



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS  
AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA  
MICROONDAS”**

**Autores:**

Hinojosa Tapia Cristian Xavier

Tigasi Tocumbe Johanna Lili

**Tutor:**

PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno

Latacunga - Ecuador

Agosto - 2017

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.; por cuanto, los postulantes: HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER y TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI, con el título del proyecto de investigación: **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS”**. Han considerado las consideraciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto se autoriza realizar los empastados correspondientes según la normativa institucional.

Latacunga, agosto del 2017


Para constancia firman:



.....  
Ing. Mg. Edwin Moreano  
C.C. 050260750-0  
**LECTOR 1**



.....  
Ing. Mg. Paúl Corales  
C.C. 050234776-8  
**LECTOR 2**



.....  
Ing. Mg. Mauricio Toro  
C.C. 050264067-5  
**LECTOR 3**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER y TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS”**, siendo el PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



.....  
Hinojosa Tapia Cristian Xavier  
C.I. 050376397-1



.....  
Tigasi Tocumbe Johanna Lili  
C.I. 050413916-3

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema “**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS**”, de HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER y TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico- técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2017



PhD. Ángel Salvador Hernández  
**Tutor del Trabajo de Investigación**



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

### **CERTIFICACIÓN:**

A los señores HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER y TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en mi calidad de Director de Investigación, certifico que los peticionarios han desarrollado el tema de investigación titulado **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS”**, para la unidad de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el trabajo ha satisfecho las expectativas establecidas.

Este aval lo otorgo, en razón del tiempo que han trabajado los estudiantes en el desarrollo de su proyecto de investigación, por lo tanto, pueden dar el presente documento el uso que estime conveniente.

Latacunga, agosto del 2017



---

PhD/ Carlos Torres Miño  
**Director de Investigación**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros padres por inculcarnos buenos valores y responsabilidad así también por el apoyo incondicional que pusieron en nuestras manos para llegar a esta meta.

A nuestro tutor PhD. Ángel Hernández quien nos guió y brindó sus conocimientos apoyándonos para culminar el proyecto.

Al Ing. Eduardo Hinojosa por facilitarnos los equipos y conocimiento en la ejecución del proyecto.

## **DEDICATORIA**

La vida se encuentra colmada de retos, la universidad no es más que uno de ellos, en el transcurso de la misma entendí lo que quiero en mi vida y mi futuro.

Esto no lo hubiera conseguido sin la educación y el apoyo que dieron mis Abuelitos Lucila y Néstor que desde el cielo siempre me han apoyado y cuidado mis pasos

Dios les pague.

Cristian.

## **DEDICATORIA**

El proyecto se lo dedico a Dios, por estar presente en cada paso que doy en la vida.

A mis padres, Teresa y Hector quienes han estado siempre junto a mí, brindándome su amor y apoyo incondicional para ser una persona de bien.

A mis hermanos Jessica y Eduardo por su cariño y sus sabios consejos impulsándome a seguir adelante.

A mi familia que es mi fortaleza para ser mejor cada día

Gracias de todo corazón.

Johanna

## ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
AVAL DE TRADUCCIÓN	
ÍNDICE.....	ix
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO .....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	4
6. OBJETIVOS .....	5
Objetivo general .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Objetivos específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS ...	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	8
Horno microondas .....	8
Espectro Electromagnético .....	8
Calentamiento con microondas .....	9
Diferencia entre el calentamiento con microondas y otros tipos de calentamiento.....	9
Horno eléctrico .....	10
Concepto de secado .....	10
Tipos de secadores.....	10
Secado natural.....	10
Secado artificial .....	11
Secado por ventilación.....	11
Secado por aire caliente .....	11
Secadores por tandas .....	11
Secado de semilla a utilizar .....	12
Secado del maíz.....	12
Humedad.....	12
Humedad del grano.....	12
Controladores/programadores .....	13
Programa Labview.....	13
Calentadores eléctricos .....	14

Eficiencia energética.....	14
Analizador de energía FLUKE 1735 .....	14
Balanza electrónica GASON Z1s (300g x 0.01g) .....	15
9. HIPÓTESIS .....	16
10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	17
METODOLOGÍA.....	17
Diseño del Horno Eléctrico y del sistema de control de temperatura .....	17
Construcción y puesta en marcha del Horno Eléctrico.....	26
Diseño Experimental .....	29
Diseño de la placa de control de potencia .....	29
Control de temperatura .....	29
Programación en LABVIEW.....	29
Horno Microondas.....	31
Procedimiento para la evaluación del proceso de secado de las semillas de maíz.....	33
Experimentos de secado .....	33
Curvas de secado .....	34
Medición del consumo de energía eléctrica en los experimentos de secado.....	35
11. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	35
Diseño y construcción del Horno Eléctrico .....	35
Calor acumulado en las paredes del horno .....	36
Cálculos para determinar la resistencia eléctrica.....	36
Horno eléctrico .....	37
Curvas del proceso de secado en horno eléctrico.....	38
Experimentos de secado a 35 °C .....	38
Experimentos de secado a 55 °C .....	39
Experimentos de secado a 75 °C .....	40
Consumo de energía en los experimentos realizados en horno eléctrico .....	41
Consumo de energía a 35 °C .....	41
Resultados del proceso de secado en horno microondas.....	44
Experimentos de secado a 35 °C .....	44
Consumo de energía en los experimentos realizados en horno microondas .....	47
Comparación de los resultados obtenidos en las dos tecnologías de secado.....	50
Comparación del tiempo de secado promedio de las dos tecnologías de secado evaluadas para alcanzar una humedad de 12% .....	51
Comparación del consumo de energía promedio de las dos tecnologías de secado evaluadas para alcanzar una humedad de 12% .....	52
Análisis Estadístico de los Resultados.....	52
Resultados obtenidos en las pruebas de germinación.....	53

12.	IMPACTOS .....	55
	Técnico .....	55
	Económico .....	55
	Ambientales .....	55
	Social .....	56
13.	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	56
14.	CONCLUSIONES .....	62
15.	Bibliografía .....	64
	ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Horno microondas.....	8
<b>Figura 2:</b>	Espectro Electromagnético .....	9
<b>Figura 3:</b>	Secado Natural.....	11
<b>Figura 4:</b>	Maíz .....	12
<b>Figura 5.</b>	Analizador de energía FLUKE 1735 .....	15
<b>Figura 6.</b>	Balanza electrónica .....	15
<b>Figura 7:</b>	Distribución de temperaturas en el horno eléctrico .....	18
<b>Figura 8.</b>	Horno Eléctrico .....	24
<b>Figura 9 :</b>	Ventilador Tricod science SPDM8025S IDE .....	26
<b>Figura 10:</b>	Sensor de Temperatura LM335 .....	27
<b>Figura 11:</b>	Tarjeta Arduino UNO .....	28
<b>Figura 12:</b>	Placa del control de potencia .....	29
<b>Figura 13.</b>	Diagrama de bloques de la subrutina para la adquisición de datos de temperatura.....	30
<b>Figura 14:</b>	Diagrama de bloques .....	30
<b>Figura 15:</b>	Diagrama de bloques de adquisición de datos.....	31
<b>Figura 16.</b>	Controlador de temperatura 3216L .....	32
<b>Figura 17:</b>	Termopar Tipo K, Modelo aguja.....	32
<b>Figura 18.</b>	Peso del maíz .....	33
<b>Figura 19.</b>	Higrómetro .....	34
<b>Figura 20.</b>	Analizador FLUKE 1735 .....	35
<b>Figura 21:</b>	Resistencia ALL AMERICAN 4158AS .....	37

<b>Figura 22:</b> Horno eléctrico .....	37
<b>Figura 23:</b> Pantalla principal del HMI.....	38
<b>Figura 24:</b> Curvas de secado a 35 °C H.E.....	38
<b>Figura 25:</b> Curvas de secado a 55°C H.E.....	39
<b>Figura 26:</b> Curvas de secado a 75°C H.E.....	40
<b>Figura 27:</b> Consumo de energía eléctrica del horno eléctrico a una temperatura de 35 °C ....	41
<b>Figura 28:</b> Consumo de energía eléctrica del horno eléctrico a una temperatura de 55 °C ....	42
<b>Figura 29:</b> Consumo de energía eléctrica del horno eléctrico a una temperatura de 75 °C ....	43
<b>Figura 30:</b> Curvas de secado a 35 °C H.M.....	44
<b>Figura 31:</b> Curvas de secado a 55°C H.M.....	45
<b>Figura 32:</b> Curvas de secado a 75 grados H.M .....	46
<b>Figura 33:</b> Consumo de energía eléctrica del horno microondas a una temperatura de 35 °C	47
<b>Figura 34:</b> Consumo de energía eléctrica del horno microondas a una temperatura de 55 °C	48
<b>Figura 35:</b> Consumo de energía eléctrica del horno microondas a una temperatura de 75 °C	49
<b>Figura 36:</b> Comparación del tiempo de secado promedio a una humedad de 12%. .....	51
<b>Figura 37:</b> Comparación del consumo de energía eléctrica promedio a una humedad de 12%.....	52

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ec. (1)</b> Humedad en base seca, % .....	13
<b>Ec. (2)</b> Humedad en base húmeda, %.....	13
<b>Ec. (3)</b> Temperatura media.....	19
<b>Ec. (4)</b> Número de Reynolds .....	20
<b>Ec. (5)</b> Condición (n).....	21
<b>Ec. (6)</b> Número de Nusselt .....	21
<b>Ec. (7)</b> Coeficiente de transferencia de calor interno .....	21
<b>Ec. (8)</b> Coeficiente de transferencia de calor interno .....	22
<b>Ec. (9)</b> Perdida de calor en las paredes.....	23
<b>Ec. (10)</b> Volumen .....	25
<b>Ec. (11)</b> Masa del aire .....	25
<b>Ec. (12)</b> Potencia Total.....	25
<b>Ec. (13)</b> Porcentaje de humedad.....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Áreas del conocimiento del proyecto .....	2
<b>Tabla 2:</b> Sistema de tareas de acuerdo a los objetivos planteados .....	6
<b>Tabla 3:</b> Tabla de Eficiencia energética de hornos microondas .....	14
<b>Tabla 4.</b> Características de la balanza GASON Z1s .....	16
<b>Tabla 5 .</b> Conceptualización de variables .....	17
<b>Tabla 6:</b> Propiedades de los materiales de las paredes del horno. ....	19
<b>Tabla 7:</b> Datos para el Cálculo del coeficiente de transferencia de calor interna.....	20
<b>Tabla 8:</b> Datos para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor externa.....	22
<b>Tabla 9:</b> Datos de espesores de las paredes del horno eléctrico .....	23
<b>Tabla 10:</b> Datos para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor externa.....	24
<b>Tabla 11:</b> Características del ventilador Tricod Science .....	27
<b>Tabla 12:</b> Especificaciones Técnicas del sensor de temperatura LM335 .....	28
<b>Tabla 13 :</b> Características del controlador TYWATT30 .....	32
<b>Tabla 14:</b> Coeficiente de transferencia de calor interno.....	35
<b>Tabla 15:</b> Transferencia de calor externo .....	36
<b>Tabla 16:</b> Calor acumulado en las paredes del horno.....	36
<b>Tabla 17:</b> Cálculos de la resistencia eléctrica.....	36
<b>Tabla 18.</b> Experimentos de secado a 35°C en H.E .....	39
<b>Tabla 19.</b> Experimentos de secado a 55°C H.E .....	40
<b>Tabla 20.</b> Experimentos de secado a 75°C H.E.....	41
<b>Tabla 21:</b> Indicador de desempeño energético a 35 °C .....	42
<b>Tabla 22:</b> Indicador de desempeño energético a 55 °C .....	43
<b>Tabla 23:</b> Indicador de desempeño energético a 75 °C .....	44
<b>Tabla 24.</b> Experimentos de secado a 35°C H.M.....	45
<b>Tabla 25.</b> Experimentos de secado a 55°C H.M.....	46
<b>Tabla 26.</b> Experimentos de secado a 75°C H.M.....	47
<b>Tabla 27:</b> Indicador de desempeño energético a 35 °C .....	48
<b>Tabla 28:</b> Indicador de desempeño energético a 55 °C .....	49
<b>Tabla 29:</b> Indicador de desempeño energético a 75 °C .....	50
<b>Tabla 30.</b> Comparación del proceso de secado de semillas de maíz en H.E y H.M.....	50
<b>Tabla 31.</b> Resultados de las pruebas de germinación de las semillas de maíz secadas en el H.M a diferentes temperaturas realizadas en placa Petri .....	54

<b>Tabla 32:</b> El impacto económico del proyecto .....	55
<b>Tabla 33:</b> Costo de elementos para la estructura del horno eléctrico. ....	56
<b>Tabla 34:</b> Costo del sistema eléctrico para el horno eléctrico .....	56
<b>Tabla 35:</b> Costo del el horno microondas modificado.....	57
<b>Tabla 36:</b> Costo de maquinado .....	57
<b>Tabla 37:</b> Costo de mano de obra .....	58
<b>Tabla 38:</b> Costo de transporte.....	58
<b>Tabla 39.</b> Costo de materiales utilizados en el horno eléctrico .....	59
<b>Tabla 40.</b> Gastos indirectos.....	59
<b>Tabla 41.</b> Gastos de materiales indirectos. ....	59
<b>Tabla 42.</b> Gastos de recursos tecnológicos. ....	60
<b>Tabla 43.</b> Imprevistos .....	60
<b>Tabla 44.</b> Costo total.....	60

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS”.

**Autores:** HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER

TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI

### RESUMEN

El secado de semillas en la provincia de Cotopaxi se realiza, fundamentalmente, al aire, aprovechando la energía solar. Este método de secado tiene las siguientes desventajas: es extremadamente dependiente de las condiciones climáticas, lo que origina una disminución de viabilidad y calidad de las semillas al estar expuestas a sus variaciones, siendo susceptibles a amenazas como la contaminación ambiental, las plagas y enfermedades y a su exposición con tierra y polvo. Además, implica un tiempo de secado muy largo, se requiere de grandes espacios y se puede producir un secado no uniforme de los productos. Por ello, el objetivo fundamental de este proyecto de investigación es evaluar el tiempo de secado, el desempeño energético y la calidad de las semillas tras el secado utilizando la tecnología microondas en comparación con el secado convencional en horno eléctrico. Para darle cumplimiento a dicho objetivo se diseñó y construyó un horno eléctrico en el que se evaluó el proceso de secado de semillas de maíz, a tres temperaturas de secado diferentes: 35, 55 y 75 °C. Posteriormente, se evaluó el proceso de secado de las semillas en un horno microondas en las mismas condiciones (masa de semillas a secar, humedad inicial de las semillas y temperatura de secado) que las utilizadas en el horno eléctrico. Los resultados obtenidos en la comparación de ambas tecnologías de secado demuestra que la tecnología microondas, en comparación con la tecnología convencional, disminuye el tiempo de secado entre un 52 y un 59%, disminuye el consumo de energía eléctrica entre un 70 y un 84% y disminuye el índice de desempeño energético del proceso de secado (energía eléctrica consumida por masa de semillas secas) entre un 72 y un 85%. Por último, las pruebas de germinación de las semillas de maíz secadas en el horno microondas a las tres temperaturas objeto de estudio demostraron que la temperatura de 35°C es la más adecuada para el secado de estas semillas, debido a que a dicha temperatura fue la que se obtuvo una mayor tasa de germinación (90% de promedio). Los resultados obtenidos en el proyecto han generado un nuevo conocimiento científico-técnico, sobre el proceso de secado de las semillas de maíz que puede contribuir al desarrollo de una nueva tecnología de secado con el consiguiente beneficio para el desarrollo de la producción agrícola de la provincia de Cotopaxi.

**Palabras clave:** energía, horno, secado, eficiencia, consumo

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**

**FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED**

**TOPIC:** “EVALUATION OF THE DRYING PROCESS IN SEEDS OF AGRICULTURAL INTEREST IN THE PROVINCE OF COTOPAXI BY MICROWAVE TECHNOLOGY”

**Authors:** HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER

TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI

**ABSTRACT**

Drying seeds in Cotopaxi province is mainly done by air, taking advantage of solar energy. This drying method has several disadvantages: it depends extremely on the climatic conditions, which causes a decrease in the viability and quality of the seeds since they are exposed to environmental pollution, pests, diseases and their exposure with soil and dust. In addition, it involves a long sectioning time, large spaces are required and non-uniform drying of the products can occur. Therefore, the main objective of this research project is to evaluate drying time, energy efficiency and seed quality in drying using microwave technology, and compared to conventional drying in the electric oven. To fulfill this objective, an electric furnace was designed and built in which the drying process of corn seeds was evaluated at three different drying temperatures: 35, 55 and 75°C. Secondly, the seeds drying process was evaluated in a microwave oven under the same conditions (seed mass to be dried, initial seed moisture and drying temperature) as those used in the electric oven. The results obtained from the comparison of two drying technologies shows that microwave technology, compared to the conventional technology, decreases drying time by 52-59%, reduces electrical energy consumption by 70-84%, and reduces the rate of drying electric energy of the drying process (electric energy consumed by the mass of dried seeds) between 72 and 85%. Finally, germination tests of corn seeds dried in the microwave oven showed that the temperature of 35 ° C is the most suitable for the drying which obtained a higher germination rate (90% on average). The results obtained in the project have generated a new scientific and technical knowledge on the drying process of corn seeds that can contribute to the development of a new drying technology, contributing to the development of the agricultural production of the Cotopaxi province.

**Key words:** Energy, furnace, drying, efficiency, consumption.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**CENTRO DE IDIOMAS**

### **AVAL DE TRADUCCIÓN**

En calidad de Docente del idioma inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que, la traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma inglés presentado por los señores estudiantes: **HINOJOSA TAPIA CRISTIAN XAVIER** y **TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI**, egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, cuyo título versa “**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Atentamente,

.....  
**Lic. Fabiola Cando**  
C.C.050288460-4  
fabiola.cando@utc.edu.ec

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del proyecto:**

“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN SEMILLAS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI MEDIANTE TECNOLOGÍA MICROONDAS”

**Fecha de inicio:** Abril-2016

**Fecha de finalización:** Agosto- 2017

**Lugar de ejecución:** Barrio San Felipe, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Zona 3, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

**Facultad que auspicia:** CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica.

**Equipo de Trabajo:**

Tutor del Proyecto de Investigación:

- Nombre: PhD. Ángel Salvador Hernández
- Celular: 0984160559
- Correo electrónico: angel.hernandez@utc.edu.ec

**Coordinador del proyecto:**

- Nombre: Hinojosa Tapia Cristian Xavier
- Teléfonos: 0999247504
- Correo electrónico: cristian.hinojosa1@utc.edu.ec

**Coordinador del proyecto:**

- Nombre: Tigasi Tocumbe Johanna Lili
- Teléfonos: 0983897737
- Correo electrónico: johanna.tigasi3@utc.edu.ec

### Área de Conocimiento:

En la tabla 1 se muestran las áreas del conocimiento, de acuerdo a los campos de educación y capacitación CINE de la UNESCO.

**Tabla 1:** Áreas del conocimiento del proyecto

<b>Campo amplio</b>	<b>Campo específico</b>	<b>Campo detallado</b>
07 Ingeniería industria y construcción	071 Ingeniería y profesiones a fines	0711 Ingeniería y procesos químicos 0713 Electricidad y energía 0714 Electrónica y automatización

Fuente:UNESCO, (2014)

### Línea de investigación:

Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi

- Línea 5 Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sublínea de investigación de la carrera de Ingeniería Electromecánica

- Equipamiento tecnológico y la explotación eficiente de sistemas electromecánicos.

