



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRONICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DESHIDRATADOR DE
HOJAS Y GRANOS POR RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRONICA**

AUTOR: JHONNY MAURICIO CARVAJAL TUFÍÑO

DIRECTOR: DANIEL MIDEROS. PhD

Quito, Marzo 2015

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2014

Reservados todos los derechos de reproducción.

DECLARACIÓN

Yo **Jhonny Mauricio Carvajal Tufiño**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jhonny Mauricio Carvajal Tufiño.

C.I. 171444284-3

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño y construcción de un deshidratador de hojas y granos por radiación electromagnética**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Jhonny Mauricio Carvajal Tufiño**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Daniel Mideros. PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1713177325

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación con mucho amor a Dios y a mis padres **Néstor y Rosana** por darme la oportunidad de estudiar pero sobre todo por su gran ejemplo, amor incondicional y todo lo que poseo: mis valores, mis principios, mi respeto hacia los demás. Por estar siempre conmigo impulsándome y dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día, superando todos los obstáculos hasta lograrlo que me proponga.

A mi hermana **Fátima** por su apoyo y cariño incondicional en las buenas y en las malas situaciones y por darme la energía en los momentos más difíciles

A mis Familiares por su cariño incondicional y apoyo en todo momento, por ser esas personas que día a día iluminan mi camino.

Finalmente a mis amigos por ser parte de esta gran etapa de mi vida e incondicionalmente apoyarme en todo momento compartiendo todas las situaciones que la vida nos a puesto en el camino.

A todos ellos

Muchísimas gracias de corazón

AGRADECIMIENTOS

“Solo el que lucha tiene derecho a vencer, solo el que vence tiene derecho a vivir, la victoria del mejor siempre ha sido, el que no espera vencer, ya está vencido”

Al finalizar este trabajo de titulación y esta nueva de mi vida es para mí un motivo de orgullo poder expresar mi gratitud a quienes estuvieron presentes y fueron pilares fundamentales para alcanzar este objetivo.

Agradezco a Dios, por darme la vida, por otorgarme todas las personas que tengo a mi alrededor: mi familia y mis amigos, y por hacer posible esta meta.

A mis Padres, Néstor y Rosana, por haberme guiado con su ejemplo y valores en el transcurso de mi vida, por su amor, su comprensión y su apoyo incondicional. Gracias por ser los mejores padres.

A mi hermana Fátima, por su cariño, generosidad y motivación para alcanzar este objetivo.

A mis Familiares, por su presencia, su alegría, su apoyo y sobre todo por su cariño en todo momento

A mis amigos, que estuvieron conmigo y compartimos muchas experiencias, tristezas y triunfos. Por ese apoyo constante y por ser parte de esta gran etapa.

A mis profesores, que compartieron sus conocimientos en mi desarrollo profesional. Gracias por sus consejos enseñanzas durante mis estudios

A la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE), por ser parte del gran grupo de estudiantes, por su aporte individual no solamente en el desarrollo de mi tesis sino en la formación profesional y como persona.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 SECADO DE GRANOS Y HOJAS	4
2.1.1 Deterioro del producto.....	5
2.1.2 Cuándo secar.....	6
2.2 TÉCNICAS DE SECADO.....	7
2.2.1 Prensado.....	7
2.2.2 Centrifugado.....	7
2.2.3 Evaporacion superficial.....	8
2.2.4 Ósmosis.....	8
2.2.5 Liofilización	8
2.2.6 Absorción.....	8
2.2.7 Adsorción.....	9
2.2.8 Congelacion.....	9
2.3 TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS PARA EL SECADO.....	9
2.3.1 Secado en el campo	10
2.3.2 Secado natural.....	10
2.3.1 Secado en patios	12
2.3.2 Secador solar.....	13
2.3.3 Secado artificial.....	14
2.3.1 Secado por ondas electromagnéticas.....	14

2.4	ONDAS ELECTROMAGNETICAS DENTRO DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.....	15
2.4.1	ondas electromagnéticas	16
2.4.2	Principios del calentamiento por altas frecuencias.....	16
2.4.2.1	Microondas (MO)	17
2.4.3	Aplicaciones de las altas frecuencias.....	18
2.4.3.1	Calentamiento.....	18
2.4.3.2	Pasteurización	19
2.4.3.3	Descongelación	19
2.4.3.4	Secado	20
2.4.4	Secado por ondas electromagneticas	20
2.4.5	Ventajas y desventajas en el uso de microondas en el secado ..	26
3.	METODOLOGIA Y MATERIALES.....	28
3.1	METODOLOGÍA	28
3.1.1	Especificación de los requerimientos	29
3.1.2	Diseño paralelo de los componentes	29
3.1.3	Diseño de control por medio de programación	30
3.1.4	Interacción arduino y processing	30
3.1.5	Evaluacion del sistema	32
3.2	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	33
3.2.1	Tarjeta de adquisicion de datos.....	33
3.2.1.1	Entorno arduino	34
3.2.2	Processing	36
3.2.2.1	Entorno processing.....	36
3.2.3	Sensor de campo magnetico	38
3.2.1	Sensor de humedad y temperatura.....	39

3.2.2	Magnetron.....	40
4.	DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR POR RADIACION ELECTOMAGNETICA.....	43
4.1	DISEÑO MECANICO	43
4.2	DISEÑO ELECTRONICO.....	46
4.3	DISEÑO DE CONTROL POR MEDIO DE PROGRAMACIÓN	49
4.3.1	Funcion arduino	49
4.3.2	Funcion processing.....	50
4.4	FUNCION DE CONTROL.....	52
5.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	56
5.1	PRUEBAS Y RESULTADOS	56
5.1.1	Pruebas camara vacia	56
5.1.2	pruebas con producto	58
5.1.2.1	Prueba con fruta	58
5.1.2.2	Prueba con hojas.....	60
5.2	RESULTADO DE CONSUMO ENERGÉTICO	63
5.3	MODELADO DEL DESHIDRATADO POR MICROONDAS	64
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
6.1	CONCLUSIONES.....	69
6.2	RECOMENDACIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA.....	72

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Contenido de humedad mínimo en algunos granos para el desarrollo de los hongos de almacén.....	6
Tabla 2. Parámetros de configuración para comunicación entre Processing y Arduino	32
Tabla 3. Resultados de humedad del producto con relación a tiempos....	59
Tabla 4. Resultados de humedad del producto con relación a tiempos....	61
Tabla 5. Ecuación correspondiente a los distintos modelos matemáticos utilizados para el deshidratado por ondas de alta frecuencia	64

ÍNDICE IMÁGENES

Figura 1. Proceso de secado	4
Figura 2. Proceso de secado natural	11
Figura 3. Secado de patios	12
Figura 4. Secado solar Rotatorio	13
Figura 5. Secado Artificial	15
Figura 6. Espectro electromagnético	17
Figura 7. Horno microondas con dos sistemas de cavidad y de guías de ondas	18
Figura 8. Calentamiento y pasteurización	19
Figura 9. Calentamiento de un sólido por microondas	24
Figura 10. Metodología de Diseño Mecatrónico	28
Figura 11. Librería Arduino dentro de Processing.....	31
Figura 12. Crear los Ficheros de almacenamiento	31
Figura 13 Arduino uno	34
Figura 14. Entorno Arduino	35
Figura 15. Entorno Processing.....	37
Figura 16. Sensor de Campo magnético Linear Hall	39
Figura 17. Sensor de Temperatura y Humedad.....	40
Figura 18. Magnetron.....	40
Figura 19. Planos de dimensiones para extractor en milímetros	44
Figura 20. Diseño SolidWorks microondas casero con modificación para extractor.....	44
Figura 21. Implementación de extractor.....	45
Figura 22. Diseño cámara interior para sensores y extracción del aire.	45
Figura 23. Diseño de las dos cámaras interior y exterior para el deshidratador.....	46
Figura 24. Diseño del circuito electrónico.	47
Figura 25. Simulación del circuito con la utilización de Fritzing.	47
Figura 26. Diseño de pistas en placa electrónica.....	48
Figura 27. Baquelita perfora para la construcción del circuito electrónico ..	48

Figura 28. Diagrama de flujo de procesos de diseño de control.	49
Figura 29. Diagrama de flujo de procesos del Arduino	50
Figura 30. Carpeta de Localización del programa	51
Figura 31. Diagrama de flujo de procesos Processing.....	52
Figura 32. Señales obtenidas de los sensores y mostradas en LCD.....	52
Figura 33. Interacción Arduino, Processing y ficheros creados	53
Figura 34. Datos humedad txt manipulables.....	54
Figura 35. Diagrama de flujo de procesos de la máquina.....	55
Figura 36. Cámara vacía de microondas	56
Figura 37. Humedad relativa de la cámara	57
Figura 38. Comportamiento en cámara vacía	57
Figura 39. Pruebas deshidratadas con productos.....	58
Figura 40. Porcentaje de humedad con respecto al tiempo	59
Figura 41. Humedad relativa y temperatura de la cámara	60
Figura 42. Pruebas de deshidratado con producto (perejil)	61
Figura 43. Porcentaje de humedad de acuerdo al tiempo de deshidratado.	62
Figura 44. Humedad relativa y temperatura de la cámara	62
Figura 45. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por el modelo exponencial.....	65
Figura 46. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por el modelo logarítmico.....	66
Figura 47. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100%% y ajuste de la misma por el modelo potencial.	66
Figura 48. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por polinomio de grado 3.	67
Figura 49. Pérdida de peso en función del tiempo para las distintas potencia de microondas: 90%, 95%, 100% respecto de la potencia máxima.	67

INDICE DE EUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de humedad	32
Ecuación 2. Calculo de Potencia	63

RESUMEN

El presente proyecto se basa en el diseño de un sistema de deshidratado de hojas, granos y frutas, enfocándose principalmente a las frutas y hojas en general como producto, el cual puede ser utilizado por estudiantes de la Universidad Tecnológica Equinoccial y por pequeños productores para el proceso de deshidratado para que de esta forma puedan mejorar su productividad y alcanzar su competencia en el mercado.

Los datos de deshidratado de diferentes productos son obtenidos mediante los sensores de humedad, temperatura y campo magnético los cuales son sometidos a pruebas que se realizaron dentro del Laboratorio de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica Equinoccial, en base a los resultados se consigue que los usuarios tengan una interacción dinámica con el diseño de control de la máquina y que posteriormente los registros obtenidos por los diferentes sensores sean guardados en una base de datos obteniendo un documento con formato txt para que el usuario tenga acceso a esta información y sea usada según sus requerimientos.

Se obtiene un sistema de deshidratado completo que cumple con las características necesarias es decir: reduce el tiempo de secado a 3 minutos en comparación con deshidratadores a combustión que se demoran de 6 a 12 horas y por otra parte eliminar la pérdida de proteínas, así conseguir un producto de calidad para estar en competencia con los productos similares que se encuentran dentro del mercado.

ABSTRACT

This project is based on the design of a system of dried leaves, grains and fruits, mainly focusing on fruit and leaves mostly as a product, which can be used for dehydrated by students at the Technical University Equator and small producers so that in this way they can improve their productivity and reach their market competition.

Data dehydrated different products are obtained by sensors Humidity, temperature and magnetic field which are subjected to tests performed in the Laboratory of Engineering in Mechatronics from the University of Technology Equator, based on the results is achieved that users have a dynamic interaction with the design of machine control and subsequently records obtained by the different sensors are stored in a database on a document with txt format for the user to have access to this information and will be used according to their requirements.

A system of completely dehydrated meets the necessary features ie reduces the drying time to 3 minutes compared with dehydrators combustion that are delayed by 6 to 12 hours and moreover eliminate the loss of protein is obtained and thus get a quality product to get to be in competition with similar products found in the market.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen pequeñas y grandes productoras agrícolas las cuales utilizan secadores que son a combustión de gas. Estos sistemas presentan varias desventajas muy claras, al ser una energía no renovable se sabe que tiene una limitada existencia, por lo que es necesario investigar nuevas alternativas que ayuden a sustituir este tipo de tecnologías en secado de granos, hojas y frutas pero que contengan el mismo principio, pero evitando la pérdida de las proteínas, aminoácidos y pigmentación ya sea de hojas, granos o frutas. Otras opciones son; la utilización de desechos vegetales como la cascarilla de arroz, tusa de maíz, tagua como combustible para la generación de energía de una cámara de calor logrando deshidratar el producto, el mismo tiene poca eficiencia en vista de que su diseño es rustico y no posee protecciones para la seguridad del usuario, además el acceso para su limpieza y tiempo de secado es prolongado, alcanzando en ciertas ocasiones hasta 12 horas de deshidratado. Por otra parte la utilización de secado por ondas electromagnéticas el cual permite mantener mayor cantidad de proteínas, aminoácidos, vitaminas y pigmentación del producto, debido a que proporciona un secado uniforme, con una mayor rapidez a temperaturas bajas y una eficiencia térmica alta, ya que el revestimiento y el aire del secado se mantienen frío evitando pérdidas de nutrientes.

Por este motivo, para el presente proyecto se plantearon los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un deshidratador de granos, hojas y frutas utilizando la propagación de onda microonda con el fin de conservar proteínas, vitamina y aminoácidos dentro del producto y así obtener productos de calidad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el rango en el que se debe encontrar la potencia de trabajo de la maquina con la cual va a conseguir el deshidratado en un tiempo reducido.
- Implementar sensores de humedad, temperatura y campo magnético los cuales censaran y tomaran datos de la cámara de la máquina.
- Crear una base de datos para que el conjunto de datos sean almacenados sistemáticamente para su posterior uso.
- Realizar una conexión física y funcional donde se desarrollen intercambios entre microcontrolador y PC dando una comunicación entre distintos niveles.

El presente proyecto de titulación está enfocado hacia el diseño y construcción de un deshidratador de hojas, granos y frutas como materia prima con la utilización de radiación electromagnética, que pueda ser usado por pequeños productores para mejorar su productividad y participación en el mercado.

Se realiza el diseño mecánico con la modificación de la parte mecánica de un microondas así como variación de potencia, incorporación de extractor de aire y sensores dentro de la cámara.

Posteriormente se realiza el diseño electrónico con la participación de un microcontrolador y su circuito para de esta forma controlar a los sensores de humedad, temperatura y campo magnético

La interfaz se la lleva a cabo con el entorno de software libre (Processing) y con el entorno del micro controlador (Arduino) para que los datos generados por los sensores sean guardados en la carpeta donde se encuentra el programa, generando mediante la programación en el entorno Processing archivos con diferentes nombres como es C.MAGNETICO.txt,

TEMPERATURA.txt y HUMEDAD.txt todos estos en formato texto para poder ser manipulados cuando el usuario los necesite.

Luego de implementar el sistema se procederá a realizar pruebas para determinar el porcentaje de humedad que tiene el producto a medida que el tiempo va aumentando en su proceso de deshidratado para posteriormente visualizar las curvas ya sea de humedad relativa, campo magnético o temperatura.

Para este propósito se hará uso de una tecnología segura, aplicable y garantizada; la cual permita conseguir la humedad final del producto con el más bajo consumo de energía posible y además estar orientado a satisfacer las necesidades del usuario

2. MARCO TEORICO

Las ondas microondas son oscilaciones de alta frecuencia que pueden llevar información a través de obstáculos como nubes, humo y lluvia. Estas ondas pueden genera calor, mediante la vibración de moléculas de agua que se originan dentro de un producto.

2.1 SECADO DE GRANOS Y HOJAS

El secado es un proceso de suma importancia dentro de la producción de alimentos, ya que al tener una gran participación de humedad es, sin duda, la característica más importante para distinguir si el grano y las hojas corren una cierta probabilidad de tener un daño durante su acumulación. El secado se lo lleva a cabo para invalidar la maduración de las semillas en caso de granos; reducir el contenido de humedad de los granos y hojas hasta lograr alcanzar un nivel que impida la maduración de los hongos, y con esto contrarrestar las reacciones de daño.



Figura 1. Proceso de secado

(Lucy, 2010)

Una definición clara y completa de lo que es el secado puede ser la siguiente: "es el método universal de acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire ambiente, de tal forma que mantenga su aspecto, sus características de alimentos, su calidad nutritiva y la viabilidad de estos" (De Dios, 1996)

Durante los métodos tradicionales el secado de los granos, presenta dos fenómenos:

- La transferencia de calor para evaporar los fluidos. Que es el calor cedido por el aire al grano, creando un desequilibrio entre las humedades del grano y la ambiente.
- La transferencia de masa, en forma de humedad interna y vapor, del grano al aire.

2.1.1 DETERIORO DEL PRODUCTO

Los hongos son unas de las principales causas del deterioro de los granos en los sistemas de secado a bajas temperaturas. El ataque de estos microorganismos puede ocasionar. (De Dios, 1996)

- Disminución del poder de germinación.
- Decoloración parcial o total del grano.
- Transformaciones bioquímicas.
- Producción de toxinas venenosas y que pueden producir cáncer en los seres humanos y en los animales.
- Pérdida de peso.

Con esto confirmamos la necesidad de calcular con mucho cuidado los sistemas de secador de granos en climas tropicales. Las especies de hongos más comunes y el contenido de humedad mínimo para su desarrollo

en maíz, sorgo y soja. Las temperaturas mínimas y óptimas para el desarrollo de algunas especies de hongos, ya que la temperatura también influye en su desarrollo **tabla 1**. Si el contenido de humedad no se mantiene bajo los niveles bajos de humedad, siempre existirá el peligro del ataque de hongos.

Tabla 1. Contenido de humedad mínimo en algunos granos para el desarrollo de los hongos de almacén

Especie de hongos	Porcentaje de humedad del maíz	Temperatura mínima para el desarrollo de hongos °C	
		Mínima	Optima
Aspergillus restrictas	13,5 – 14,5	5 – 10	30 – 35
A. glaucus	14,0 - 14,5	0 – 5	30 – 35
A candidus	15,0 – 15,5	10 – 15	45 – 50
A. flavus	18,0 – 18,5	10 – 15	40 – 45
Penicillium sp.	16,5 – 19,0	-5 – 0	20 – 25

Fuente: (De Dios, 1996)

2.1.2 CUÁNDO SECAR

Los granos tienen contenido suficiente de materia seca cuando estos consiguen su maduración, por lo que es necesario cosecharlos en ese momento para tener un gran rendimiento de esta producción. Por otra parte y por varias razones, por el alto contenido interno de humedad de los granos nos limita la cosecha y por esta razón se debe mantenerlos en el campo de producción hasta que el contenido de humedad se reduzca considerablemente y nos de paso a su cosecha; o hasta que llegue a obtener la humedad adecuada para llegar a almacenarlo. (De Dios, 1996)

Es recomendable cosechar los granos húmedos lo más rápido posible y después secarlos, con los siguientes objetivos: consiguiendo un mayor porcentaje de materia seca, menores daños y pérdidas debidas al ataque de depredadores, mayor porcentaje de energía y germinación, menor contaminación e infección de los productos en el campo y otros más. En la mayoría de los países de América Latina, el contenido de humedad de los granos para un almacenamiento seguro comprende un rango de 11 a 13 %, base húmeda, para los diferentes tipos de granos. Cuando el contenido de humedad del grano se equilibra con un air, que tiene 70% de humedad relativa y 20° C de temperatura dice que el grano está seco. (Murillo, 1983)

2.2 TÉCNICAS DE SECADO.

El secado puede llevarse a cabo por diferentes métodos, mecánicos y físico químicos como son:

2.2.1 PRENSADO

También llamado compresión, es una operación que tiene como finalidad separar un líquido de un sistema de dos fases solido-liquido comprimiendo el sistema en condiciones que le permita al líquido fluir y salir del solido mientras este se queda retenido entre las superficies compresoras. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.2 CENTRIFUGADO.

