA, 2011. p.15). En las superficies de los carbones pueden encontrarse combinada en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos superficiales, según figura 7. La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente. Los electrones deslocalizados de los orbitales pi juegan un papel muy importante en la química superficial de los carbones.

Figura 7. Estructura superficial del carbón



Fuente: Sevilla, 2011. p.19

### 2.2.6.1.3 Arena de Río

El dióxido de silicio existe naturalmente como arena o piedra una vez fundido, el producto resultante es el cuarzo fundido. Si el dióxido de silicio es un derivado sintético, el material suele ser llamado sílice fundida.

El cuarzo fundido es muy puro, tiene una buena resistencia química, una buena resistencia al impacto térmico y es muy duro en compresión. El bajo coeficiente de expansión térmica le vuelven ideal para espejos y planos ópticos. Se utiliza en ventanas de observación por su transparencia a las longitudes de onda alrededor de 0,2 hasta 3,5  $\mu\text{m}$ , como aislante en aplicaciones electrónicas y en la fabricación de semiconductores.

El cuarzo natural es de forma desconsolidada y se presenta en forma de arena de ríos, playas y dunas. Una muestra de arena encontrada por la fundición sociedad masculina de américa encontrada en Illinois estados unidos, indica que contiene muchos cationes en forma de óxidos, según tabla 2 y en tabla 3 se muestran los cationes y porcentajes de cada uno existentes en el río papaloapan, veracruz - méxico.



Tabla 2: Muestras encontradas, Illinois - USA

Constituents	Values (%)
SiO <sub>2</sub>	87.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94
CaO	0.14
MgO	0.30
Na <sub>2</sub> O	0.19
K <sub>2</sub> O	0.25
TiO <sub>2</sub>	0.15
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
L OI	5.15

Fuente: Wazamtu, 2013. p.166

Tabla 3: (%) especies de arena de río papaloapan, Veracruz-Mexico

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO
Pt1	89.2	4.5	2.6	0.8	1.0	0.6	1.2
Pt2	88.5	7.8	2.8	1.3	1.8	0.9	1.7
Pt3	87.1	5.3	1.9	1.5	1.2	0.5	2.1

Fuente: Diaz, 2018. p.14

### 2.3 Espectrofotometría

En el caso de la existencia de un medio dieléctrico, se produce una resistencia al flujo de fotones, lo cual provoca que parte se almacene y parte se transforme en otras energías, es por ello que se produce un desplazamiento en el campo eléctrico y/o magnético (Ecuaciones 4 y 5) (SERRADOR, 2017. p7; TRAFFANO-SCHIFFO et al., 2014), expresándose como:

$$\bar{D} = \epsilon^* \cdot \epsilon_0 \cdot E = (\epsilon' - j\epsilon'')\epsilon_0 \cdot E \quad (4)$$

$$\bar{B} = \mu^* \cdot \mu_0 \cdot H = (\mu' - j\mu'')\mu_0 \cdot H \quad (5)$$

$\bar{D}$  y  $\bar{B}$  describen los desplazamientos, eléctrico y magnético respectivamente, E y H los D campos eléctricos y magnéticos respectivamente,  $\epsilon^*$  se definiría como la permitividad vectorial del sistema (F/m) y representaría a la propiedad física que describe la respuesta de un medio ante el efecto de un campo eléctrico.  $\mu^*$  representa aquí la permeabilidad vectorial del sistema (H/m) y describe la respuesta de un medio ante el efecto de un campo magnético.

Cuando un flujo de fotones circula a través de un sistema, parte se refleja, parte se transmite, parte se absorbe y la proporción de energía absorbida se define a través de las propiedades dieléctricas y magnéticas.

### 2.3.1. Interacciones entre sistemas y flujo de fotones

La permitividad vectorial ( $\epsilon^*$ ) es la propiedad dieléctrica que describe la interacción entre un material y el campo eléctrico producido cuando un flujo de fotones circula a través de él (SERRADOR, 2017. p.7; CASTRO et al., 2012) y se la define mediante la siguiente ecuación:

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' \quad (6)$$

Dónde  $\epsilon'$  corresponde a la constante dieléctrica y  $\epsilon''$  al factor de pérdidas. La constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) representa la proporción de energía eléctrica que es almacenada al orientarse el medio respecto a la dirección del campo, y el factor de pérdidas ( $\epsilon''$ ) representa el desplazamiento del campo inducido por las transformaciones de energía eléctrica en otras energías.

A bajas frecuencias, la interacción entre el medio y el campo genera un aumento en la movilidad molecular, desencadenando entre otros fenómenos colisiones y fricción entre moléculas, disipando la energía eléctrica en forma de energía mecánica y calorífica. (SERRADOR, 2017. p.7)

La permitividad vectorial se puede expresar como un número polar, el módulo representa la energía absorbida y el ángulo de pérdidas el desplazamiento del campo eléctrico producido por la interacción de molécula - fotón, induciendo la disipación de energía eléctrica en otras formas de energía como térmica o mecánica (SERRADOR, 2017. p.7; TALENS et al., 2016).

Dentro del factor de pérdidas, las pérdidas de energía eléctrica debido a la vibración de especies químicas con mucha fuerza iónica se denomina conductividad iónica ( $\sigma$ ), pudiéndose cuantificar, en el tramo de frecuencia de Hz a 1 GHz, con la siguiente ecuación (SERRADOR, 2017. p.8; NELSON y DATTA, 2001):

$$\sigma = \epsilon_0 \epsilon'' \omega \quad (7)$$

Dónde  $\sigma$  presenta unidades de  $S \cdot m^{-1}$ ,  $\omega = 2\pi f$  y corresponde a la frecuencia angular en rad/s, la frecuencia  $f$  en Hz y  $\epsilon_0$  corresponde a la permitividad del vacío ( $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} F \cdot m^{-1}$ )

A lo largo del espectro eléctrico y magnético se producen distintas interacciones entre los fotones y los componentes del sistema. En el caso del espectro de permitividad vectorial o interacciones eléctricas, es posible diferenciar dos tramos en función del nivel de energía de los fotones, siendo directamente proporcional el nivel de energía a la frecuencia. A bajas frecuencias, comprendidas entre los Hz y los GHz, se producen fenómenos de orientación e inducción de moléculas iónicas o polares, mientras que a alta frecuencia se producen fenómenos de desplazamiento de otras partículas a nivel atómico (SERRADOR, 2017. p.8; TRAFFANO-SCHIFFO et al., 2017).

### 2.3.2 Mecanismos Dieléctricos

Existen varios mecanismos dieléctricos diferentes, relacionados con la forma en que el medio bajo estudio reacciona frente al campo aplicado. Cada mecanismo dieléctrico posee una frecuencia característica, que es el recíproco del tiempo característico del proceso. En general, los mecanismos dieléctricos se pueden dividir en procesos de relajación y de resonancia (frecuencia externa aplicada es igual o cercano a la del material o sistema, aumentando su amplitud). Los procesos más comunes, comenzando por los que poseen mayor frecuencia son:

- Polarización electrónica: Este proceso resonante tiene lugar en un átomo neutro cuando el campo eléctrico desplaza la densidad de electrones con respecto al núcleo atómico que rodea.
- Polarización atómica: La polarización atómica ocurre cuando una aglomeración de iones positivos y negativos es deformada bajo la fuerza que ejerce el campo aplicado. Este proceso es también de naturaleza resonante.

- Relajación dipolar: La misma se origina por la alineación de dipolos permanentes e inducidos con respecto a un campo eléctrico. La orientación de su polarización es perturbada por ruido térmico (que desalinea los vectores de los dipolos con respecto a la dirección del campo), y el tiempo requerido por los dipolos para relajarse (alcanzar sus condiciones iniciales) se encuentra determinado por la viscosidad local. Estos dos factores hacen que la relajación de dipolo sea fuertemente dependiente de la temperatura y las características químicas del medio.
- Relajación iónica: La relajación iónica comprende la relajación de conductividad iónica y de interfaz y carga espacial. La conductividad iónica predomina a bajas frecuencias e introduce solo pérdidas en el sistema. Relajación de interfaz tiene lugar cuando portadores de carga son atrapados en interfaces de sistemas heterogéneos.
- Relajación dieléctrica: La relajación dieléctrica es causada por el movimiento de dipolos y de cargas eléctricas bajo campo de alternancia aplicado. Estos mecanismos tienden a ser relativamente lentos.