## 2. RESUMEN DEL PROYECTO

El secado de semillas en la provincia de Cotopaxi se realiza, fundamentalmente, al aire, aprovechando la energía solar. Este método de secado tiene las siguientes desventajas: es extremadamente dependiente de las condiciones climáticas, lo que origina una disminución de viabilidad y calidad de las semillas al estar expuestas a sus variaciones, siendo susceptibles a amenazas como la contaminación ambiental, las plagas y enfermedades y a su exposición con tierra y polvo. Además, implica un tiempo de secado muy largo, se requiere de grandes espacios y se puede producir un secado no uniforme de los productos. Por ello, el objetivo fundamental de este proyecto de investigación es evaluar el tiempo de secado, el desempeño energético y la calidad de las semillas tras el secado utilizando la tecnología microondas en comparación con el secado convencional en horno eléctrico. Para darle cumplimiento a dicho objetivo se diseñó y construyó un horno eléctrico en el que se evaluó el proceso de secado de semillas de maíz, a tres temperaturas de secado diferentes: 35, 55 y 75 °C. Posteriormente, se evaluó el proceso de secado de las semillas en un horno microondas en las mismas condiciones (masa de semillas a secar, humedad inicial de las semillas y temperatura de secado) que las utilizadas en el horno

eléctrico. Los resultados obtenidos de la evaluación del proceso de secado de las semillas en el horno eléctrico, muestran que al aumentar la temperatura de secado se produjo una disminución del tiempo de secado del 85% y un incremento del consumo energía eléctrica del 155%. Por otra parte, la evaluación del proceso de secado de las semillas en el horno microondas puso de manifiesto que al aumentar la temperatura de secado, desde 35 hasta 75°C, se produjo una disminución de tiempo de secado de un 86,9% y un aumento del consumo de energía del 233,9%. La comparación de ambas tecnologías de secado demuestra que la tecnología microondas, en comparación con la tecnología convencional, disminuye el tiempo de secado entre un 52 y un 59%, disminuye el consumo de energía eléctrica entre un 70 y un 84% y disminuye el índice de desempeño energético del proceso de secado (energía eléctrica consumida por masa de semillas secas) entre un 72 y un 85%. Por último, las pruebas de germinación de las semillas de maíz secadas en el horno microondas a las tres temperaturas objeto de estudio demostraron que la temperatura de 35°C es la más adecuada para el secado de estas semillas, debido a que a dicha temperatura fue la que se obtuvo una mayor tasa de germinación (90% de promedio). Los resultados obtenidos en el proyecto han generado un nuevo conocimiento científico-técnico, sobre el proceso de secado de las semillas de maíz que puede contribuir al desarrollo de una nueva tecnología de secado con el consiguiente beneficio para el desarrollo de la producción agrícola de la provincia de Cotopaxi.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El maíz, cultivo propio de la región andina, han adquirido gran trascendencia a nivel mundial debido a sus propiedades nutritivas. Por las características morfológicas de la semilla el secado de maíz es muy susceptible a las variaciones climáticas, especialmente al aumento de la humedad ambiental lo que puede provocar la germinación durante el secado al aire. Por tanto, es necesaria una mejora del proceso de secado de este grano basada en la utilización de técnicas que permitan un mejor control y eficiencia del proceso.

El maíz es un cultivo de gran importancia en la región dada su alto consumo diario siendo una de las principales fuentes de ingreso de los agricultores cotopaxenses. Por ello, también resulta de vital importancia la evaluación del proceso de secado de este grano.

La tecnología microondas presenta un gran potencial para su uso en el secado de productos agrícolas en Ecuador. Un aspecto que ha despertado un gran interés en la utilización del secado con energía microondas es la mejora en la eficiencia energética que se puede alcanzar con su

uso. El ahorro de energía que se logra en estos sistemas se debe, fundamentalmente, a las velocidades de secado más altas, la interacción directa de la energía con el disolvente, las temperaturas de secado más bajas y las menores pérdidas de calor que se producen en ellos. (Schiffmann, 2015)

No obstante, es necesario realizar una evaluación del proceso de secado de las semillas utilizando la tecnología microondas (Moreno, et al, 2016) que demuestre su viabilidad. Trabajos previos muestran que en maíz, (Gürsoy Songül & Choudhary, 2013) la utilización de la tecnología microondas reduce el tiempo de secado y el consumo energético sin afectar la calidad de las semillas pero apenas hay datos sobre las mismas.

Los resultados derivados del proyecto pueden contribuir al desarrollo de la producción agrícola de la provincia de Cotopaxi y a la generación de nuevo conocimiento científico-técnico permitiendo el desarrollo de una nueva tecnología de secado. Dado la originalidad y relevancia del estudio se espera la publicación de los resultados en revistas de carácter internacional.

#### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

- **Directos:**
  - Autores del proyecto de investigación.
  - Los agricultores de la zona 3 del Ecuador
  - La Universidad Técnica de Cotopaxi
- **Indirectos:**
  - Otras instituciones del Ecuador interesadas en aplicar la tecnología microondas para procesos de secado

Distintos proyectos de investigación, que aprovechan el talento humano y los recursos materiales disponibles de la universidad para fortalecerlos al cooperar en conjunto con proyectos icónicos de la institución, tales como el proyecto de Granos Andinos y el proyecto del Banco de Germoplasma.

#### **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo disminuir el tiempo de secado de las semillas de maíz y aumentar la eficiencia energética del proceso sin afectar su calidad?

## **6. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el tiempo de secado y el indicador de desempeño energético utilizando la tecnología microondas en comparación con un secador eléctrico de aire caliente para obtener un método de secado eficiente.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar y construir un horno eléctrico para estudiar el proceso de secado de semillas con fines comparativos.
- Obtener las curvas de secado de las semillas a estudiar tanto en el horno microondas como en un horno eléctrico.
- Evaluar el indicador de desempeño energético de los métodos de secado a utilizar.

## 7. ACTIVIDADES Y TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2:** Sistema de tareas de acuerdo a los objetivos planteados

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la por actividad
1. Diseñar y construir un horno eléctrico para estudiar el proceso de secado de semillas con fines comparativos.	1.1 Realizar el diseño termo-mecánico y eléctrico del horno.	• Diseño de planos y eléctricos y mecánicos.	• Se realizara los planos para la construcción de la estructura y las instalaciones eléctricas.
	1.2 Seleccionar los materiales para la construcción del horno.	• Construcción de todo el sistema.	• Se ensamblara el horno para la comparación en métodos de secado
	1.3 Realizar un programa en LABVIEW para el control de temperatura del horno.	• Registrar el consumo de energía durante el proceso de secado	• Se usa un HMI para la comunicación utilizando LABVIEW y arduino
	1.4 Comprobación del funcionamiento del horno.	• Calibración del equipo y ensayos finales	• Verificar las temperaturas de funcionamiento.
2. Obtener las curvas de secado de las semillas a estudiar tanto en el horno microondas como en un horno eléctrico.	2.1 Realizar pruebas desecado a 35 °C 55 °C y 75 °C para el secado de granos de maíz en horno eléctrico.	• Determinar la pérdida de masa en función del tiempo para las tres temperaturas a estudiar.	• Tomar tres muestras de similares características y realizar el ensayo hasta que la pérdida de masa sea constante.
	2.2 Obtener curvas de secado para 35 °C 55 °C y 75 °C en horno eléctrico.	• Encontrar el tiempo que se demoran en secar los experimentos en las tres temperaturas de estudio.	• Analizando la pérdida de masa respecto al tiempo.
	2.3 Determinar el tiempo requerido para obtener una humedad 12%.	• el tiempo requerido para el secado de granos de maíz a una humedad de 12 %.	• Realizar una interpolación en las curvas de secado de las temperaturas objeto de estudio.
	2.4 Realizar pruebas desecado a 35 °C 55 °C y 75 °C para el secado de granos de maíz en horno microondas.	• Determinar la pérdida de masa en función del tiempo para las tres temperaturas a estudiar.	• Tomar tres muestras de similares características y realizar el ensayo hasta que la pérdida de masa sea constante.
	2.5 Obtener curvas de secado para 35 °C 55 °C y 75 °C en horno microondas.	• Encontrar el tiempo que se demoran en secar los experimentos en las tres temperaturas de estudio.	• Analizando la pérdida de masa respecto al tiempo.
	2.6 Determinar el tiempo requerido para obtener una humedad 12%.	• el tiempo requerido para el secado de granos de maíz a una humedad de 12 %.	• Realizar una interpolación en las curvas de secado de las temperaturas objeto de estudio.

**Tabla 2:** Sistema de tareas de acuerdo a los objetivos planteados Continuación.

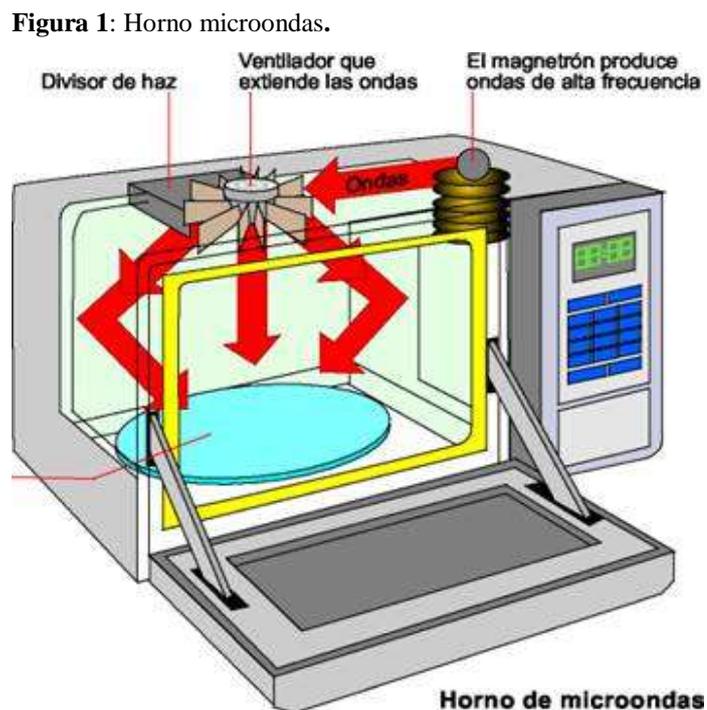
<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la por actividad</b>
3. Evaluar el indicador de desempeño energético de los métodos de secado a utilizar.	3.1 Medición del consumo de energía durante los experimentos de secado de semillas en el horno eléctrico.	•Obtener el consumo de energía que se necesita para secar una determinada cantidad de masa.	•Utilizando los registros obtenidos del medidor de energía.
	3.2 Determinación del indicador de desempeño energético de los procesos de secado de las semillas de maíz en el horno eléctrico.	• Obtener el consumo de energía que se necesita para secar una determinada cantidad de masa.	• Utilizando cálculos estadísticos.
	3.3 Medición del consumo de energía durante los experimentos de secado de semillas en el horno microondas.	•Obtener el consumo de energía que se necesita para secar una determinada cantidad de masa.	•Utilizando los registros obtenidos del medidor de energía.
	3.4 Determinación del indicador de desempeño energético de los procesos de secado de las semillas de maíz en el horno microondas.	• Obtener el consumo de energía que se necesita para secar una determinada cantidad de masa.	• Utilizando cálculos estadísticos.
	3.5 Comparación del consumo del indicador de desempeño energético del proceso de secado de semillas de maíz de las tecnologías de secado evaluadas.	• Demostrar que la tecnología microondas reduce el consumo de energía del proceso y aumenta la eficiencia del proceso.	• Utilizando cálculos estadísticos.

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### Horno microondas

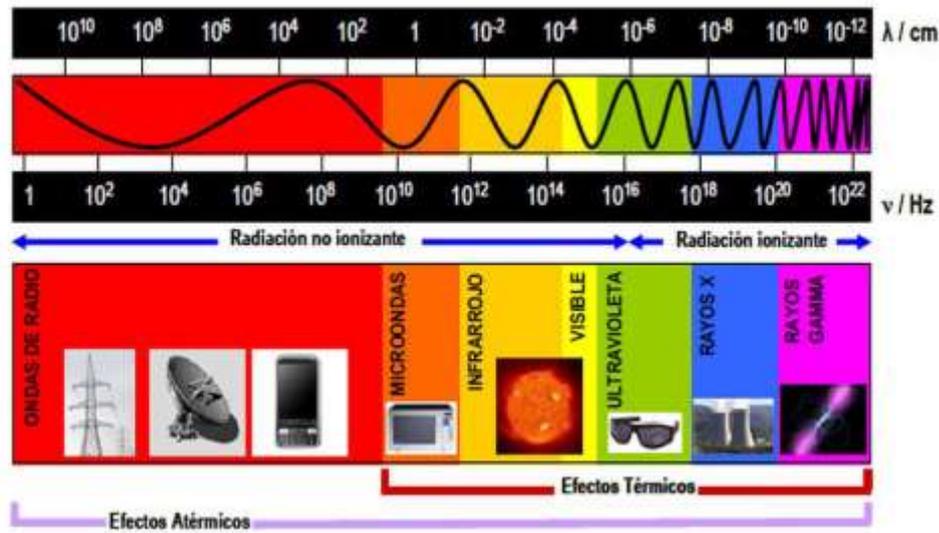
Un horno microondas está formado por un generador de altas frecuencias y una cavidad de paredes metálicas. Los hornos de microondas tienen un rendimiento del orden de un 50%. A diferencia de un horno convencional, en un horno microondas el calentamiento actúa directamente sobre el interior de los alimentos. Este calentamiento se produce por las elevadas pérdidas dieléctricas que presentan todos los tejidos orgánicos a frecuencias de microondas. Las pérdidas dieléctricas de estos tejidos disminuyen al aumentar la temperatura y por tanto el calentamiento por microondas actúa directamente sobre el interior de los alimentos, así también el calentamiento se produce esencialmente por la elevadas pérdidas dieléctricas que presentan particularmente todos los tejidos disminuyen al aumentar la temperatura y por tanto el calentamiento por microondas es auto regulable. (Miranda et al., 2002)



Fuente: (Miranda et al., 2002)

### Espectro Electromagnético

Las microondas son una radiación electromagnética no ionizante que ocupa en el espectro electromagnético una banda de frecuencias ( $f$ ) que abarca desde los 300 MHz hasta los 300 GHz, limitada por el infrarrojo lejano y las radiofrecuencias, con longitudes de onda ( $\lambda$ ) que van desde 1 m hasta 1 mm. (Levine, I, N, 1994)

**Figura 2:** Espectro Electromagnético

Fuente: (Menéndez, J, et al. 2017b)

### Calentamiento con microondas

Cuando medimos la temperatura de la materia lo que en realidad estamos midiendo es la velocidad con la que oscilan, vibran, rotan o mueven sus partículas (moléculas, átomos, electrones libres, etc.); si un objeto está más caliente que otro es porque sus partículas se están agitando más rápidamente (Arun., 1995). Puesto que las partículas con carga y las moléculas polares tienden a orientarse siguiendo la polarización de campo eléctrico; tenderán, en el caso de ser irradiadas por energía microondas, a acoplarse a las oscilaciones del campo eléctrico rotando o vibrando a razón de 2450 ó 915 millones de veces por segundo; lo que se traduce en una generación de calor (la energía que transportan las microondas se transfiere a la sustancia en forma de calor) y un aumento de la temperatura. Este fenómeno se conoce como calentamiento por polarización dipolar en el caso de moléculas dipolares (como las del agua), o conducción iónica, caso de las sustancias iónicas. (Menéndez, J, et al. 2017b)

### Diferencia entre el calentamiento con microondas y otros tipos de calentamiento

Cualquier tipo de calentamiento convencional implica siempre una transmisión de calor desde un cuerpo de mayor temperatura (fuente de calor) a otro de temperatura menor. Esta transmisión de calor puede tener lugar mediante tres tipos de mecanismos diferentes: conducción, convección y radiación; pero en todos los casos implica la existencia de una fuente de calor externa al cuerpo que se calienta. De esta manera, existe siempre un gradiente de temperatura donde las partes más externas, o más expuestas, de cuerpo que se calienta tienen una

temperatura superior a las más internas o menos expuestas. La conducción dentro del propio cuerpo tiende, con el tiempo, a hacer desaparecer este gradiente y homogenizar la temperatura. En el caso del calentamiento mediante radiación microondas la situación es totalmente diferente. Como se ha visto anteriormente, las microondas transmiten energía directamente a las partículas (a aquellas que sean capaces de interactuar con las microondas) del propio cuerpo. Por tanto, el calentamiento se produce en el interior del cuerpo (lo que se conoce como calentamiento volumétrico) y, en principio, no existe este gradiente de temperaturas. De hecho, y dado que las pérdidas de calor son mayores en las superficie del cuerpo, podríamos considerar que el calentamiento se produce de dentro hacia fuera; al revés que en el calentamiento convencional. (Thostenson & Chou, 1999)

### **Horno eléctrico**

Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. (Posso, 2010)

Los hornos eléctricos convierten la energía en calor a través de resistencias que permiten que se lleve a cabo el llamado efecto Joule. La potencia de los hornos eléctricos se mide en función a la cantidad de kW, que absorban de la corriente eléctrica, dependiendo de esta potencia será la cantidad de calor que emitan (Trinks et al., 2004).

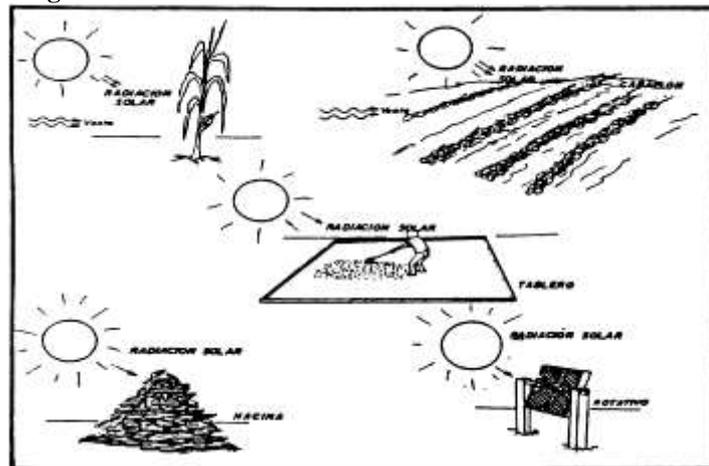
### **Concepto de secado**

Así mismo, Arias (1993) afirma que el secado es un proceso de gran importancia en la cadena de producción de alimentos, ya que el contenido de humedad es sin duda, la característica más importante para determinar si el grano corre el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. El secado se realiza para inhibir la germinación de las semillas, reducir el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento de los hongos, y evitar las reacciones de deterioración.

### **Tipos de secadores**

#### **Secado natural**

También FAO, (1985) señala que el material cosechado, trillado o sin trillar, se seca al sol y al viento, cuando la humedad relativa es baja. El desplazamiento y el acopio posterior de la cosecha requiere mucho tiempo y trabajo. Existe el riesgo de secarlo demasiado rápidamente, de contaminación con polvo y suciedad y de infestación por insectos.

**Figura 3: Secado Natural**

Fuente: (FAO, 1985)

**Secado artificial**

Entre los cuales está el secado por ventilación y secado por aire caliente

**Secado por ventilación**

Se impulsa aire a la temperatura ambiente, a través de la semilla, que se almacena en suelos o contenedores ventilados. Estos procedimientos solo es efectivo cuando la humedad relativa del aire es baja.

**Secado por aire caliente**

Se calienta el aire antes de impulsarlo a través de la semilla, lo cual reduce la humedad relativa de aquel, con el fin de eliminar más humedad.

En los secadores de aire caliente el proceso de secado puede completarse en un periodo de tiempo más breve. Entre los cuales están los secadores por tandas y secadores de flujo continuo.

**Secadores por tandas**

Es un proceso más largo el secado se efectúa mediante aire caliente impulsado a través de contenedores de la semilla almacenada. En el curso de varias horas, se quita el exceso de humedad, luego hay que enfriar la semilla hasta aproximadamente la temperatura exterior y mezclarla completamente.

### **Secadores de flujo continuo**

Es un proceso de secado más corto que el anterior. Se mueve lentamente la semilla húmeda desde la tolva de acceso a través de una zona de aire caliente y, finalmente a través de una zona de enfriamiento, al final del proceso la semilla posee el contenido de humedad deseado.

En el secado por aire caliente puede dañarse la semilla si la temperatura es demasiado alta, lo que conduce a reducir la germinación. Cuanto más alto el contenido de humedad mayor es el riesgo.

### **Secado de semilla a utilizar**

#### **Secado del maíz**

Si se calienta la semilla de maíz con un alto contenido de humedad los mohos empiezan a crecer y la germinación se reduce rápidamente. El método de secado natural del maíz puede lograrse en un tiempo de 6 a 8 semanas conteniendo una humedad del 20%.

El secado artificial del maíz con aire caliente requiere una temperatura de secado aproximadamente de 42°C tiene una duración de secado en un tiempo muy largo (aproximadamente 100 horas). (FAO, 1985)

**Figura 4:** Maíz



Fuente: (INIAP, 2012)

### **Humedad**

#### **Humedad del grano**

La humedad de los granos cuando se cosechan está entre 18% y 22%, y la humedad de almacenamiento entre 11% y 13%. Si no se consigue el grano seco, debe ponerse a secar antes de almacenarlo. El grano que tenga un porcentaje de humedad mayor de 13% no durará mucho tiempo en la bodega ya que se vuelve susceptible a hongos. (FAO, 1993)

### Humedad en base húmeda

La medición de la humedad del grano se fija sobre la "base húmeda", es decir, la cantidad de agua que tiene el grano en total, sobre su peso de materia seca más agua.