Al aplicar a un material mojado una fuerza centrífuga suficientemente elevada, el líquido contiene en el material se desplaza en la dirección de la fuerza, produciendo así una separación de líquido y sólido. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.3 EVAPORACION SUPERFICIAL

Cuando un producto es sometido a una acción de corriente que contiene aire caliente, el líquido que contiene dicho producto se evapora al aumentar su contenido en el aire. Se produce así una desecación. Este es el método más utilizado, también llamando deshidratación por aire caliente. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.4 ÓSMOSIS

Cuando un producto se sumerge en una disolución concentrada de sal o azúcar, se produce un flujo de agua desde el interior de las células del alimento hacia la disolución más concentrada a través de una membrana semipermeable. Este flujo se establece a causa de una diferencia de potencial químico del agua en el alimento y en la solución que le rodea. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.5 LIOFILIZACIÓN

En esta operación, el líquido a eliminar, previamente congelado, se separa del producto que los contiene por sublimación. De ahí que sea necesario partir del producto congelado y trabajar en condiciones de vacío. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.6 ABSORCIÓN

Es una operación aplicada a gases, en la que uno o varios componentes de una mezcla gaseosa que derrite en un líquido. En el caso de la deshidratación, el componente que se solubiliza es el vapor que se quiere eliminar del gas en cuestión. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.7 ADSORCIÓN

Es la eliminación del agua contenida en el aire mediante absorbentes como el gel de sílice. (Pedro Maupoey, 2008)

2.2.8 CONGELACION

Cuando se congela una sustancia que contiene un líquido este se separa continuamente en forma sólida produciendo una concentración del material que contenía disuelto o cuando se encuentra cantidades pequeñas, secando al material. (Pedro Maupoey, 2008)

2.3 TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS PARA EL SECADO

Un sistema de secado de granos exige una inversión muy considerable de dinero. En la compra o construcción de un sistema para el secado y almacenamiento de granos y hojas, a nivel rural, se debe tener en cuenta la capacitación y la preparación del agricultor, con el fin de utilizar al máximo los beneficios que le pueden ofrecer las nuevas tecnologías. (Murillo, 1983)

Además de conocer las características de la estructura del sistema de secado y almacenamiento, es necesario que el agricultor esté consciente que en la comercialización se puede entregar granos de mejor calidad y en el momento oportuno. La explicación correcta de ese poder de negociación permite al agricultor incrementar las ganancias y, por consiguiente, pone a su disposición mayores recursos para mejorar su producción y su nivel de vida. (Murillo, 1983)

Los procesos de secado y almacenamiento obedecen, en general, de las condiciones en las que se encuentra el medio ambiente. Varios de los parámetros de estos procesos fueron establecidos para climas templados, ya que fueron desarrollados en Estados Unidos y Europa, por lo que no son

recomendables para condiciones tropicales. Por lo tanto, es de Fundamental importancia seleccionar esmeradamente las tecnologías que van a ser aconsejadas, tomando en consideración su costo inicial, su operación y el rendimiento. Presenta los siguientes beneficios: (De Dios, 1996)

- Adelantar el tiempo de la cosecha, lo que deja libre el suelo para nuevas siembras.
- Obtención de un producto con menos daños ocasionados por insectos y hongos.
- Venta del producto a mejores precios, ya que su almacenamiento se lo puede tener por mucho tiempo y podría venderse en épocas que no sea de cosecha
- Menores costos de transporte porque el producto se transporta seco.
- Mejor adaptación a las tecnologías que ya existentes.

(De Dios, 1996)

2.3.1 SECADO EN EL CAMPO

Se conoce cuando los granos llegan a estar completamente formados se dice que están maduros y su contenido de humedad se encuentra en el 35%. Esto quiere decir que la planta ha cumplido su ciclo de vida, no existe conexión entre grano y planta por lo que las hojas secas caen y el grano queda expuesto a las condiciones que tiene el medio ambiente. (Murillo, 1983)

2.3.2 SECADO NATURAL

Se da a conocer que el secado natural es aquél que con la circulación del aire de secado se consigue con el comportamiento de los vientos, y la

energía dada para expulsar la humedad proviene de la capacidad de secado del aire y con la participación directa de la energía solar. El secado natural en el campo se realiza directamente en la planta y con esto nos da paso a la cosecha, cuando se aglomera las mazorcas en montones, pilas o hileras para estos dejarlo secar al sol. Para conseguir reducir el tiempo de secado es necesario construir patios de secado o secadores simples que aprovechan la acción del viento y la energía que nos brinda el sol. Este método de secado es muy común ya que una gran parte de los agricultores de los países subdesarrollo, a veces por desconocimiento de técnicas nuevas y porque las condiciones climáticas permiten su uso a un costo muy reducido como se muestra en la figura 2. (De Dios, 1996)

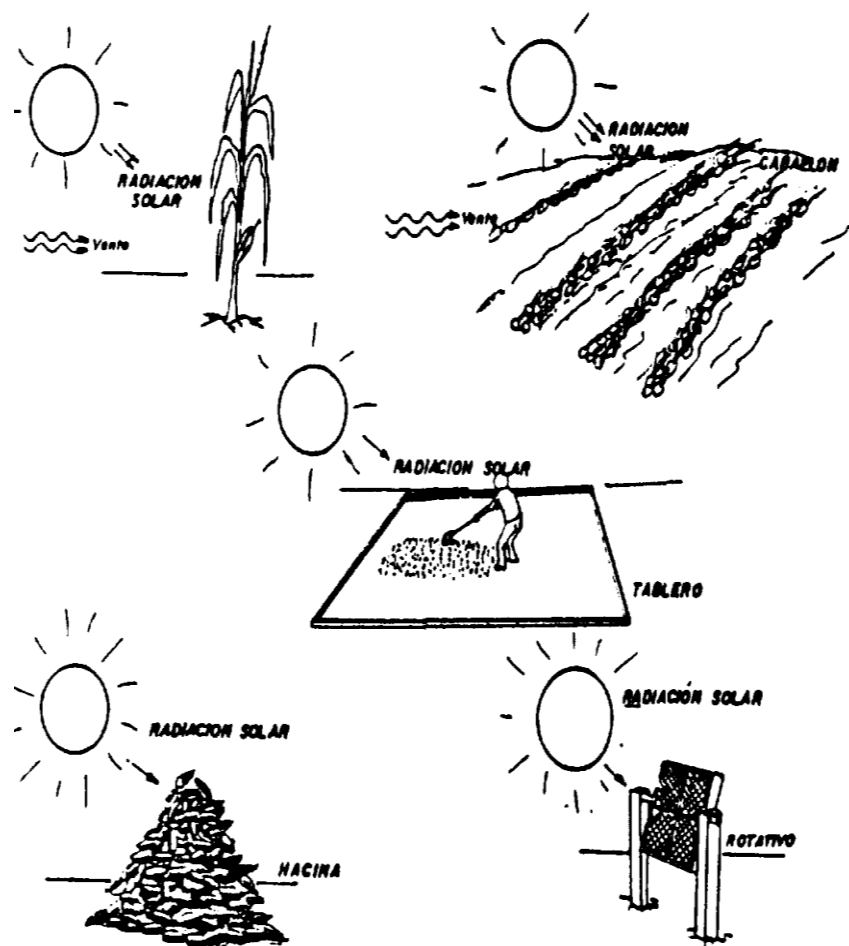


Figura 2. Proceso de secado natural

(De Dios, 1996)

2.3.1 SECADO EN PATIOS

El patio es un piso de ladrillos, de hormigón o de tierra compactada que se construye en un lugar plano y donde tenga gran entrada de rayos que otorga el sol. Cuando es de ladrillos, se cubre con una mezcla de cemento y arena, y en sus bordes se construye un pequeño muro de 10 centímetros de alto. El piso de los patios debe tener una inclinación mínima de 1,5 por ciento para facilitar el deslizamiento de las aguas de lluvia. El secado en patios es un proceso natural, que consiste en esparcir el producto sobre un piso, en capas generalmente de menos de 10 centímetros de espesor. El secado se realiza por la acción del viento y la energía solar que incide sobre la superficie de los granos; por ello es necesario mezclar frecuentemente el producto para que el secado sea homogéneo. El uso de patios para el secado de granos es el más conocido, debido a la simplicidad de su construcción y operación, al bajo costo inicial y a su versatilidad, ya que pueden ser secados la mayor parte de granos existentes como se muestra en la figura 3. (Murillo, 1983)



Figura 3. Secado de patios

(Espectador, 2012)

2.3.2 SECADOR SOLAR

El secador solar es un equipo que utiliza la radiación solar como fuente de energía para disminuir la humedad del producto o del material a secar estos equipos utilizan el efecto invernadero como trampa de calor. Estos están compuestos de una caja de madera con el frente y el fondo de tela de alambre. La caja tiene un eje central, que es un tubo de hierro galvanizado de 3/4 de pulgada, que se apoya en dos pequeños pilares de madera, que permiten la rotación. El secador es de inclinación variable, y su eje de rotación está alineado en la dirección norte-sur. La inclinación debe acompañar los movimientos del sol para aprovechar de mejor manera la energía solar, por lo que el secador se debe mover de posición varias veces durante el día. (Nonhebel G., 1979)

Las partes que influyen en el proceso de secado, en el secador rotativo, son parecidas a secado de patios. La diferencia prioritaria está en que los secadores rotativos, además de aprovechar de mejor manera la energía que nos brinda el sol, también aprovechan la acción del viento. El secador solar rotativo se da para el secado de granos a nivel del pequeño agricultor y poder remplazar totalmente el uso de los patios. (Nonhebel G., 1979)

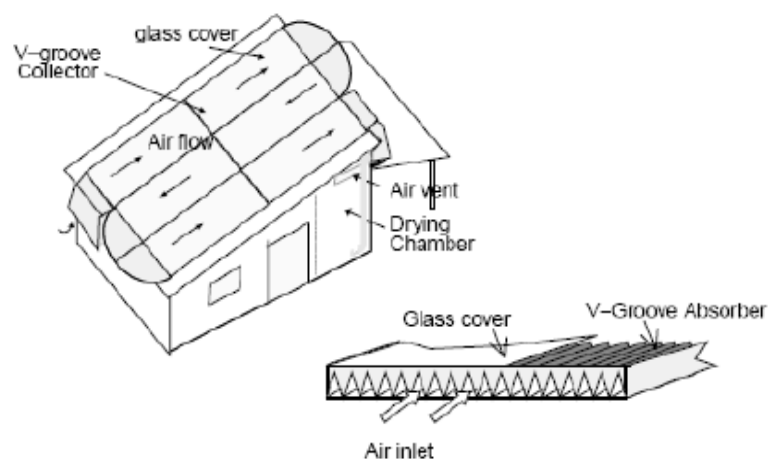


Figura 4. Secado solar Rotatorio

(Nonhebel G., 1979)

2.3.3 SECADO ARTIFICIAL

Para el secado artificial de granos y hojas existen básicamente dos métodos: uno que emplea altas temperaturas (entre 45 y 120 C, o más en algunos casos) y el otro caso es contrario, se emplea bajas temperaturas. El secado a bajas temperaturas (con o sin calentamiento adicional del aire de secado) es un proceso de gran eficiencia energética, con el cual se obtiene un producto final de buena calidad cuando se realiza en forma adecuada, ya que la temperatura sólo se aumentan unos pocos grados más arriba de la temperatura ambiente (1 -5 C). (Nelson, 1986)

El principal problema que se presenta en el secado de granos a bajas temperaturas lo constituye el peligro de daño del producto debido al largo tiempo que se requiere para el secado. El secado artificial con altas temperaturas es más rápido; sin embargo, la eficiencia energética es menor.

Los sistemas para el secado artificial de granos y hojas están constituidos por un ventilador que mueve el aire y que lo fuerza a pasar por la masa, una cámara para contenerlo y un quemador que permite aumentar la temperatura del aire de secado. Cuando el grano y las hojas se van a secar en flujos continuos, los secadores necesitan equipos especiales para llenarlos con hojas y granos húmedos y para vaciarlos cuando están secos. En los secadores inalterables, el grano se retira del secador después que se ha secado y enfriado. Cuando el secado se realiza a bajas temperatura, el grano puede ser almacenado en el lugar del secado como se muestra en la figura 5. (De Dios, 1996)

2.3.1 SECADO POR ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

El secado por ondas electromagnéticas consiste en el calentamiento no tradicional que consiste en penetrar el producto desde la superficie; sino consiste en penetrar rápidamente a todo el volumen del producto, por lo que la superficie está expuesta a enfriamiento debido a la evaporación, la

temperatura interna del producto es mayor a las capas exteriores debido a la humedad que quiere salir con la contribución de la presión del vapor interno.

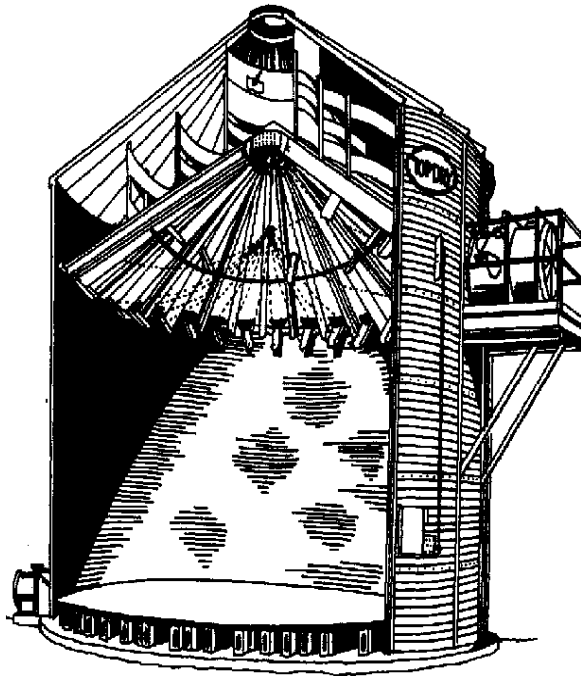


Figura 5. Secado Artificial

(De Dios, 1996)

2.4 ONDAS ELECTROMAGNETICAS DENTRO DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Su atractivo reside en la elevada velocidad de calentamiento y en que no provoca cambios significativos en la superficie del alimento cuando se trabaja con tiempos y potencias de microondas adecuados. El tratamiento industrial por microondas se halla restringido por sus costos y la necesidad de sintonizar el magnetrón con diferentes alimentos. La aplicación industrial más importante es la descongelación, la deshidratación y la terminación del horneado. Para productos de pequeño espesor como hojas y granos, la eficacia del deshidratado convencional puede mejorarse sometiéndolos a un tratamiento final por microondas.

Las altas frecuencias en el mundo de la tecnología de alimentos son bien conocidas por el conocimiento y uso del horno microondas doméstico, que en estos tiempos se ha convertido en un elemento de gran importancia en el ámbito de la cocina. (TECA, 2005)

2.4.1 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las radiaciones electromagnéticas son las generadas por partículas eléctricas y magnéticas moviéndose a la vez (oscilando). Cada partícula genera lo que se llama un campo, por eso también se dice que es una mezcla de un campo eléctrico con un campo magnético y en este se puede ver estas propiedades.

Las ondas electromagnéticas no requieren un medio físico para propagarse. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia.

Estas ondas se utilizan en el campo de la comunicación, medicina, la industria alimenticia, etc., con mucha utilidad; tomando en cuenta los efectos perjudiciales de algunas de ellas dentro de la salud y también que la disipación de energía contribuye notoriamente al aumento de la temperatura, dependiendo que la irradiación ya sea local o general.

2.4.2 PRINCIPIOS DEL CALENTAMIENTO POR ALTAS FRECUENCIAS

El calentamiento por ondas electromagnéticas de baja energía, ya sea por microondas o radiofrecuencias, se basa en la excitación de las moléculas polares, como la molécula de agua, presentes en los alimentos, ambos calentamientos se diferencian entre sí por la frecuencia y la forma de generar calor. (TECA, 2005)

2.4.2.1 Microondas (MO)

Las microondas son las ondas de segunda menor frecuencia en el espectro EM. Mientras que las ondas de radio pueden tener hasta una milla de longitud, las microondas miden desde unos pocos centímetros hasta un pie (30 cm). Debido a su frecuencia más alta, las microondas pueden llevar información a través de obstáculos que interfieren con las ondas de radio, como nubes, humo y lluvia. Las microondas se usan para los radares, los teléfonos de línea y la transmisión de datos de computadora.

Las microondas son ondas electromagnéticas definidas en el rango de frecuencias situado entre 300 MegaHz y 300 GigaHz, que corresponden a longitudes de onda desde 1 mm a 30 cm. (TECA, 2005)

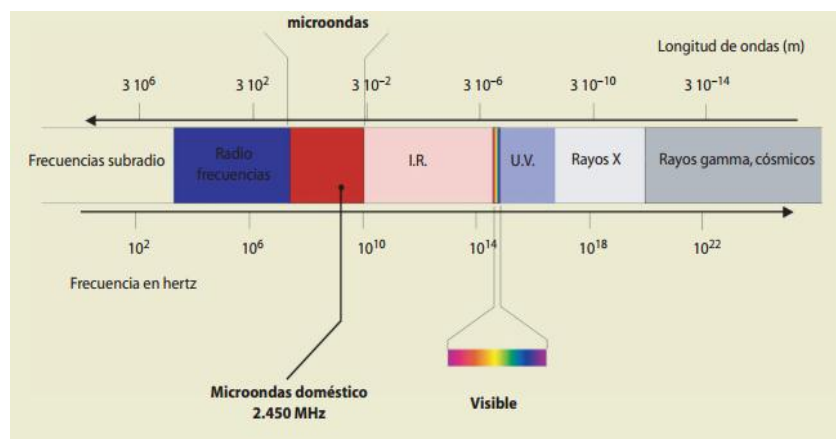


Figura 6. Espectro electromagnético

(TECA, 2005)

Una de las aplicaciones más conocidas de las microondas es el horno microondas, que usa un magnetrón para producir ondas a una frecuencia de aproximadamente 2,45 GHz. Estas ondas hacen vibrar las moléculas de agua, lo cual genera calor; como la mayor parte de los alimentos contienen un importante porcentaje de agua, pueden ser fácilmente calentados de esta manera.