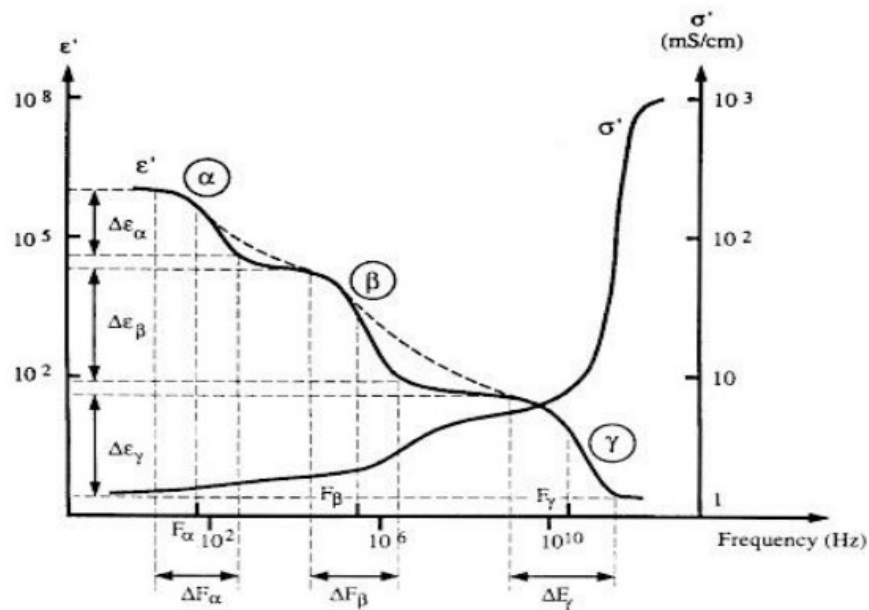
### 2.3.2.1 Fenómenos de relajación en el espectro de radiofrecuencia y microondas

Un hecho importante es mencionar que el factor de pérdida cambia con la temperatura del producto, y está relacionado con la frecuencia de relajación de los materiales. Esta frecuencia de relajación se refiere al tiempo para que se absorba la energía y se emita por efecto del campo eléctrico. La frecuencia se incrementa con la temperatura de los materiales, y entonces la cantidad de energía convertida en calor por cada ciclo de rotación del dipolo, será óptima cuando la frecuencia de las microondas coincida con la frecuencia de relajación y en consecuencia la cantidad de microondas absorbidas por el material así como el factor de pérdida será diferente con la temperatura del material. (CORREA, 2011. p.9)

Los materiales presentan diferentes dispersiones o interacciones material/fotones dependiendo del rango de frecuencia de los fotones que circulan. Dentro de las dispersiones de orientación e inducción es posible distinguir tres

dispersiones denominadas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  (Figura 8), cada una de ellas en un tramo diferente del espectro de permitividades (SERRADOR, 2017. p8; SCHWAN, 1988).

Figura 8: Fenómenos de dispersión  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .



Fuente: Correa, 2019. p.3

La dispersión- $\alpha$  o también conocida como efecto counterion, es producida desde los Hz hasta unos pocos kHz y puede representar la orientación de las cargas móviles; en el cual un pequeño cambio en el movimiento de iones producirá un aumento de esta dispersión dieléctrica (SERRADOR, 2017. p.9; KUANG y NELSON, 1997). En ocasiones, la orientación de los iones que poseen una carga determinada induce a una respuesta de movilidad contraria en iones que poseen cargas de signo opuesto, es por ello que esta dispersión también se denomina counterion “ion contra ion” (SERRADOR, 2017. p.9; FOSTER y SCHAWN, 1989; PETHIG, 1979).

La dispersión - $\beta$  se produce en el rango del espectro de la radiofrecuencia (desde unos pocos KHz hasta los MHz) y describe las interacciones con cargas fijas o de baja movilidad que se encuentran en el sistema. Esta dispersión se divide a su vez en dos tramos, las interacciones en el rango de kHz, en la que se engloban las interacciones con cargas pertenecientes a macromoléculas estructurales que

conforman la fase sólida del sistema (cargas fijas), como por ejemplo las proteínas o los hidratos de carbono y el segundo tramo, de mayor energía (MHz) en donde se encuentran las interacciones de cargas asociadas a la tensión superficial o polarizaciones interfaciales de las superficies sólidas en contacto con el medio fluido, fenómeno conocido como efecto Maxwell-Wagner.

Por último, la dispersión  $\gamma$ , se produce en la región del espectro comprendida entre 1 GHz-300 GHz y es debido a la inducción y orientación de las moléculas dipolares, siendo el agua la molécula más importante en cantidad y disponibilidad (SERRADOR, 2017. p.9; CASTRO-GIRÁLDEZ et al., 2010). Estas moléculas presentan un momento dipolar permanente, orientándose al azar en ausencia de un campo eléctrico. Al someter un sistema biológico a la influencia de un flujo de fotones en el rango espectral de microondas, se genera la orientación del spin de las moléculas dipolares (mayoritariamente moléculas de agua) en la dirección del flujo de fotones o campo eléctrico, así como una inducción o rotación de la molécula alrededor del spin.

Los fenómenos que ocurren en las dispersiones  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  generan una acumulación de energía eléctrica, generada principalmente por la reorientación del spin. Sin embargo, parte de esta energía eléctrica se transforma en otras formas de energías como mecánicas y/o caloríficas, producidas por las colisiones y fricciones asociadas al incremento de la movilidad molecular.

#### 2.3.2.2 Estado Vítreo

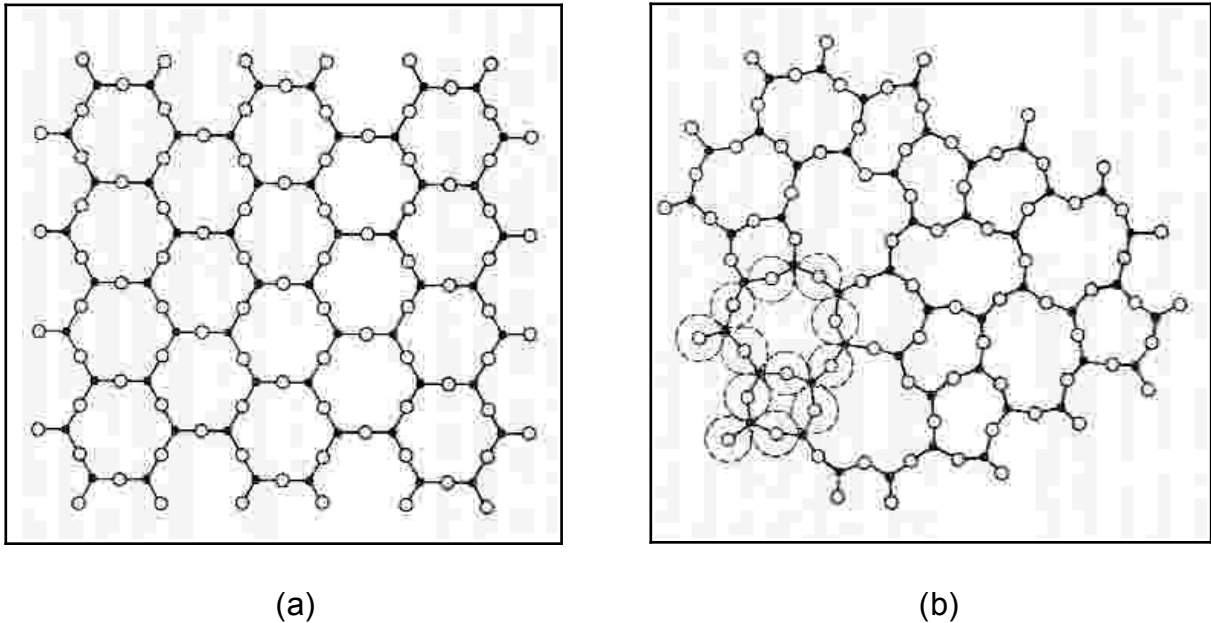
El estado vítreo es amorfo, caracterizado por la rápida ordenación de las moléculas para obtener posiciones definidas. Tradicionalmente se ha considerado que la materia podía presentarse bajo tres formas: la sólida, la líquida y la gaseosa. Nuevos medios de investigación de su estructura íntima -particularmente durante el siglo XX- han puesto al descubierto otras formas o estados en los que la materia puede presentarse. Por ejemplo el estado mesomorfo (una forma líquida con sus fases emécticas, nemáticas y colestéricas), el estado de plasma (o estado plasmático, propio de gases ionizados a muy altas temperaturas) o el estado vítreo, entre otros.