### Humedad en base seca

Es preferible usar la humedad en "base seca", que es la cantidad de agua que tiene el grano en relación solamente a la cantidad de materia seca. Esta humedad será siempre mayor que la anterior. (FAO, 1993)

Las relaciones entre ambas expresiones son las siguientes:

$$H_s = \frac{H_h}{100-H_h} \cdot 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$H_h = \frac{H_s}{100-H_s} \cdot 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$H_h$ : Humedad en base húmeda, [%.]

$H_s$ : Humedad en base seca, [%.]

### Controladores/programadores

PID: acción de control proporcional-integral-derivativa, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales (Eurotherm Invensys, 2007).

La ecuación de un controlador de acción combinada se utiliza en el horno microondas.

### Programa Labview

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica, donde se pueden crear rápidamente aplicaciones con interfaces de usuario profesionales. Contiene elementos típicos de un lenguaje de programación: una amplia gama de tipos de datos, bucles sentencias condicionales, estructuras de datos, matrices, funciones de manipulación de cadenas, etc. (Bress, 2013).

- **Panel Frontal**, es la parte que vera el usuario, suele tener fondo gris.
- **Diagrama de Bloques**, es donde se realizara la programación y suele tener fondo blanco.

El Panel Frontal y el Diagrama de Bloques esta conectados a través de terminales. De la misma forma que un indicador luminoso de la caratula de un instrumento está representado como un diodo en la circuitería interna, en LabVIEW un mismo indicador luminoso estará representado en el Diagrama de Bloques como una salida de tipo booleano sobre el que escribirá un valor. (Pelegrí & Lajara, 2007).

### Calentadores eléctricos

Los calentadores eléctricos transforman la corriente eléctrica en calor. Los elementos calentadores están contruidos a base de resistencias calentadoras, por ejemplo de cromo-níquel, y suelen ir empotradas en materiales de aislantes naturales como la cerámica (p.188). (Trinks et al, 2004).

### Eficiencia energética

Eficiencia energética. Los hornos microondas establecidos en el Reglamento Técnico deben tener una eficiencia mínima del 54%, representada por la letra “A” como se muestra en la tabla. (INEN, 2011)

**Tabla 3:** Tabla de Eficiencia energética de hornos microondas

Clase	Eficiencia energética (%)
A	Eficiencia $\geq 54$
B	$54 > \text{Eficiencia} \geq 49$
C	$49 > \text{Eficiencia} \geq 45$
D	$45 > \text{Eficiencia} \geq 35$

Fuente: (INEN, 2011)

### Analizador de energía FLUKE 1735

Según Fluke.,(2010) menciona que el analizador 1735 Power Logger (“registrador”) puede realizar estudios de tensión, corriente y potencia para determinar las cargas existentes. El registrador es también una herramienta de investigación de calidad de la potencia con fines generales que revela la calidad del suministro de tensión en la Figura 5 se muestra el analizador de energía con las sondas de corriente y pinzas para medir voltaje.

**Figura 5.** Analizador de energía FLUKE 1735



**Fuente:** (Fluke., Corporation, 2010)

El registrador se ha desarrollado en concreto para electricistas de planta e instaladores eléctricos con una función importante en la investigación y solución de problemas en el sistema de distribución eléctrico. (Fluke., Corporation, 2010)

Después de transferir los datos registrados a un ordenador para su evaluación los mismos se pueden exportar a una hoja de cálculo para generar e imprimir informes generándose tablas desde un archivo que estarán visibles en fichas y opciones de ventana. Las fichas que se muestren dependerán del instrumento y de los datos guardados que también se pueden exportar para utilizarlos en otras aplicaciones, como Microsoft Excel y programas de bases de datos sus especificaciones técnicas se las puede ver en el Anexo 11 (Fluke., Corporation, 2010).

### **Balanza electrónica GASON Z1s (300g x 0.01g)**

Es una balanza electrónica que puede pesar hasta seis unidades, su límite de medición es hasta 300 g y tiene un margen de error de 0,01 gramos. (User Manual, 2004). En la Figura 6 se muestra un imagen de dicha balanza, en la Tabla 4 se resumen sus características técnicas fundamentales.

**Figura 6.** Balanza electrónica



**Fuente:** (User Manual, 2004)

**Tabla 4.** Características de la balanza GASON Z1s

<b>Características de la balanza GASON Z1s</b>	
Modelo	GASON Z1s (3000gx0,0g)
Peso	300g
Material	Acero inoxidable trefilado del metal
Tamaño	127 x 106 x 20mm
Unidades	ct, dwt, ozt, g, oz, gn
PCS cuentan	Apoyo
Pantalla	Pantalla LCD
Sensor	sensor de alta precisión
Valor de división	0,01g

Fuente: (User Manual, 2004)

## 9. HIPÓTESIS

### Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

La utilización de la tecnología microondas para el secado de semillas de maíz permitirá disminuir el tiempo de secado y aumentar la eficiencia energética del proceso sin afectar la calidad de las semillas.

### Hipótesis Nula ( $H_0$ )

La utilización de la tecnología microondas para el secado de semillas de maíz aumentará el tiempo de secado y disminuirá la eficiencia energética del proceso sin afectar la calidad de las semillas.

### Variable Independiente:

Tecnología para el secado de semillas agrícolas

### Variable Dependiente

El tiempo de secado y la eficiencia energética del proceso.

En la Tabla 5 se muestra el efecto esperado de la variable independiente sobre las variables dependientes.

**Tabla 5 .** Conceptualización de variables

<b>INDEPENDIENTE</b>	<b>DEPENDIENTES</b>	
	Tiempo de secado	Eficiencia Energética
<b>Horno Eléctrico</b>	Aumentará el tiempo de secado	Disminuirá la eficiencia
<b>Horno Microondas</b>	Disminuirá el tiempo de secado	Aumentará la eficiencia

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J..

## 10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En este apartado se describen los procesos para la ejecución del proyecto de investigación

### METODOLOGÍA

En el proyecto de investigación se ha utilizado el método científico experimental, el cual permite controlar la variable temperatura para evaluar los métodos de secado en las tecnologías objeto de estudio, también se utiliza una investigación bibliográfica - documental ya que los temas fueron consultados mediante especificaciones técnicas.

Técnicas:

La técnica que se utilizo es experimental, en la cual se realizó tres experimentos de secado con la misma cantidad de granos de maíz en tres temperaturas en los dos métodos de secado midiendo el consumo de energía eléctrica con un analizador de energía.

Instrumentos:

Se utilizó instrumentos técnicos de medición como son: multímetro, termómetro infrarrojo, analizador de energía y una balanza electrónica de precisión para recolectar datos de las condiciones de control de los hornos para el procesos de secado, así también una hoja de cálculo en Excel donde se registró la temperatura.

### Diseño del Horno Eléctrico y del sistema de control de temperatura

Para la construcción del horno eléctrico es necesario analizar algunos parámetros como son: el sistema eléctrico, material para la estructura, control de temperatura y el principio de funcionamiento del proceso de secado.

### Sistema eléctrico

El sistema eléctrico comprende el encendido y apagado de la máquina mediante un interruptor manual. Para la iluminación

El horno eléctrico funciona a un voltaje de 110 V de corriente alterna, para el encendido del sistema. Para el ventilador se utilizó 12V de corriente continua y un voltaje de 5V corriente continua para la señal de los relés.

### Material para la estructura de la máquina

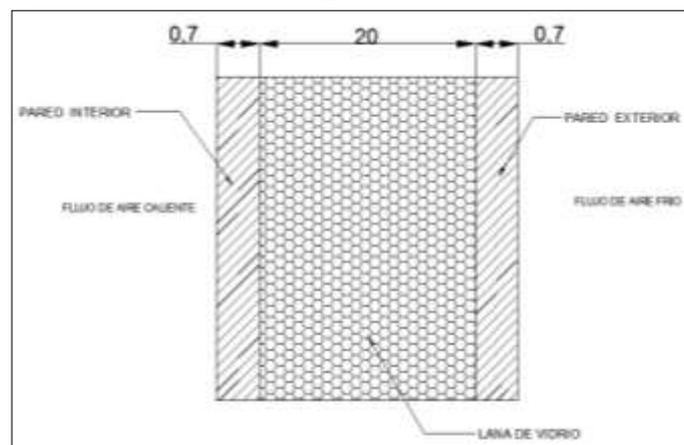
Los materiales elegidos para la construcción y montaje del horno se adoptaron con el fin de proporcionar a la máquina un peso adecuado y que sea resistente al calor.

En la construcción del horno se utilizó una Lámina de tol de acero de 1/23, ya que el acero posee mayor dureza y mejor resistencia a la corrosión.

### Análisis de las Temperaturas en el Horno

Para el análisis de temperaturas en las paredes del horno se considera un estado estacionario, como se puede apreciar en la Figura 7, existe un fluido caliente y uno frío, que circulan en el interior y en el exterior de las paredes del horno, para los cálculos se utilizaron las ecuaciones de los libros de transferencia de calor de Holman (1998) y Cengel & Boles (2012).

**Figura 7:** Distribución de temperaturas en el horno eléctrico



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Para calcular las pérdidas de calor se considera la conductividad del acero utilizado para las paredes del horno así también de la lana de vidrio aislante colocada para el almacenamiento de calor. Dichos valores que se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Propiedades de los materiales de las paredes del horno.

<b>Material</b>	<b>Densidad</b> $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	<b>Conductividad Térmica</b> $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$	<b>Calor específico</b> $\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}\right]$
<b>Láminas de Acero</b>	7850	58	460
<b>Lana de Vidrio</b>	18	0,04	660

Fuente: (Holman, 1998)

### **Cálculo de las pérdidas de calor**

Para el cálculo se determinó la pérdida de calor en las paredes del horno, por el método de transferencia de calor por convección esta se produce siempre que existe un gradiente térmico, se utilizó la temperatura ambiente de la provincia de Cotopaxi ciudad de Latacunga y la temperatura máxima para el secado.

### **Cálculo del coeficiente de calor interno**

Haciendo referencia a una temperatura interna aproximada y a la temperatura de salida se encuentra la temperatura media que existe en la pared del horno aplicando la ecuación (3), cuyas ecuaciones se encuentran en el libro de (Cengel & Boles, 2012) .

$$T_m = \frac{T_{in} + T_s}{2} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

$T_m$  = Temperatura media [ $^\circ C$ ]

$T_{in}$  = Temperatura interna [ $^\circ C$ ]

$T_s$  = Temperatura de salida [ $^\circ C$ ]

Para este cálculo se tomó diferentes datos encontrados en la Tabla A.15 misma que se muestra en el Anexo 6

En la Tabla 7 se muestran los datos utilizados para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor interna

**Tabla 7:** Datos para el Cálculo del coeficiente de transferencia de calor interna

Denominación de la variable	Valor	Unidades
$T_{\alpha}$	13,4	[°C]
$T_{in}$	90	[°C]
$T_s=$	55	[°C]
$V_i$	15,07	$\left[\frac{m}{s}\right]$
$\rho$	0,8977	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$C_p$	1011,0	$\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}\right]$
$k$	0,03235	$\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$
$\mu$	0,00002522	$\left[\frac{Kg \cdot m}{s}\right]$
$Pr$	0,7073	
$A$	1,94	[m <sup>2</sup> ]
$P$	1,66	[m]
$L$	1,1687	[m]

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Para calcular el flujo de aire en el interior del horno aplicamos la ecuación (4).

$$Re = \frac{L \cdot V_i \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$Re$ = Número de Reynolds

$L$ = Longitud [m]

$V_i$  =Velocidad interna  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\rho$ = Densidad [m]

$\mu$ = Viscosidad  $\left[\frac{Kg \cdot m}{s}\right]$

Si  $Re < 2300$  el flujo es laminar

En este caso se determinó que es un flujo de aire turbulento y se utilizará la condición de (n) que se muestra en la ecuación (5) y se utiliza la ecuación (6) para el cálculo de Número de Nusselt ( $Nu$ ).

Condición (n)

$$n = 0,4 \text{ para } T_s > T_m ; n = 0,3 \text{ para } T_s < T_m \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$T_s$  = Temperatura de salida [ $^{\circ}C$ ]

$T_m$  = Temperatura media [ $^{\circ}C$ ]

$$N_u = C \cdot Re^n \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$N_u$  = Número de Nusselt

$C$  = Constante

$Re$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

El coeficiente de transferencia de calor interno se determina una vez calculado el número de Nusselt.

$$h_{int} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

$h_{int}$  = Coeficiente de transferencia de calor interno  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right]$

$k$  = Conductividad térmica  $\left[ \frac{W}{m \cdot ^{\circ}C} \right]$

$L$  = Longitud [ $m$ ]

### **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor externo**

Se determinó la temperatura media utilizando la ecuación (5), tomando los datos de la Tabla 6.

Con la temperatura media encontrada se toman los datos de la Tabla A15 del libro de (Cengel & Boles, 2012), dichos datos están expuestos en la Tabla 7 y Tabla 8.

**Tabla 8:** Datos para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor externa

Denominación de variable	Valor	Unidades
$T_s$	74	[°C]
$v$	0,15	$\left[\frac{m}{s}\right]$
$\rho$	1,148	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$C_p$	1007	$\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}\right]$
$k$	0,02619	$\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$
$V$	0,00001657	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$
$Pr$	0,727	

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Utilizando las ecuaciones (4), (5), y (6) se calculó el flujo de aire laminar en la parte externa del horno.

Con la ecuación (7) se calcula el número de Nusselt para condición n de fluido laminar.

Por último con la ecuación (8) se calcula el que es el coeficiente de transferencia de calor externo.

$$h_{ext} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

$$h_{ext} = \text{Coeficiente de transferencia de calor externo} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$$

$$k = \text{Conductividad térmica} \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

### Perdida de calor a través de las paredes del horno

Para el siguiente cálculo se toman los espesores de las paredes del horno eléctrico y su respectiva conductividad térmica mostrada en la Tabla 9.

**Tabla 9:** Datos de espesores de las paredes del horno eléctrico

Denominación de variable	Valor	Unidades
$x_1$	0,0007	[m]
$x_2$	0,02	[m]
$x_3$	0,0007	[m]
$K_1$	58	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$K_2$	0,04	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$K_3$	58	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

$$q = \frac{T_{int} - T_a}{\frac{1}{h_{int} A} + \frac{x_1}{K_1 A} + \frac{x_2}{K_2 A} + \frac{x_3}{K_3 A} + \frac{1}{h_a A}} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

$q$  = Calor en las paredes del horno [W]

$T_{int}$  = Temperatura interna [°C]

$T_a$  = Temperatura ambiente [°C]

$x_1 = x_3$  = Espesor de las placas de acero [m]

$x_2$  = Espesor de la lana de vidrio [m]

$K_1 = K_3$  = Conductividad del acero  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

$K_2$  = Constante de conductividad de la lana de vidrio  $\left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$

$A$  = Área de la pared lateral del horno [m<sup>2</sup>]

$h_{ext}$  = Coeficiente de transferencia de calor externo interno  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

$h_{int}$  = Coeficiente de transferencia de calor interno  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

### Determinación la resistencia eléctrica

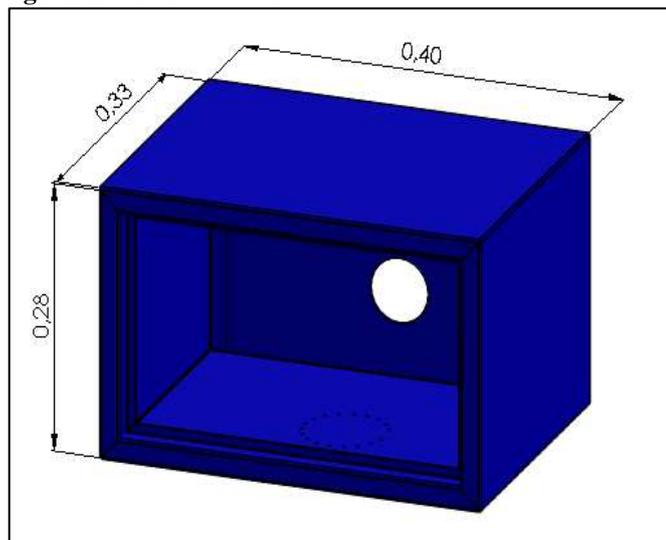
Los siguientes datos que se muestran en la Tabla 10 son tomados de la Tabla A15 del libro de (Cengel & Boles, 2012), mismos que utilizan en la ecuación (13), para determinar la potencia total que se requiere para el funcionamiento en el horno eléctrico.

**Tabla 10:** Datos para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor externa

Denominación de variable	Valor	Unidades	Valor	Unidades
$P_{in}$	1,33	[°C]	0,00133	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
$L_1$	0,4	[m]		
$L_2$	0,33	[m]		
$L_3$	0,28	[m]		
$T_\alpha$	13,4	[°C]	286,55	K
$T_2$	75	[°C]	348,15	K
$P_{atm}$	101	[kPa]		
$Q_{out}$	386,496	$\left[\frac{J}{s}\right]$	0,3869	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
$m_{aire}$	0,83	$\left[\frac{kg}{s}\right]$		
$C_p$	1,0066	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right]$		
T	12	[Min]	720	[s]
$C_v$	0,72	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right]$		
R	0,287	$\left[kPa \frac{m^3}{kg \cdot ^\circ C}\right]$		

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

En la Figura 8 se muestra la parte interna del horno eléctrico con las dimensiones para su construcción.

**Figura 8.** Horno Eléctrico

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

**Alto:**  $28 \text{ cm} = 0,28 \text{ m}$

**Ancho:**  $40 \text{ cm} = 0,40 \text{ m}$

**Profundidad:**  $33 \text{ cm} = 0,33 \text{ m}$

Se determina el volumen del interior del horno eléctrico utilizando la ecuación (10).

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

$V =$  Volumen [ $m^3$ ]

$L_1 =$  Lado 1 [ $m$ ]

$L_2 =$  Lado 2 [ $m$ ]

$L_3 =$  Lado 3 [ $m$ ]

Total de masa de aire en el interior del horno

$$m_{aire} = \frac{P_{atm} \cdot V}{R \cdot T_1} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

$m_{aire} =$  Masa del aire [ $kg$ ]

$P_{atm} =$  Presión atmosférica [ $kPa$ ]

$T_1 =$  Temperatura 1 [ $^{\circ}C$ ]

$V =$  Volumen del horno [ $m^3$ ]

Entonces se determina la potencia nominal del calentador eléctrico con la siguiente ecuación (12).

$$P_{TOTAL} = Q_{sal} - P_{int} + \frac{m_{aire} \cdot c_v(T_2 - T_1)}{t} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

$P_{TOTAL} =$  Potencia total [ $W$ ]

$Q_{sal} =$  Transferencia de calor de salida [ $\frac{J}{s}$ ]

$P_{int} =$  Potencia interna [ $W$ ]

$m_{aire} =$  Masa del aire [ $kg$ ]

$c_v =$  Calor específico [ $\frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C}$ ]

$T_1$ = Temperatura 1 [ $^{\circ}C$ ]

$T_2$ = Temperatura 2 [ $^{\circ}C$ ]

$t$ = Tiempo [s]

### **Construcción y puesta en marcha del Horno Eléctrico**

El Horno Eléctrico se diseñó para realizar el estudio del proceso de secado de granos de maíz con ello comparar las tecnologías de secado y evaluar el consumo de energía eléctrica de los métodos

Para su dimensionamiento se tomaron las mismas dimensiones interiores del horno microondas marca LACOR, utilizado para realizar el proceso de secado de granos.

En el Anexo 12 se puede consultar el plano de conjunto del horno eléctrico.

#### **Calentador eléctrico**

A partir de los datos de la potencia total requerida para el calentamiento del horno, calculada en la fase de diseño y expuestos en el Apartado 11 (Análisis de Resultados), se seleccionó la resistencia eléctrica a utilizar (ver Apartado 11).

#### **Ventilador**

El ventilador es el encargado de suministrar aire del ambiente al interior del horno, para ello se seleccionó un ventilador de la marca Tricod Science, Modelo SPDM8025S. En la Figura 9 se muestra una foto de este ventilador y en la Tabla 11 se resumen sus principales especificaciones técnicas.