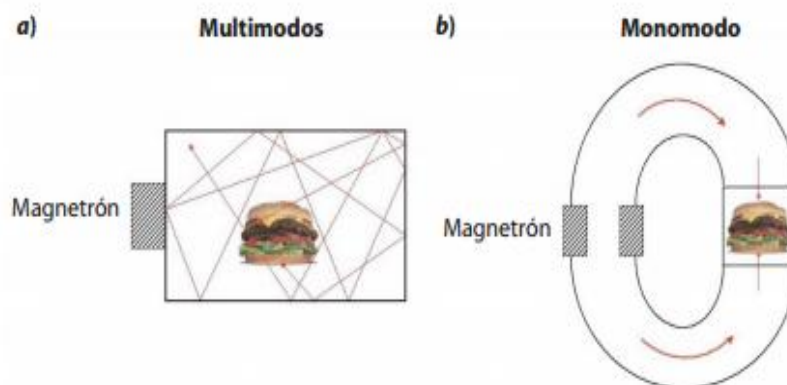


Figura 7. Horno microondas con dos sistemas de cavidad y de guías de ondas

(TECA, 2005)

2.4.3 APLICACIONES DE LAS ALTAS FRECUENCIAS

Para las altas frecuencias se toma en cuenta la profundidad de penetración depende del nivel de absorción y el nivel de circulación lo que nos permite conocer las aplicaciones que son:

2.4.3.1 Calentamiento

La primera aplicación de las altas frecuencias es el calentamiento. Por lo general, en los procesos de calentamiento en el ámbito doméstico o de empresas dedicadas a la restauración se busca calentar un producto a una temperatura homogénea superior a 65 °C, los microondas domésticos utilizan 2,450 MHz, un sistema multimodo y una potencia eléctrica de 900 W uno de los inconvenientes es la particularidad que tiene ciertos puntos de calentamiento es decir no calienta todo el cuerpo en el mismo periodo de tiempo. Al no poder cambiar el modo de llevar la microonda, las modificaciones se han de enfocar sobre la geometría del producto. (Ryynamen & Risman, 2004)

2.4.3.2 Pasteurización

El hecho de que con las altas frecuencias se puedan alcanzar temperaturas altas en un intervalo de tiempo corto hace que esta tecnología sea una alternativa para estas aplicaciones, con un recipiente adecuado un producto puede llegar a obtener temperaturas más altas que permitirán la pasteurización del producto como se muestra en la figura 10. (Apostolou & C., 2005)

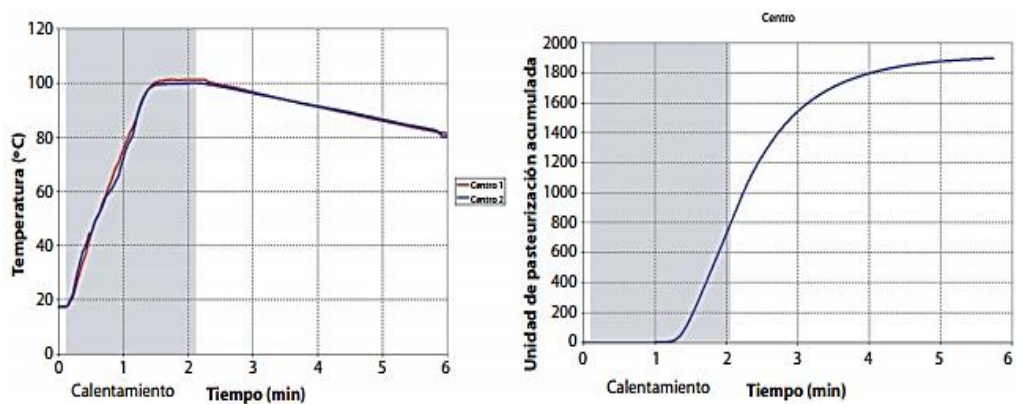


Figura 8. Calentamiento y pasteurización

(TECA, 2005)

2.4.3.3 Descongelación

La descongelación consiste en llevar un producto desde $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura a la cual dichos producto puede ser procesado. En los tratamientos convencionales el tiempo de descongelación es bastante demoroso y con la utilización de radio frecuencia este tiempo puede disminuir en un 94,5 %, en resumen, mediante la descongelación por altas frecuencias puede obtenerse un proceso de una duración inferior a dos horas, con un evacuación alrededor del 1%, lo que a su vez permite una disminución del crecimiento de bacterias y aumento de la vida útil del producto. (TECA, 2005)

2.4.3.4 Secado

Las altas frecuencias también se puede aplicar en los procesos de secado, muy utilizados en las industrias textiles, maderas y papeleras; en el sector agro alimentario, las elevadas frecuencias se han utilizado en procesos de post-horneado para la producción de galletas y para el secado de hierbas especias y vegetales con una mejor calidad de productos debido a la eliminación del porcentaje de agua necesaria. (Rowley, 2001)

2.4.4 SECADO POR ONDAS ELECTROMAGNETICAS

La difusión de la energía por microondas para el calentamiento y cocción de alimentos, que se ha expandido por todo el mundo, ha predispuesto a probar el sistema para el secado de granos. Las experiencias realizadas han sido promisorias en cuanto a la mayor velocidad de secado, pero han ocasionado algunos problemas de deterioro de la calidad de los granos, similares a los del secado convencional. Por otro lado el alto costo de este procedimiento lo limita por ahora, solamente, a experiencias de laboratorio. (Nelson, 1986)

Las frecuencias de microondas son parte de la porción de radiofrecuencias del espectro electromagnético. Generalmente, están consideradas las que caen en las frecuencias de alrededor de 1 GHz.

Este tipo de secado no contamina los granos y seca rápidamente, pues actúa sobre toda la masa de granos en forma casi instantánea.

En este tipo de secado la fuente de calor es el mismo producto por lo que no existirá pérdida de calor pero con una humedad de 80% del producto conseguiré llegar hasta 30% de humedad de esta. (De Dios, 1996)

Las microondas son parte del espectro electromagnético y en consecuencia, se componen de campos magnéticos y eléctricos. En el calentamiento de alimentos por microondas, los campos eléctricos interaccionan con las moléculas de agua e iones en el alimento, generando calor en forma

volumétrica en el interior del mismo. La estructura de la molécula está constituida por un átomo de oxígeno, cargado negativamente y dos átomos de hidrógeno, cargados positivamente. (Nelson, 1986)

La molécula de agua es un dipolo eléctrico que, cuando se lo somete a un campo eléctrico oscilante de elevada frecuencia, los dipolos se reorientan con cada cambio de polaridad. Así se produce la fricción dentro del alimento que hace posible que el mismo se caliente. La diferencia principal entre las microondas y la radiación infrarroja es que las microondas inducen una fricción entre las moléculas de agua, que provoca calor; en cambio, la energía infrarroja es simplemente absorbida y convertida en calor.

El calor generado por las microondas no es uniforme. En el interior de los alimentos, se producen gradientes de temperatura que ocasionan la difusión del agua y provocan 35 cambios en las propiedades de éstos que a su vez tienen efecto sobre la generación de calor. En síntesis, se puede decir:

Las ondas electromagnéticas son responsables de la generación de calor, la transferencia de humedad y de los cambios bioquímicos y transformaciones físicas que se producen en el alimento.

Estos equipos constan de tres componentes principales: (JERRY D. WILSON, 2003)

- El magnetrón que genera los campos electromagnéticos productores de microondas
- Un tubo de aluminio denominado guía. En su interior, la energía se va reflejando y va siendo conducida hasta la cámara de calentamiento.
- Una cámara de calentamiento donde se dispone el alimento para ser calentado.

Las dos propiedades que determinan la interacción del alimento con las microondas son la constante dieléctrica y la pérdida dieléctrica. La constante dieléctrica representa la habilidad del material para almacenar energía

electromagnética y el factor de pérdida dieléctrico efectivo tiene en cuenta la disipación de energía o la generación de calor. (Pedro Maupoey, 2008)

El aire en el interior del horno de microondas absorbe muy poca energía de las microondas, por lo tanto el alimento es calentado directamente por las ondas electromagnéticas; a excepción de los hornos microondas combinados que también trabajan con convección de aire calentado por una resistencia eléctrica. El tamaño, la forma y las propiedades de los alimentos afectan la distribución espacial de la absorción de las microondas.

Ecuaciones que gobiernan el fenómeno de la generación de los campos electromagnéticos (Miguel Cerrolaza, 2000)

Los campos electromagnéticos responsables del calentamiento se describen por las ecuaciones de Maxwell

$$\nabla \times E = -\frac{\partial}{\partial t}(\mu H)$$

$$\nabla \times H = -\frac{\partial}{\partial t}(\epsilon \epsilon_0 E) + \epsilon_{eff} \epsilon_0 W E$$

$$\nabla \cdot (\epsilon E) = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial}{\partial t}(\mu H)$$

Dónde:

E y H son los vectores del campo eléctrico y magnético, respectivamente

ϵ es la permisividad compleja dada por

$$\varepsilon = \varepsilon'' + j\varepsilon_{eff}$$

Dónde:

ε'' : Constante dieléctrica del alimento

ε_{eff} : Factor de pérdida dieléctrico efectivo

ε_0 : Constante dieléctrica del aire

μ : Permisividad magnética

Las propiedades, ε'' y ε_{eff} , dependen de la ubicación en el alimento ya que varían con la temperatura. Las ecuaciones de Maxwell se resuelven para obtener el campo eléctrico, E. Éste será función de la posición en el alimento y de su tiempo de calentamiento (Miguel Cerrolaza, 2000). El calor generado es calculado a partir de este campo eléctrico. Cabe resaltar que las propiedades dieléctricas dependen de la composición del alimento (humedad y contenido de sal, en particular) y de la temperatura.

Ecuación que gobierna la transferencia de calor

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q(x, T)$$

ρ Densidad del alimento.

c_p Calor específico del alimento.

T: Temperatura.

t: tiempo.

k: conductividad térmica del alimento.

Q: calor generado por la microonda.

x: coordenada de posición del alimento.

El primer miembro de la ecuación representa la acumulación de calor en el producto. En éste, figura como uno de los factores, la velocidad de aumento de la temperatura (Miguel Cerrolaza, 2000) y los restantes se refieren a propiedades del alimento: densidad y calor específico. En el segundo miembro, el primer término es el de difusión del calor por mecanismo conductivo y el segundo término es la generación de calor por microondas. Este último término se relaciona con el campo eléctrico por medio de la siguiente ecuación:

$$Q(x, T) = \frac{1}{2w\epsilon_0\epsilon_{eff}E^2}$$

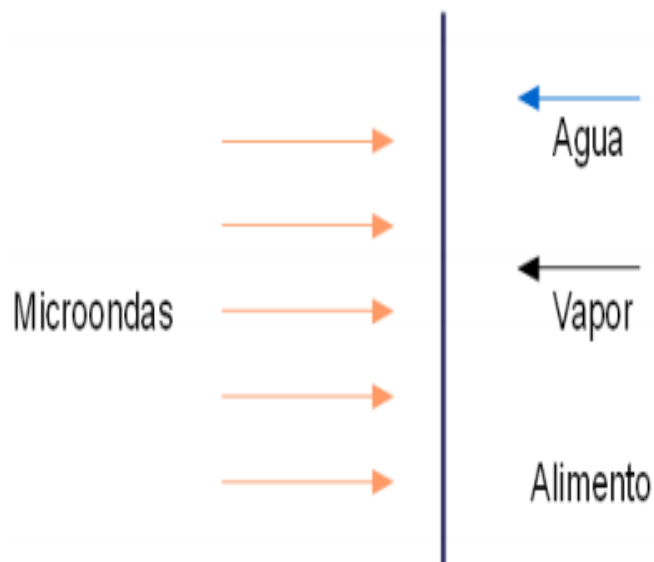


Figura 9. Calentamiento de un sólido por microondas

Dentro de la transferencia de calor se observa el modelo simplificado electromagnético de transferencia de calor en sólidos con transporte de humedad, en este modelo se considera que la evaporación no se da antes de alcanzar el centro la temperatura de 100°C. Una vez que se alcanza esta temperatura, se asume que toda la energía del microondas se utiliza para la evaporación. Otra suposición del modelo es la de considerar que el

transporte de agua se da por difusión capilar solamente e ignora el flujo de líquido por diferencia de presión (ecuación de Darcy). La velocidad de evaporación de la humedad aumenta con el aumento de temperatura. (Frank Incropera, 1999)

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + Q \text{ cuando } T \leq 100^\circ C$$

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + 0 \text{ cuando } T > 100^\circ C$$

$$\rho \frac{\partial M}{\partial t} = 0 \text{ cuando } T \leq 100^\circ C$$

$$\rho \frac{\partial M}{\partial t} = -\frac{Q}{\lambda} \text{ cuando } T > 100^\circ C$$

Dónde:

M: Contenido de humedad (en base húmeda)

λ : Calor latente de vaporización del agua

Q: Calor generado por la microonda

Se consiguen los parámetros del secado electromagnético:

La frecuencia para el proceso de deshidratado, es decir la absorción de energía varía de acuerdo a la humedad del producto ya que con esto la cantidad de energía utilizada va disminuyendo automáticamente a medida

que se va secando el producto, se toma en cuenta desde 2.24GHz hasta 2,45GHz la cantidad que llega a otorgar el magnetrón en su totalidad lo que permite ingresar por todos los puntos que compone el producto y esto nos permite secar el producto por completo. (Nelson, 1986)

La temperatura de ebullición del agua depende de la presión, para secar los productos alimenticios la temperatura no debe ser mayor a 70 °C en hojas no mayor a 40°C ya que con estas temperaturas logramos conservar todas las vitaminas, y la temperatura se va acoplado automáticamente con las ondas electromagnéticas

Para deshidratar en un periodo relativamente corto es necesario aumentar la intensidad de secado para esto lo único que se podría hacer es el calentamiento con ventilación forzada

Al tener una Presión de 10^4 Pas (0,1 atm) el agua empieza a evaporarse a 45°C es decir la temperatura de ebullición no es superada, ya que la potencia que se otorga no se gasta en calentamiento pero se gasta en la evaporación de la humedad. (Nelson, 1986)

2.4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE MICROONDAS EN EL SECADO

Entre las principales ventajas se pueden citar (Mascheroni, 2006):

- Una mayor eficiencia en la difusión de calor y materia.
- Desarrollo de gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado.
- Posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales
- Mejora en la calidad de producto obtenido.

Y entre las desventajas:

- Calentamiento no uniforme del producto
- Costos de instalación altos
- Eficiencia energética baja

3. METODOLOGIA Y MATERIALES

La ingeniería mecatrónica se usa para denotar un campo interdisciplinario de la ingeniería en rápida evolución, que trata con el diseño de productos cuya función se apoya en la integración sistemática y en forma simultánea de los componentes mecánicos y electrónicos coordinados por una arquitectura de control.

3.1 METODOLOGÍA

La metodología es un conjunto de procedimientos utilizados para alcanzar objetivos planteados. Para este diseño Mecatrónico se aplica una metodología con ingeniería concurrente o simultánea la misma que se muestra en la figura 10.

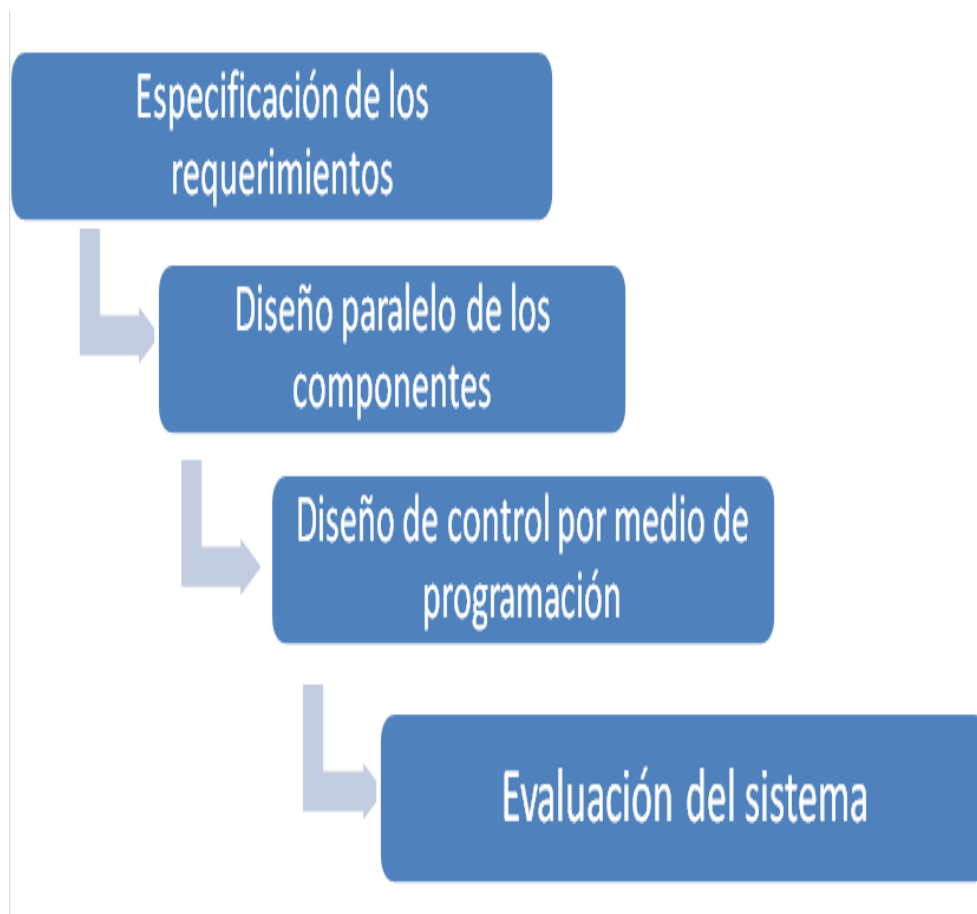


Figura 10. Metodología de Diseño Mecatrónico

3.1.1 ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

Para satisfacer las necesidades de deshidratador de granos se deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- La cantidad máxima de 200 gramos de cualquier producto que ingresa al sistema pero tomando en cuenta que debe estar de un grosor máximo de 1cm.
- La potencia necesaria para lograr la deshidratación varía entre 90% y 100% para conseguir una deshidratación
- Tener en cuenta la humedad del producto que se va a ingresar como: frutas, hojas o granos; para tomar en cuenta el tiempo que se va a dar para la deshidratación.

3.1.2 DISEÑO PARALELO DE LOS COMPONENTES

Para el diseño mecánico se tiene que modificar la entrada de corriente mediante un potenciómetro que va conectado a la entrada de la fuente y así disminuir la corriente y por lo tanto reducir la potencia de entrada y tener así una variación de la potencia de trabajo del magnetrón, también se incorpora un extractor que empiece su funcionamiento a la par que el magnetrón para la disminución de aire dentro de la cámara permitiendo que los productos no sean oxidados.

En el diseño electrónico se tiene la implementación de los sensores de humedad, temperatura y campo magnético los cuales tomaran datos y enviaran a un microcontrolador (Arduino) el cual se encarga de enviar los datos para que estos sean visualizados en una pantalla (LCD).

El diseño de control va a conseguir mediante la programación del Arduino para los diferentes sensores y también en este se pueden realizar los cambios de tiempo para la adquisición de los datos, por otra parte la programación en Processing nos permite que los datos conseguidos sean guardados en una base de datos que es generado para cada uno de los sensores y guardados estos en formato txt, esto es permitido gracias a la interfaz que se realiza entre Arduino y Processing para transmitir los datos desde el microcontrolador hasta el software libre (Processing) y así observar los cambios que se realizan en el periodo de tiempo para cada uno de los sensores.

3.1.3 DISEÑO DE CONTROL POR MEDIO DE PROGRAMACIÓN

El diseño de control va a conseguir mediante la programación del Arduino para los sensores de humedad, temperatura y campo magnético, por otra parte la programación en Processing nos permite que los datos conseguidos sean guardados en una base de datos que es generado para cada uno de los sensores y guardados estos en formato txt, esto es permitido gracias a la interfaz que se realiza entre Arduino y Processing para transmitir los datos desde el microcontrolador hasta el software libre (Processing) y así observar los cambios que se realizan en el periodo de tiempo para cada uno de los sensores.