Los cuerpos en estado vítreo se caracterizan por presentar un aspecto sólido con cierta dureza y rigidez y que ante esfuerzos externos moderados se deforman de manera generalmente elástica. Sin embargo, al igual que los líquidos, estos cuerpos son ópticamente isótropos, transparentes a la mayor parte del espectro electromagnético de radiación visible. Cuando se estudia su estructura interna a través de medios como la difracción de rayos X, da lugar a bandas de difracción difusas similares a las de los líquidos. Si se calientan, su viscosidad va disminuyendo paulatinamente como la mayor parte de los líquidos hasta alcanzar valores que permiten su deformación bajo la acción de la gravedad, y por ejemplo tomar la forma del recipiente que los contiene como verdaderos líquidos. No obstante, no presentan un punto claramente marcado de transición entre el estado sólido y el líquido o punto de fusión.

Todas estas propiedades han llevado a algunos investigadores a definir el estado vítreo no como un estado de la materia distinto, sino simplemente como el de un líquido subenfriado o líquido con una viscosidad tan alta que le confiere aspecto de sólido, sin serlo. Esta hipótesis implica la consideración del estado vítreo como un estado metastable al que una energía de activación suficiente de sus partículas debería conducir a su estado de equilibrio, es decir, el de sólido cristalino. En apoyo de esta hipótesis se aduce el hecho experimental de que, calentado un cuerpo en estado vítreo hasta obtener un comportamiento claramente líquido (a una temperatura suficientemente elevada para que su viscosidad sea inferior a los 500 poises, por ejemplo), si se enfría lenta y cuidadosamente, aportándole a la vez la energía de activación necesaria para la formación de los primeros corpúsculos sólidos (siembra de micro - cristales, presencia de superficies activadoras, catalizadores de nucleación, etc.) suele solidificarse dando lugar a la formación de conjuntos de verdaderos cristales sólidos.

Todo parece indicar que los cuerpos en estado vítreo no presentan una ordenación interna determinada, como ocurre con los sólidos cristalinos. Sin embargo en muchos casos se observa un desorden ordenado, es decir, la presencia de grupos ordenados que se distribuyen en el espacio de manera total o parcialmente aleatoria.

Figura 9: Cristal de  $\text{SiO}_2$  a) organizado. b) en estado vítreo.



Fuente: <https://ceramica.fandom.com> (23-01-2021)

Esto ha conducido a diferentes investigadores a plantear diversas teorías sobre la estructura interna del estado vítreo, tanto de tipo geométrico, basadas tanto en las teorías atómicas como en las de tipo energético. Según la teoría atómica geométrica, en la sílice sólida cristalizada el átomo de silicio se halla rodeado de cuatro átomos de oxígeno situados en los vértices de un tetraedro cada uno de los cuales le une a los átomos de silicio vecinos.

Una vista en planta de este ordenamiento se esquematiza en la figura 9a, en la que el cuarto oxígeno estaría encima del plano de la página. Cuando esta sílice pasa al estado vítreo, la ordenación tetraédrica se sigue manteniendo a nivel individual de cada átomo de silicio, aunque los enlaces entre átomos de oxígeno y silicio se realizan en un aparente desorden, que sin embargo mantiene una organización unitaria inicial (figura 9b).



## 2.4 Diferencias en el calentamiento Convencional - Microondas - Híbrido

### 2.4.1 Calentamiento Convencional vs Microondas

El calentamiento por microondas es diferente del calentamiento convencional en muchos aspectos. La diferencia entre estas dos fuentes de calor se ha discutido en una gran cantidad de literatura resumida a continuación. (RANA, 2014. p.7)

Tabla 4: Diferencia entre el calentamiento convencional y microondas

Calentamiento Convencional	Calentamiento por Microondas
El calentamiento se produce por fuentes térmicas o eléctricas.	El calentamiento se produce por ondas electromagnéticas.
El calentamiento de la muestra se desarrolla por transferencia de calor.	El calentamiento la muestra se desarrolla directamente en la muestra.
La superficie del recipiente que contiene la muestra, entra en contacto físico con la fuente de calor a una temperatura más alta (Ej: quemador, manto, baño de aceite, baño de vapor, etc.).	No es necesario el contacto físico entre el recipiente de la muestra y la fuente de microondas.
El mecanismo de calentamiento implica la conducción de calor.	El mecanismo de calentamiento implica polarización dieléctrica y conducción iónica.
Generalmente la temperatura más alta alcanzable está limitada por el punto de ebullición de un sustrato.	La temperatura de un sustrato puede elevarse por encima de su punto de ebullición, es decir, puede producirse un sobrecalentamiento.
Todos los componentes de una mezcla se calientan casi por igual.	Específicamente un componente particular puede calentar más dependiendo de sus características dieléctricas.
La velocidad de calentamiento es menor.	La velocidad de calentamiento es varias veces mayor (de 10 a 1000 en el mejor de los casos).

Fuente: Rana, 2014. p.7

### 2.4.2 Calentamiento Híbrido

No todos los materiales pueden ser calentados por microondas, es por esto que se usa un suscepto. Un suscepto es un material que transforma la energía electromagnética en térmica (SEGURA, 2017.p.49; CHEN; WARNING; DATTA; & CHEN, 2017; LABUSA & MEISTER, 1992).

El suscepto en conjunto con el microondas aceleran el proceso de calentamiento al ser de forma bidireccional (de adentro hacia afuera por parte del microondas y de afuera hacia adentro del material por parte del suscepto) con

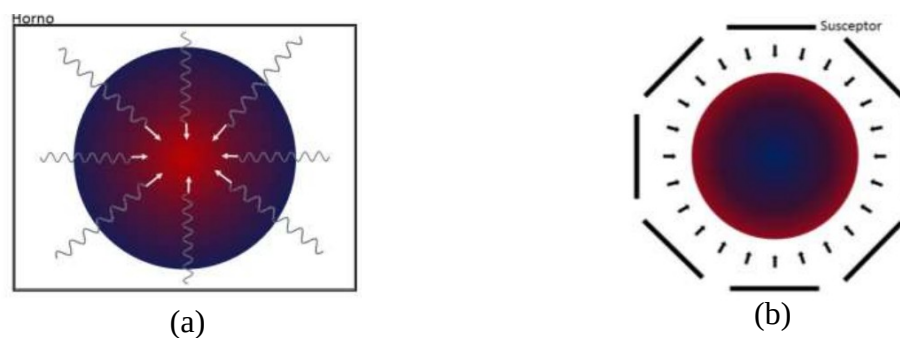
pérdidas de calor reducidas en la superficie del material (SEGURA, 2017. p.49; KITCHEN et al., 2014; SURIAPPAO & VINU, 2015). La calefacción por microondas se produce internamente, desde el centro del material generando calor dentro de la muestra; en la medida en que un material responde a los campos eléctricos y magnéticos alternos del microondas, como se muestra en la Figura 10a, (SEGURA, 2017. p.48; BHATTACHARYA, BASAK, 2016; MIURA et al., 2004).

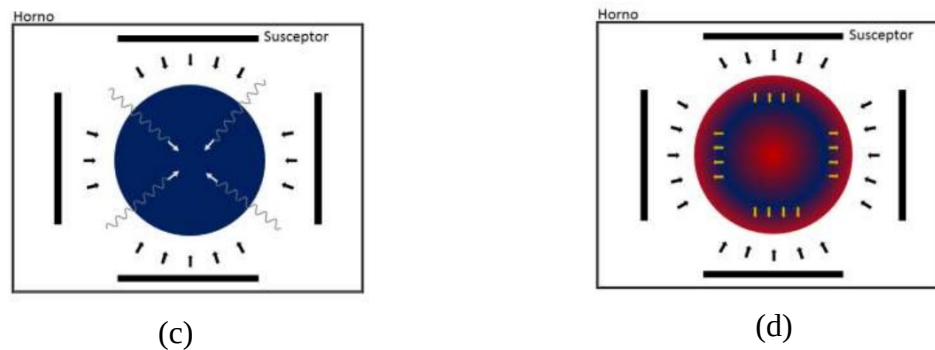
Al calentamiento asistido con un material susceptible se le conoce como calentamiento híbrido (SEGURA,2017.p.49; LASRI, RAMESH, & SCHACHTER, 2000; MENESES, SOUTO, & KIMINAMI, 2007; RAMESH, BRANDON, & SCHACHTER, 1999; ZHAO et al., 2000). Cuando un susceptible es calentado por la radiación del microondas, el calor es transferido a la muestra desde la parte superficial (Figura 10b). Debido a la unión del microondas y el agente susceptible la temperatura de la muestra puede llegar a su punto de fusión (Figura 10c). (SEGURA, 2017. p.49; BHATTACHARYA & BASAK, 2016).