**Figura 9 :** Ventilador Tricod science SPDM8025S IDE



**Fuente:** (Tricod-Scienc-Ventilador, 2009)

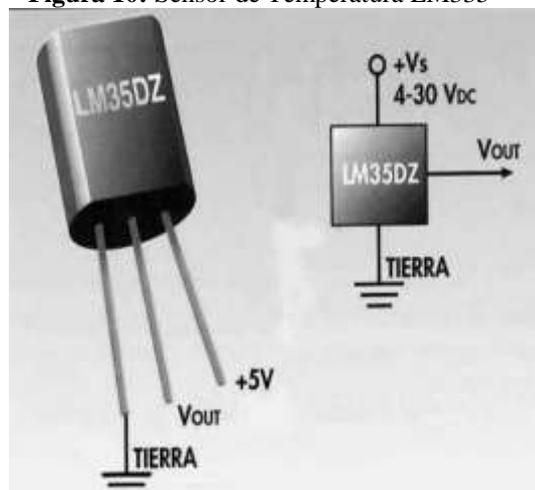
**Tabla 11:** Características del ventilador Tricod Science

Manufacturer	Tricod Science
Model	SPDM8025S
Dimensions	80mm x 80mm x 25mm
Connector	2 wire (no plug)
Air flow (CFM)	50
Voltage	DC12V
Current	0,11A
Power consumption	1,32W

**Fuente:** (Tricod-Scienc-Ventilador, 2009)

### Sensor de temperatura LM355

Para la medición de la temperatura de las semillas a secar se seleccionó un sensor de temperatura analógico marca TEXAS INSTRUMENTS, funciona como un diodo Zener con una tensión de ruptura proporcional a la temperatura absoluta en  $10 \text{ mV} / \text{K}$  La salida del sensor es lineal y está conectada a una tensión analógica de  $2.98 \text{ V}$  ( $298 \text{ Kelvin}$  es  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura ambiente). Está calibrado a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  tiene un margen de error de  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  en el intervalo de temperatura en el que puede funcionar de forma continua desde  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  (Electronica, 2010). En la Figura 10 se muestra una foto de dicho sensor y en la tabla 12 se resumen sus principales especificaciones técnicas.

**Figura 10:** Sensor de Temperatura LM335

**Fuente:** (Electronica, 2010)

**Tabla 12:** Especificaciones Técnicas del sensor de temperatura LM335

(Temperature sensor, 2015)PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM135/LM235			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1$ mA	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1$ mA		1	3	$^\circ\text{C}$
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq$ $T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1$ mA		2	5	$^\circ\text{C}$
Temperature Error with $25^\circ\text{C}$	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq$ $T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1$ mA		0.5	1.5	$^\circ\text{C}$
Calibration	Calibrated Error at Extended $T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2		$^\circ\text{C}$
Temperature	Non-Linearity $I_R = 1$ mA		0.3	1	$^\circ\text{C}$

**Fuente:** (Temperature sensor, 2015)

### Tarjeta Arduino

Los requerimientos para la el control son una entrada analógica para leer las señales del sensor y dos salidas digitales (PWM) para el control del ventilador y la niquelina por ello se seleccionó la tarjeta arduino uno la cual está basada en el microcontrolador ATmega328P cuyas especificaciones se muestran en el Anexo 4. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se podrán utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 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 la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar las especificaciones se muestran en el Anexo 5. (Arduino , 2017)

Para la comunicación entre el ordenador, la tarjeta de control y el sensor de temperatura se utilizó una placa electrónica Arduino.

**Figura 11:** Tarjeta Arduino UNO

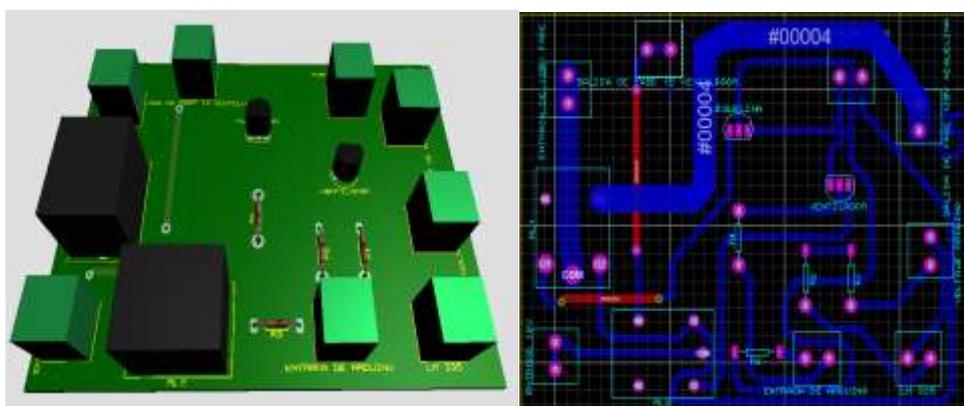
**Fuente:** (Arduino , 2017)

## Diseño Experimental

### Diseño de la placa de control de potencia

En la tarjeta de control de potencia se amplifican las señales de control procedentes de la tarjeta arduino. Estas señales controlan relés para el encendido de la niquelina y el ventilador respectivamente, realizando el control de temperatura. En la Figura 12 se muestra una simulación de la placa de control de potencia diseñada, en el Anexo 13 se puede consultar el diagrama de conexiones de la placa de control de potencia.

**Figura 12:** Placa del control de potencia



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

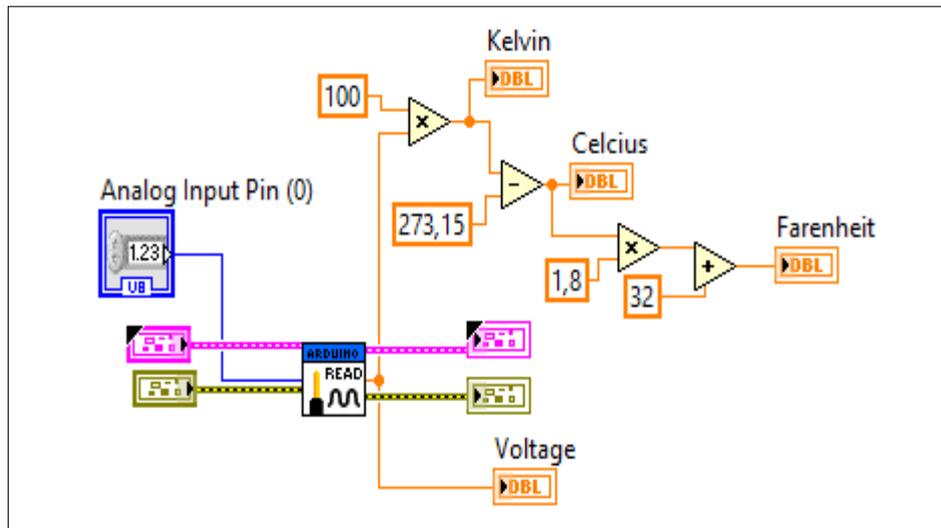
### Control de temperatura

Para medir la temperatura se seleccionó un sensor LM335, tal como se describió anteriormente. Para controlar la temperatura se elaboró un programa ejecutable utilizando el software LABVIEW, con un margen de error de  $\pm 1.5$  °C. Este programa controla a los transistores que accionan los relés para el encendido y/o apagado del ventilador y de la resistencia eléctrica del horno.

### Programación en LABVIEW

Para el control de la temperatura se realizó una interfaz hombre-máquina (HMI) a través de una tarjeta arduino y la librería LIFA\_BASE, de NATIONAL INSTRUMENTS, lo que permite visualizar y controlar la temperatura en el horno eléctrico. Para ello, se hace una adquisición de datos de voltaje, los cuales son amplificados para obtener la temperatura en grados Kelvin. Posteriormente, se elaboró una subrutina para el control de temperatura como se muestra en la Figura 13, que contiene una conversión matemática a grados Fahrenheit y a grados centígrados.

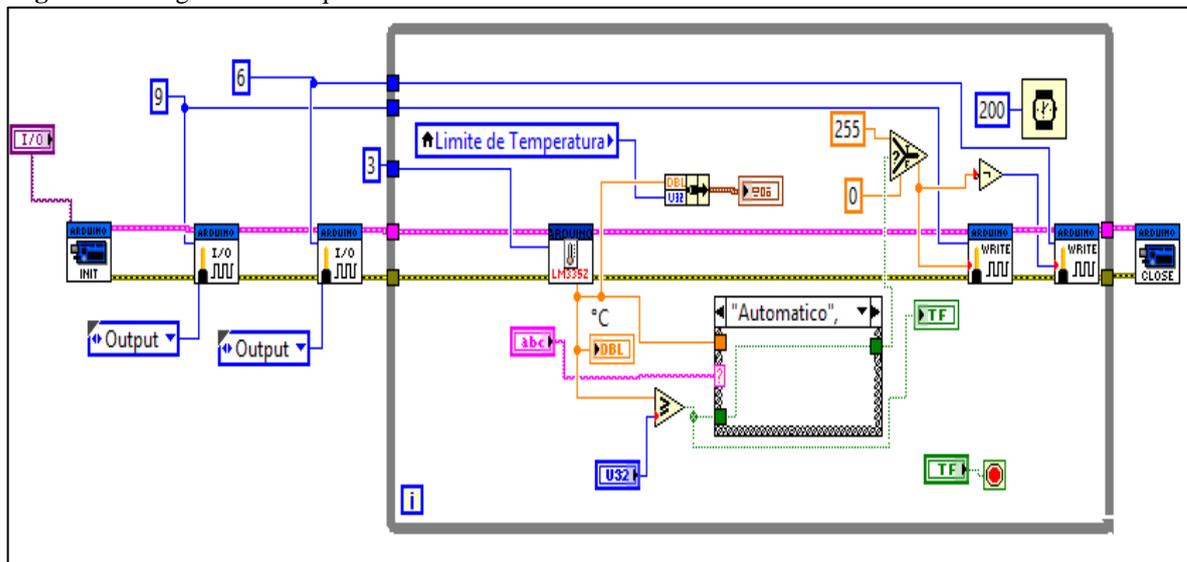
**Figura 13.** Diagrama de bloques de la subrutina para la adquisición de datos de temperatura



**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Para el control los datos de temperatura ingresan por una entrada análoga del arduino y se comunican al ordenador mediante un puerto de comunicación serial los cuales son analizados en un entorno de programación en lenguaje de bloques los que se observan en la Figura 14 para realizar en control de temperatura en los granos a secar.

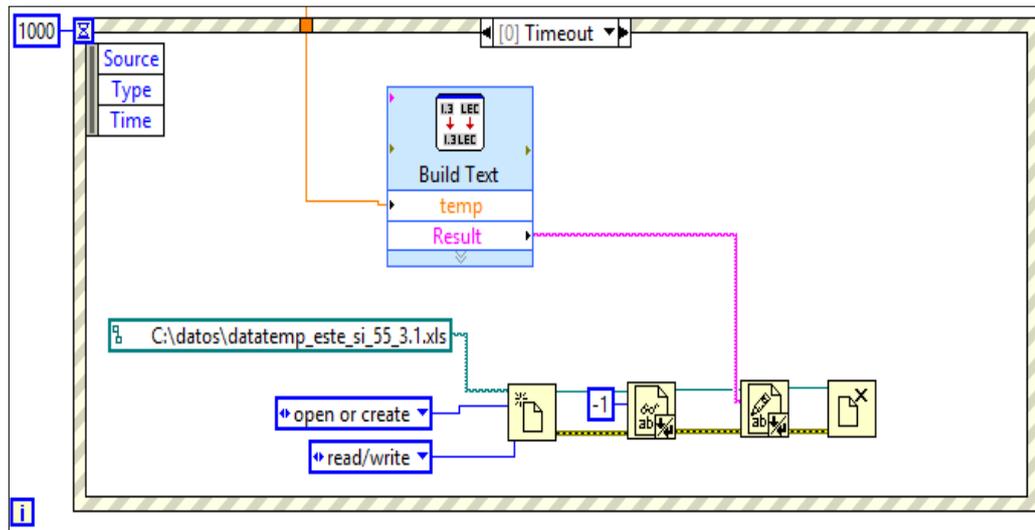
**Figura 14:** Diagrama de bloques



**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Para el registro de los datos de temperatura en una hoja de Excel se utilizó la programación en lenguaje de bloques la cual se muestra en la Figura 15. Esta programación requiere que antes se haya creado una carpeta en el Disco local C con el nombre "datos" y en ella es donde se almacena la información.

**Figura 15:** Diagrama de bloques de adquisición de datos



**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

La temperatura se visualiza en la ventana en Waveform Chart de la subrutina, en donde se establece la temperatura a controlar (setpoint) y la del sensor. Los datos de temperatura, en grados Celsius, ingresan a una estructura Case Structure para poder controlar el encendido del ventilador manual o automáticamente. El resultado del control manual o automático se envían a la salida del arduino que habilitan los pines de salida digital con esto cerramos la estructura While Loop que crea un bucle “acción repetitiva” cada 200 ms.

## Horno Microondas

Para la evaluación del proceso de secado de las semillas de maíz utilizando la tecnología microondas se adquirió un horno microondas marca LACOR Modelo 69330, de 30 litros de capacidad y 900 W de potencia, adaptado para fines de investigación, sus especificaciones técnicas se muestran en el Anexo 9.

### Horno microondas modificado

El horno microondas tiene incorporado un controlador de temperatura PID Eurotherm 3216 L, un contador de energía marca TYWATT 30 un termopar tipo K y un relé de estado sólido de 25 A y 220 V.

### Contador de consumos TYWATT 30

Mide la cantidad de energía eléctrica consumida por el microondas. Efectúa dos tipos de acumulados: C1 (Acumulado desde la puesta en marcha, imborrable). C2 (Acumulado desde la última puesta a cero, borrrable). En la Tabla 13 se muestran sus características técnicas.

**Tabla 13 :** Características del controlador TYWATT30

Modelo	TYWATT30
Alimentación	220V
Frecuencia	50Hz/60Hz
Memoria	C1 / C2

Fuente: Manual del contador de energía

### Controlador de temperatura 3216L

El controlador 3216L de nivel de acceso básico permite controlar con precisión la temperatura y otras variables del proceso con un formato estándar. Se utiliza un sencillo código para la configuración de todas las funciones, está equipado con una serie de lazo de control PID lógico en configuraciones de solo calor o calor y frío, disponible con hasta dos relés de alarma con bloqueo.

**Figura 16.** Controlador de temperatura 3216L

Fuente: (Eurotherm Invensys, 2007)

### Termopar Tipo K

Es el más utilizado en la industria debido a su confiabilidad y exactitud de calibración. Tiene muy buena respuesta a la medición de temperatura en forma continua hasta 1260°C. (Sensores , 2015) Además, se comporta muy bien en atmósferas oxidantes y es conveniente su protección en atmósferas reductoras.

**Figura 17:** Termopar Tipo K, Modelo aguja

Fuente: (Sensores , 2015)

## Procedimiento para la evaluación del proceso de secado de las semillas de maíz

Para evaluar el proceso de secado de las semillas de maíz se siguió el procedimiento que se explica a continuación:

### Experimentos de secado

Los experimentos de secado de las semillas de maíz se realizaron utilizando dos tecnologías de secado: el horno eléctrico (tecnología convencional) y el horno microondas (tecnología propuesta a evaluar).

Para evaluar el efecto que ejerce la temperatura de secado sobre el tiempo de secado y el indicador de desempeño energético del proceso, se establecieron 3 niveles de temperatura. Para el primer nivel de temperatura se seleccionó una baja temperatura de secado ( $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), para el segundo nivel se definió una temperatura intermedia ( $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); y para el último nivel se estableció una alta temperatura ( $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Para cada una de las temperaturas objeto de estudio, en las dos tecnologías de secado evaluadas se realizaron tres experimentos.

En los experimentos de secado realizados, tanto en el horno eléctrico como en el horno microondas, se utilizó la misma masa inicial (100g) de maíz a secar y se trató que la humedad inicial del maíz fuera la misma. La masa de maíz se pesó utilizando una balanza marca GASON modelo Z1s (300gx0.0g). En la Figura 18 se muestra una foto de la misma con la masa de maíz a pesar y sus características fundamentales se muestran en la Tabla 3.

**Figura 18.** Peso del maíz



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Para la medición de la humedad inicial del maíz se utilizó el hidrómetro Marca agraTronix Modelo MT-16 que se muestra en la Figura 19.

**Figura 19.** Higrómetro



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

En los experimentos realizados a una temperatura de secado de 35 °C la masa de maíz se pesó cada hora, en los realizados a 55 °C cada 30 minutos; y cada 15 minutos en los realizados a 75 °C.

### Curvas de secado

El contenido de humedad de las semillas en % se determinó a través de la ecuación 15 a partir del conocimiento de la masa inicial y la masa final de las semillas al terminar el proceso de secado.

$$\% H = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \cdot 100 \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

$m_i$ =Peso inicial [g]

$m_f$ = Peso final [g]

A partir de la representación de los datos de la pérdida de masa (humedad), obtenidos en los experimentos de secado, como una función del tiempo, se obtuvieron las curvas de secado para cada uno de los experimentos realizados (tecnología y temperatura de secado).

## Medición del consumo de energía eléctrica en los experimentos de secado

Para medir el consumo de energía eléctrica en el proceso de secado en las 2 tecnologías evaluadas se utilizó un analizador de energía FLUKE 1735 que se muestra en la Figura 20. El mismo proporciona datos de corriente, voltaje, potencia (activa, reactiva, aparente), frecuencia, energía en intervalos de tiempo de 30 segundos.

**Figura 20.** Analizador FLUKE 1735



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Las curvas de consumo se realizaron considerando la energía activa media versus el tiempo de secado de los granos, las mediciones fueron para cada una de las temperaturas planteadas de 75, 55 y 35°C, de igual manera se tomaron datos de las tres repeticiones.

## 11. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Diseño y construcción del Horno Eléctrico

En la Tabla 14 se muestra los resultados de los coeficientes de transferencia de calor por convección interno.

**Tabla 14:** Coeficiente de transferencia de calor interno

Denominación de variable	Valor	Unidad
$T_m$	117,5	[°C]
$Re$	626892,447	
$Nu$	900,250	
$h_{int}$	24,920	$\left[ \frac{W}{m^3K} \right]$

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

En la Tabla 15 se muestra los resultados de los coeficientes de transferencia de calor por convección externo.

**Tabla 15:** Transferencia de calor externo

Denominación de variable	Valor	Unidad
$T_m$	37	[°C]
$Re$	12145,189	
$N_u$	49,164	
$h_{ext}$	1.102	$\left[ \frac{W}{m^3 K} \right]$

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

### Calor acumulado en las paredes del horno

En las Tabla 16 se muestra los resultados de las pérdidas de calor a través de las paredes del horno

**Tabla 16:** Calor acumulado en las paredes del horno

Denominación de variable	Valor	Unidad
$q$	386.496	[W]

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

### Cálculos para determinar la resistencia eléctrica

En la Tabla 17 se muestra la potencia total requerida para la resistencia eléctrica.

**Tabla 17:** Cálculos de la resistencia eléctrica

Denominación de variable	Valor	Unidad
$V$	0.03696	$m^3$
$m_{aire}$	0.045391	$Kg$
$P_{TOTAL}$	426.7571	[W]

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la Tabla 17 para el horno eléctrico se requiere una resistencia eléctrica de una potencia de 427 W. Para satisfacer este requerimiento se seleccionó la resistencia eléctrica de 450 W, de la marca ALL AMERICAN 4158AS. En la Figura 21 se muestra una foto de esta resistencia

**Figura 21:** Resistencia ALL AMERICAN 4158AS



**Fuente:** Innovar Tecnología Biométrica

## Horno eléctrico

Se puede visualizar en la Figura 22 el horno construido el cual tiene las medidas internas del horno microondas

**Figura 22:** Horno eléctrico



**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

En la Figura 23 se muestra la interfaz hombre-máquina (MHI) elaborada para el control de la temperatura del horno. Como se puede observar en ella el HMI está formado por un setpoint para el control de la temperatura, una visualización gráfica de la temperatura y un control automático o manual para el encendido del ventilador.

**Figura 23:** Pantalla principal del HMI

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

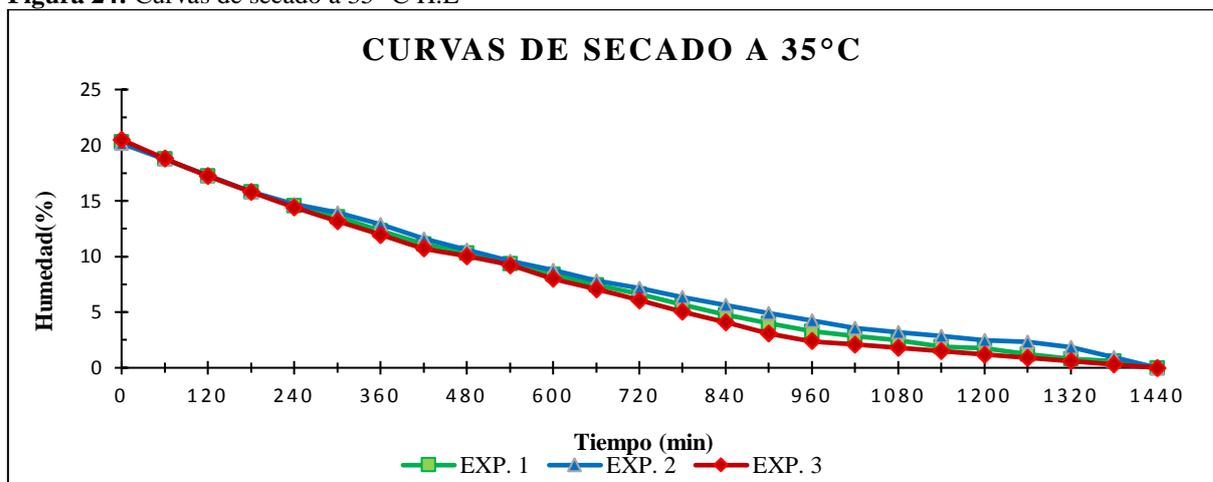
### Curvas del proceso de secado en horno eléctrico

“El comportamiento de las semillas de maíz durante el proceso de secado se puede caracterizar mediante la medición de la pérdida de humedad del grano como una función del tiempo” Moreno et al., (2017).