3.1.4 INTERACCIÓN ARDUINO Y PROCESSING

Para utilizar la interfaz de Processing en Arduino, se debe descargar la librería Arduino para Processing y la ubicamos en una carpeta de librerías dentro de Processing: C:\Users\MAURI\Desktop\processing-2.2.1\modes\java

Con esto ya se tiene creada la librería de Arduino dentro de Processing para poder trabajar con esta. Como se muestra en la figura 11

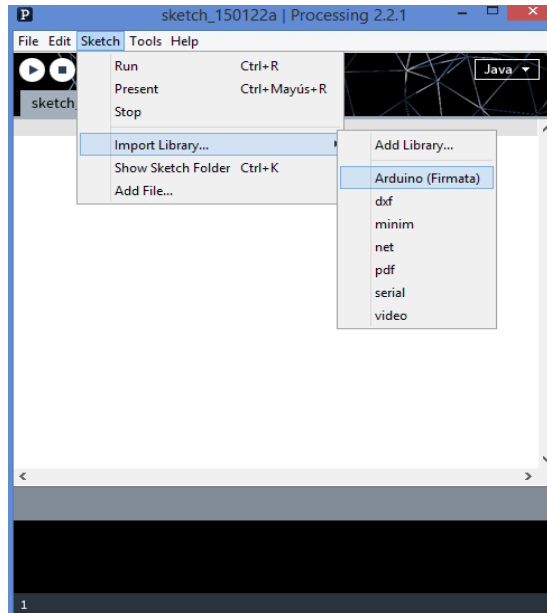


Figura 11. Librería Arduino dentro de Processing

Realizamos la programación dentro del Arduino la cual ayuda a controlar en el puerto serial, la cargamos dentro del Arduino y posteriormente realizamos el programa dentro de Processing el cual nos va permitir crear diferentes documentos en formato txt para los diversos datos que vamos almacenar en estos documentos como son de: Temperatura, Humedad y Campo Magnético, para esto definimos que deseamos hacer con cada una de estas lecturas.

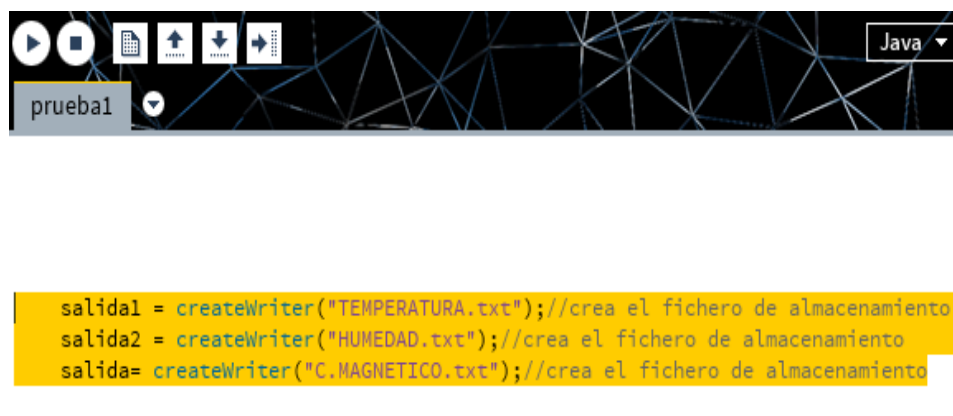


Figura 12. Crear los Ficheros de almacenamiento

Tabla 2. Parámetros de configuración para comunicación entre Processing y Arduino

Velocidad de Transmisión	9600 bps
Puerto de Comunicación	COM 6
Tipo de tarjeta Arduino	Arduino Uno

3.1.5 EVALUACION DEL SISTEMA

El sistema es evaluado mediante el método de Humedad de solidos secos el cual consiste en: tomar el producto con las especificaciones dadas anteriormente y pesarlos respectivamente para tener su peso inicial, y estas someterlas ha deshidratado en periodos de tiempo para tomar los valores finales de sus pesos respectivamente y con esto posteriormente poder realizar los cálculos de humedad que contiene dicho producto en sus diferentes fases mediante el método de humedad de solidos secos el cual nos dice:

De acuerdo a Carlos Eduardo Orrego (2003) el contenido de humedad de un alimento puede expresarse con base en el producto húmedo: masa de agua/masa de producto húmedo, con base en el producto seco: masa de agua/masa de solido seco. La última es la más usada para los cálculos de sacado.

Porcentaje de humedad (%)

$$Wp = 100 \frac{W}{1-Ws} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

Wp: Porcentaje de humedad

W: masa producto húmedo

Ws masa de producto seco

3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

Es primordial en el proceso de diseño de la máquina, el objetivo principal es que el material este acorde a las necesidades de la máquina, mientras se logra los objetivos de rendimiento del producto de selección sistemática del mejor material para su determinada aplicación

3.2.1 TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS

Se toma Arduino uno como tarjeta de adquisición de datos para gestionar las señales de los sensores de Humedad, temperatura y campo magnético y así controlar la cámara de la máquina, también porque es compatible con el entorno de desarrollo Processing, presenta gran número de entradas digitales y analógicas además puede ser alimentada sin necesidad de cable USB logrando así tener un sistema reducido de cables.

El Arduino Uno es una placa electrónica basada en el atmega. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida, 6 entradas analógicas, un resonador cerámico 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de AC o la batería a DC para empezar.

El Uno es diferente de todas las placas anteriores en que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En lugar de ello, cuenta con la Atmega16U2 programado como convertidor USB a serie. Como se muestra en la figura 20.









Figura 13 Arduino uno
(ARDUINO, 2015)

3.2.1.1 ENTORNO ARDUINO

El entorno de desarrollo Arduino contiene un editor de texto para escribir código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes, y una serie de menús. Se conecta al hardware Arduino para cargar programas y comunicarse con ellos.

Software escrito utilizando Arduino se llaman bocetos. Estos bocetos se escriben en el editor de texto. Tiene características para cortar / pegar y para buscar / reemplazar texto. El área de mensajes proporciona información mientras que el ahorro y la exportación y también muestra los errores. La consola muestra la salida de texto por el entorno Arduino incluyendo mensajes de error completas y otra información. La esquina derecha inferior de la ventana muestra la actual junta directiva y el puerto serie. Los botones de la barra de herramientas le permiten comprobar y cargar programas, crear, abrir y guardar dibujos, y abre el monitor serie.

Para la construcción del sistema es necesario tener extractores de oxígeno concatenados con la ventilación del magnetrón, esto permite que el producto se seque en un intervalo menor, disminuyendo pérdidas de tiempo. (ARDUINO, 2015)

-  Comprueba, verifica el código para observar si no hay errores
-  Sube, compila el código y lo carga en la placa Arduino E / S. Ver subir los detalles a continuación.
-  Nuevo, crea un boceto
-  Abierto, Presenta un menú con todos los bocetos en su cuaderno de bocetos. Al hacer clic en uno lo abrirá en la ventana actual
-  Guardar boceto
-  Abre Monitor serial

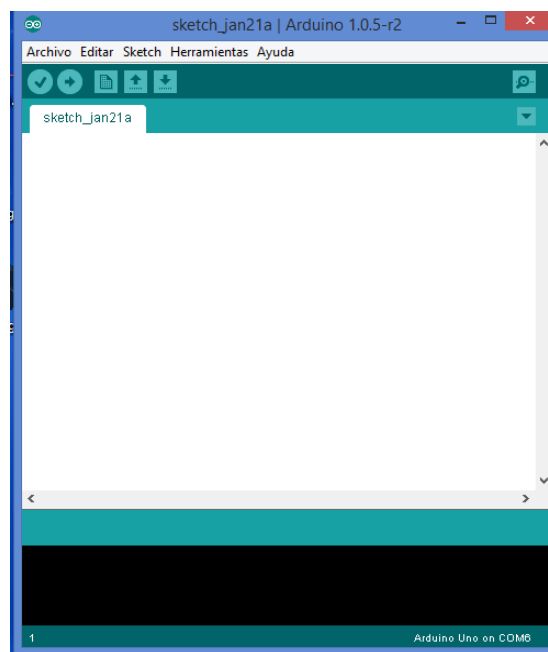


Figura 14. Entorno Arduino

3.2.2 PROCESSING

Processing es un lenguaje de programación, entorno de desarrollo y facilita la comunicación con Arduino.

Desde 2001, producción ha promovido la alfabetización de software dentro de las artes visuales y la alfabetización visual dentro de la tecnología. Inicialmente creado para servir como un cuaderno de bocetos de software y para enseñar los fundamentos de programación de computadoras dentro de un contexto visual, producción evolucionó hasta convertirse en una herramienta de desarrollo para los profesionales. Hoy en día, hay decenas de miles de estudiantes, artistas, diseñadores, investigadores y aficionados que utilizan el procesamiento para el aprendizaje, la creación de prototipos y producción.

3.2.2.1 ENTORNO PROCESSING

El entorno de desarrollo de Procesamiento (PDE) consiste en un simple editor de texto para escribir código, un área de mensajes, una consola de texto, fichas para la gestión de archivos, una barra de herramientas con botones para acciones comunes, y una serie de menús. Las opciones de los menús cambian de un modo a otro. El modo de Java por defecto se documenta aquí.

Los programas escritos con la utilización de procesamiento se llaman bocetos. Estos bocetos se escriben en el editor de texto. Tiene características para cortar / pegar y para buscar / reemplazar texto. El área de mensajes proporciona información mientras que el ahorro y la exportación y también muestra los errores. La salida de pantallas de la consola de texto de bocetos de procesamiento incluyendo mensajes de error completos y salida de texto a partir de bocetos con el (funciones) print () y println. (PROCESSING, 2015)

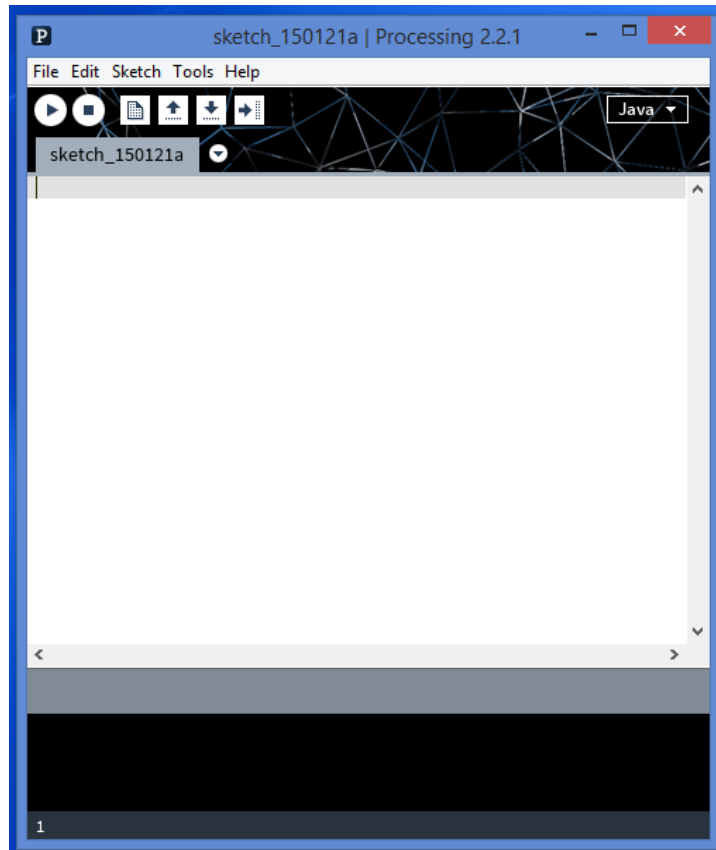


Figura 15. Entorno Processing



Ejecuta el boceto. En modo Java, que compila el código y abre una nueva ventana de visualización.



Termina un boceto en ejecución.



Crea un nuevo dibujo (proyecto) en la ventana actual. Para crear un nuevo dibujo en su propia ventana, utilice Archivo → Nuevo ..



Ofrece un menú con opciones para abrir archivos desde cualquier lugar de su ordenador (Open)



Guarda el dibujo actual a su ubicación actual.



En modo Java, exporta el dibujo actual como una aplicación Java y se abre la carpeta que contiene los archivos.

3.2.3 SENSOR DE CAMPO MAGNETICO

Se utiliza sensor de campo magnético lineal hall ya que es un módulo que pertenece a Arduino teniendo así una mejor interacción con la tarjeta de adquisición de datos además este sensor brinda señal digital tanto como analógica.

Módulo magnético lineal Hall y una interfaz digital, una función de 13 LED de construir un circuito simple para producir una luz de aviso del campo magnético viene con interfaces digitales del LED, el acceso a la interfaz lineal Salón magnetómetro sensor número 3, cuando lineal Salón sentidos sensor del magnetómetro una señal clave, luces LED, sino off. (ENSCHUDE, 2014)

Este sensor se utiliza para detectar campos magnéticos. La corriente, y por lo tanto la tensión, corriendo a través del sensor se cambia en relación a la presencia de un campo magnético. Este sensor está diseñado de modo que usted puede decir la cantidad que el voltaje ha cambiado como una salida analógica, y si la tensión ha cambiado como salida digital. Dado que el sensor puede proporcionar salidas digitales y analógicas, hay una sorprendente cantidad que usted puede hacer con él. Usted puede hacer fácilmente un sensor de trabajo, o hacer uno mucho más complicado. Este sensor está construido de tal manera que el propio sensor tiene todo lo necesario para funcionar, incluyendo un LED. El, como tal, puede obtener un interruptor magnético básico con nada más que una batería 5v conectando los puertos de imán a los pines + y G. Cuando un imán se lleva cerca del sensor, el voltaje cambiará y enviar una señal a los sensores LED integrados, diciéndole que se iluminará. Esto es tan simple como viene este

sensor. Nos gustaría hacer algo un poco más complicado, aunque. (KEYES_ARDUINO_Linear_Hall_magnetic.pdf, 2014)



Figura 16. Sensor de Campo magnético Linear Hall

3.2.1 SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA

El DHT11 ofrece un complejo sensor de temperatura y humedad con una salida de señal digital calibrado. Mediante el uso de la señal digital de adquisición exclusiva técnica y la tecnología de detección de temperatura y humedad, que garantiza una alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo. Este sensor incluye un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC, y se conecta a un alto rendimiento de 8 bits microcontrolador, que ofrece una excelente calidad, respuesta rápida, capacidad anti-interferencia y la rentabilidad. (MICROPIK, 2011)

Cada elemento DHT11 se calibra estrictamente en el laboratorio que es extremadamente preciso en la calibración de humedad. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, que se utilizan por el proceso de detección de la señal interna del sensor. La interfaz en serie de un solo cable hace que la integración del sistema rápida y fácil. Su pequeño tamaño, bajo consumo de energía y hasta a 20 metros de transmisión de señales por lo que es la mejor opción para diversas aplicaciones, incluyendo aquellos más exigentes. El componente es de 4 pines paquete macho de fila única. Es conveniente para conectar y paquetes especiales se puede proporcionar de acuerdo a solicitud de los usuarios. (MICROPIK, 2011)



Figura 17. Sensor de Temperatura y Humedad

3.2.2 MAGNETRÓN

Es un dispositivo multicavidad que contiene un tubo que consiste en un filamento caliente cargado con una corriente directa, construido dentro de una cavidad resonante, y sometido a un campo magnético, Al ponerse en marcha el magnetrón los electrones creados por el filamento se agitan en la cavidad a una frecuencia resonante, emitiendo así una onda electromagnética El paso siguiente es transferir esta onda al producto mediante una guía de ondas (TECA, 2005)

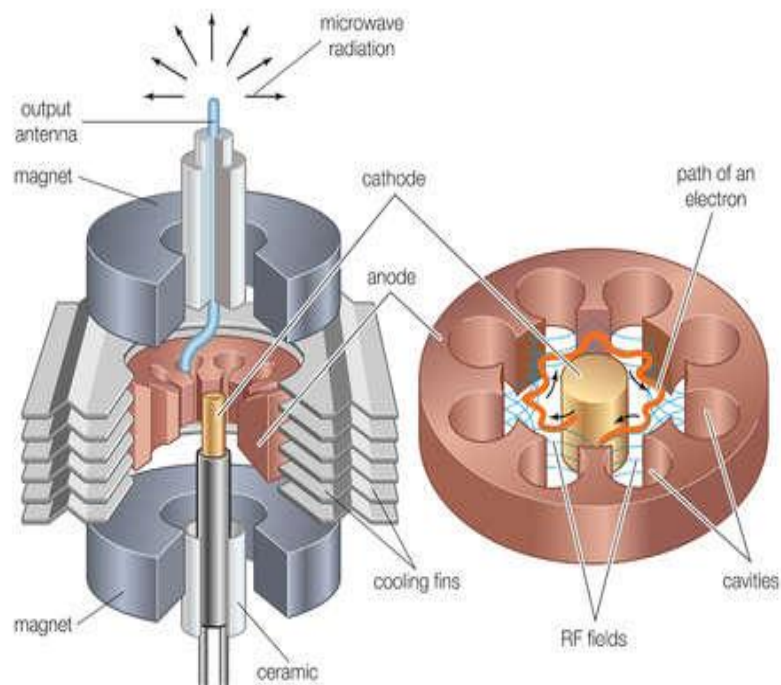


Figura 18. Magnetron

(FAGANDINI, 2011)

Magnetrones toman un funcionamiento como osciladores de ondas electromagnéticas autos excitados. Posee campos de electrones y magnéticos cruzados los cuales se utilizan dentro del magnetrón para que estos produzcan en la salida una alta potencia que será requerida. (FAGANDINI, 2011)

Para el proceso de funcionamiento del magnetrón se ven cuatro fases que son:

Fase 1: En esta fase se produce la producción y aceleración de un haz de electrones: Cuando no existe campo magnético se produce un movimiento uniforme y directo de los electrones desde el cátodo a la placa, si la intensidad del campo aumenta la curva de los electrones son desviados lejos de la placa. (UAX, 2012)

Fase 2: La velocidad de modulación del haz de electrones: El campo eléctrico El campo eléctrico en el oscilador magnetrón es el producto de los campos de CA y CC (CA=corriente alterna, CC= corriente continua). Los electrones que se mueven hacia los segmentos de ánodo cargado positivamente se aceleran. Obtienen una mayor velocidad tangencial. Por otro lado los electrones que se mueven hacia los segmentos con carga negativa reducen su velocidad. Como consecuencia de una velocidad tangencial menor. (UAX, 2012)

Fase 3: Formación de un "espacio de carga de la rueda": La acción acumulativa de muchos electrones regresando al cátodo, mientras que otros se mueven hacia el ánodo forma un patrón parecido a los radios de una rueda en movimiento conocido como "el espacio de carga de la rueda", Esta relación de fase permite la concentración de electrones para liberar de forma permanente energía para mantener las oscilaciones de radiofrecuencia. (UAX, 2012)

Fase 4: Distribuir la energía para el campo de CA: un electrón en movimiento contra un campo E es acelerado por el campo y toma la energía del campo, si prescindimos de la energía de un electrón en un campo y se ralentiza el movimiento en la misma dirección que el campo, El electrón pasa la energía de cada cavidad a medida que pasa el tiempo y llega al ánodo cuando su energía se gasta. El Magnetron puede producir salidas de potencia continua de más de 1 kW de potencia a una frecuencia de 1 GHz. La salida baja a medida que la frecuencia aumenta. Por ejemplo, a los 10 GHz, un magnetron puede producir de 10 a 20 vatios de la radio frecuencia de salida continua. (UAX, 2012)

4. DISEÑO DEL DESHIDRATADOR

El diseño mecánico se realiza mediante las modificaciones dentro de un microondas con aumento de extractor y potenciómetro con el fin de lograr una variación de potencia que se encuentre entre 90% y el 100% y disminución de aire dentro de la cámara mientras el diseño electrónico se realiza mediante un software libre de simulación y enrutador de componentes electrónicos con el uso de los sensores de humedad, temperatura y campo magnético con el fin que la señales lleguen a la tarjeta de adquisición de datos y el diseño de control se realiza mediante la programación dentro del entorno Arduino para posteriormente cargarla en la tarjeta de adquisición y la programación en el software libre (Processing) para después dar una interfaz entre estas dos para obtener una base de datos que genera documentos en formato txt.