Por esta razón algunos investigadores han introducido los susceptibles como auxiliar para elevar la temperatura de algunos materiales de una manera más rápida (SEGURA, 2017. p.50; ALFORD; GADRE; VEMURI; & THEODORE, 2012; DBOWSKI, 2017; SURIAPPARAO & VINU, 2015; VARGAS, PANTOYA; SAED; & WEEKS, 2016).

En la siguiente figura 10, se identifican los tipos de calentamiento en relación a la investigación, donde, a) Calentamiento de microondas. b) Calentamiento auxiliado por un material susceptible. c) Transferencia de energía electromagnética hacia la muestra. d) Calentamiento híbrido.

Figura 10: Descripción de los calentamientos estudiados





Fuente: Segura, 2017.

## 2.5 Materia prima, procesos y métodos en estudio

### 2.5.1 Materia Prima

#### 2.5.1.1 Naranja (*Citrus x Sinensis*)

Para este estudio se utilizó la cascara de naranja cuyo origen del fruto "*Citrus x sinensis*" (SAGARPA, 2016, p.4) (figura 11) está compuesta por el exocarpo o flavedo y "contiene una gran cantidad de aceites esenciales, con limoneno como componente principal y flavonoides" (MANRIQUE, 2018, p.160), posee una superficie mas menos rugosa de color naranja como "consecuencia de la degradación enzimática de la clorofila y de las síntesis de carotenoides" (MIRANDA, 2017, p.25), por su parte el mesocarpo o albedo que esta adherida al componente anterior es blanquecina y esponjosa (fibra) posee un abundante contenido de pectinas, estas "permiten la ligación de las células y la absorción de grandes cantidades de agua" (RENDÓN, 2018, p.28). En conjunto, ambas capas son capaces de contener un amplio espectro de compuestos tanto orgánicos procedente de metabolismos primarios y secundarios como también agua ligada y agua libre, siendo esta ultima de principal interés como justificativa ya que "el contenido de agua de un alimento esta determinado por su cantidad de agua libre" (AREVALO, 2017, p.50).

Figura 11: Citrus Sinensis. a) exocarpo. b) mesocarpo. c) endocarpo



#### 2.5.1.2. Agua Potable - Uruguaiana

El agua es un elemento indispensable en la vida, es necesario adoptar medidas para asegurar que sus características físicas, químicas y biológicas estén dentro de los estándares deseables. Según Brasil (2004), el agua utilizada para consumo humano necesita una excelente calidad para su potabilidad, es decir, esta agua debe estar libre de patógenos, dentro de los estándares físico-químicos o radioactivos según resolución CONAMA n.º 274 para aguas de uso baño, n.º 374 para encuadramiento y n.º 430 para lanzamiento de efluentes.

#### 2.5.1.3. Agua Río Uruguay

El agua del río Uruguay es utilizada por la población de uruguaiana como fuente de agua para abastecimiento público con tratamiento convencional por parte de la empresa BRK ambiental. La ciudad de uruguaiana no es una de las principales ciudades del estado con producción acuícola, sin embargo, necesita agua en condiciones adecuadas para la ganadería, producción de arroz, entre otros.

Según Da silva, 2016. p.31; el agua del río Uruguay se puede clasificar en la clase II, ya que el 80% de las muestras analizadas no superan el límite máximo exigido en la resolución, que es de 1.000 coliformes fecales por 100 ml de agua y 5,000 coliformes totales por 100 ml de agua (tabla 5). Según esta clasificación, el agua es apta para el suministro doméstico, después de un tratamiento convencional y para la

producción natural y / o intensiva (acuicultura) de especies destinadas al consumo humano.

Tabla 5: Valores medios para parámetros físico – químicos del río uruguay

Muestra	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Cond. $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	Turbidez NTU	Colif.total (VB)N.M.P/ 100mL
1	6,4	0,23	0,1	33,3	26,6	68	120	1096

Fuente: Da silva, 2016. p.22-25-30

### 2.5.2 Deshidratación de Alimentos

La humedad puede influir en gran medida la fluidez de un material, compresibilidad, y cohesividad. En las industrias agrícolas y alimentarias, la humedad excesiva puede conducir a productos maltratados y podridos (TIRADO, 2015. p.4; AUSTIN et al., 2013). La mayoría de los métodos tradicionales para determinar el contenido de humedad son demorados, invasivos y requiere mano de obra intensiva.

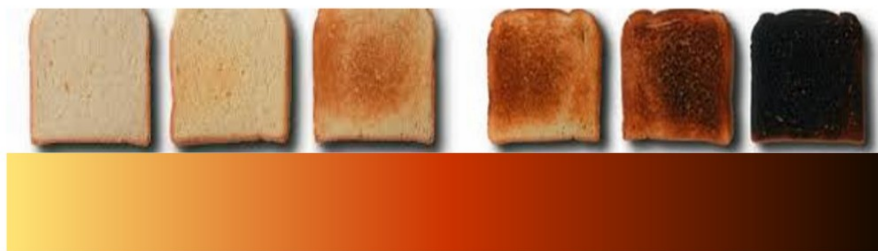
El método más común para determinar el contenido de humedad es analíticamente a través de la pérdida de peso mediante el método de secado en mufla o estufa, en el que el contenido de humedad se determina a partir del cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua absorbida en el horno (TIRADO, 2015. p.4; AUSTIN et al., 2013). Otros métodos incluyen la valoración de Karl Fischer, calorimetría diferencial de barrido y el microondas (TIRADO, 2015. p.4; CORREDOR et al., 2011; ARIMI et al., 2010; YANG et al., 2010). Estos métodos carecen de la capacidad para determinar el contenido de humedad de una muestra in situ. Además, cada uno de estos métodos destruye la muestra a ensayar. En contraste con la mayoría de los otros métodos utilizados para determinar el contenido de humedad, la luz halógena ha demostrado ser no invasivo, más rápido y muy preciso (TIRADO, 2015. p.4; LIN; PASCALL, 2013; AUSTIN et al., 2013).

#### 2.5.2.1 Pardeamiento no Enzimático

El pardeamiento debido al tratamiento térmico es el resultado de varias reacciones conocidas como reacciones de Maillard, que incluyen condensación entre azúcares reductores y aminoácidos, caramelización, pardeamiento con ácido ascórbico y destrucción de pigmentos (DAMASCENO, 2008. p.313; CORNWELL y WROLSTAD, 1981; BEVERIDGE; FRANZ ; HARRISON, 1986).

Las reacciones de pardeamiento no enzimáticas causan principalmente cambios de color o formación de pigmentos pardos y negros (melanoidinas), pérdida de azúcar, vitamina C y formación de 5-HMF, terminando a modo de ejemplo como la figura 12. Para controlar el pardeamiento y preservar su aspecto, se deben estudiar las reacciones que causan el pardeamiento no enzimático y se debe identificar el factor principal involucrado. (DAMASCENO, 2008. p.1)

Figura 12: Pardeamiento no Enzimático



Fuente: Brumovsky, 20017. p.45

#### 2.5.2.2 Humedad y Actividad de Agua

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización al que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor medida. Generalmente, la humedad representa el agua contenida en el alimento, la cual se puede clasificar en: humedad superficial, que se refiere al agua libre o presente en la superficie externa del alimento, humedad fácilmente evaporada y adsorbida, refiriéndose al agua ligada, que se encuentra dentro del alimento. sin combinarlo químicamente.

La humedad corresponde a la pérdida de peso que sufre el producto cuando se calienta en condiciones en las que se elimina el agua. En realidad, no es solo el agua a eliminar, sino otras sustancias las que se volatilizan en estas condiciones. El

residuo obtenido por calentamiento directo se denomina residuo seco. El calentamiento directo de la muestra a 105 ° C es el proceso más habitual. (INSTITUTO ADOLFO LUTS, 2008. p.98)

La actividad de agua ( $a_w$ ) de un producto (alimento, ingrediente o aditivo) es el parámetro que mide el estado energético del agua, o dicho de forma equivalente, es la fracción del contenido de humedad total que está en forma libre (no unida o coordinada a radicales hidrófilos).