A partir de los experimentos realizados en las dos tecnologías de secado utilizadas y de los datos de pérdida de masa con respecto al tiempo obtenidos en cada uno de ellos se elaboraron las curvas de secado

### Experimentos de secado a 35 °C

En la Figura 24 se puede observar las curvas de secado en los experimentos realizados en el horno eléctrico a una temperatura de secado de 35 °C

**Figura 24:** Curvas de secado a 35 °C H.E

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en esta figura la pérdida de humedad total, en los 3 experimentos, se alcanzó en un tiempo de 1440 minutos.

Para estimar el tiempo de secado necesario al alcanzar una humedad de las semillas del 12% (humedad requerida para la germinación de semillas de maíz), se realizó el siguiente procedimiento. En cada una de las curvas de secado se trazó una línea recta desde la humedad del 12% (eje Y) hasta interceptar la curva de secado, y otra hasta interceptar el eje de las X con la que se obtiene el tiempo de secado necesario.

En la Tabla 18, se muestra el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 12%, para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 35 °C

**Tabla 18.** Experimentos de secado a 35°C en H.E

Experimento de secado a 35°C	Tiempo de secado [min]	Tiempo para alcanzar el 12 % de humedad [min]
1	1440	376,64
2	1440	401,9
3	1440	358,03
<b>Promedio</b>		<b>378,857</b>

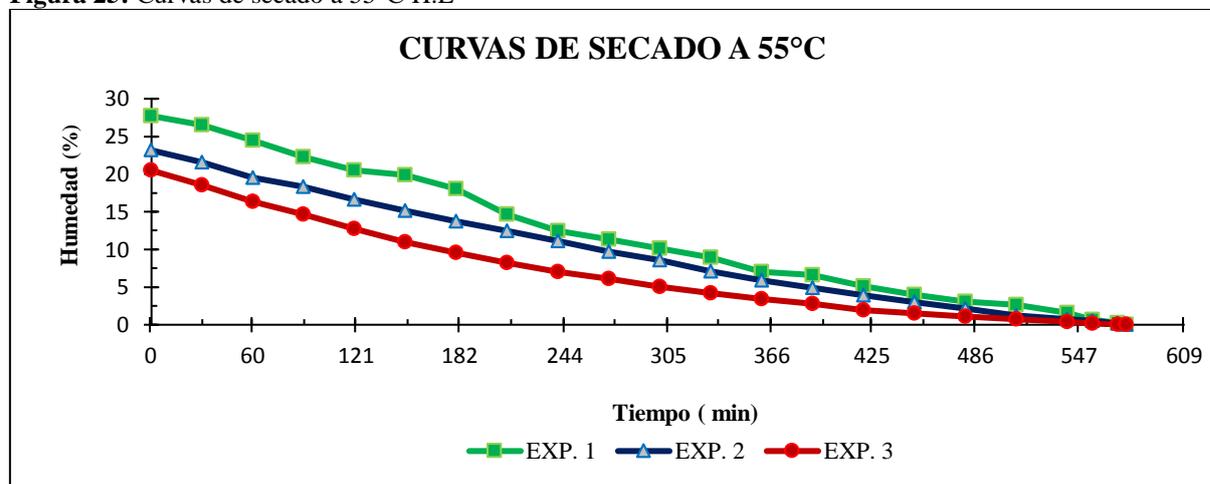
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla para alcanzar una humedad de las semillas de maíz de 12% en el horno eléctrico, se requiere, un tiempo de secado promedio de aproximadamente 379 minutos

### Experimentos de secado a 55 °C

En la Figura 25 se puede observar las curvas de secado en los experimentos realizados en el horno eléctrico a una temperatura de secado de 55 °C

**Figura 25:** Curvas de secado a 55°C H.E



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en esta figura la perdida de humedad total, en los 3 experimentos, se alcanzó en un tiempo de 575 minutos.

En la Tabla 19, se muestra el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 12%, para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 55 °C

**Tabla 19.** Experimentos de secado a 55°C H.E

Experimento de secado a 55°C	Tiempo de secado [min]	Tiempo para alcanzar el 12 % de humedad [min]
1	575	132,93
2	585	251,41
3	575	220,15
<b>Promedio</b>		201,497

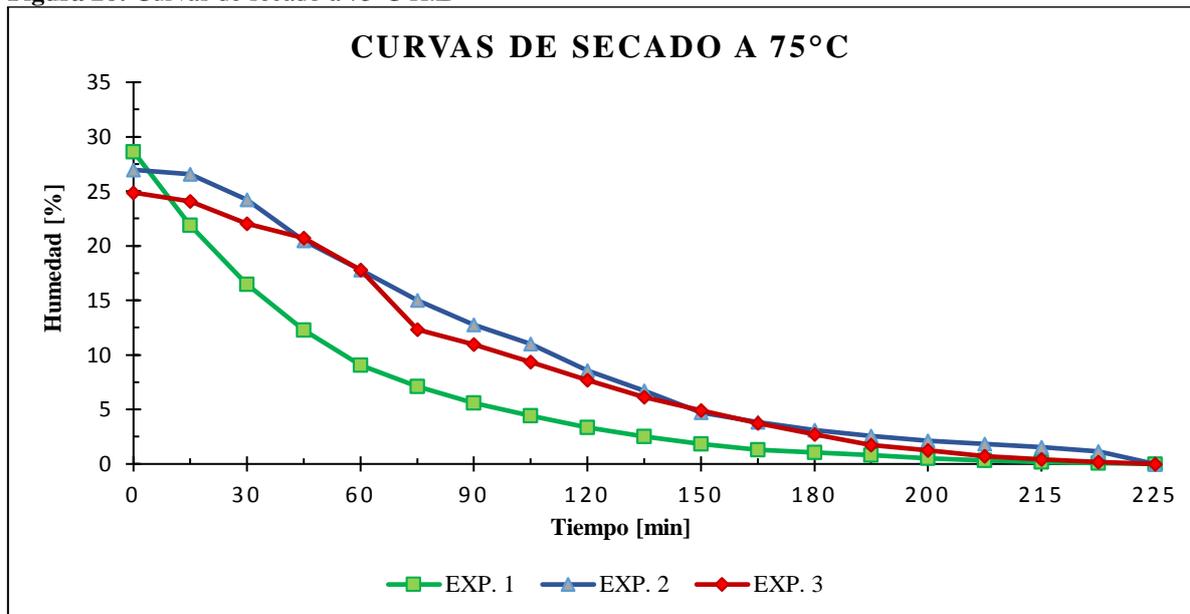
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla para alcanzar una humedad de las semillas de maíz de 12% en el horno eléctrico, se requiere, un tiempo de secado promedio de aproximadamente 201 minutos

### Experimentos de secado a 75 °C

En la Figura 26 se puede observar las curvas de secado en los experimentos realizados en el horno eléctrico a una temperatura de secado de 75 °C

**Figura 26:** Curvas de secado a 75°C H.E



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en esta figura la pérdida de humedad total, en los 3 experimentos, se alcanzó en un tiempo de 575 minutos.

En la Tabla 20 se muestra el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 12%, para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 75 °C

**Tabla 20.** Experimentos de secado a 75°C H.E

Experimento de secado a 75°C	Tiempo de secado [min]	Tiempo para alcanzar el 12 % de humedad [min]
1	225	46,3
2	205	96,61
3	225	78,49
<b>Promedio</b>		<b>73,8</b>

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla para alcanzar una humedad de las semillas de maíz de 12% en el horno eléctrico, se requiere, un tiempo de secado promedio de aproximadamente 73,8 minutos

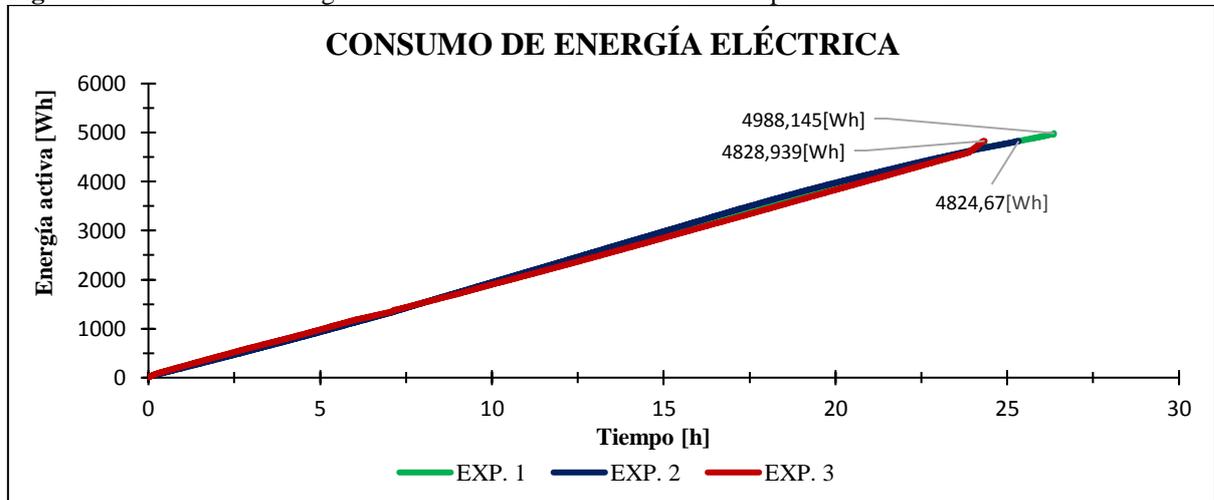
### Consumo de energía en los experimentos realizados en horno eléctrico

En los experimentos realizados se midió el consumo de energía eléctrica mediante la utilización del analizador de redes. De cada uno de ellos se elaboraron los consumos de energía.

### Consumo de energía a 35 °C

En la Figura 27 se muestra la energía utilizada en los ensayos a 35 °C.

**Figura 27:** Consumo de energía eléctrica del horno eléctrico a una temperatura de 35 °C



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la figura el consumo total de energía en la primera prueba fue de 4,98 kWh, el segundo fue de 4,82 kWh, en tercero fue de 4,82 kWh y el consumo promedio es de 4,88 kWh.

En la Tabla 21 se muestra el indicador de desempeño energético para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 35 °C

**Tabla 21:** Indicador de desempeño energético a 35 °C

Experimentos a 35°C	Energía consumida (kWh)	Masa final de maíz seco (g)	Indicador de desempeño (Wh/g)
1	4,988145	79,68	62,60
2	4,82467	79,85	60,42
3	4,828939	79,5	60,74
<b>Promedio</b>			61,26

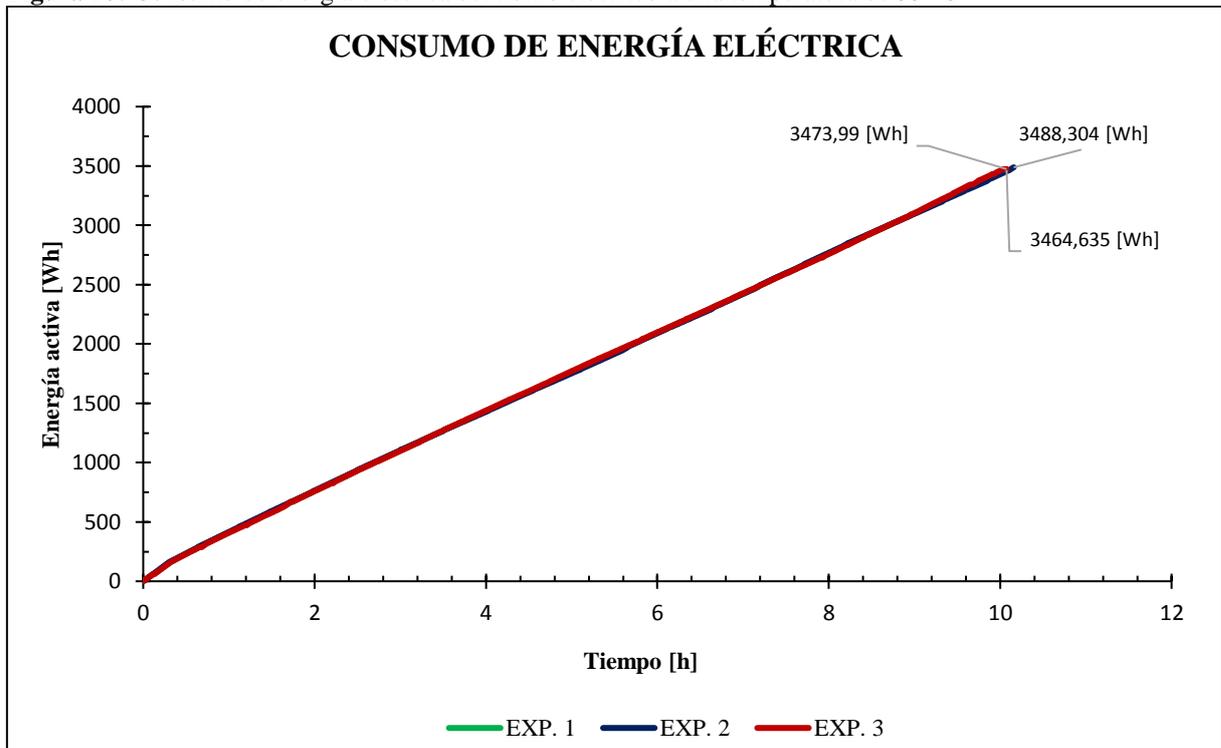
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla el promedio indicador de desempeño energético a la temperatura de 35 °C es de 61,26 (Wh/g).

### Consumo de energía a 55 °C

En la Figura 28 se muestra la energía utilizada en los ensayos a 55 °C.

**Figura 28:** Consumo de energía eléctrica del horno eléctrico a una temperatura de 55 °C



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la figura el consumo total de energía en la primera prueba fue de 3,46 kWh, el segundo fue de 3,48 kWh, en tercero fue de 3,47 kWh y el consumo promedio es de 3,47 kWh.

En la Tabla 22 se muestra el indicador de desempeño energético para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 55 °C

**Tabla 22:** Indicador de desempeño energético a 55 °C

Experimentos a 55°C	Energía consumida (kWh)	Masa final de maíz seco (g)	Indicador de desempeño (Wh/g)
1	3,464635	72,27	47,94
2	3,488304	76,82	45,41
3	3,47399	79,49	43,70
<b>Promedio</b>			45,68

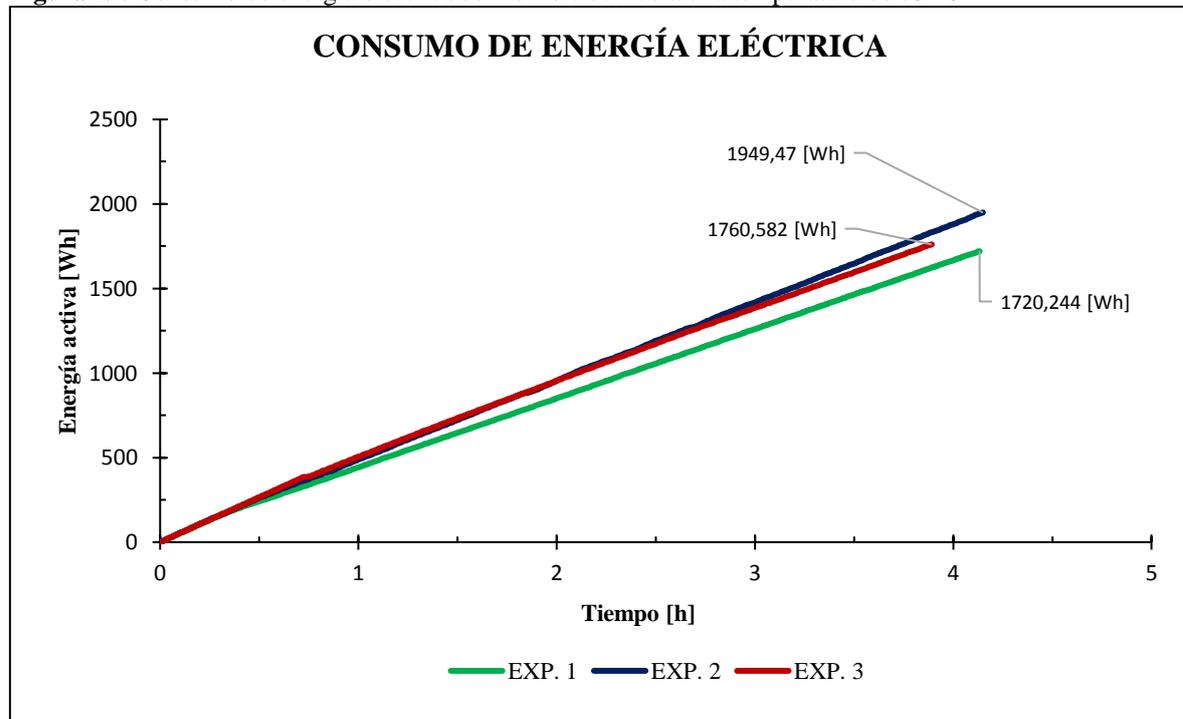
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla el promedio indicador de desempeño energético a la temperatura de 55 °C es de 45,68 (Wh/g).

### Consumo de energía a 75 °C

La energía utilizada en los ensayos se muestra en la Figura 29.

**Figura 29:** Consumo de energía eléctrica del horno eléctrico a una temperatura de 75 °C



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la figura el consumo total de energía en la primera prueba fue de 1,72 kWh, el segundo fue de 1,94 kWh, en tercero fue de 1,76 kWh y el consumo promedio es de 1,81 kWh.

En la Tabla 23 se muestra el indicador de desempeño energético para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 75 °C

**Tabla 23:** Indicador de desempeño energético a 75 °C

Experimentos a 35°C	Energía consumida (kWh)	Masa final de maíz seco (g)	Indicador de desempeño (Wh/g)
1	1,720244	71,36	24,11
2	1,94947	73,03	26,69
3	1,760582	75,12	23,44
<b>Promedio</b>			<b>24,75</b>

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla el promedio indicador de desempeño energético a la temperatura de 75 °C es de 24,75 (Wh/g).

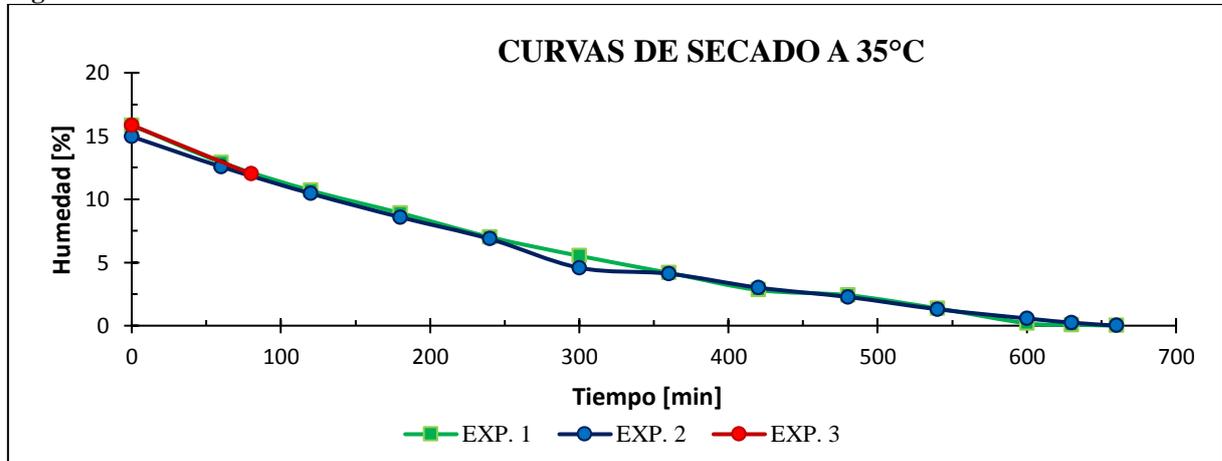
### Resultados del proceso de secado en horno microondas

En el proceso de secado de las temperaturas a evaluar se obtuvieron los siguientes resultados los cuales se observan en las siguientes figuras:

#### Experimentos de secado a 35 °C

En los ensayos a 35 °C se realizaron tres repeticiones obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Figura 30:

**Figura 30:** Curvas de secado a 35 °C H.M



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en esta figura la perdida de humedad total, en los 3 experimentos, se alcanzó en un tiempo de 660 minutos.