4.1 DISEÑO MECANICO

Se realiza modificaciones dentro de un microondas casero con el fin de darle un uso en procesos de deshidratado (secado) de granos, hojas y frutas para esto se modifica el exterior con la implementación de los sensores de humedad, temperatura y campo magnético y el extractor para expulsar el aire que se encuentra en la cámara ya que este puede ocasionar oxidación del producto.

El prototipo diseño se lo realiza de acuerdo a los requerimientos del sistema por lo que para tener mejor perspectiva se utiliza el programa SolidWorks.

Este programa es un software CAD (diseño asistido por computadora) que se utiliza para modelos mecánicos 3D. El programa permite modelar piezas y extraer de ellos planos técnicos, que son necesarios para la producción.

Para la modificación del diseño se toma en cuenta las dimensiones y la forma del extractor, para proceder con el corte en la cara lateral del microondas con las dimensiones especificadas como se muestra en el plano las cuales se encuentran milímetros figura 19.

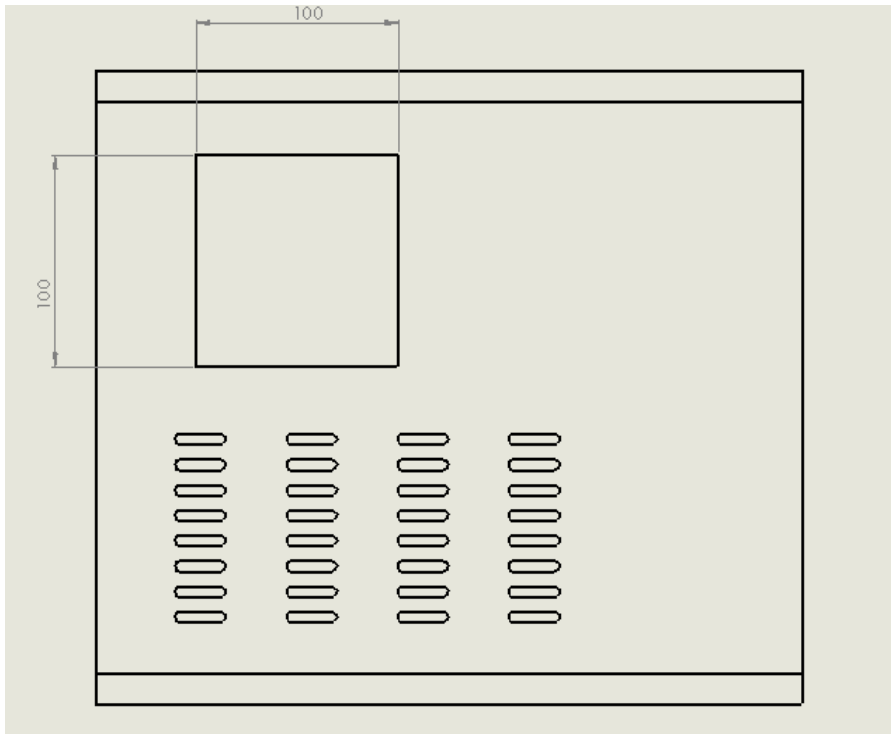


Figura 19. Planos de dimensiones para extractor en milímetros

Diseño CAD simulación de la modificación en cara lateral de microondas casero.

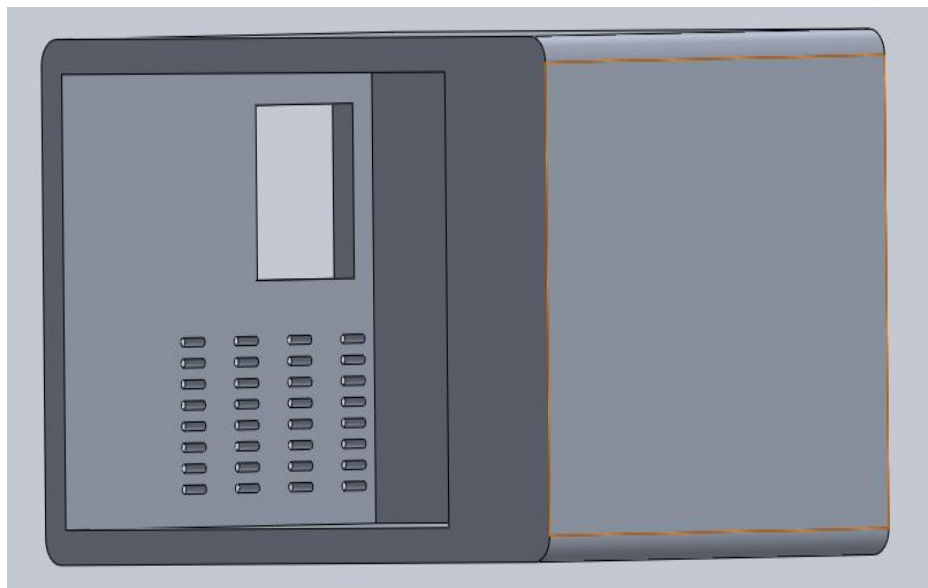


Figura 20. Diseño SolidWorks microondas casero con modificación para extractor.

Implementación de extractor en cara externa lateral de maquina deshidratadora.

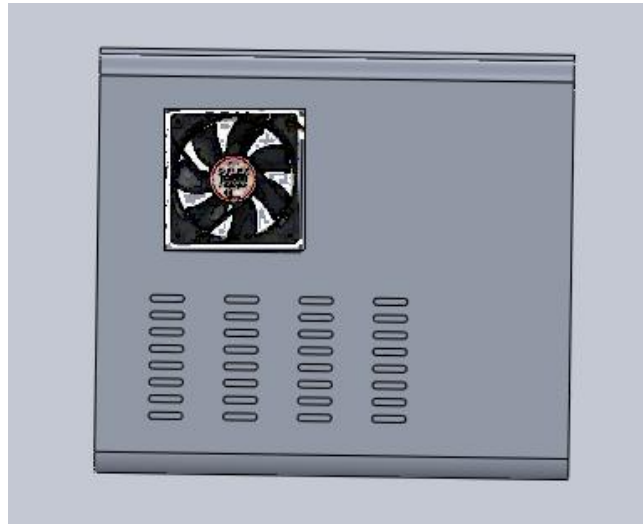


Figura 21. Implementación de extractor

Diseño de la cámara de microondas para la salida de aire por medio del extractor y los orificios por donde ingresan los sensores de humedad – temperatura y campo magnético hacia la cámara.

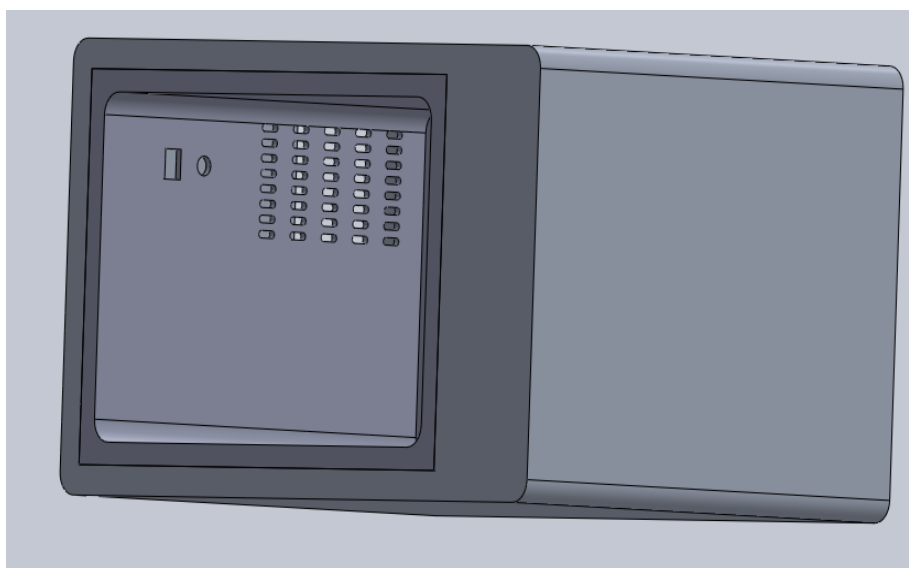


Figura 22. Diseño cámara interior para sensores y extracción del aire.

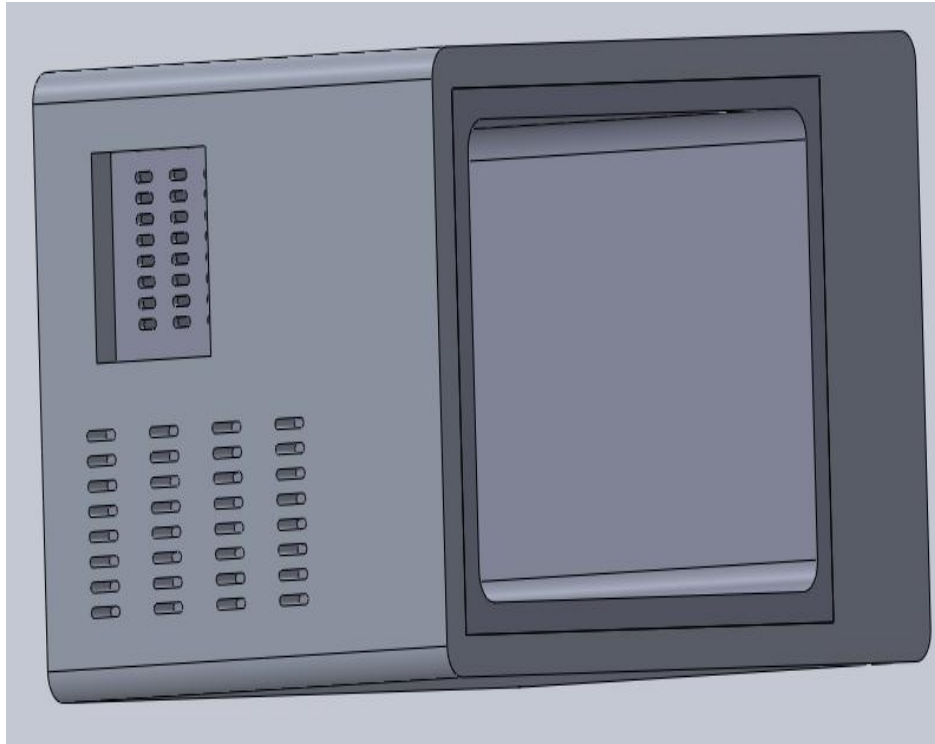


Figura 23. Diseño de las dos cámaras interior y exterior para el deshidratador.

4.2 DISEÑO ELECTRONICO

Se implementa nuevas estrategias de procesamiento de información mediante el uso de componentes para el desarrollo de la aplicación por lo que se diseña la tarjeta electrónica para la implementación del el LCD la cual fue diseñada para integrar los módulos de Arduino que son Linear hall (campo magnético) y DHT11 (humedad y temperatura) para la incorporación con la tarjeta de adquisición de Datos. El esquema del circuito electrónico desarrollado se observa en la figura 24.

El desarrollo del circuito fue armado y simulado virtualmente en software libre Fritzing (figura 25) ya que es necesario obtener los datos necesarios y así posteriormente diseñar de forma física.

Este circuito permite la visualización de los datos que son tomados por los módulos de los sensores de humedad, temperatura y campo magnético.

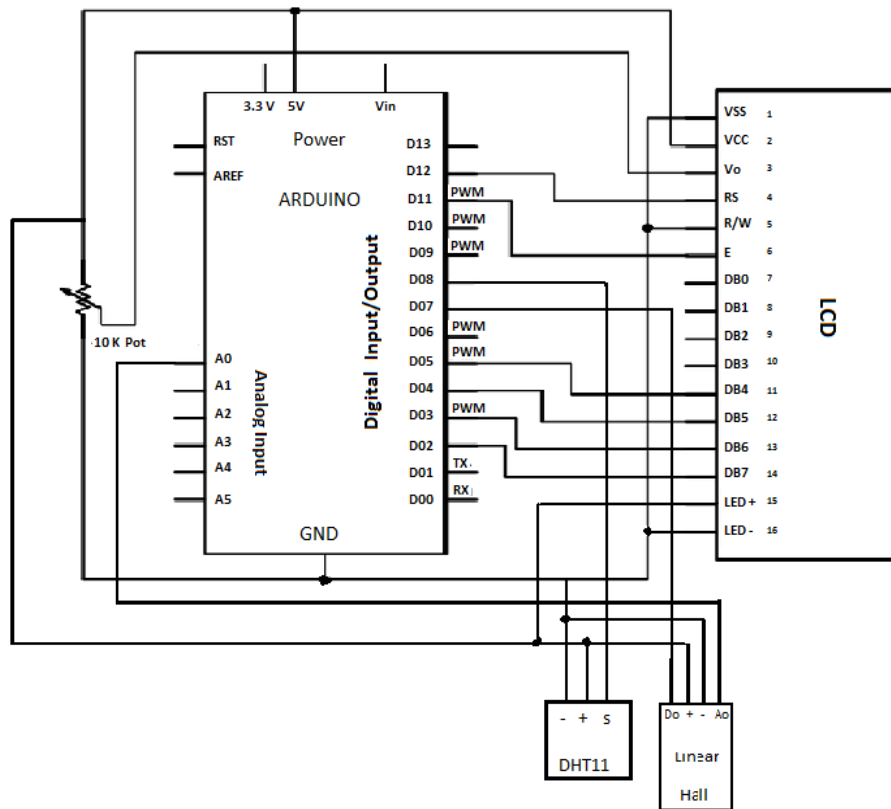


Figura 24. Diseño del circuito electrónico.

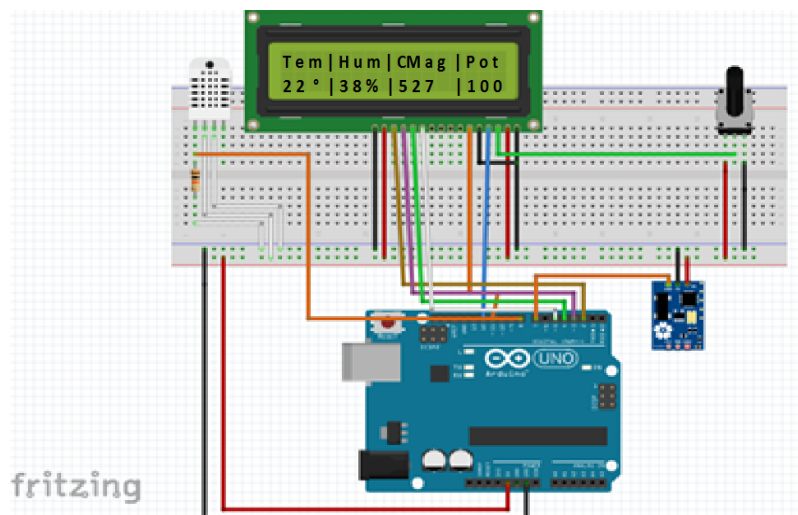


Figura 25. Simulación del circuito con la utilización de Fritzing.

Los pines digitales (PIN 7, PIN 8) del Arduino reciben señales de los módulos de sensores de humedad – temperatura y Campo magnético para posteriormente almacenarlos en la carpeta de Processing.

El diseño de la placa fue realizado en Proteus, tomando en cuenta la mejor ubicación de los dispositivos electrónicos. Como se muestra en la figura 26.

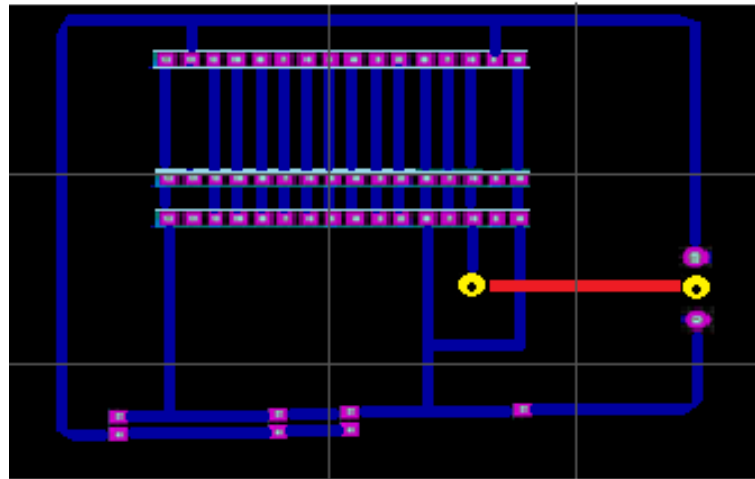


Figura 26. Diseño de pistas en placa electrónica

Posteriormente se lo ensambla en baquelita perforada la cual tiene orificios conectados eléctricamente entre si habitualmente siguiendo patrones de línea, en el cual se inserta los componentes electrónicos y se los conecta mediante cables que van soldados cumpliendo con el diseño de las pistas

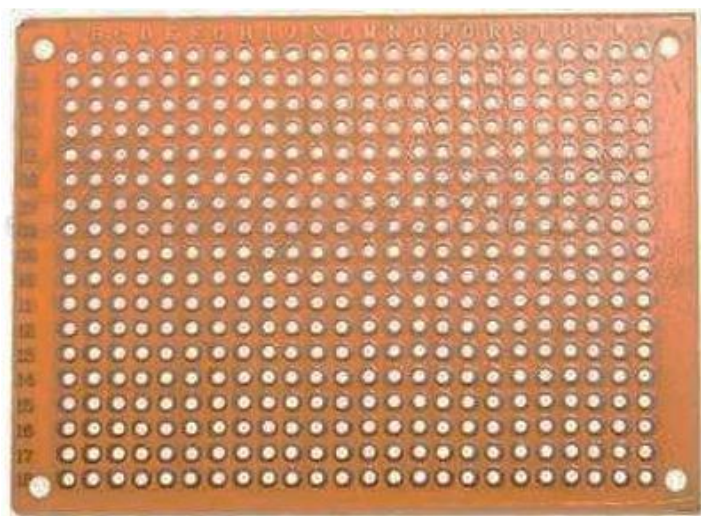


Figura 27. Baquelita perforada para la construcción del circuito electrónico

4.3 DISEÑO DE CONTROL POR MEDIO DE PROGRAMACIÓN

Es un conjunto de procesos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema con el fin de reducir la probabilidad de fallo y de esta forma obtener los datos deseados.