Normalmente, el valor de la  $a_w$  en un producto alimentario condiciona los procesos de alteración relacionados con el desarrollo de microorganismos, la inestabilidad química y enzimática, las propiedades físicas y la absorción de humedad ambiental (Isotermas). (LAB-FERRER, 2004. p.1)

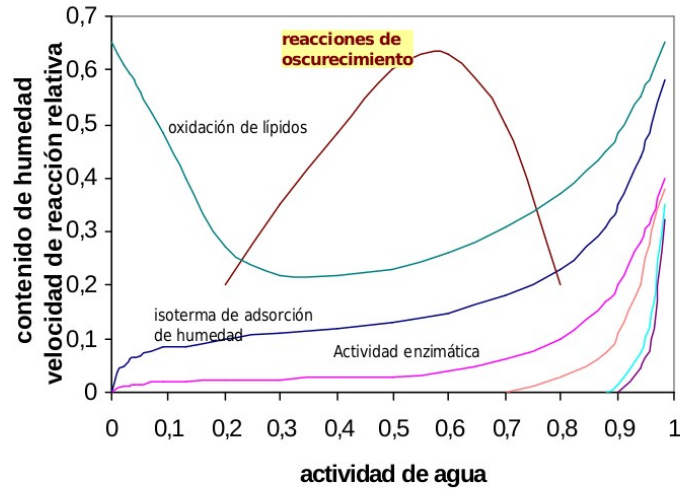
Los medidores de actividad de agua  $a_w$  como por ejemplo el equipo AquaLab, se basan en el principio de equilibrio de presión de vapor que se puede alcanzar en cuestión de minutos en sistemas sellados.

Una vez que la muestra alcanza el equilibrio con el vapor del aire de la cámara, el equipo calcula el valor de actividad de agua con el método del punto de rocío, a través de un sensor óptico *un* espejo (sensor de punto de rocío) y un sensor de infrarrojos.

El agua puede afectar la reactividad química a través de distintos mecanismos, actuando como solvente, reactivo, o afectando a la movilidad de los reactivos debido a su influencia sobre la viscosidad del sistema.

La  $a_w$  tiene influencia sobre la oxidación de las grasas, el oscurecimiento no enzimático, la degradación de vitaminas, las reacciones enzimáticas, la desnaturalización de proteínas, y la temperatura de gelatinización y retrogradación de almidones. (figura 13)

Figura 13: Efecto de la  $a_w$  sobre algunos procesos de degradación de un alimento



Fuente: Lab-Ferrer, 2004. p.1

Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas, por ello la medición de la actividad de agua es importante para controlar dicho crecimiento. Por ejemplo: Sabemos que una bacteria como *Listeria monocytogenes* empieza a desarrollarse a partir de 0,92  $a_w$ . (Anexo 1). En cambio un moho como el *aspergillus flavus* produce toxinas sobre 0,84  $a_w$  pero no crece por debajo de 0,78  $a_w$ . (tabla 6). Por todo ello, la actividad de agua además del pH, tienen un impacto directo en el crecimiento de los microorganismos (EQUINLAB, 2017. p.1). La  $a_w$  de un alimento o solución se define como la relación entre la presión de vapor del agua del alimento ( $p$ ) y la del agua pura ( $p_0$ ) a la misma temperatura. (ecuación 8)

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (8)$$

A medida que una solución se concentra, la presión de vapor disminuye y la  $a_w$  desciende a partir de un valor máximo de 1 para el agua pura (en ausencia de capilares o fuerzas de adsorción). La  $a_w$  está relacionada con el punto de congelación y con el de ebullición así como con la humedad relativa en equilibrio (HRE) y la presión osmótica. (EQUINLAB, 2017. p.1.)



Tabla 6:  $a_w$  Mínima, Crecimiento, Producción y Toxinas de Hongos.

Fungal species	Mycotoxin	Minimum $a_w$	
		Growth	Toxin production
<i>A. flavus</i>	Aflatoxin	0.78–0.84	0.84
<i>A. parasiticus</i>		0.84	0.87
<i>A. ochraceus</i>	Ochratoxin	0.77	0.85
<i>P. aurantiogriseum</i>		0.82–0.85	0.87–0.90
<i>P. viridicatum</i>		0.80–0.81	0.83–0.86
<i>A. ochraceus</i>	Penicillic acid	0.77	0.88
<i>P. aurantiogriseum</i>		0.82–0.85	0.97
<i>P. patulum</i>	Patulin	0.81	0.95
<i>P. expansum</i>		0.82–0.84	0.99
<i>A. clavatus</i>		—	0.99
<i>F. verticillioides</i>	Fumonisin	0.88	0.93
<i>F. proliferatum</i>		0.88	0.93

Fuente: Maghan, 2004. p.8

### 2.5.3 Extracción de Aceites esenciales

Para la metodología de extracción convencional y la extracción asistida por microondas, la energía entregada aumenta la temperatura interna de las células de la matriz, debido al calentamiento y evaporación de la humedad presente, provocando un aumento de la presión interna, ruptura de membranas y liberación de aceite esencial.

Así por su parte, la emergente tecnología de microondas se ha utilizado no solo para la extracción de aceites esenciales, sino también para la extracción de diversos componentes, tales como: pectinas, polifenoles, flavonoles, antocianinas y polisacáridos (RIBEIRO, 2018. p.47; SAOUD; YUNUS; AZIZ; 2002; SAOUD et al., 2003; KOSAR et al., 2005; FERHAT et al., 2006; MANDAL; MOHAN; HEMALATHA, 2007; FARHAT et al., 2011; ZHENG et al., 2011; MARAN et al., 2014; SEIXAS et al., 2014; OUKROUFA et al., 2015; REYES-JURADO et al., 2015; LI et al., 2016a; LIEW et al., 2016).

En cuanto a la aplicación específica de la tecnología de microondas en la extracción de aceites esenciales, los estudios indican el uso de diferentes matrices como fuente de este sustrato, tales como: piel de naranja, piel de limón, hojas de eucalipto, hojas de magnolia, hojas de albahaca. y hojas de lima-limón (RIBEIRO, 2018. p.47; CHEN; ZU; YANG, 2015; GOLMAKANI; MOAYYEDI, 2015; FRANCO-

VEGA et al., 2016; KUSUMA; MAHFUD, 2016; LI et al., 2016b; GOLMAKANI et al., 2017).

#### 2.5.4 Purificación de Agua

En los laboratorios se requiere usar agua con mínimo de impurezas. Los requisitos de calidad o pureza se encuentran establecidos en base a diferentes normas o criterios (tabla 7), dependiendo de las instituciones u organismos internacionales que establecen las referencias, entre estas se encuentran la American Society for Testing and Materials (ASTM), British Standards Institution (BSI) y la International Organization for Standardization (ISO). Actualmente están definidos los diferentes niveles de pureza del agua en función de los parámetros físicos químicos, tales como conductividad eléctrica, resistividad, contenido de carbono, oxígeno o sílice.(PEDRO, 2010. p.3).

El agua está compuesta por sales de calcio y magnesio, las cuales aportan dureza, también contiene otras sustancias como hierro, sílice, manganeso, cloruros, sulfatos, sodio y otros materiales en suspensión.

La dureza del agua es un factor que limita su uso en determinados procesos, es importante el conocimiento del contenido de calcio y magnesio, por la propiedad que tienen de producir incrustaciones.

Varios son los métodos utilizados en el tratamiento de las aguas y el empleo de cada uno de ellos depende del objetivo que se persiga con el agua tratada. (PEDRO, 2010. p.4; LAUREL, 2008).

Tabla 7: Comparación de los Parámetros Fisico-Químicos y Valores de las Definiciones de Calidad de Agua según ASTM, BSI, ISO y NC-ISO

Parámetros fisicoquímicos	Tipo I		Grado 1	Tipo II		Grado 2	Tipo III		Grado 3	Tipo IV		
	ASTM	BS	ISO-NC	ASTM	BS	ISO-NC	ASTM	BS	ISO-NC	ASTM	BS	ISO-NC
Conductividad eléctrica, máx., $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C	0,056	0,01	0,1	0,1	0,1	1	0,25	0,5	5,0	5,0	NA <sup>2</sup>	NA
Resistividad eléctrica, min., $\text{M}\Omega$ a 25 °C	18	NE <sup>3</sup>	10	10	NE	1	4,0	NE	0,25	0,2	NA	NA
pH a 25 °C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5,0 a 7,0	5,0 a 7,0	5,0 a 8,0	NA	NA
Carbón orgánico total (COT), máx., $\mu\text{g}/\text{l}$	50	NE	NE	50	NE	NE	200	NE	NE	NL	NA	NA
Sodio, máx. $\mu\text{g}/\text{l}$	1	NE	NE	5	NE	NE	10	NE	NE	50	NA	NA
Cloruros, máx. $\mu\text{g}/\text{l}$	1	NE	NE	5	NE	NE	10	NE	NE	50	NA	NA
Absorbancia (JA 254 nm)	NA	NA	0,001	NA	0,01	0,01	NA	NA	NE	NA	NA	NA
$\text{SiO}_2$ $\text{mg}/\text{l}$	NA	NA	0,01	NA	NA	0,02	NA	NA	1	NA	NA	NA

Fuente: Pedro, 2010. p.7

## 2.6 Introducción Arduino

Arduino es una plataforma informática física (son sistemas digitales conectados a sensores y actuadores, que permiten construir sistemas que perciban la realidad y respondan con acciones físicas), basados en una simple tarjeta de Entrada / Salida microcontrolada y desarrollado en una biblioteca que simplifica la escritura de programación C / C ++.