En la Tabla 21, se muestra el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 12%, para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 35 °C

**Tabla 24.** Experimentos de secado a 35°C H.M

Experimento de secado a 35°C	Tiempo de secado [min]	Tiempo para alcanzar el 12 % de humedad [min]
1	660	84,59
2	660	76,13
3	80,36	80,36
<b>Promedio</b>		80,36

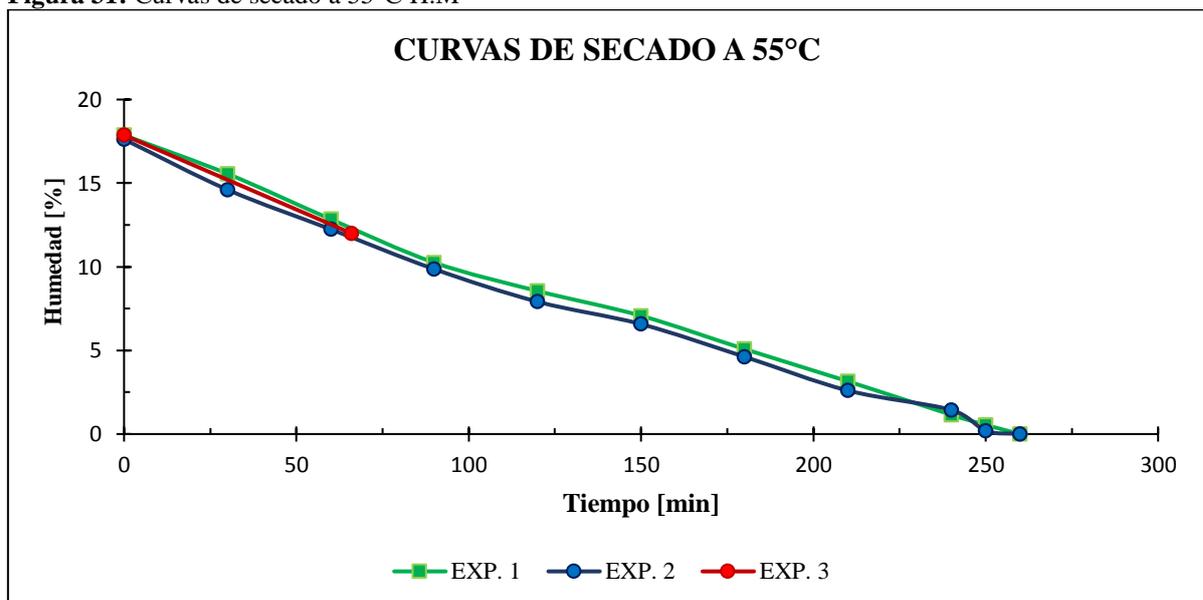
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla para alcanzar una humedad de las semillas de maíz de 12% en el horno eléctrico, se requiere, un tiempo de secado promedio de aproximadamente 80,36 minutos

### Experimentos de secado a 55 °C

En los ensayos a 55 °C se realizaron tres repeticiones obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Figura 31:

**Figura 31:** Curvas de secado a 55°C H.M



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en esta figura la pérdida de humedad total, en los 3 experimentos, se alcanzó en un tiempo de 260 minutos.

En la Tabla 22, se muestra el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 12%, para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 55 °C

**Tabla 25.** Experimentos de secado a 55°C H.M

Experimento de secado a 55°C	Tiempo de secado [min]	Tiempo para alcanzar el 12 % de humedad [min]
1	240	69,72
2	240	63,2
3	66,46	66,46
<b>Promedio</b>		66,46

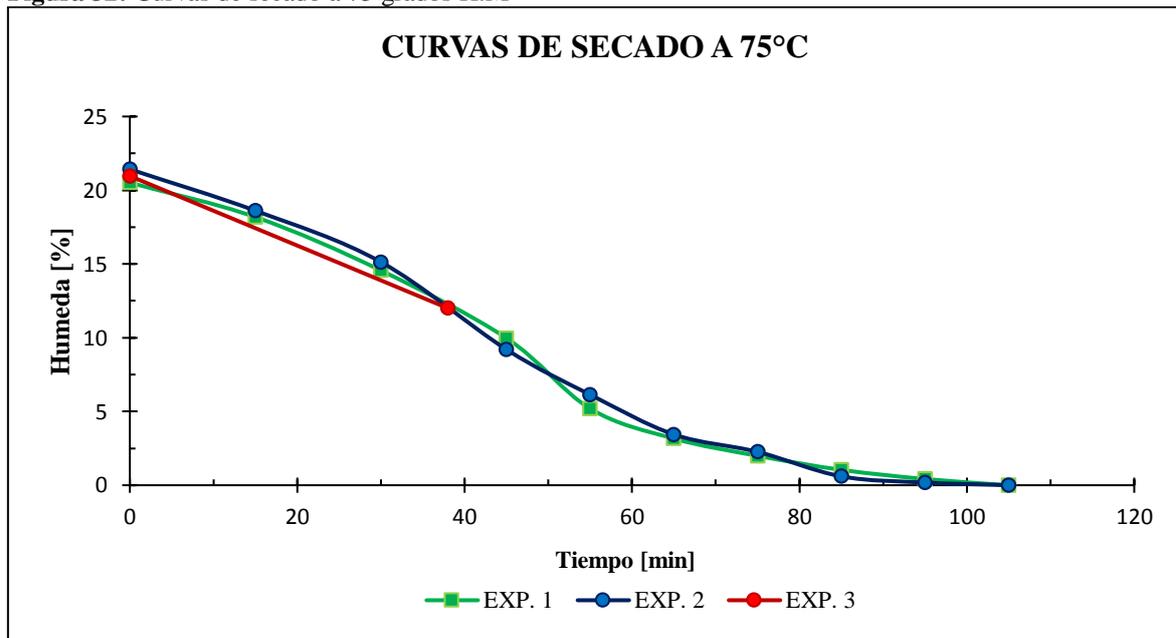
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla para alcanzar una humedad de las semillas de maíz de 12% en el horno eléctrico, se requiere, un tiempo de secado promedio de aproximadamente 66,46 minutos.

### Experimentos de secado a 75 °C

En los ensayos a 75 °C se realizaron tres repeticiones obteniendo los siguientes resultados como se muestra en la Figura 32:

**Figura 32:** Curvas de secado a 75 grados H.M



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en esta figura la pérdida de humedad total, en los 3 experimentos, se alcanzó en un tiempo de 105 minutos.

En la Tabla 26, se muestra el tiempo de secado necesario para alcanzar una humedad del 12%, para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 75 °C

**Tabla 26.** Experimentos de secado a 75°C H.M

Experimento de secado a 75°C	Tiempo de secado [min]	Tiempo para alcanzar el 12 % de humedad [min]
1	105	38,37
2	105	37,91
3	38,14	38,14
<b>Promedio</b>		38,14

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

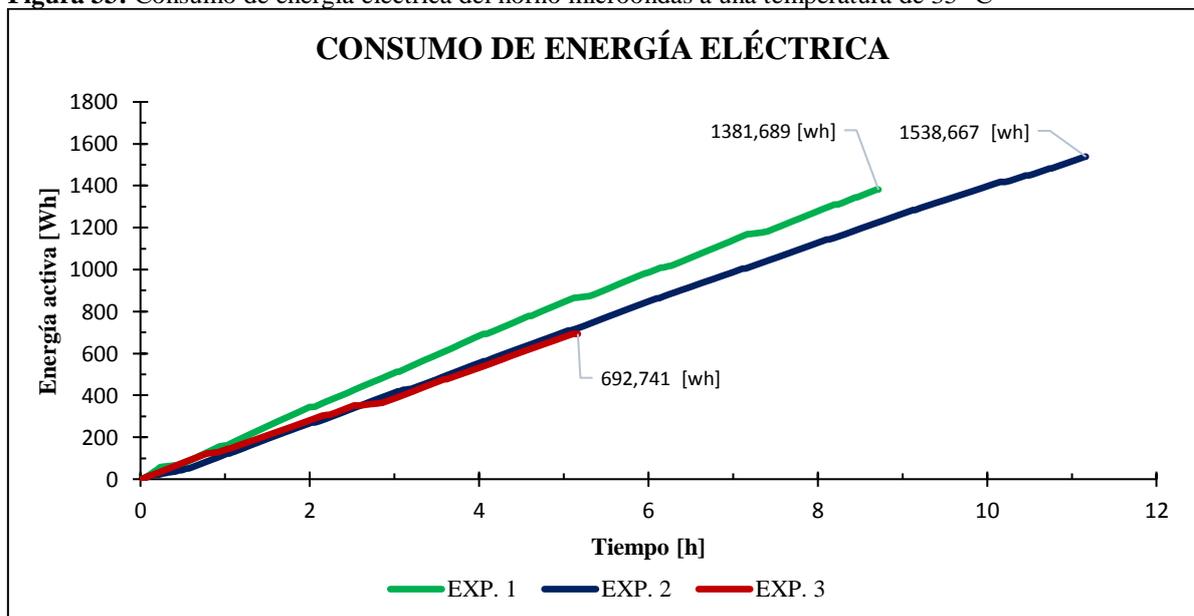
Como se puede observar en la tabla para alcanzar una humedad de las semillas de maíz de 12% en el horno eléctrico, se requiere, un tiempo de secado promedio de aproximadamente 38,14 minutos

### Consumo de energía en los experimentos realizados en horno microondas

#### Consumo de energía a 35 °C

En la Figura 33 se muestra el consumo de energía eléctrica en los experimentos de secado en las semillas de maíz a una temperatura de 35 °C

**Figura 33:** Consumo de energía eléctrica del horno microondas a una temperatura de 35 °C



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la figura el consumo total de energía en la primera prueba fue de 1,38 kWh, y en la segunda fue de 1,53 kWh, en la tercera prueba el consumo de energía fue menor a 0,692 kWh, debido a que en esta prueba las semillas solo se secaron a un 12 % de humedad, para ser utilizadas en el estudio de germinación.

En la Tabla 27 se muestra el indicador de desempeño energético para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 35 °C.

**Tabla 27:** Indicador de desempeño energético a 35 °C

Experimentos a 35 °C	Energía consumida (kWh)	Masa final de maíz seco (g)	Indicador de desempeño (Wh/g)
1	1,38	84,19	16,41
2	1,54	84,47	18,22
3	0,69	84,08	8,24
<b>Promedio</b>			17,31

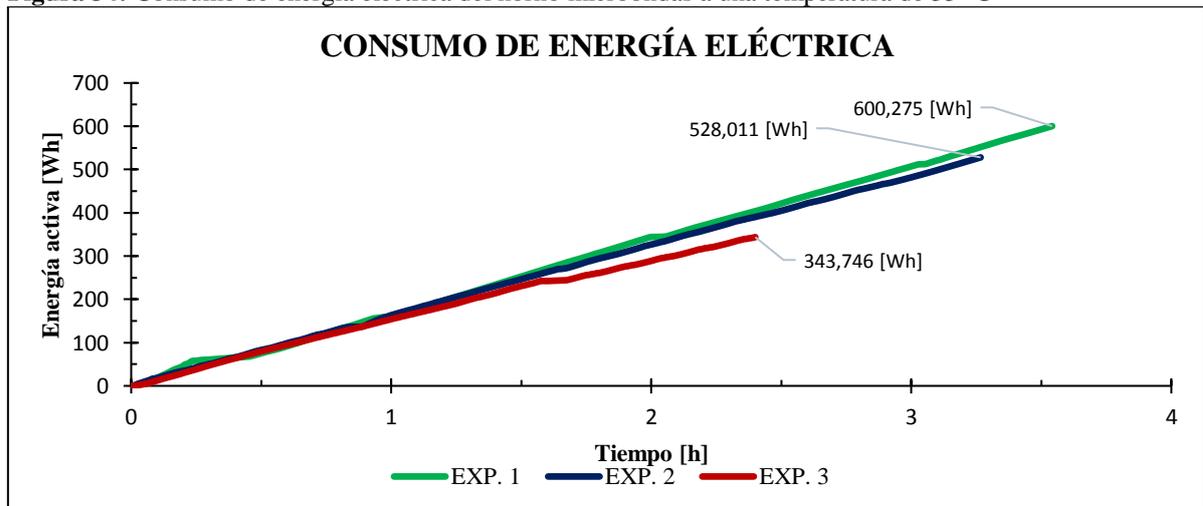
Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla el indicador de desempeño energético para el primer experimento fue de 16,14 (Wh/g), el segundo es de 18,22 (Wh/g), el tercero es de 8,24 (Wh/g) secado al 12 % de humedad final y el promedio es 17,31 (Wh/g).

### Consumo de energía a 55 °C

La energía utilizada en los ensayos se muestra en la Figura 34.

**Figura 34:** Consumo de energía eléctrica del horno microondas a una temperatura de 55 °C



Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la figura el consumo total de energía en la primera prueba fue de 0,6 kWh, el segundo fue de 0,528 kWh, en tercero fue de 0,343 kWh teniendo como humedad final el 12% y el consumo promedio es de 0,564 kWh.

En la Tabla 28 se muestra el indicador de desempeño energético para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 55 °C

**Tabla 28:** Indicador de desempeño energético a 55 °C

Experimentos a 55 °C	Energía consumida (kWh)	Masa final de maíz seco (g)	Indicador de desempeño (Wh/g)
1	0,60	82,13	7,31
2	0,53	82,42	6,41
3	0,34	82,15	4,18
<b>Promedio</b>			<b>6,86</b>

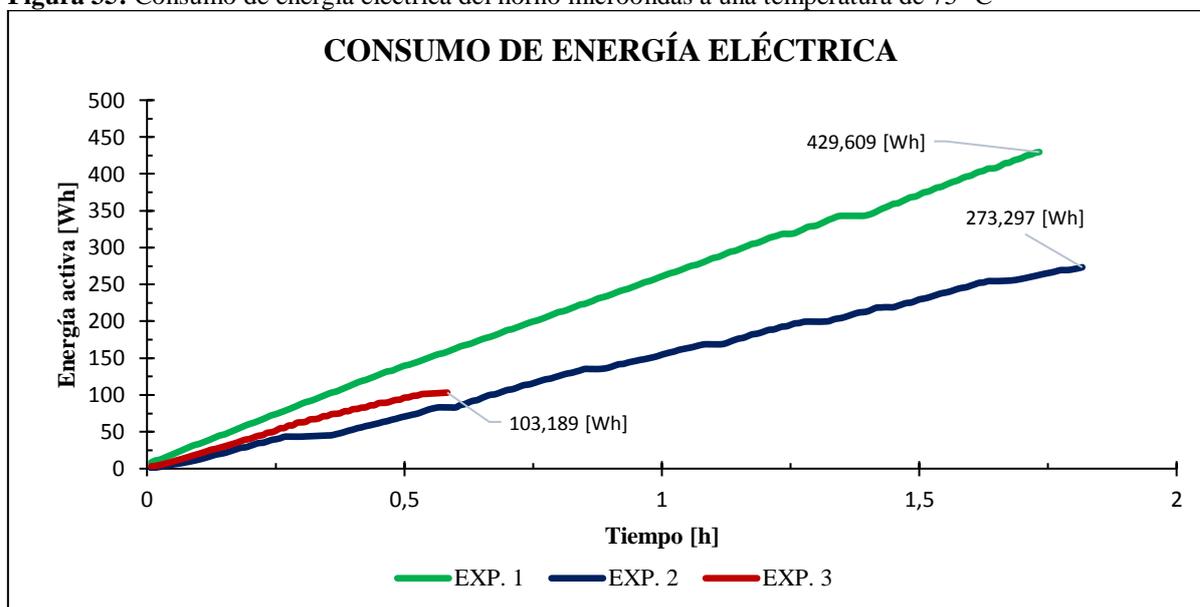
**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla el indicador de desempeño energético para el primer experimento fue de 7,31 (Wh/g), el segundo es de 6,41 (Wh/g), el tercero es de 4,18 (Wh/g) secado al 12 % de humedad final y el promedio es 6,86 (Wh/g).

### Consumo de energía a 75 °C

La energía utilizada en los ensayos se muestra en la Figura 35.

**Figura 35:** Consumo de energía eléctrica del horno microondas a una temperatura de 75 °C



**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la figura el consumo total de energía en la primera prueba fue de 0,429 kWh, el segundo fue de 0,273 kWh, en tercero fue de 0,103 kWh teniendo como humedad final el 12% y el consumo promedio es de 0,351 kWh.

En la Tabla 29 se muestra el indicador de desempeño energético para cada uno de los experimentos realizados a una temperatura de 75 °C

**Tabla 29:** Indicador de desempeño energético a 75 °C

Experimentos a 75 °C	Energía consumida (kWh)	Masa final de maíz seco (g)	Indicador de desempeño (Wh/g)
1	0,43	79,61	5,401
2	0,27	78,61	3,435
3	0,10	90,25	1,108
<b>Promedio</b>			3,34

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla el indicador de desempeño energético para el primer experimento fue de 5,40 (Wh/g), el segundo es de 3,44 (Wh/g), el tercero es de 1,11 (Wh/g) secado al 12 % de humedad final y el promedio es 3,34 (Wh/g).

### Comparación de los resultados obtenidos en las dos tecnologías de secado

En la Tabla 30 se muestra la comparación del tiempo de secado, el consumo de energía eléctrica y el indicador de desempeño energético promedio de los tres experimentos de las temperaturas objeto de estudio. Con los datos promedio de los experimentos, se calculó el porcentaje de reducción realizando una comparación de las tecnologías de secado estudiadas (horno eléctrico vs horno microondas), obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 30.** Comparación del proceso de secado de semillas de maíz en H.E y H.M

Denominación de variable	Temperatura de secado (°C)			
	35	55	75	
<b>Horno Eléctrico (H.E.)</b>	Tiempo de secado (min)	1440	578,33	218,33
	Consumo de energía (kWh)	4,88	3,48	1,81
	Indicador de desempeño [Wh/g]	61,26	45,68	24,75
<b>Horno Microondas (H.M.)</b>	Tiempo de secado (min)	660	240	105
	Consumo de energía (kWh)	1,46	0,56	0,35
	Indicador de desempeño [Wh/g]	17,31	6,86	4,44
<b>Porcentaje de reducción (H.E) vs (H.M.)</b>	Tiempo de secado (%)	54,17	58,50	51,91
	Consumo de energía (%)	70,08	83,91	80,66
	Indicador de desempeño (%)	71,74	84,98	82,06

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

El porcentaje de reducción del tiempo promedio en los experimentos realizados para la temperatura de 35 °C fue de 54,17 %. En la temperatura de 55 °C el porcentaje de reducción de tiempo es de 58,50%. Para la temperatura de 35 °C el porcentaje de reducción de tiempo se obtuvo de 51,91%.