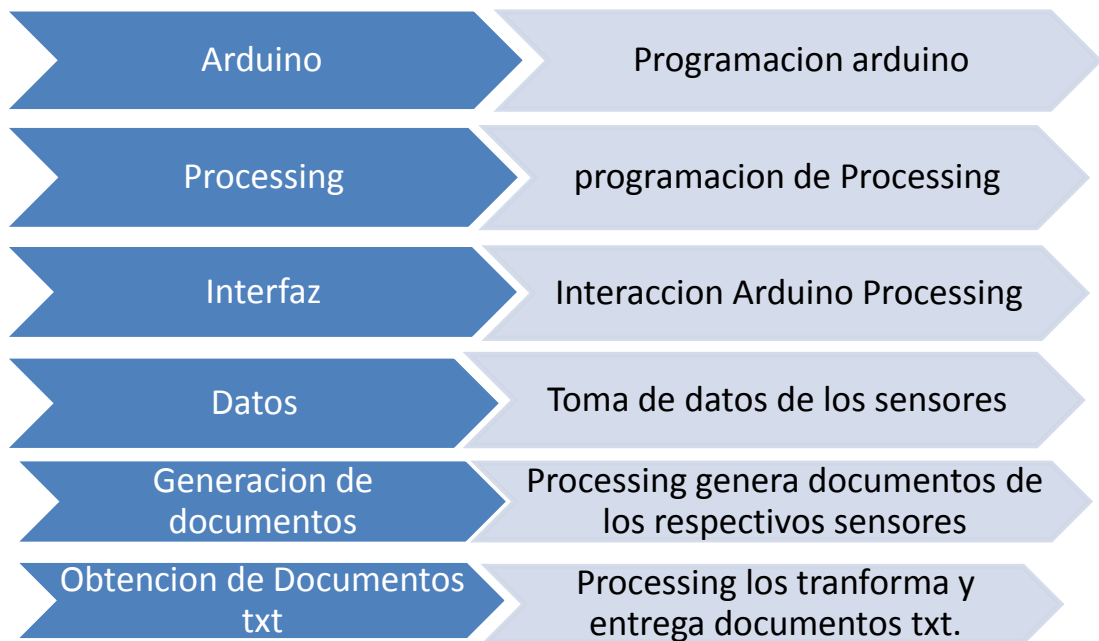


Figura 28. Diagrama de flujo de procesos de diseño de control.

4.3.1 FUNCION ARDUINO

Arduino adquirirá datos que son recopilados por los sensores y estos mostrara en un LCD por medio de una comunicación serial, con esto se tiene que declarar las variables de entrada que son los sensores DHT11 (temperatura y humedad) y el sensor linear hall (campo magnético), se inicializa el puerto seria a 9600 unidades de señal por segundo por la velocidad de transmisión que pueden alcanzar los sensores, se designa puertos a los sensores ya sean digitales como en el caso de los módulos de humedad –temperatura (D08) y campo magnético (D07); y analógicas en el

caso del módulo de campo magnético (A0) ya que este se puede activar a cualquier instante por la radiación, luego se tiene la lectura de señales de los diferentes sensores y le damos un tiempo de toma de datos con un retardo de medio segundo para que no sea muy extenso el almacenamiento de datos y facilite la utilización de los mismos.

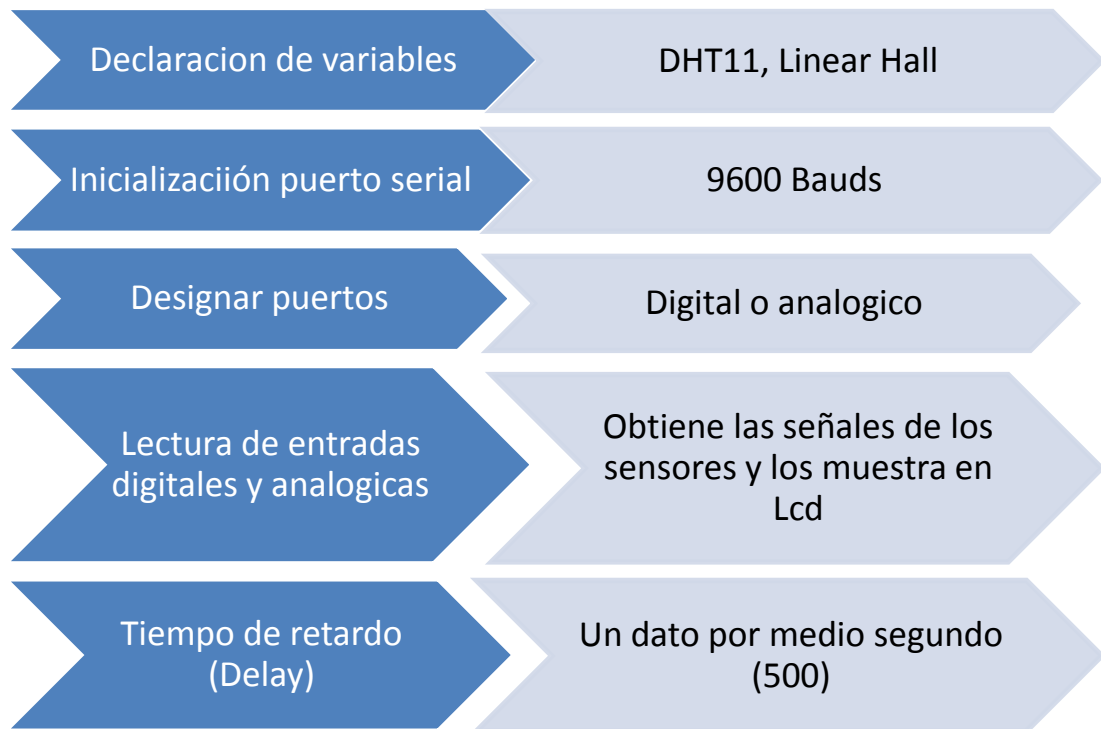


Figura 29. Diagrama de flujo de procesos del Arduino

4.3.2 FUNCION PROCESSING

Este lenguaje de programación y entorno de desarrollo abierto permite designar la librería `cc.arduino.*`; para la interfaz entre Arduino y Processing mediante la librería se activa el puerto serial que permite crear objetos, se designa variable para crear una listas de datos ya sean de humedad, temperatura y campo magnético, se recibe los datos que ingresan desde el Arduino por medio de la librería: `import cc.arduino.*` y los almacena y por medio de las librerías:

- salida1 = createWriter("TEMPERATURA.txt")
- salida2 = createWriter("HUMEDAD.txt")
- salida= createWriter("C.MAGNETICO.txt")

Finalmente nos crea documentos txt. de las diferentes señales y nos las guarda en la carpeta donde se encuentra guardado el programa de interacción.

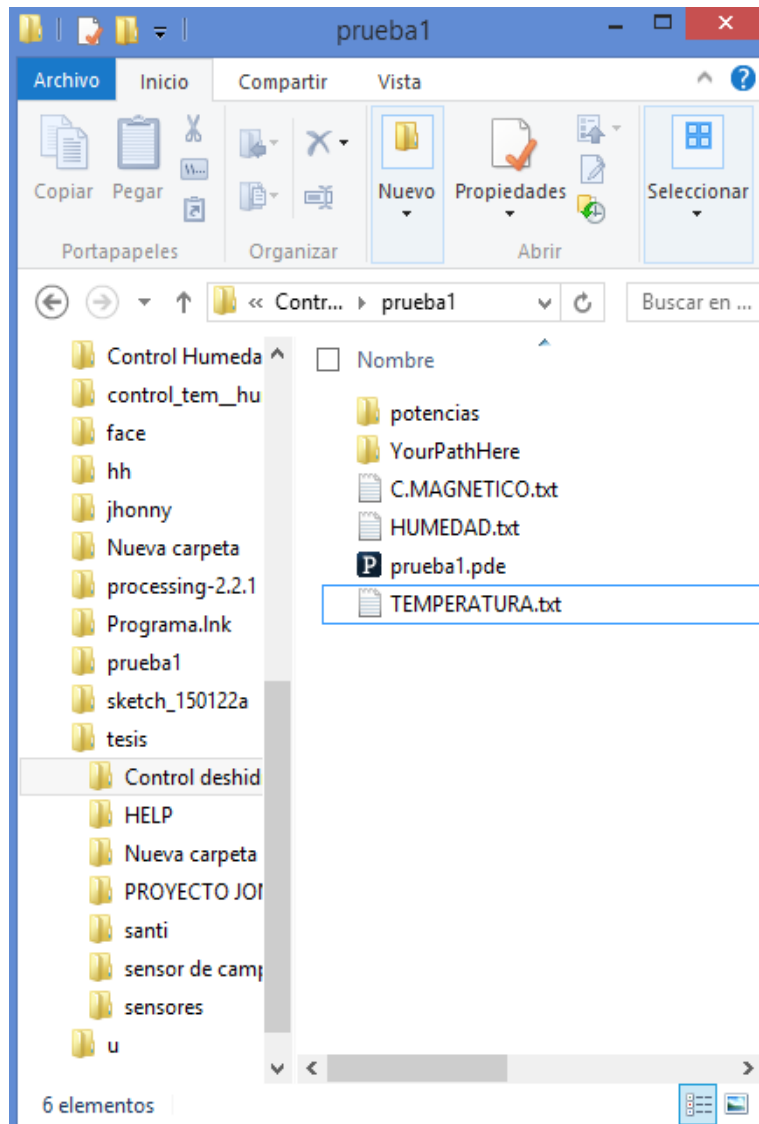


Figura 30. Carpeta de Localización del programa

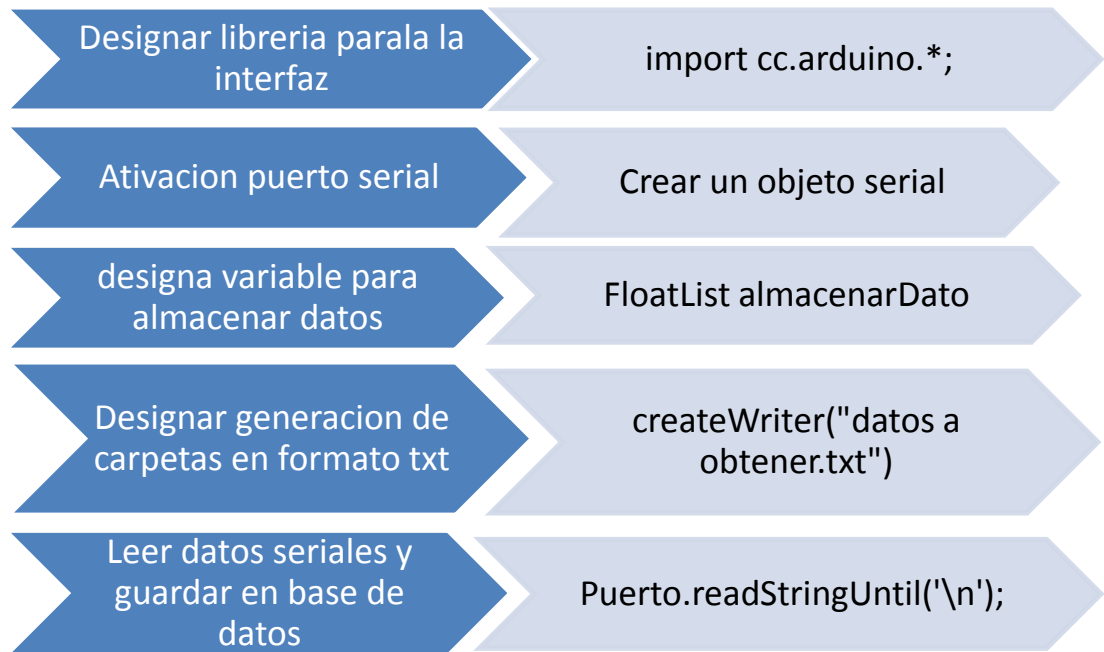


Figura 31. Diagrama de flujo de procesos Processing

4.4 FUNCION DE CONTROL

Es necesario tener producto con las siguientes especificaciones: cantidad máxima de producto 200 gramos, grosor no mayor a 1 cm y humedad del producto, se selecciona la potencia entre 90% y 100% de acuerdo a la humedad del producto, se obtiene las señales seriales que se consigue mediante los sensores como humedad, temperatura, campo magnético y la selección de la potencia; esto se visualiza en un LCD como se muestra en la figura 32.



Figura 32. Señales obtenidas de los sensores y mostradas en LCD

La interacción entre Processing y Arduino con la generación de ficheros dentro de la base de datos, con las señales seriales adquiridas por cada sensor y las cuales son transformadas y guardadas en documentos con formato txt.

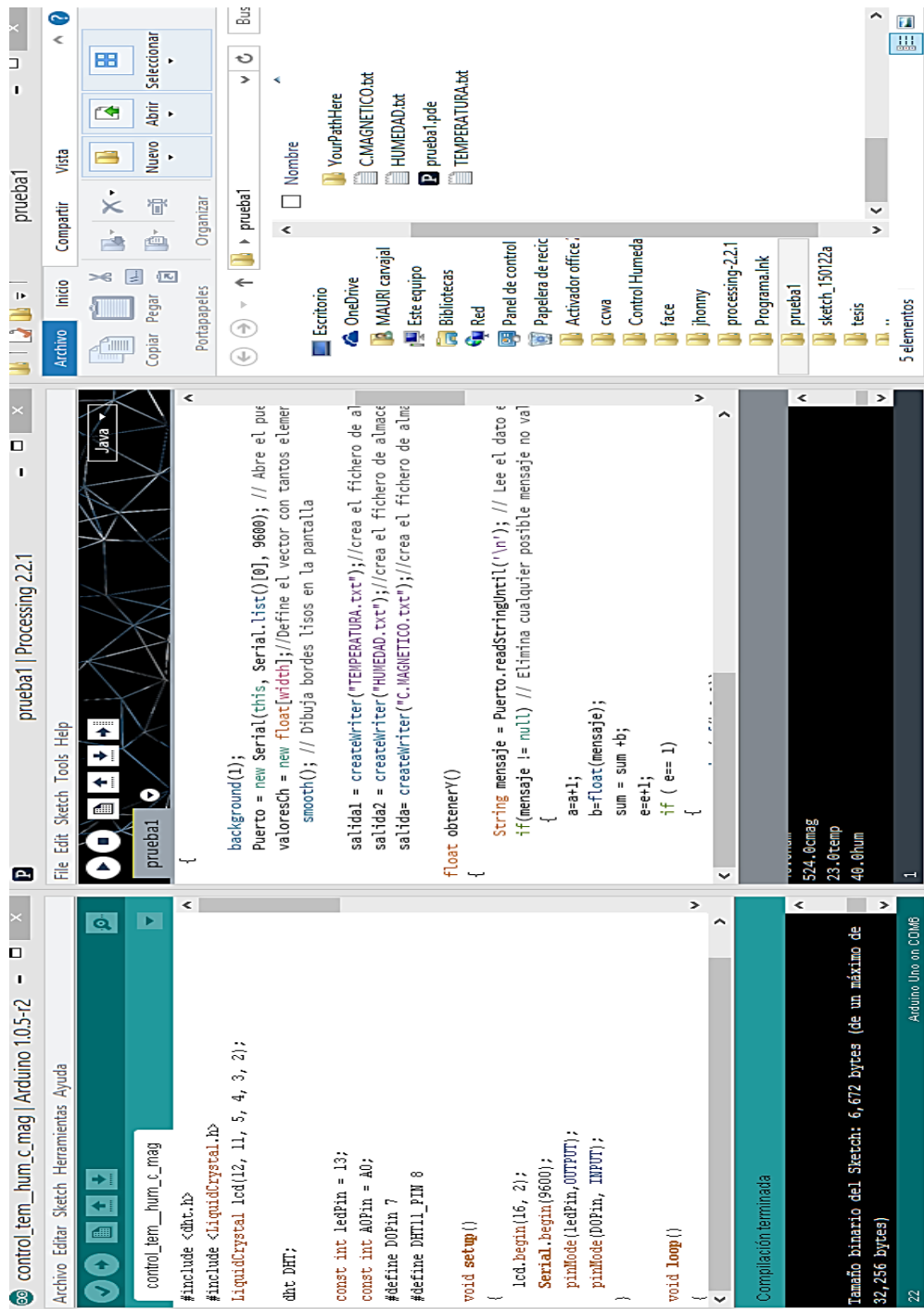


Figura 33. Interacción Arduino, Processing y ficheros creados

Esta aplicación permitir sensar humedad, temperatura, campo magnético mediante un linear Hall, un DHT11 y un Arduino.

Los datos que ingresan son adquiridos por un puerto serial, estos datos son extraídos a un txt por medio de librerías de Processing como el import processing.serial.*;

Estos datos son transformados y creados en diferentes ficheros de almacenamiento por medio de estas designaciones.

```
salida1 = createWriter("TEMPERATURA.txt");
```

```
salida2 = createWriter("HUMEDAD.txt");
```

```
salida= createWriter("C.MAGNETICO.txt");
```

Con esta interacción se consigue que los datos de Campo magnético, temperatura y humedad que serán obtenidos con un intervalo de tiempo es decir dos señales por cada segundo de uso de la máquina para que no sea muy extenso el almacenamiento de datos y facilite la utilización de los mismos y estos sean guardados en una base de datos para posteriormente ser manipulables por el usuario, para cálculos necesarios que desee realizar.

La obtención de datos es recibida por puerto serial la cual llega a Processing y este transforma y entrega los datos en formato txt para ser usados por el usuario.

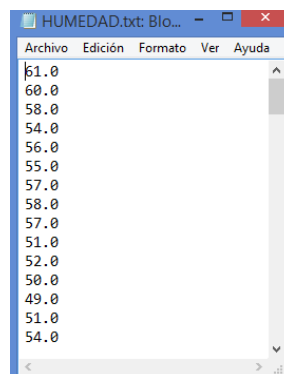


Figura 34. Datos humedad txt manipulables

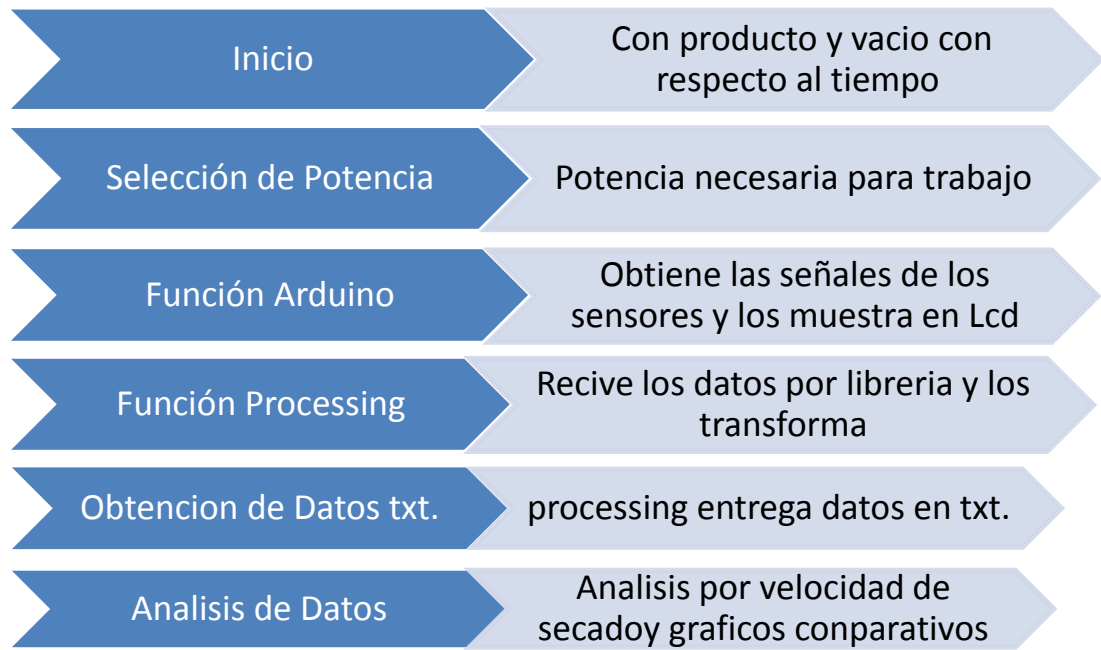


Figura 35. Diagrama de flujo de procesos de la máquina

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Los parámetros a obtener en esta sección para el proceso de deshidratado servirán como guía para el análisis; y para observar la capacidad y el tiempo de secado de cada producto ya sea hojas, frutas o granos también como es la incorporación del extractor de aire y hasta llegar el montaje final.