El Arduino se puede utilizar para desarrollar artefactos interactivos independientes o conectados a la computadora a través de adobe flash, processing, max / MSP, pure data o Super collider. Un microcontrolador (también llamado MCU) (figura 14) es una computadora en un chip, que contiene un procesador, memoria y periféricos de entrada / salida. Es un microprocesador que se puede programar para funciones específicas, a diferencia de otros microprocesadores de propósito general (como los que se utilizan en las PC). (GLOVACKI, 2012. p.1)

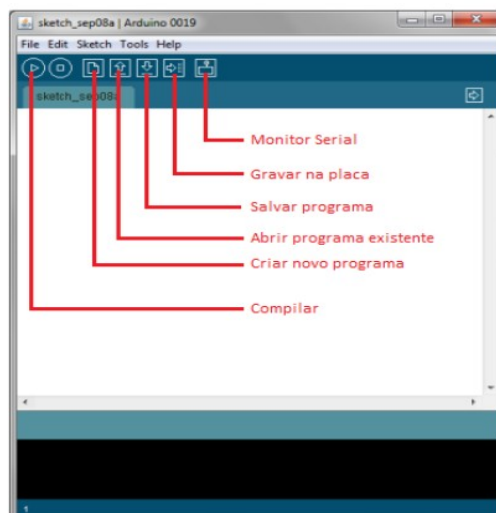
Figura 14: Arduino UNO



Fuente: Ferroni, 2015. p.135

Según MARGOLIS (2011), los comandos y programas se escriben en la computadora utilizando un entorno de desarrollo integrado (IDE), que permite escribir y cambiar códigos y convertirlos en instrucciones que arduino pueda entender y ejecutar, además de permitir su grabación en el microprocesador (figura 15). Es decir, todo lo que realizará el arduino ya sea a través del propio microcontrolador o mediante los periféricos conectados al mismo, debe ser programado en scripts insertados a través del IDE, donde es posible diseñar, alterar, compilar y grabar programas que controlan el arduino y cualquier shield o módulos conectados a él. (FERRONI, 2015. p.140).

Figura 15: Pantalla principal del IDE Arduino



Fuente: Ferroni 2015. p.140

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

- Desarrollar un equipamiento basado en la generación de microondas y su aplicación en el área de alimentos.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología basada en el equipo propuesto capaz de optimizar la deshidratación de alimentos y la extracción de aceite esencial obtenidas de forma convencional utilizando la cascara de naranja, *citrus x sinensis* como muestra.
- Proponer una metodología basada en el equipo propuesto capaz de reducir de manera eficaz y eficiente los niveles de concentración de algunos elementos del agua potable de la ciudad de Uruguai-RS como también el costo que asocia su producción en comparación al equipo convencional.
- Evaluar el uso de susceptores de microonda para los métodos DHA y EHAE
- Evaluar el comportamiento de la temperatura del susceptor de microondas en función a la potencia irradiada.
- Analizar el % humedad,  $a_w$  y colorimetría de la cascara de naranja para una deshidratación comparativa.
- Calcular los rendimientos de aceite esencial para una extracción convencional y una extracción híbrida de microondas
- Evaluar la purificación de agua del río Uruguai mediante el reactor de microondas.
- Programar y controlar a distancia el método DHA 70% potencia / 2 minutos + 30% potencia / 8 minutos mediante un microcontrolador arduino.

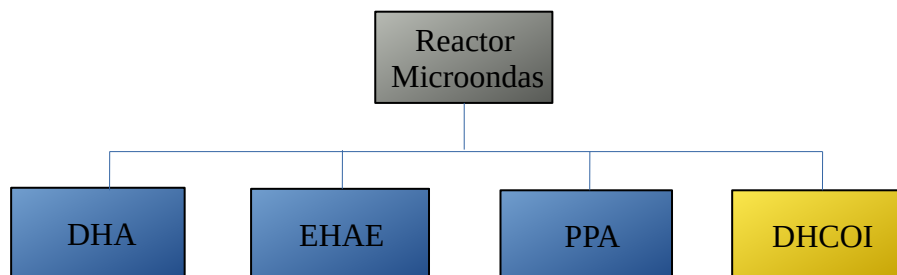
## 4 MATERIALES Y DESARROLLO DEL MÉTODO

### 4.1 Diseño conceptual del prototipo

Para dar forma a este proyecto de innovación fue necesario crear un diseño conceptual al detalle, para la obtención, construcción y operación de un equipo de microondas que sea ejecutable en cuatro diferentes escenarios. (figura 16). Como por ejemplo, deshidratación híbrida de alimentos, extracción híbrida de aceites esenciales, proceso de purificación de agua y un último no desarrollado en esta investigación pero es de interés mencionarlo, la digestión híbrida de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Puede destacarse además que estos procesos están proyectados para adoptar “la química verde que es un campo que emergió con el objetivo de desenvolver estudios y acciones científicas y/o procesos industriales ecológicamente correctos” (MOREIRA; AIRES; LORENZETTI, 2017. p. 194). A continuación se identifican los métodos propuestos por sigla. Donde, DHA: Deshidratación Híbrida de Alimentos, EHAE: Extracción Híbrida de Aceite Esencial, PPA: Proceso de Purificación de Agua y DHCOI: Digestión Híbrida de Compuestos Orgánicos e Inorgánicos.

Figura 16 – Identificación de métodos para microondas.



### 4.2 Prototipo

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

### **4.3 Comparación de Equipos**



***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### **4.4 Preparación del Susceptor**

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### **4.5 Preparación de la Curva de Calibración de Microondas**

*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*

#### **4.6 Materia Prima**

*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*

#### 4.6.1 Condiciones para la deshidratación del alimento

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### 4.6.2 Condiciones para la extracción de aceite esencial

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### 4.6.3 Condiciones para la purificación de agua

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

##### 4.6.3.1 Evaluación del pH

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### 4.6.3.2 Evaluación de la turbidez

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### 4.6.3.3. Evaluación de la conductividad

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### 4.6.3.4 Evaluación de dureza y alcalinidad Total

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### **4.7 Análisis de Actividad de Agua**

*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*

#### **4.8 Colorimetría de Smartphone**



*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*

#### **4.9 Integración placa arduino y panel de microondas**

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

4.9.1 Programación del método DHA, 70% /2min + 30% /8min.

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### **4.10 Análisis Estadístico**

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

## **5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Curva de Calibración Microondas**

*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*

## **5.2 Análisis de Susceptores**

### **5.2.1 Arena de río**

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***



### 5.2.2 Carbón Activo

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

### 5.2.3 Mezcla Arena de río / Carbón Activo

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***



### **5.3 Deshidratación de Alimentos**

#### **5.3.1 Evaluación Convencional**

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

### 5.3.2 Evaluación del equipo Propuesto y Pruebas Descriptivas

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

### 5.3.2.1 Colorimetría Descriptiva para DHA

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***



-  
-  
-  
-  
-  
-

### 5.3.3 Evaluación Híbrida



***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

### 5.3.3.1 Colorimetría y Tratamiento Especial de la Muestra, Método DHA

***Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.***

#### **5.4 Purificación de Agua**

*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*



## **5.5 Extracción de aceite esencial**

*Información de confidencialidad debido a una solicitud para obtener un registro de patente.*

## 6 CONCLUSIÓN

El equipo desarrollado permitió apreciar que los métodos vistos pueden ser aprovechados para acelerar los procesos convencionales de una manera eficiente y eficaz. Experimentalmente, se hizo evidente la diferencia entre el equipo convencional y el equipo propuesto, por la rapidez, calidad y bajo costo para su operación.