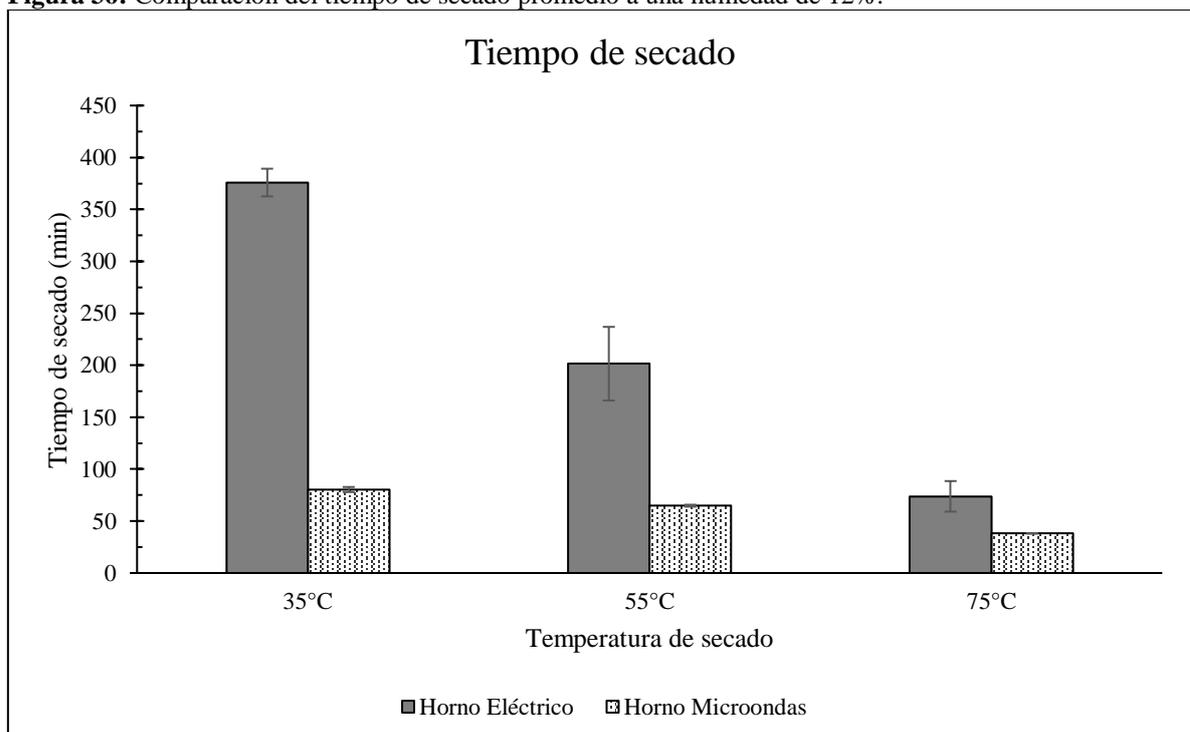
El porcentaje de reducción en el consumo de energía eléctrica promedio en los experimentos realizados para la temperatura de 35 °C fue de 70,08 %. En la temperatura de 55 °C el porcentaje de reducción de tiempo es de 83,91%. Para la temperatura de 35 °C el porcentaje de reducción de tiempo se obtuvo de 80,66%.

El porcentaje de reducción en el indicador de desempeño promedio en los experimentos realizados para la temperatura de 35 °C fue de 71,74 %. En la temperatura de 55 °C el porcentaje de reducción de tiempo es de 84,98%. Para la temperatura de 35 °C el porcentaje de reducción de tiempo se obtuvo de 82,06%.

### **Comparación del tiempo de secado promedio de las dos tecnologías de secado evaluadas para alcanzar una humedad de 12%**

En la Figura 36 se muestra una comparación de los tiempos de secado promedios para alcanzar una humedad de las semillas de maíz al 12%, para las dos tecnologías evaluadas.

**Figura 36:** Comparación del tiempo de secado promedio a una humedad de 12%.



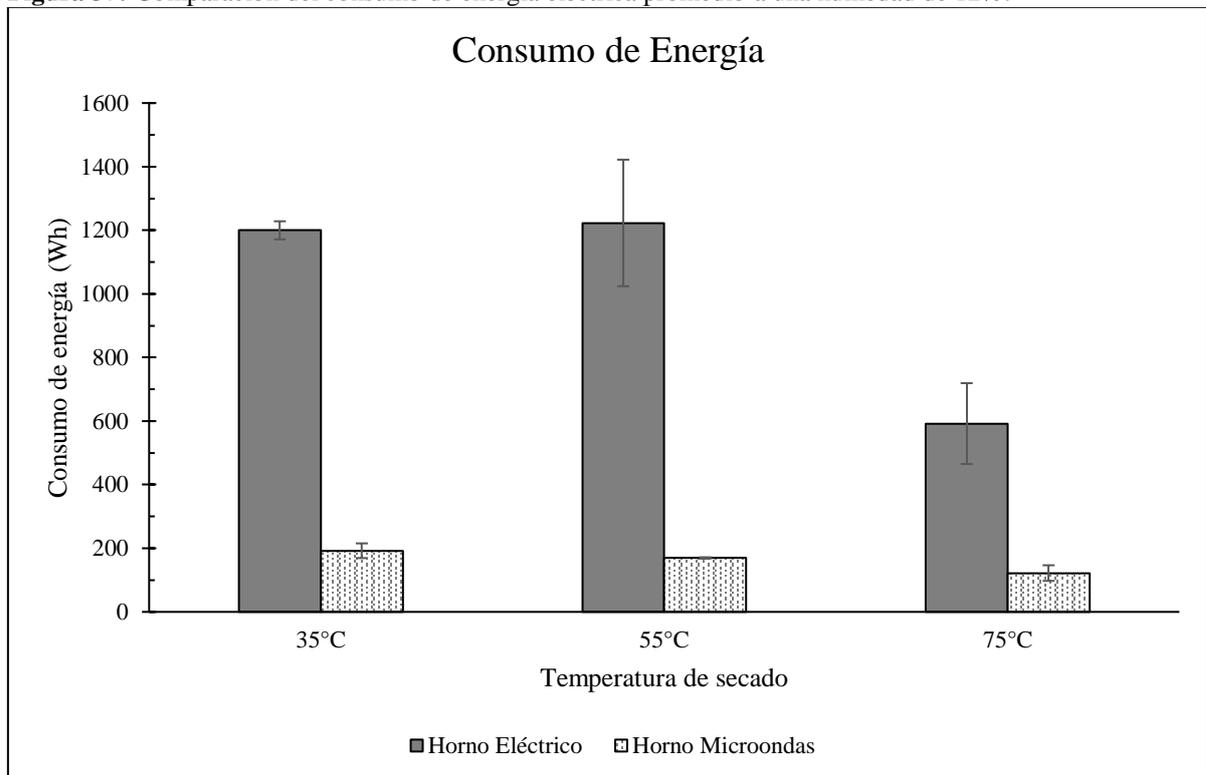
**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en dicha figura con la tecnología microondas, para las tres temperaturas objeto de estudio, se reduce el tiempo de secado entre un 48 % y un 79%

### **Comparación del consumo de energía promedio de las dos tecnologías de secado evaluadas para alcanzar una humedad de 12%**

En la Figura 37 se muestra una comparación de los tiempos de secado promedios para alcanzar una humedad de las semillas de maíz al 12%, para las dos tecnologías evaluadas.

**Figura 37:** Comparación del consumo de energía eléctrica promedio a una humedad de 12%.



**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en dicha figura con la tecnología microondas, para las tres temperaturas objeto de estudio, se reduce el consumo de energía entre aproximadamente entre un 79 % y un 86%.

### **Análisis Estadístico de los Resultados**

Para analizar si existen diferencias significativas entre los resultados alcanzados (tiempo de secado y consumo de energía) en el horno microondas con respecto a los obtenidos en el horno eléctrico se realizó una prueba no paramétrica, dado que el número de réplicas realizadas en los experimentos fue muy baja ( $N = 3$ ). Para ello se empleó la prueba de la Mediana de Mood. El análisis se realizó utilizando el software de análisis estadístico PAST (PALEontological

STStatistics) V 3.16, desarrollado en la Universidad de Oslo (Hammer, 2017). En la Tabla 31 se muestran los resultados obtenidos en dicho análisis.

**Tabla 31.** Resultados del análisis univariado utilizando la técnica de la mediana de Mood.

	Tiempo de secado			Consumo de energía		
	35°C	55°C	75°C	35°C	55°C	75°C
<b>p</b>	0,014306	0,014306	0,014306	0,014306	0,014306	0,014306

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Como se puede observar en la tabla se obtuvo un valor de  $p = 0,014036$  a las tres temperaturas, tanto para el tiempo de secado como para el consumo de energía. Dado que el valor de  $p$  es menor de 0,05 ( $p < 0,05$ ), indica que existen diferencias significativas entre las dos tecnologías evaluadas, tanto en el tiempo de secado como en el consumo de energía, a las tres temperaturas objeto de estudio. Debido a que las diferencias existentes en el tiempo de secado y en el consumo de energía son significativas entre las dos tecnologías de secado evaluadas se puede concluir que se acepta la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ) planteada en el trabajo y se rechaza la Hipótesis Nula ( $H_0$ ).

### Resultados obtenidos en las pruebas de germinación

Pila (2017), en su Proyecto de Titulación, realizó pruebas de germinación con las semillas de maíz secadas en el horno microondas a las tres temperaturas objeto de estudio en nuestro trabajo. Las pruebas de germinación las realizó en una placa Petri, en las que colocó un total de 20 semillas secadas hasta un 12 % de humedad. En la Tabla 32 se muestran los resultados obtenidos en estas pruebas. Como se puede observar en dicha tabla al aumentar la temperatura de secado, desde 35 C hasta 75 C, se produjo una disminución de la tasa de germinación promedio de las semillas de maíz, de un 90% hasta un 12%. Estos resultados ponen de manifiesto que las semillas de maíz no se pueden secar a una temperatura tan alta como 75 C. Y que de las temperaturas estudiadas, la temperatura de 35 C es la más adecuada para secar las semillas, debido a que a esta temperatura es la que se obtiene una mayor tasa de germinación promedio (90%), a pesar de ser la temperatura a la que se obtuvo un mayor tiempo de secado (11h) y un mayor indicador de desempeño energético (17,3 Wh/g de semillas secas) en la tecnología microondas.

**Tabla 32.** Resultados de las pruebas de germinación de las semillas de maíz secadas en el H.M a diferentes temperaturas realizadas en placa Petri

Temperatura (°C)	N°	Cantidad de semillas	Germinaron	No germinaron	% Germinación	Análisis estadístico		
						Promedio (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variación
35	1	20	18	2	90	90	6,12	6,8
	2	20	16	4	80			
	3	20	19	1	95			
	4	20	19	1	95			
	5	20	18	2	90			
55	1	20	18	2	90	81,25	6,29	7,74
	2	20	16	4	80			
	3	20	16	4	80			
	4	20	15	1	75			
75	1	20	3	17	15	12	6,71	55,9
	2	20	3	17	15			
	3	20	3	17	15			
	4	20	3	17	15			
	5	20	0	0	0			

Fuente: (Pila, 2017)

## 12. IMPACTOS

### Técnico

El impacto técnico del proyecto radica en que al utilizar la tecnología microondas para el proceso de secado de las semillas de maíz se obtiene una reducción en el tiempo de secado entre un 52 % y un 59%, una disminución del consumo de energía eléctrica entre un 70 % y 84%; y una disminución del índice de desempeño energético entre un 72 % y un 85 % en comparación con el secado con horno eléctrico convencional.

### Económico

El beneficio económico que se obtiene con el uso de la tecnología microondas para el secado de las semillas de maíz viene dado por que al obtenerse un ahorro con dicha tecnología del consumo de energía eléctrica entre un 69% y un 84% con respecto al horno eléctrico convencional lo que origina una reducción del costo de la energía eléctrica entre aproximadamente un 69 % a un 85 %, tal como se puede apreciar en la Tabla 33

**Tabla 33:** El impacto económico del proyecto

Temperatura de secado (°C)	Horno Eléctrico		Horno Microondas		Comparación		
	Consumo de energía Wh	Costo de energía kWh	Consumo de energía Wh	Costo de energía kWh	Ahorro en (USD)	Reducción del consumo de energía (%)	Reducción costo de energía (%)
35	4.988,14	\$ 0,32	1.538,66	\$ 0,10	\$ 0,22	69,15	68,75
55	3.488,63	\$ 0,23	566,61	\$ 0,04	\$ 0,19	83,76	82,6
75	1.949,47	\$ 0,13	354,58	\$ 0,02	\$ 0,10	81,81	84,6

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

Calculado a partir del costo unitario de la energía eléctrica obtenido de la Agencia de Regularización y Control de la Electricidad que es (0,065 USD x kWh) para las entidades públicas en media y baja tensión (ARCONEL, 2017).

### Ambientales

El beneficio medio-ambiental que se obtiene del proyecto radica en que si se implementa la tecnología microondas para el secado de maíz a una temperatura de secado de 35 °C, se dejarían de emitir a la atmosfera 2,44 kg de CO<sub>2</sub> por cada 100 gramos de semilla secada en cada prueba, en comparación con el secado en horno eléctrico convencional.

## Social

El impacto social del proyecto radica en que se implementa la tecnología microondas para el secado de semillas de maíz. Se mejoraría la calidad del secado de estas semillas, su almacenamiento y conservación con el correspondiente beneficio para los agricultores de la zona 3 del Ecuador.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El análisis de los costos de fabricación tiene por objetivo determinar el monto de los recursos técnicos, humanos y económicos necesarios, para conocer el grado de inversión del proyecto.

#### Costo de elementos para la estructura del horno eléctrico.

En la Tabla 34 se muestra los costos de los materiales, elementos y equipos utilizados para la construcción de la máquina.

**Tabla 34:** Costo de elementos para la estructura del horno eléctrico.

CANTIDAD	MATERIAL	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
1	Plancha de tol de acero e=0,8mm	25,00	25,00
1	Tubo cuadrado acero AISI 200L, 2"x2"x1/16"	8,00	8,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>33,00</b>

Realizado por: Hinojosa C., Tigasi J.

En la tabla esta detallada la materia prima utilizada para la construcción del horno eléctrico y de los elementos que conforma la máquina,

#### Costo de elementos normalizados

Los costos de los elementos normalizados se muestran en la Tabla 35 y Tabla 36.

**Tabla 35:** Costo del sistema eléctrico para el horno eléctrico

CANTIDAD	MATERIAL	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
1	Luz piloto color rojo	5,00	5,00
3	Interruptores	2,00	6,00
1	Arduino UNO	19,00	19,00
1	Sensor LM335	2,00	2,00

8 (m)	Cable 12 AWG	3,00	3,00
1	Toma corriente	3,00	3,00
2	Enchufe	2,00	4,00
1	Ventilador Tricod science SPDM8025S	8,00	8,00
1	Resistencia ALL AMERICAN 4158AS	30,00	30,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>80,00</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

En costos de los elementos normalizados están detallados los de libre comercialización en el mercado y no necesitan ser alterados para su uso

### Costo del horno microondas modificado

**Tabla 36:** Costo del el horno microondas modificado

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>VALOR UNITARIO (USD)</b>	<b>VALOR TOTAL (USD)</b>
1	Horno microondas modificado	3100	3100
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>3100</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

La Tabla 35 muestra el costo del el horno microondas, valor que fue financiado por el departamento de Investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### Costo de maquinado

Los valores de los costos del maquinado se muestran en la Tabla 37.

**Tabla 37:** Costo de maquinado

<b>MÁQUINA</b>	<b>COSTO POR MÁQUINA (USD/H)</b>	<b>TIEMPO TOTAL (HORAS)</b>	<b>COSTO TOTAL POR MÁQUINA (USD)</b>
Soldadura	14,00	4	56,00
Sierra eléctrica	2,00	2	4,00
Amoladora	3,00	2	6,00
Esmeril	2,00	3	6,00
Taladro	5,00	2	10,00
Dobladora de tol	8,00	5	40,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>122,00</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Los costos de maquinado se refiere al valor directo empleado en el uso de las máquinas, herramientas y equipamiento eléctrico.

### Costo de mano de obra

Estos valores se muestran en la Tabla 38.

**Tabla 38:** Costo de mano de obra

<b>OPERADOR</b>	<b>TIEMPO (HORAS)</b>	<b>VALOR UNITARIO (USD)</b>	<b>VALOR TOTAL (USD)</b>
1 soldador	5	10	50,00
1 mecánico	35	8	280,00
1 ayudante	35	3	105,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>435,00</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Para determinar los costos de mano de obra utilizada se multiplico el número de horas que emplea el obrero en construir la máquina.

### Costo de transporte

El costo de transporte se muestra en la Tabla 39.

**Tabla 39:** Costo de transporte

<b>CANTIDAD</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>VALOR (USD) </b>
1	Transporte para la compra de materiales	40,00
1	Transporte de movilización	120,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>		<b>160,00</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Los costos de transporte representan la movilización para la compra de materiales así como el costo del transporte para la elaboración del proyecto.

### Costo de materiales utilizados en el horno eléctrico

En la Tabla 40 se observa el detalle de los costos de los materiales indirectos utilizados en el proyecto de investigación.

**Tabla 40.** Costo de materiales utilizados en el horno eléctrico

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>VALOR UNITARIO (USD)</b>	<b>VALOR TOTAL (USD)</b>
1	Pintura esmalte anticorrosivo color plateado.	8	8
1	Pintura esmalte color azul.	8	8
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>16</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

En la tabla se muestran los materiales o insumos contribuyentes indirectamente en la construcción de la máquina.

### **Gastos indirectos incurridos en el proyecto**

En la Tabla 41 se muestra los gastos indirectos útiles para el proyecto de investigación.

**Tabla 41.** Gastos indirectos

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>VALOR UNITARIO (USD)</b>	<b>VALOR TOTAL (USD)</b>
4	Bandejas de Aluminio.	2,00	8,00
2	Bandejas para microondas	0,85	1,70
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>9,70</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

El presupuesto del horno microondas fue dotado por la universidad, los valores que se muestran en la tabla son insumos utilizados para los experimentos de secado en el horno eléctrico y horno microondas.

### **Costo de suministro de oficina**

En la Tabla 42 se muestra los gastos indirectos del proyecto.

**Tabla 42.** Gastos de materiales indirectos.

<b>CANTIDAD</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>VALOR UNITARIO (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
2	Resma de hojas	4,75	9,50
5	Anillado	1,10	5,50
1000	Impresiones	0,01	10,00
3	Empastados	18,00	54,00
30	Copias	0,02	00,60
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>79,60</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Los gastos de los materiales de oficina son aquellos suministros necesarios para la impresión y presentación del proyecto.

### Gastos recursos tecnológicos

En la Tabla 43 se muestra los gastos en recursos tecnológicos.

**Tabla 43.** Gastos de recursos tecnológicos.

CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR (USD)
50 (h)	Internet	0,50	25,00
100(h)	Computadora	0,25	25,00
1(h)	Teléfono	6,00	6,00
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>56,00</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Los costos de los materiales de oficina son aquellos suministros necesarios para la impresión y presentación del proyecto.

### Imprevistos

En la Tabla 44 se muestra un presupuesto para gastos imprevistos.

**Tabla 44.** Imprevistos

ESPECIFICACIÓN	VALOR (USD)
25% Imprevistos	19,90

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

Es un presupuesto adicional para cualquier emergencia que recurra en el proyecto, tomando un 25% de los gastos indirectos.

### Costo Total

El costo total de la máquina es el resultado de la adición de los costos directos con los costos indirectos, esto se muestra en la Tabla 45.