5.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

Con el fin de verificar que la máquina cumple los objetivos planteados y definir sus acciones la cual es sometido a una serie de pruebas, con el fin de observar el desempeño que esta posee en su área de trabajo y de esta manera mostrar sus resultados obtenidos.

5.1.1 PRUEBAS CAMARA VACIA

Se realizó pruebas del funcionamiento tomando en cuenta que en la cámara no se encontró ningún producto para con esto verificar el comportamiento de la máquina.



Figura 36. Cámara vacía de microondas

En la figura 37. Se muestra la continuidad del porcentaje de humedad de acuerdo al tiempo que va a siendo sometido.

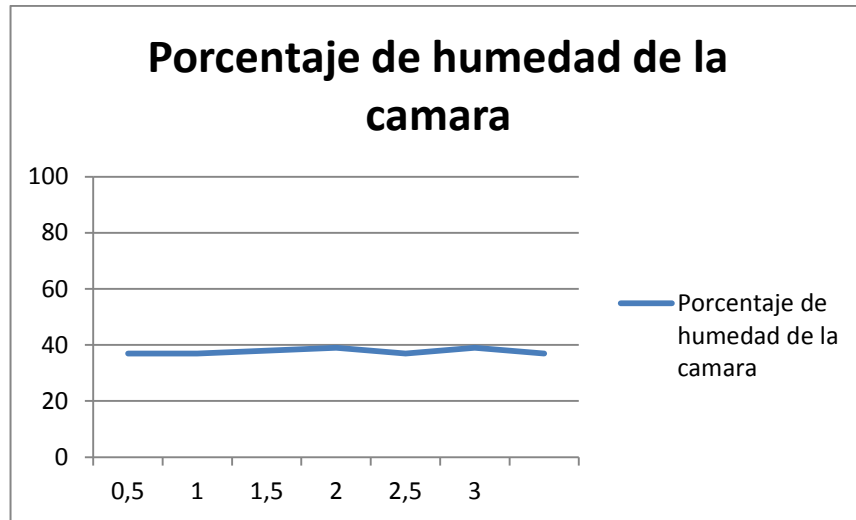


Figura 37. Humedad relativa de la cámara

Para los datos obtenidos de la humedad relativa y temperatura de la cámara tiene la siguiente gráfica. Figura 38.

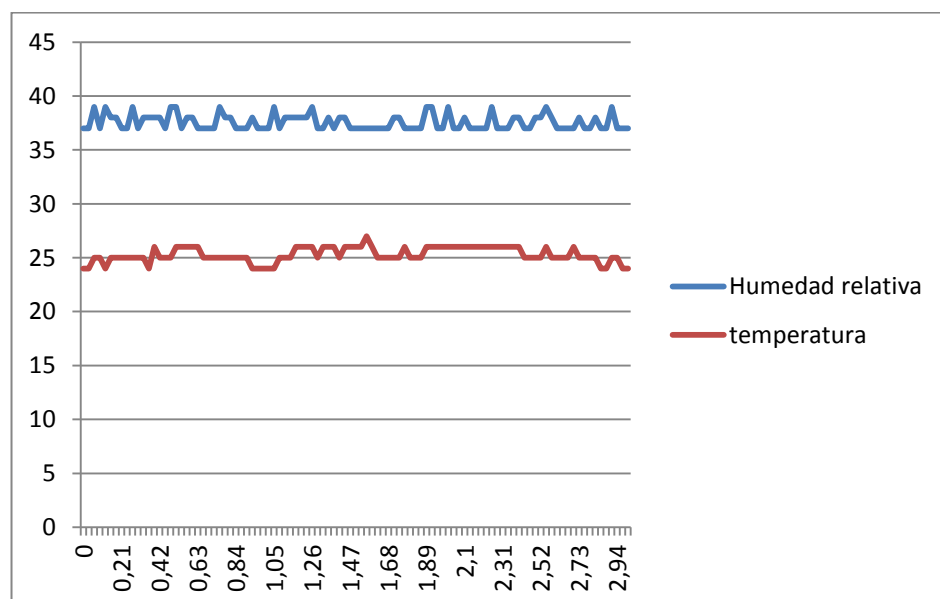


Figura 38. Comportamiento en cámara vacía

Con esta figura se concluye que al no tener producto dentro de la cámara no existe evaporación de las moléculas de agua por ende no existe humedad dentro por lo que refleja en el sensor de humedad no cambia bruscamente y la temperatura no tiene un cambio considerable ya que las ondas electromagnéticas calientan al producto no a la cámara. La prueba del funcionamiento se realizó con el 100% (900W) de la potencia y al cambiar la potencia el comportamiento no variaría.

5.1.2 PRUEBAS CON PRODUCTO

5.1.2.1 Prueba con fruta

Se realizó seis pruebas de deshidratado tomando en cuenta un producto (plátano) que contiene una cantidad considerable de humedad el cual se encuentra entre el 85% y el 88%, es decir contiene gran cantidad de partículas de agua en su interior. Tomando en cuenta para este proceso un espesor que varía entre 0,5 y 0,7 centímetros por que en este rango el deshidratado es más óptimo para realizar estudios.



Figura 39. Pruebas deshidratadas con productos

Utilizando la ecuación 1 que toma en cuenta la variación de masa para conseguir la humedad del producto además se realiza los cálculos para las diferentes pruebas en base al tiempo de deshidratado del producto utilizando

para este proceso la potencia al 100% (900W) por la gran cantidad de humedad que tiene el producto.

Tabla 3. Resultados de humedad del producto con relación a tiempos

Peso Producto inicial (g)	Peso del producto final (g)	Tiempo de deshidratado (min)	Resultado (% humedad)
0,64	0,57	0,5	89.06
0,67	0,51	1	76.12
0,71	0,42	1,5	59.15
0,68	0.34	2	50.00
0,66	0,24	2,5	36.36
0,67	0,18	3	26.87

En la figura 40. Se muestra la disminución del porcentaje de humedad de acuerdo al tiempo que va siendo sometido de acuerdo a los resultados del porcentaje de humedad que se encuentran en la tabla 3

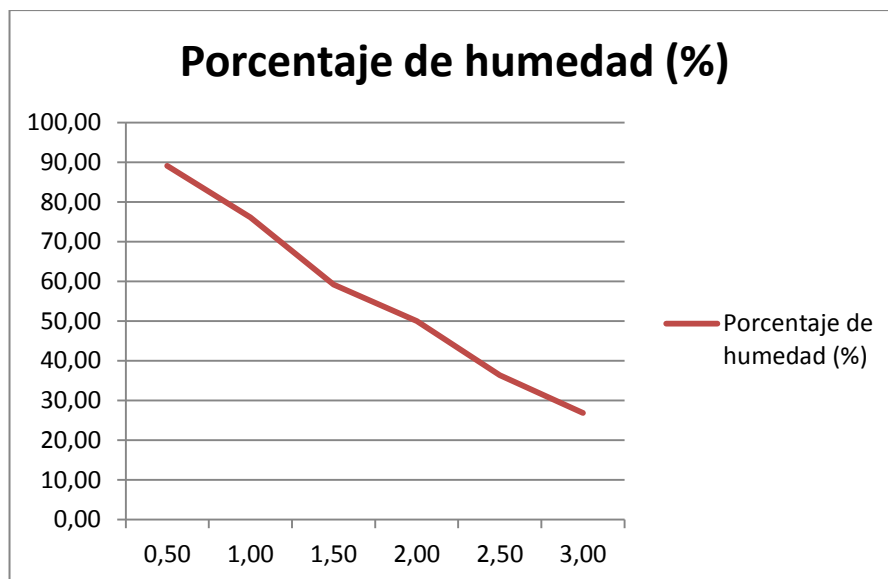


Figura 40. Porcentaje de humedad con respecto al tiempo

Para los datos obtenidos de la humedad relativa y temperatura en la cámara observamos que la humedad relativa tiene una variación considerable ya que los átomos de agua están en constante evaporación ya que el producto contiene una fuerte cantidad de humedad y mientras va terminando el proceso de humedad empieza a disminuir, la temperatura varía entre 24 y 29 °C es decir el producto está caliente, los picos bajos se muestra por la expulsión de aire caliente por medio del extractor por eso se enfría parcialmente.

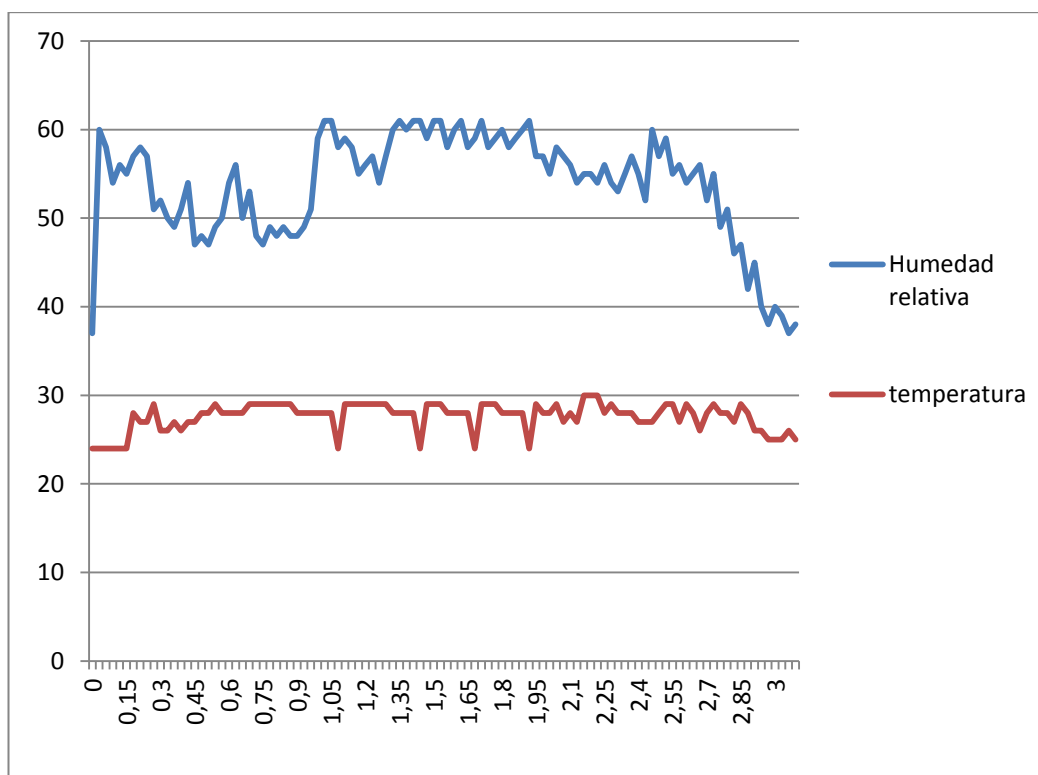


Figura 41. Humedad relativa y temperatura de la cámara

5.1.2.2 Prueba con hojas

Se realizó cinco pruebas de deshidratado tomando en cuenta un producto (perejil) que contiene una cantidad considerable de humedad 84% tomando en cuenta para este proceso que el producto tiene un espesor reducido y teniendo el peso del producto de 7 gramos.

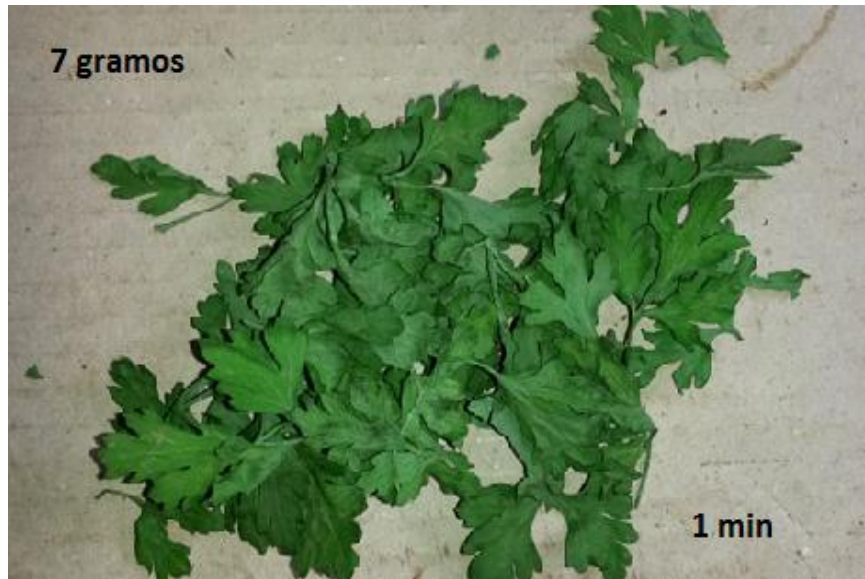


Figura 42. Pruebas de deshidratado con producto (perejil)

Utilizando la ecuación 1 que toma en cuenta la variación de masa para conseguir la humedad del producto además se realiza los cálculos para las diferentes pruebas en base al tiempo de deshidratado del producto utilizando la potencia al 90% (820W) por el espesor del producto ya que es reducido.

Tabla 4. Resultados de humedad del producto con relación a tiempos

Tiempo de deshidratado (seg)	Peso Producto inicial (g)	Peso del producto final (g)	% Humedad
15	0.71	0.58	81.6901408
25	0.71	0.43	60.5633803
30	0.71	0.35	49.2957746
50	0.71	0.23	32.3943662
60	0.71	0.15	21.1267606

En la figura 43. Se muestra la disminución del porcentaje de humedad del producto de acuerdo al tiempo de deshidratado que va siendo sometido.

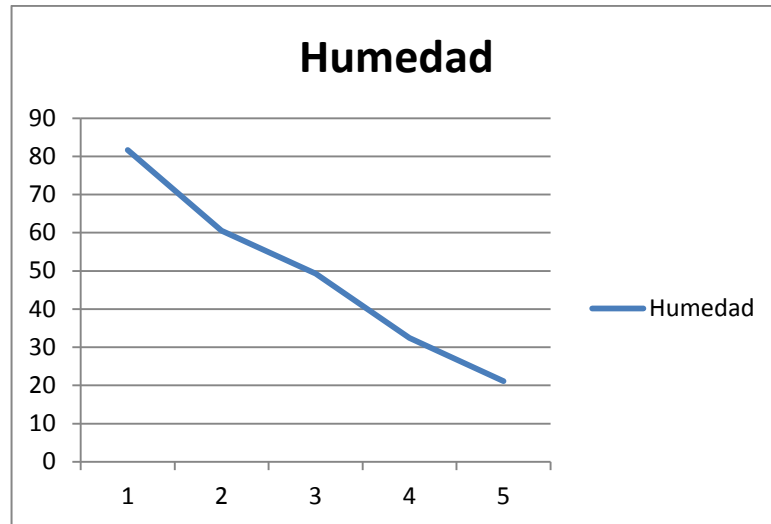


Figura 43. Porcentaje de humedad con respecto al tiempo de deshidratado

Para los datos obtenidos de la humedad relativa y temperatura en la cámara observamos que la humedad relativa tiene una variación considerable ya que los átomos de agua están en constante evaporación ya que el producto contiene una considerable cantidad de humedad pero un grosor mínimo y mientras va terminando el proceso la humedad empieza a disminuir, la temperatura varía entre 25 y 29 °C es decir el producto está caliente por variaciones de tiempo, los picos bajos se muestra por la expulsión de aire caliente por medio del extractor.

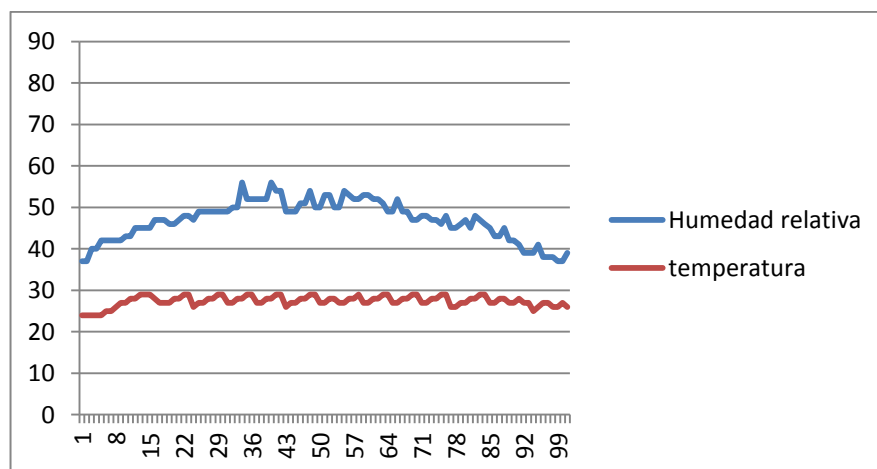


Figura 44. Humedad relativa y temperatura de la cámara

5.2 RESULTADO DE CONSUMO ENERGÉTICO

El secador utilizará energía Eléctrica y contribuye a la utilización de productos renovables.

El consumo total eléctrico se calcular el costo aproximado de consumo eléctrico del secador. Hay que tomar en cuenta que el deshidratador es a 110 v, y nos indica que tendrá el consumo de 880 W aproximadamente. El tiempo de secado puede estar en un promedio de 4 minutos dependiendo cual sea el producto, por 10 cargas al día, durante 20 días al mes, durante 10 meses al año, nos da un total de 160 horas al año de operación del secador.