Vimos que el papel del susceptor es indispensable para controlar deshidrataciones híbridas. Hace disminuir los tiempos de exposición directa sobre la muestra, es mas, aprovecha parte de ella para aportarla en energía de calor al reactor.

Vimos también los rendimientos en el proceso de extracción de aceite esencial de la cascara de naranja, se obtuvieron como máximo un 0,13% y un 0,17% de rendimiento para el proceso convencional y proceso híbrido consecutivamente.

Para finalizar, vimos los resultados de la purificación de agua potable, obteniéndose datos muy similares entre las dos técnicas en estudio desde el punto de vista físico-químico. No así en términos de eficiencia operacional, el costo de operación del equipo convencional es mucho mas alto que el sistema basado en microondas. Una de las debilidades mas notorias del sistema convencional es el excesivo volumen agua que termina descartado sin poder ser reutilizada. Sin embargo una ventaja muy sobresaliente del equipo de microondas, fue la capacidad de purificar el agua contaminada del río uruguayi, con resultados comparables a los obtenidos de destilados de agua potable de tipo convencional.

Finalmente, estos resultados indican que el equipo propuesto es muy atractivo en distintos aspectos y extensamente viable como prototipo industrial para sectores del área química, farmacéutica y alimentaria.

## REFERENCIAS

Alayli, Y. , Djouaher, R., **Influence of the Sorbed Atmospheric Humidity on the Microwave Conductivity of a Composite Material: Potential Applications in EMI Shielding and Absorbers** , Measurement Science and Technology, vol. 8, no. 9, (1991). pp. 793–797.

Arevalo, S. **Agua En Los Alimentos**. Universidad nacional de la amazonia peruana, Memoria, Iquitos pp.64. (2017)

Beveridge, T., Franz, K. Y. and Harrison, J. E. **Clarified natural apple juice: Production and storage stability of juice and concentrate**, Journal of Food Science, 51, 411 (1986).

Brasil. Portaria n° 518, de 25 de março de 2004. **Legislação para águas de consumo humano**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 de mar. 2004. Seção 1.

Brasil. Decreto-lei n° 2.481, de 3 de outubro de 1988. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 126, n. 190, 4 out. 1988. Seção 1, parte 1, p. 19291-19292.

Brumovsky, L. **Reacciones de Pardeamiento No Enzimático**. (2017) Available at: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/9Awypardnoenz\\_14225.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/9Awypardnoenz_14225.pdf)

Correa, P. L. and Hernández, E. **El uso de las microondas en la industria farmacéutica**, Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas, 42(4), pp. 1–21.2011.

David E., Clark, Diane C., Folz, Jon K. West, “Processing materials with microwave energy”, Materials Science and Engineering, 2000, pp. 153-158

Díaz, L.; Orozco, J. **La evaporación en equipos de múltiples efectos : Una operación necesaria en industrias procesadoras de frutas y vegetales**. 25. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Matanzas, Matanzas, 2018.

Damasceno, L. F. et al. **‘Evaluation and optimization of non enzymatic browning of “cajuina” during thermal treatment’**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 25(2), pp. 313–320. 2008 doi: 10.1590/S0104-66322008000200010.

Domenico, C.; Silva, F.; Ferreira, J. **O uso de redes neurais artificiais na otimização do processo de secagem convectiva de alimentos e redução do consumo energético**. Ágora Revista Eletrônica, Cerro Grande, n24, pp. 90-108. 2017.

Donald R. Askeland, **Ciencia e Ingeniería de los materiales**. Ed. Paraninfo Thomson Learning., (2001)

Estel, L. et al. **Continuous flow-microwave reactor: Where are we?**, Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, v113, pp. 56–64. doi: 10.1016/j.cep.2016.09.022.

Equinlab-Equipos para la industria y laboratorio. **La importancia de la actividad de agua ( $a_w$ )**, 2017.

Ferroni, E. H. et al. **a Plataforma Arduíno E Suas Aplicações**, Revista UIIPS, 3, pp. 133–148. 2015.

Galindo, B. **Estudio del comportamiento susceptor de microondas de nanotubos de carbono y grafeno multicapa para su aplicación en el calentamiento de polímeros**. Tesis, p.216. 2016. il.

Glovacki, J. L. **Mini Curso Arduino**. Universidade Federal do Paraná. p.22. 2012

Hernandez, E. S. **Desarrollo de un sensor de permitividad dieléctrica de bajo costo a la frecuencia de 2.45 GHz**, Tonantzintla-Puebla, 2014, p.1-86.

Instituto Adolfo Lutz, **Métodos Físicos-Químicos para Análise de Alimentos**.1a Edição Digital. p.1 – 1002.(2008)

Jiménez C, M., Cuquerella, J., Martínez J, J. M. (1981). **Determination of a color index for citrus fruit degreening**, en: Proc. Int. Soc. Citricultura, 2, pp. 750- 753.

Jerby, E., Schwartz, E. and Anaton, A. **Transistor-Based Microwave Heaters**. Tel Aviv. 2006. doi: 10.13140/RG.2.1.2028.1842.

Shkal, F. et al. **Microwave Characterization of Activated Carbons**, Journal of Computer and Communications, 06(01), pp. 112–123. (2018) doi: 10.4236/jcc.2018.61012.

Jow J., Hawley M.C. **Dielectric analysis of Epoxy/Amine resins using microwave cavity technique**, Polymer Engineering and Science, Vol. 28, pp. 1450-1454, (1988)

Laboratorio Ferrer/Decagon Devices Inc - Régent Instruments Inc. **Ficha Técnica Pardeamiento No Enzimatico**.(2010)

Laurel-Gómez M. **Análisis técnico- económico para determinar la variante de diseño de tratamiento de agua en base a la tecnología: intercambio iónico a contracorriente**. La Habana: ISP José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Química; 2008

Manrique, A. **Visión general del aprovechamiento de residuos cítricos como materia prima de biorrefinerías**. 16. Máster en Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense, Madrid. 2018.



Magan, N., Sanchis, V. and Aldred, D. **The Role Of Spoilage Fungi In Seed Deterioration**, (2004). doi: 10.1201/9780203913369.ch28.

Margolis, M. **Arduino Cookbook - Recipes to Begin, Expand and Enhance Your Projects**. O'Reilly. Sebastopol: 2011.

Martins, V.; Ferreira, S.; Carvalho, V. **Measuring dry extract in dairy products: Optimizing the methodology**, Ciencia Rural, Santa Maria, v48, n7, pp. 1-7. 2018. doi: 10.1590/0103-8478cr20170883.

Menéndez, J. A. Arenillas, A. **Microwave heating processes involving carbón materials**, Fuel Processing Technology 91, pp. 1-8, (2010).

Metaxas, A. C; Meredith, R.J. **Industrial Microwave Heating**, London, 1983.

Miranda, L. **Valoración nutricional, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de cítricos: clementinas y naranjas pigmentadas**. 305. Doctor con mención Europea. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. Madrid, 2017.

Mitani, T. et al. **Development of a microwave irradiation probe for a cylindrical applicator**, Processes, v7, n3., pp. 1–14. Basilea. 2019. doi: 10.3390/pr7030143.

Nelson, S. O. y Datta, A. K. **Dielectric properties of food materials and electric field interactions**. FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-. p. 69-114. (2001)

Nelson, S. O **Dilectric properties measurement techniques and applications**, Trans. ASAE, 1999. vol. 42 (2).

Omolola, A; et al. **Optimization of microwave drying conditions of two banana varieties using response surface methodology**, Food Science and Technology, Campinas, v35, n3, pp. 438–444. 2015. doi: 10.1590/1678-457X.6700.

Pedro, S., Valdivia, R. and Laurel, M. **Agua para uso de laboratorio**, pp. 163–170. (2010)

Ribeiro, L. G. **Extração assistida por micro-ondas de óleo essencial de folhas de eucalipto (Eucalyptus urophylla x globulus)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disertación, p.118 (2018)

Rana, K. K.; Rana, S. Microwave Reactors: **A Brief Review on Its Fundamental Aspects and Applications**, OALib, 01(06), pp. 1–20. (2014) doi: 10.4236/oalib.1100686.

Raponi, F; et al. **Monitoring and optimization of the process of drying fruits and vegetables using computer vision: A review**, *Sustainability*, Basilea, v9, n11, pp. 1-27. 2017. doi: 10.3390/su9112009.

Rendón, D. et al. **Extracción de pectinas**, *Microciencia Investigación, Desarrollo e Innovación*, Pereira, v7, pp. 28-34. 2018.

Schwan, H. P. **Dielectric spectroscopy and electro-rotation of biological cells. Ferroelectrics**. Vol. 86, no. 1, p. 205-223. (1988).(2017)

Sevilla, U. **Manual Del Carbón Activo**, Aula.Aguapedia.Org. Available at: [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod\\_resource/content/1/CARBoN ACTIVO DEFINITIVO tar.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod_resource/content/1/CARBoN ACTIVO DEFINITIVO tar.pdf).2011

Sagarpa. **Cítricos**. Ciudad de México. 2016-2030. 2016, 23.

Serrador, A. **Diseño de un sistema Monitorización del Reflujo Gastroesofágico Mediante Espectroscopía de radiofrecuencia**. Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Univerdad Politécnica de Valencia. (2017)

Segura-de Jesús; Carbajal-Franco, G. **El uso de radiación de microondas para la síntesis de Nanopartículas**, *Revista de Innovación Sistemática*, 1(2), pp. 46–56. (2017)

Silvan, L. **Microwave tube Transmitters**. 9. Champman & Hall. Londres: Reino Unido. 1994. pp. 155-193.

Silva, L. A. **Avaliação da biodisponibilidade de metais em amostras de sedimentos do Rio Uberabinha**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2009

Talens, P. et al. **Study of the effect of microwave power coupled with hot air drying on orange peel by dielectric spectroscopy**. *LWT-Food Sci. Technol.* Vol 66, p. 622-628. (2016)

Tirado, D. F., Montero, P. M. and Acevedo, D. **Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias**, *Informacion Tecnologica*, 26(2), pp. 3–10. (2015) doi: 10.4067/S0718-07642015000200002.

Traffano-Schiffo, V. et al. **Development of a Spectrophotometric System to Detect White Striping Physiopathy in Whole Chicken Carcasses**. Vol. 17, no 5

Velázquez, J. **Estudio de los espectros dieléctricos en alimentos con estructura coloidal**. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. (2014)

XIAO, C. et al. **Study of enzymolysis technology and microwave Maillard preparation of *Litopenaeus vannamei***, CYTA - Journal of Food. Taylor & Francis, v17, n1, pp. 137–141. 2019. doi: 10.1080/19476337.2018.1561522.

<https://www.rfcafe.com/references/electrical/dielectric-constants-strengths.htm>  
(acceso 23-01-2021)

[https://ceramica.fandom.com/wiki/Estado\\_v%C3%ADtreo](https://ceramica.fandom.com/wiki/Estado_v%C3%ADtreo) (acceso: 23-01-2021)

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/watvap.html> (acceso: 23-01-2021)

<https://www.youtube.com/watch?v=L6wOF91GxSk>, método DHA.

## ANEXO I

## D Minimum Water Activity Limits for Growth of Microorganisms

Anthony J. Fontana, Jr.

Water Activity	Microorganism		
	Bacteria	Molds	Yeast
0.97	<i>Clostridium botulinum</i> E <i>Pseudomonas fluorescens</i>	—	—
0.95	<i>Escherichia coli</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Salmonella</i> spp. <i>Vibrio cholerae</i>	—	—
0.94	<i>Clostridium botulinum</i> A, B <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	<i>Stachybotrys atra</i>	—
0.93	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Rhizopus nigricans</i>	
0.92	<i>Listeria monocytogenes</i>		
0.91	<i>Bacillus subtilis</i>		
0.90	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Trichothecium roseum</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
0.88	(anaerobic)		<i>Candida</i>
0.86	<i>Staphylococcus aureus</i> (aerobic)		
0.85		<i>Aspergillus clavatus</i>	
0.84		<i>Byssoschlamys nivea</i>	
0.83		<i>Penicillium expansum</i> <i>Penicillium islandicum</i> <i>Penicillium viridicatum</i>	<i>Debaryomyces hansenii</i>
0.82		<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus parasiticus</i>	
0.81		<i>Penicillium cyclopium</i> <i>Penicillium patulum</i>	
0.80		<i>Penicillium citrinum</i>	<i>Saccharomyces baillii</i>
0.79		<i>Penicillium martensii</i>	
0.78		<i>Aspergillus flavus</i>	
0.77		<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus ochraceous</i>	
0.75		<i>Aspergillus restrictus</i> <i>Aspergillus candidus</i>	
0.71		<i>Eurotium chevalieri</i>	
0.70		<i>Eurotium amstelodami</i>	
0.62			<i>Saccharomyces rouxii</i>
0.61		<i>Monascus bisporus</i>	
<0.60	No microbial proliferation		

Sources: Adapted from Beuchat, L.R. 1981. Microbial stability as affected by water activity. *Cereal Foods World* 26:345-349; Beuchat, L.R. 1983. Influence of water activity on growth, metabolic activities, and survival of yeasts and molds. *Journal of Food Protection* 46:135-141, 150; Corry, J.E.L. 1978. Relationships of water activity to fungal growth. In: *Food and Beverage Mycology*, ed. L.R. Beuchat, pp. 45-82. Westport, CT: Avi Publishing; Russell, N.J., and Gould, G.W. 1991. Factors affecting growth and survival. In: *Food Preservatives*, eds. N.J. Russell and G.W. Gould, pp. 13-21. Glasgow: Blackie & Son; and Tilbury, R.H. 1976. The stability of intermediate moisture foods with respect to yeasts. In: *Intermediate Moisture Foods*, eds. R. Davies, G.G. Birch, and K.J. Parker, pp. 138-165. London: Applied Science Laboratories.

## ANEXO II

```
#include <IRremote.h>
```

```
int receptor = 11;
```

```
int relay1 = 9;
```

```
int relay2 = 8;
```

```
int relay3 = 7;
```

```
#define code1 FF9867 // code received from button no. 0
```

```
IRrecv irrecv(receptor);
```

```
decode_results codigo; //OBJETO CODIGO DE CLASE decode_result, oriundo de  
IRremote.h
```

```
void setup()
```

```
{ Serial.begin(9600);
```

```
  irrecv.enableIRIn(); // INICIA LA RECEPCIÓN
```

```
pinMode (relay1, OUTPUT);
```

```
pinMode (relay2, OUTPUT);
```

```
pinMode (relay3, OUTPUT);
```

```
digitalWrite (relay1, HIGH);
```

```
digitalWrite (relay2, HIGH);
```

```
digitalWrite (relay3, HIGH);} 
```

```
void loop()
```

```
{ if (irrecv.decode(&codigo))
```

```
  { Serial.println(codigo.value, HEX);
```

```
  irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)//CÓDIGO DEL NÚMERO CERO PARA ACTIVAR  
    SECUENCIA DE RELAY
```

```
    {digitalWrite(relay1,LOW);}
    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)//CÓDIGO DEL NÚMERO CERO PARA DESACTIVAR
    SECUENCIA DE RELAY
        {digitalWrite(relay1,HIGH);}

        delay(200);
        irrecv.resume();

        if (codigo.value==0xFF9867)
            {digitalWrite(relay1,LOW);}

            delay(200);
            irrecv.resume();

            if (codigo.value==0xFF9867)
                {digitalWrite(relay1,HIGH);}

                delay(200);
                irrecv.resume();

                if (codigo.value==0xFF9867)
                    {digitalWrite(relay1,LOW);}

                    delay(200);
                    irrecv.resume();

                    if (codigo.value==0xFF9867)
                        {digitalWrite(relay1,HIGH);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,LOW);}
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay3,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay3,HIGH);}

    delay(120000);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,LOW);}
```



```
    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,HIGH);}
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay1,LOW);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay1,HIGH);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay1,LOW);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay1,HIGH);}
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay1,LOW);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay1,HIGH);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay1,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,HIGH);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,LOW);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,HIGH);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,LOW);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
    if (codigo.value==0xFF9867)
    {digitalWrite(relay2,HIGH);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay2,LOW);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay2,HIGH);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay2,LOW);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay2,HIGH);}
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay2,LOW);}
```

```
delay(200);
irrecv.resume();
```

```
if (codigo.value==0xFF9867)
{digitalWrite(relay2,HIGH);}
```

```
    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
        {digitalWrite(relay2,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
        {digitalWrite(relay2,HIGH);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
        {digitalWrite(relay3,LOW);}

    delay(200);
    irrecv.resume();

    if (codigo.value==0xFF9867)
        {digitalWrite(relay3,HIGH);}

    delay(480000);
    irrecv.resume();}}
```