La potencia total de consumo es:

$$Pt = 880(w) \times 160 (h) \quad \text{Ecuación 2}$$

(JacquesTournus, 2008)

$$Pt = 140,880 \text{ kWh}$$

El costo de kwh en el país es de 0,09 \$

$$\text{costo} = 140,88 \frac{\text{Kw}}{\text{h}} \times 0,09 \text{ usd}$$

$$\text{costo} = 12,672 \text{ usd}$$

5.3 MODELADO DEL DESHIDRATADO POR MICROONDAS

Con el uso de las ondas electromagnéticas se presenta la ventaja de mayor rapidez de calentamiento sin ocasionar efectos negativos en el alimento, con lo que puede suponerse que el secado del alimento es más uniforme que en el caso de secado por aire caliente. Por ello podría decirse que estos modelos reducidos son adecuadamente precisos. (Irudayaraj, 2001)

Las curvas experimentales de secado por microondas se ajustaron con distintos modelos matemáticos simples: lineal, exponencial, logarítmico, potencial y polinómica de grado 2, 3, 4 y 5. Las ecuaciones utilizadas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Ecuación correspondiente a los distintos modelos matemáticos utilizados para el deshidratado por ondas de alta frecuencia

Modelo matemático	Ecuación*
Lineal	Lineal Masa = $a t + b$
Exponencial	Masa = a^{bt}
Logarítmico	Masa = $a \ln t + b$
Potencial	Masa = at^b
Polinomio grado 2	Masa = $at^2 + bt + c$
Polinomio grado 3	Masa = $at^3 + bt^2 + ct + d$

*Unidades

Masa (g)

Tiempo, t (min)

Las curvas de secado representan la variación de la masa en función del tiempo durante el proceso a distintas potencias de microondas. Una vez probados los distintos métodos de ajuste a las curvas de secado se observa que las mismas pueden ajustarse satisfactoriamente con los modelos polinómica de grado 2, 3, 4 y 5. A medida que aumenta el grado del polinomio el ajuste alcanzado es más satisfactorio, como puede apreciarse en los valores del coeficiente de determinación, R2 cada vez más cercano a 1. En las Figuras 47 y 48 se presentan las curvas de ajustes que representan los modelos polinómica de grado 3 y de grado 5, respectivamente. Si no consideramos el punto inicial a $t=0$, el modelo logarítmico también presenta un buen ajuste para la mayoría de los datos experimentales, a excepción del tramo donde el peso se hace constante, como se observa en la Figura 45. El modelo potencial describe estas curvas un poco más satisfactoriamente que el logarítmico pero peor que el polinómica para potencias superiores al 90 %, como puede apreciarse en las Figuras 45 a 48

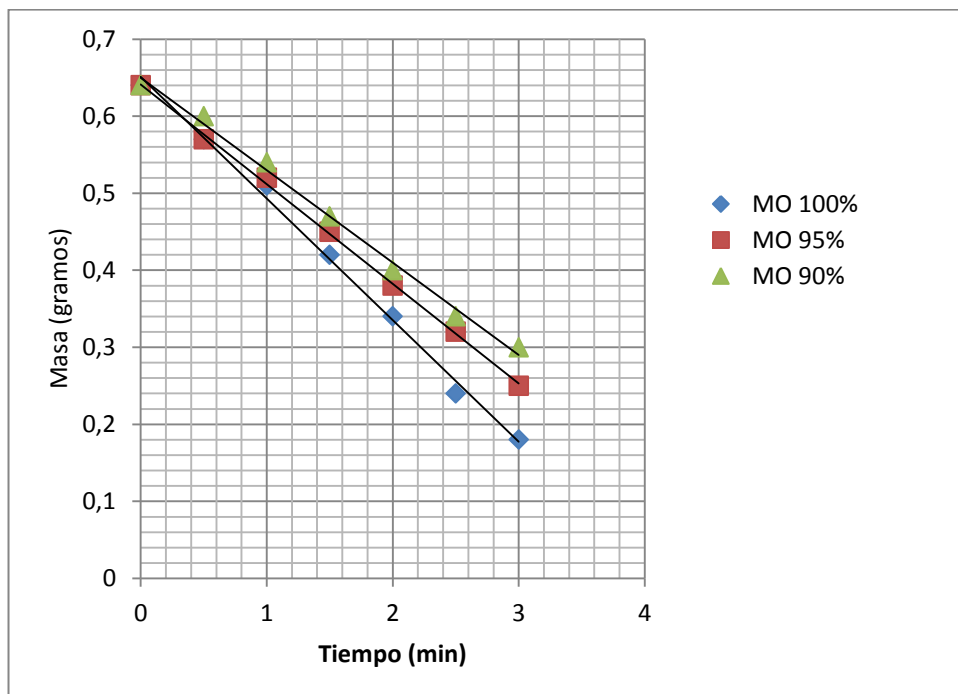


Figura 45. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por el modelo exponencial.

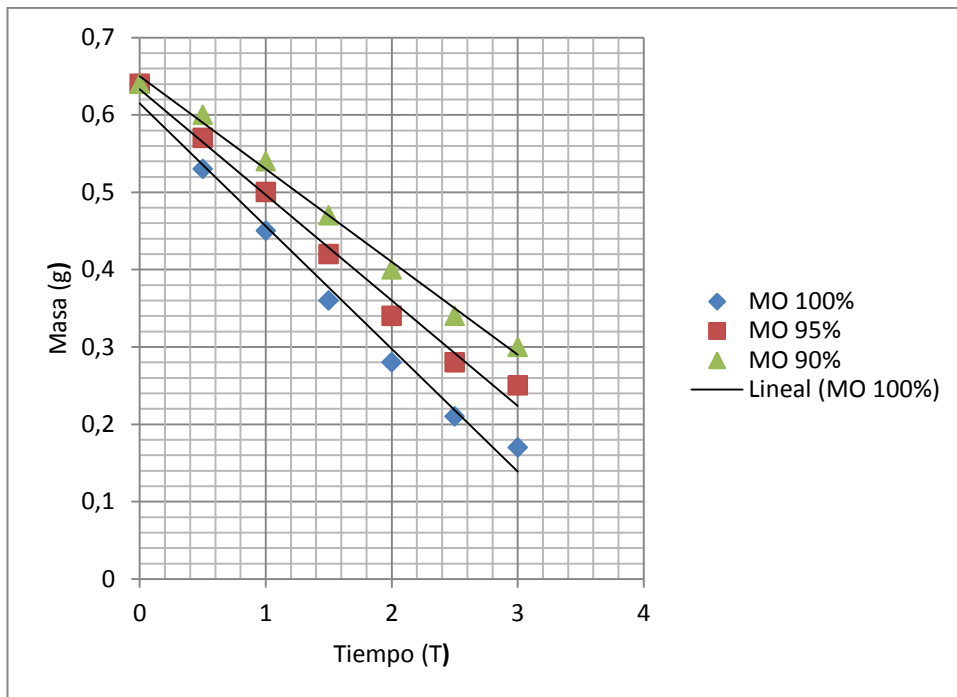


Figura 46. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por el modelo logarítmico.

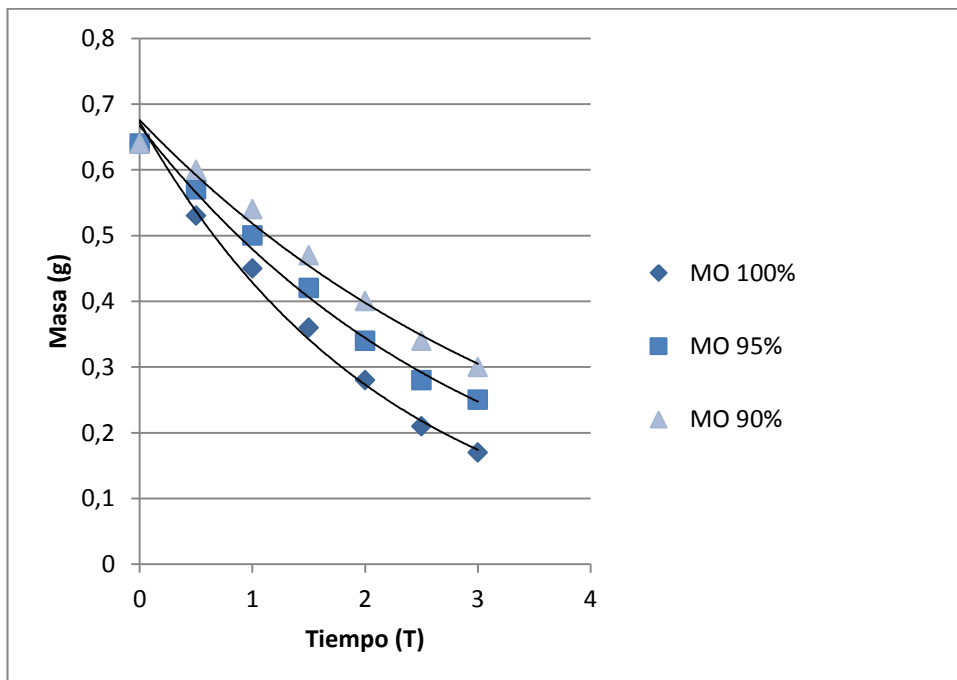


Figura 47. Datos experimentales de las curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por el modelo potencial.

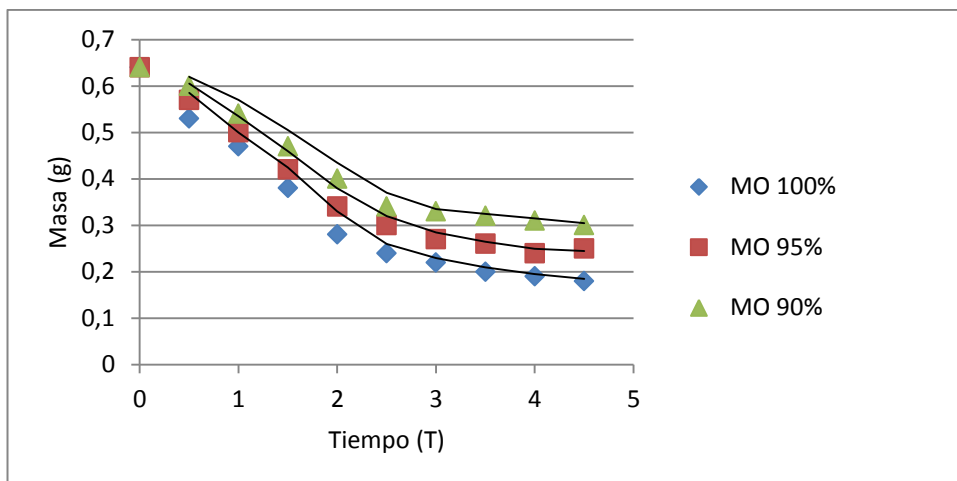


Figura 48. Curvas de secado, masa vs t para las potencias de microondas: 90%, 95%, 100% y ajuste de la misma por polinomio de grado 3.

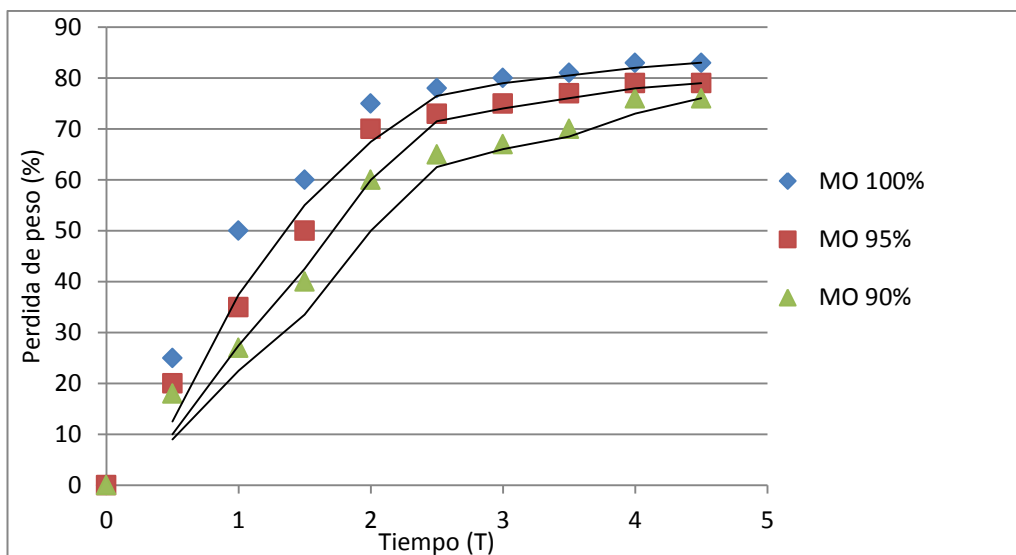


Figura 49. Pérdida de peso en función del tiempo para las distintas potencia de microondas: 90%, 95%, 100% respecto de la potencia máxima.

Como resultado de deshidratado las figuras 45, 46, 47, 48 muestra la disminución del peso del producto al incrementar la potencia entre 90% al 100% (820W-900W) y el tiempo (0seg -4.5seg) lo que quiere decir que la pérdida de moléculas de agua del producto es constante hasta conseguir una humedad mínima y posteriormente la pérdida del peso llegaría a ser continua ya que no existe mayor excitación de las moléculas de agua ya que estas serían mínima. La velocidad de secado aumenta con el incremento de

la potencia y por lo tanto la llegada a peso constante es más rápida, si bien la consistencia y el color del alimento se ve con una mínima desmejora a altas potencias, mayores del 90%. Este fenómeno de variación de la velocidad de secado se observa en los gráficos anteriores y también en la Figura 49 donde se puede apreciar la pérdida de peso en función del tiempo. En estas curvas se distinguen dos pendientes: la primera de mayor valor, relacionada con la velocidad de calentamiento y por consiguiente con la velocidad de secado y, la segunda de pendiente prácticamente nula, cuando la pérdida de peso se hace constante.

Por este motivo se concluye que al utilizar el 100% (900W) de la potencia del deshidratador la pérdida de humedad será mayor un tiempo favorable (4min). Se recomienda utilizar potencia del 100% (900W) para productos de alto índice de humedad y con un rango de grosor de 0,5cm a 1cm y la potencia de 90% (820W) para hojas, hiervas y productos con grosor menor a 0.5cm

Se usa una línea de tendencia polinómica de tercer grado, porque permite conservar la deshidratación de los productos obteniendo una mejor visualización de los resultados

Este proceso se realizó para cada uno de los productos, siguiendo el protocolo de pruebas de peso con la cantidad de humedad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se buscaron las condiciones óptimas de trabajo que maximizan proceso de deshidratación. El proceso de deshidratación del producto aumenta al incrementar la pérdida de agua, por lo que la concentración de ondas de alta frecuencia favorecen la pérdida de moléculas de agua
- Mediante este sistema el agricultor puede obtener un producto de calidad a menor costo y poder competir en el mercado nacional e internacional ya que el producto procesado contiene menor pérdida de proteínas, vitaminas, aminoácidos y pigmentación.
- El proceso de deshidratado de hojas, frutas y granos es rápido (encuentra en un rango de 1 a 10 minutos), se utiliza ondas electromagnéticas con el fin de conservar proteínas, vitamina y aminoácidos que hacen apetecible en el mercado, este proceso puede durar alrededor de 10 minutos, por lo que la máquina va a estar en constante funcionamiento durante el día para alcanzar el deshidratado óptimo necesario para realizar diferentes proyectos de investigación y para que los productos finales se encuentren en competencia con los productos existentes dentro del mercado
- Con implementación de los sensores se pudo observar el acontecimiento en el tratamiento de deshidratado dentro de la cámara examinando las variaciones de temperatura, humedad y campo magnético; emitida por la eliminación de partículas de agua y la propagación de ondas electromagnéticas

- Dentro del modelado por microondas realizado se pudo observar que el peso del producto disminuye al incrementar la potencia entre 90% al 100% (820W-900W) y el tiempo (0seg -4.5seg) lo que quiere decir que la pérdida de moléculas de agua del producto es constante hasta llegar a obtener una humedad mínima dentro del producto

6.2 RECOMENDACIONES

- Se debe llevar un plan de mantenimiento de todo el sistema de deshidratado; la cámara de deshidratado debe ser limpiada después de cada uso por las impurezas impregnadas dentro y el mantenimiento general técnico de ser cada 3 o 6 meses, para evitar fallas de la máquina.
- Al ingresar producto a la cámara de deshidratado no se debe sobrepasar la cantidad (200 gramos) ya sea de las hojas, frutas y granos; y el espesor (1cm) del producto el cual no debe ser mayor esto para obtener una óptima calidad del producto al finalizar el proceso.
- El presente sistema de deshidratación por radiación electromagnética puede ser usado para realizar diferentes proyectos de investigación referente a productos perecibles.
- El sistema de deshidratado por radiación electromagnética puede ser mejorado añadiendo un sistema de vacío, porque mediante este sistema se logra reducir más el tiempo de secado y disminuir la temperatura de deshidratado

- Con el software implementado se puede almacenar los datos de cada producto que haya sido sometido al proceso, logrando obtener un banco de información.

BIBLIOGRAFÍA

Apostolou, I., & C., P. (2005). the effects of short-time microwave exposures on Escheridia Coli inoculated chichenmeat portionand whole chicens. *Internacionl journal of food microbiology*, 105-110.

ARDUINO. (2015). *Arduino*. Retrieved from Arduino uno: <http://arduino.cc/>

Bizama Soto, A. A. (2012, Noviembre 17). *Arquitectura de computadores*. Retrieved from Estructura y elementosde los Microcontroladores: <http://anibalbizama.blogspot.com/2012/11/5-estructura-y-elementos-de-los.html>

De Dios, C. A. (1996). *Food and Agricultur Organization of the United Nations*. Retrieved from Manual de manejo poscosecha de granos: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S05.HTM>

ENSCHEDÉ. (2014, Julio 22). *Tkkrlab*. Retrieved from Arduino KY-024 Linear magnetic Hall sensors: https://tkkrlab.nl/wiki/Arduino_KY-024_Linear_magnetic_Hall_sensors

Espectador, E. (2012, octubre 29). Los retos de exportar caje. *Economia*.

FAGANDINI, F. F. (2011, Mayo 1). *fayer wayer*. Retrieved from El magnetron y el hrno microondas: http://www.fayerwayer.com/2011/05/el-magnetron-y-el-horno-microondas-viva-el-ingenio/?utm_medium=autopromo&utm_source=fayerwayer&utm_campaign=flechas

Frank Incropera, D. d. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor*. Juarez: Pearson.

Irudayaraj, J. (2001). *Mathematical modeling of microwave processing of food*. pennsylvania: Datta A. K.

- JacquesTournus. (2008). *Las medidas en la vivienda*. barcelona: Maison Francaise.
- JERRY D. WILSON, A. J. (2003). *FISICA*. MEXICO: PEARSON.
- KEYES_ARDUINO_Linear_Hall_magnetic.pdf*. (2014, Abril 17). Retrieved from http://misclab.umeoce.maine.edu/boss/Arduino/bensguides/KEYES_ARDUINO_Linear_Hal
- Kuo, B. C. (1996). *Sistema de control automatico*. Juarez: Prentice Hall.
- Lucy. (2010, julio 17). *KIWICHA*. Retrieved from Cosecha y Almacenamiento: http://kiwicha-lucy.blogspot.com/2010_07_01_archive.html
- Marcelo Rodriguez, A. G. (1999). *Campos Magneticos*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Marsans G, Y. D. (1985). *Manejo y Conservacion de granos*. Buenos Aires: Panamericana.
- Martin, C. D. (2008, Junio 19). *X-robotics*. Retrieved from LCD 2x16: <http://www.x-robotics.com/rutinas.htm#LCD>
- ME, N. (1986). *Congreso nacional de Trigo*. Argentina: Pergamino.
- Microchip. (1998-2014). Microcontrollers. *Microchip*.
- MICROPIK. (2011, septiembre 22). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor - dht11.pdf*. Retrieved from <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- Miguel Cerrolaza, J. F. (2000). *Modelos matematicos en ingenieria moderna*. Caracas: consejo de desarrollo cientifico y humanistico.
- Murillo, L. L. (1983). *Sacado de granos*. San Cristóbal: IICA.
- Nelson. (1986). *potential agricultural applications for RF and microwave energy*. Michigan: ASAE paper.

- Nonhebel G., M. A. (1979). *Secado de solidos en la industria quimica*. Reverte.
- Pedro Maupoey, A. G. (2008). *Alimentos por aire caliente*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- PROCESSING. (2015). *Processing*. Retrieved from Processing: <https://processing.org/>
- Rodríguez, J. C. (2006, Enero). *SECADO DE GRANOS*. Retrieved from Proyecto de Eficiencia de cosecha y postcosecha: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/FolletoSecadoGran os.pdf>
- Rowley, A. T. (2001). *Thermal technologies in food processing*. P. Richardson.
- Ryynamen, S., & Risman, P. (2004). hamburger composition and microwave uniformity. *journal of food Science*, M187-M196.
- Salud, O. M. (1984). *Radio frecuencia y microondas criteriosde salud*. Ginegra.
- TECA. (2005, Noviembre). *aplicacion de ondas electromagneticas enindustria alimenticia*. Retrieved from Asociacion catalan de ciencia de alimentos: <http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000004/00000099.pdf>
- UAX. (2012, Marzo 12). *Electromagnetismo*. Retrieved from El magnetrón: <http://blogdeelectromagnetismo.blogspot.com/2012/03/el-magnetron.html>
- Usategui, J. M., & Martínez, I. A. (2003). *Microcontroladores (PIC)*. Madrid: McGraw-Hill.