**Tabla 45.** Costo total

COMPONENTES DEL COSTO TOTAL	VALOR (USD)	PORCENTAJE %
Costo de elementos para la estructura del horno eléctrico	33,00	0,80
Costo de elementos normalizados	80,00	1,95
Costo del horno microondas modificado	3100,00	75,40
Costo de maquinado	122,00	2,97

Costo de mano de obra	435,00	10,58
Costo de transporte	160,00	3,89
Costo de materiales utilizados en el horno eléctrico	16,00	0,39
Gastos indirectos incurridos en el proyecto	9,70	0,24
Costo de suministro de oficina	79,60	1,94
Gastos recursos tecnológicos	56,00	1,36
25% Imprevistos	19,90	0,48
<b>TOTAL (USD)</b>	<b>4111,20</b>	<b>100,00</b>

**Realizado por:** Hinojosa C., Tigasi J.

El costo total obtenido para la realización del proyecto es de 4111,20 dólares, de los cuales 3100,00 dólares fueron financiados por la Universidad Técnica de Cotopaxi

## 14. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados del trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se diseñó y construyó un horno eléctrico para evaluar el proceso de secado de las semillas de maíz con fines comparativos con la tecnología de microondas. Los resultados obtenidos en los experimentos realizados en dicho horno ponen de manifiesto que al aumentar la temperatura de secado, desde 35 °C hasta 75 °C, se produjo una disminución del tiempo de secado del 85 % y un aumento del consumo de energía eléctrica del 155 %.
- Los resultados obtenidos en el proceso de secado de las semillas de maíz en el horno microondas muestran que al aumentar la temperatura de secado, desde 35 °C hasta 75 °C, se produce una disminución en el tiempo de secado en un 86,9 %, y un aumento en el consumo de energía eléctrica de 233,9 %.
- Los resultados de la comparación entre ambas tecnologías muestran que con la tecnología microondas a las tres temperaturas de secado objeto de estudio, se obtiene una reducción en el tiempo de secado entre el 52 % y el 59%, y una disminución del consumo de energía eléctrica entre un 70 % y 84%; también una disminución del indicador de desempeño energético entre un 72 % y un 85 %.
- La temperatura más adecuada para secar las semillas de maíz con la tecnología microondas, de las 3 temperaturas estudiadas es 35 °C, debido a que esta temperatura es la que se obtiene una mayor tasa de germinación (90 % de promedio)

## RECOMENDACIONES

A partir los resultados obtenidos en la evaluación del proceso de secado de las semillas de maíz se recomienda:

- Realizar el proceso de secado de semillas de maíz a una temperatura 35 °C con tecnología microondas.
- Realizar una evaluación de los procesos de secado de las semillas de maíz en el intervalo de temperatura entre 35 °C y 50 °C para determinar la temperatura optima de secado.
- No realizar el secado de semillas de maíz a las temperaturas de 55 °C y 75 °C ya que las mismas disminuyen la tasa de germinación de las semillas.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- ARCONEL. (2017). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas*, Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Quito: Resolución Nro. ARCONEL – 050/16 (05 de octubre de 2016). Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-SPEE-2017.pdf>
- Arduino . (2017). *Arduino education*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Arora, K, B; Bhatnagar, A, P; Bakshi, A, S. (1973). Critical temperatures for drying maize seeds. En *Journal of Agricultural Engineering* (págs. 14-19).
- Arun, S, M, . (1995). *Hadbook of Industrial Drying* (Vol. I). New York: Marcel Dekker.
- Bress, T. (2013). *Effective LabVIEW Programming*. Texas: NTS Press.
- Carballido, R. (2008). *Síntesis asistida por microondas de compuestos de interés biológico e industrial*. Santiago: Universidad Santiago de Compostela.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Transferencia de Calor* (4 ed.). Mexico: McGraw-Hill Companies.
- Electronica. (2010). *Sensor de Temperatura LM335*. Obtenido de Enewground: <https://www.lelong.com.my/lm335-temperature-sensor-ewground-2018-04-Sale-P.htm>
- Eurotherm Invensys. (2007). *Controladores de temperatura (3200)* (5 ed.). España.
- FAO. (1985). *Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano: directrices técnicas*. Roma: W.P Feistritzer.
- FAO. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Santiago: Oficina regional de la FAO para America Latina y el Caribe. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (1996). *Secado de granos y secadoras*. Roma: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- Fluke., Corporation. (2010). *1735 Power Logger*. Netherlands: P.O. Box 9090.
- GAD-Cotopaxi. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Cotopaxi 2025. *Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la Provincia de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador*.
- Gürsoy Songül, & Choudhary, R. y. (2013). *Microwave drying kinetics and quality characteristics of corn*. Obtenido de International Journal of Agricultural and Biological Engineering 6: <http://dx.doi.org/10.3965/j.ijabe.20130601.009>
- Holman, J. ., (1998). *Transferencia de Calor* (8 ed.). Madrid: Mc Graw-Hill.
- INEN. (2011). *Eficiencia energética en hornos microondas*. Quito: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización.
- INIAP. (2012). Manual Agrícola de Granos Agrícolas. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*, 19.
- Levine, I, N. (1994). *Química Física. Cap 21*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- Menéndez, J, A, Moreno, A, H, (Eds.). (2017b). *Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas*. Latacunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi Primera Edición, pp 315. ISBN: 978-9978-395-34-9.
- Miranda Pantoja, J. M., Sebastian, J., & Sierra, M. y. (2002). *Ingeniería de microondas: técnicas experimentales*. Madrid: Pearson Educación.
- Moreno, Á. H., Hernández, R., & Ballesteros, I. (2016). *Evaluación del proceso de secado en Horno Microondas*. Latacunga: Proyecto de Investigación. Dirección de investigación. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Moreno, A., Hernández, R., & Ballesteros, I. (2016). Microwave Drying of Seeds and Vegetable Products: A viable Option for Ecuador. *Proceeding of the 3ra Global Congress on Microwave Energy Applications (3GCMEA)*, pp 103-108.
- Moreno, A., Hernández, R., & Ballesteros, I. (2017a). Microwave Drying of Seed of Agricultural Interest for Ecuador. *AMPERE*, pp 28-32.

- Pelegri, J., & Lajara, J. R. (2007). *Introducción a la LabVIEW. Entorno*. México D.F.: Alfaomega.
- Pila, D. (2017). *Evaluación de la viabilidad y calidad de la semilla de maíz (zea mays) tras diferentes metodos de secado en Salache*. (U. T. Cotopaxi, Ed.) Latacunga, Cotopaxi, Ecuador: Carrera de Ingeniería Agronómica.
- Posso, P. (2010). *Diseño e implementación del monitoreo de las variables de control de los hornos túnel 1,2 y 3 de cerámica en EDESA*. Obtenido de Repositorio Digital - EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2344>
- Schiffmann, R. F. (2015). Microwave and Dielectric Drying. En *Handbook of Industrial Drying* (Fourth ed.). Mujumdar. Boca Raton, FL, CRC Press, Chapter 13, 283-301.
- SENPLADES. (2013). Plan Nacional de Desarrollo/Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).
- Sensores . (2015). *Termocuplas para uso portátil*. Obtenido de <http://www.dinorte.com.ar/termocuplas.php>
- Temperature sensor. (2015). Datasheet LM355. *LMx35, LMx35A Precision Temperature Sensors*, 31.
- Thostenson, E. T., & Chou, T. W. (1999). *Microwave processing. fundamentals and applications*.
- Tricod-Scienc-Ventilador. (2009). *Ventilador Tricod-Science-SPDM8025S-2*. Obtenido de <http://www.electromyne.de/Fans---Luefter-Fans-80mm-100mm>
- Trinks, W., Mawhinney, M. H., Shannon, R. A., Reed, R. J., & Garvey, J. R. (2004). *Electric furnaces for industrial process*. Canada: United States of America.
- UNESCO. (2014). Campos de educación y capacitación CINE . En *Instituto de estadística de la UNESCO* (pág. 20). Montreal: (ISCED-F2013).
- User Manual. (2004). Balanza de precisión electronica Gason. 1.

# ANEXOS

**INFORMACIÓN PERSONAL****Nombres y Apellidos:** Ángel Salvador Hernández Moreno**Fecha de Nacimiento:** 1966**Lugar de Nacimiento:** Cienfuegos, Cuba**Ciudad de Domicilio:** Cotopaxi, Latacunga**Número Celular:** 0984160559**Correo Electrónico:** angel.hernandez@utc.edu.ec**Tipo Sanguíneo:** O+

Se graduó de "Ingeniero Termoenergético" en 1989, por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba. Obtuvo el título de "Doctor Ingeniero Industrial" por la Universidad de Oviedo, España, en 1999, dentro del Programa de Doctorado de "Tecnología y Ahorro Energético", del Departamento de Energía. En 2001 recibió el "Premio Extraordinario de Doctorado", correspondiente al curso académico 1998 – 1999, concedido por la Comisión de Doctorado y la Junta de Gobierno de la Universidad de Oviedo. Durante su carrera profesional ha trabajado como profesor e investigador en diferentes centros de investigación científica e instituciones de educación superior, tales como el Instituto Nacional del Carbón (INCAR), perteneciente a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España, la Universidad de Cienfuegos (UCf) y la Delegación de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), en Cienfuegos. Actualmente trabaja como docente e investigador en la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), en Ecuador, donde es miembro de su Comité Científico. Ha impartido las siguientes asignaturas: Máquinas Motrices y Térmicas, Termodinámica, Transmisión de Calor, Generadores de Vapor, Proyecto Integrador y Proyecto de Titulación. Ha participado en diversos proyectos de investigación en el campo de la reducción de las emisiones contaminantes procedentes de la combustión de combustibles fósiles y el incremento de la eficiencia energética de equipos y procesos industriales. Es autor y coautor de varios artículos científicos publicados en revistas de alto impacto y de otras publicaciones en libros y volúmenes colectivos; y de más de 20 comunicaciones presentadas a diferentes congresos internacionales y nacionales.



**Cristian Xavier Hinojosa Tapia**

26 años

Quito-Pichincha-Ecuador

Tel: 03 2809160 – 0999247504 – 022962889

## ESTUDIOS

### Primaria

2002

Latacunga-Ecuador

Escuela "Jorge Icaza"

Latacunga - Ecuador

### Secundaria

2010

Latacunga-Ecuador

Título de Bachiller Técnico Industrial

Especialización: Electrónica de Consumo

Instituto Superior Tecnológico "Ramón Barba Naranjo"

### Superior

Actualidad

Latacunga-Ecuador

Cursando estudios de Ingeniería Electromecánica  
(Decimo nivel).

Universidad Técnica de Cotopaxi

Programas manejados: Office (Word, Excel, PowerPoint), Autodesk AutoCAD, LogoSoftComfort, Proteus Design Suite.

## IDIOMAS

**Español:** Natal

**Inglés:** Suficiencia

## DIRECCIÓN DOMICILIARIA

Av. Ajavi y Paquisha Cdla. Iess - Fut

Quito-Pichincha-Ecuador

## FORMACIONES ADICIONALES E INTERESES

Universidad Técnica de Cotopaxi  
1ra Jornada de Ingeniería Eléctrica y  
Electromecánica con enfoque de Tecnología.  
Duración: 32 horas.

Ministerio de Agricultura, Ganadería,  
Acuicultura y Pesca  
Con el proyecto referente a Sopladora de  
Granos.  
Certificado de Participación

Universidad de Cuenca.  
Quinto Congreso Nacional de Electricidad y  
Energías Alternativas Expo Electricidad 2013.

Universidad Central del Ecuador  
Séptimo Congreso Nacional de Electricidad y  
Energías Alternativas  
Quito, 27, 28 de noviembre de 2015.

.....  
Hinojosa Tapia Cristian Xavier  
CI. 0503763971

**HOJA DE VIDA****DATOS PERSONALES**

**NOMBRES Y APELLIDOS:** TIGASI TOCUMBE JOHANNA LILI.  
**DOCUMENTO DE IDENTIDAD:** 0504139163.  
**FECHA DE NACIMIENTO:** 13 de Marzo del 1994.  
**LUGAR DE NACIMIENTO:** Ecuador, Pichincha.  
**EDAD:** 23 años.  
**ESTADO CIVIL:** Soltera.  
**DIRECCIÓN:** Cotopaxi, Pujilí-San Nicolás.  
**PAÍS, CIUDAD ACTUAL:** Ecuador, Pujilí  
**TELÉFONO:** 022633104 – 0983897737  
**E-MAIL:** johanna.tigasi3@utc.edu.ec

**ESTUDIOS PRIMARIOS:**

Institución educativa: ESCUELA “SANTA MARIANA DE JESUS”

**ESTUDIOS SECUNDARIOS:**

Institución educativa: COLEGIO NACIONAL “PROVINCIA DE COTOPAXI”

Bachillerato de Especialidad: FISICO MATEMATICO

**ESTUDIOS SUPERIORES:**

Cursando Estudios: Decimo ciclo

Universidad: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Especialidad: INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

**TALLERES Y CURSOS DE ESPECIALIZACIÓN**

Jornada de ingeniería eléctrica y electromecánica con enfoque a la tecnología”

Realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi

Duracion de 32 horas

SEPRYTSA S.A. certificado “prevención de riesgos laborales y primeros auxilios”

Realizado en la ciudad de Latacunga con una Duración de 16 horas

.....  
Tigasi Tocumbe Johanna Lili

C.I. 050413916-3



**LM135  
LM235-LM335,A**

**PRECISION TEMPERATURE SENSORS**

- DIRECTLY CALIBRATED IN °K
- 1°C INITIAL ACCURACY
- OPERATES FROM 450µA TO 5mA
- LESS THAN 1Ω DYNAMIC IMPEDANCE

**DESCRIPTION**

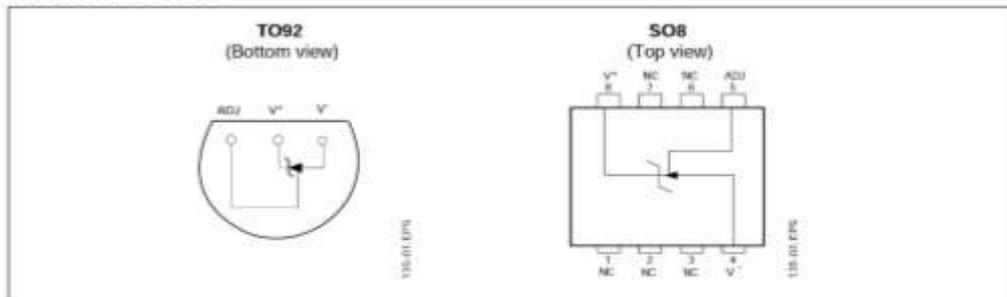
The LM135, LM235, LM335 are precision temperature sensors which can be easily calibrated. They operate as a 2-terminal Zener and the breakdown voltage is directly proportional to the absolute temperature at 10mV/°K. The circuit has a dynamic impedance of less than 1Ω and operates within a range of current from 450µA to 5mA without alteration of its characteristics. Calibrated at +25°C, the LM135, LM235, LM335 have a typical error of less than 1°C over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135, LM235, LM335 have a linear output.



**ORDER CODES**

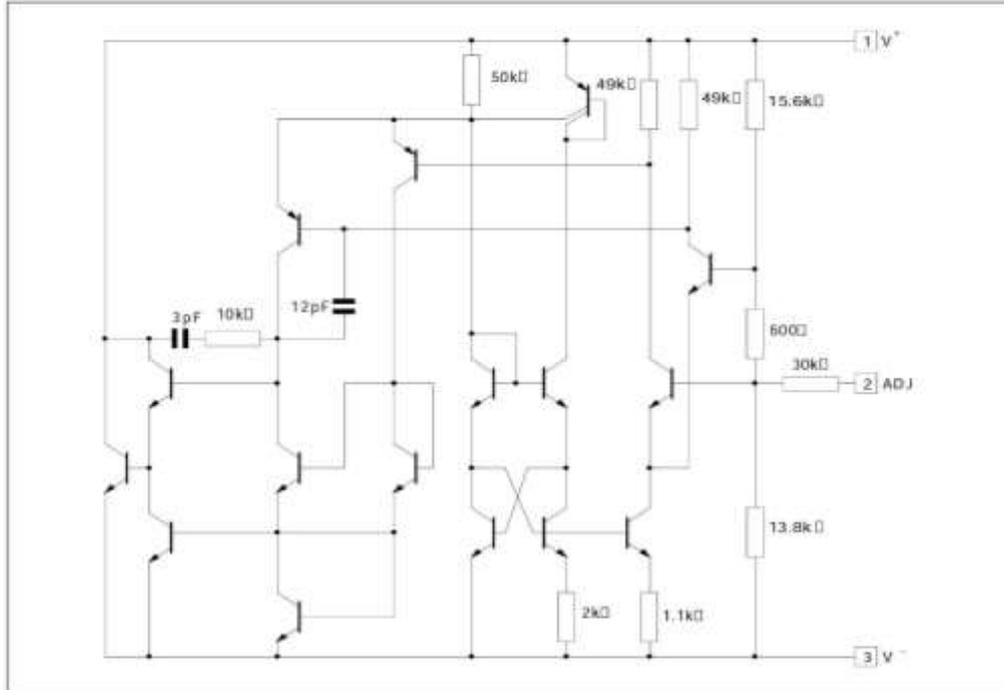
Part number	Temperature Range	Package	
		Z	D
LM135	-55°C, +150°C	□	□
LM235	-40°C, +125°C	□	□
LM335,A	-40°C, +100°C	□	□

**PIN CONNECTIONS**



LM135-LM235-LM335,A

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM135	LM235	LM335,A	Unit
$I_R$	Current Reverse	15	15	15	mA
$I_F$	Current Forward	10	10	10	
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range - (note 1) Continuous Intermittent	-55 to +150 +150 to +200	-40 to +125 +125 to +150	-40 to +100 +100 to +125	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

Note : 1.  $T_J \leq 150^\circ\text{C}$

## LM135-LM235-LM335,A

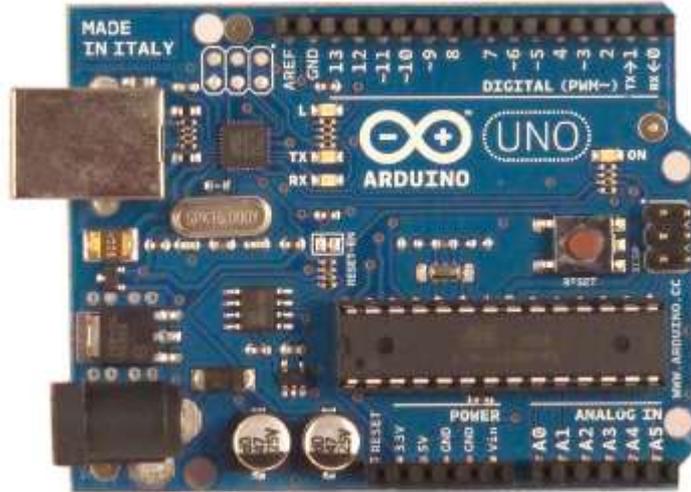
## TEMPERATURE ACCURACY

Parameter	LM135 - LM235 LM335A			LM335			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating Output Voltage $T_{case} = +25^{\circ}C, I_R = 1mA$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error ( $I_R = 1mA$ ) $T_{case} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \square T_{case} \square T_{max}$		1 2	3 5		2 4	6 9	$^{\circ}C$
Temperature Error with $25^{\circ}C$ Calibration $T_{min} \square T_{case} \square T_{max}, I_R = 1mA$		0.5	1.5		1	2	$^{\circ}C$
Calibrated Error at Extended Temperature $T_{case} = T_{max}$ (intermittent)		2			2		$^{\circ}C$
Non-linearity ( $I_R = 1mA$ )	LM135 - LM235 LM335 LM335A	0.3	1		0.3	1.5	$^{\circ}C$

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS - (note 1)

Parameter	LM135 - LM235			LM335,A			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating output voltage change with current $450\mu A \square I_R \square 5mA$ at constant temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance ( $I_R = 1mA$ )		0.5			0.6		$\square$
Output Voltage Temperature Drift		+10			+10		mV/ $^{\circ}C$
Time Constant	Still Air	80		80			s
	Air 0.5m/s	10		10			
	Stirred Oil	1		1			
Time Stability ( $T_{case} = +125^{\circ}C$ )		0.2			0.2		$^{\circ}C/kh$

Note : 1. Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.



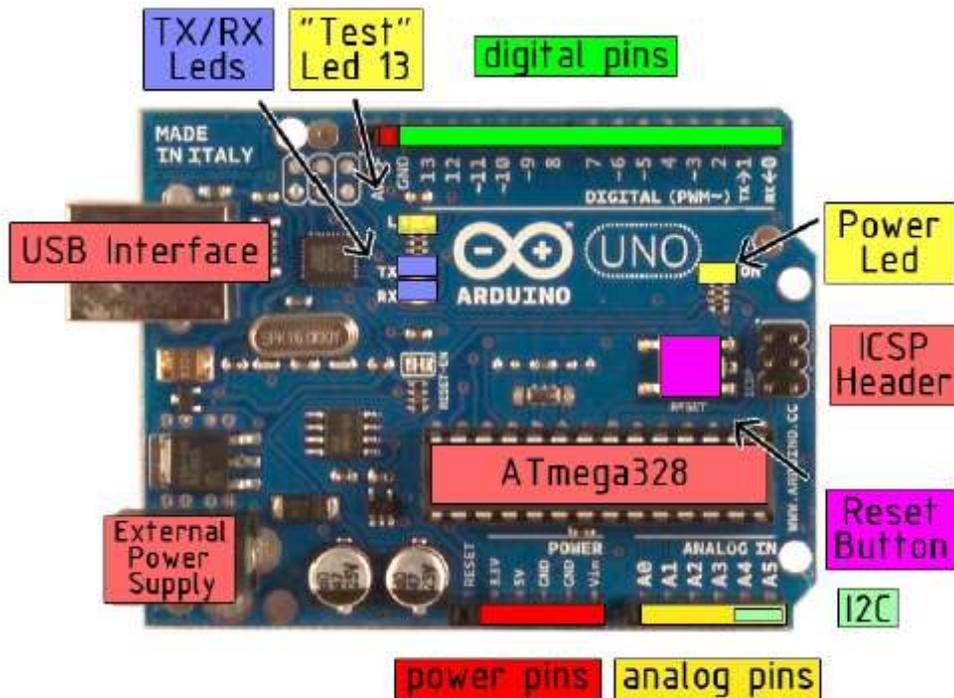
El Arduino Uno es un tablero de microcontroladores basado en el ATmega328. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una Conexión USB, una toma de corriente, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; Simplemente conéctelo a un ordenador con un cable USB o conéctelo con un adaptador AC-DC o una batería para empezar. El Uno difiere de todos los tableros anteriores en que no utiliza el chip driver FTDI USB-to-serial. En su lugar, cuenta con el Atmega8U2 programado como un convertidor de USB a serie. "Uno" significa uno en italiano y se nombra para marcar el próximo lanzamiento de Arduino 1.0. El Uno y la versión 1.0 serán las versiones de referencia de Arduino, avanzando. El Uno es el último de una serie de placas USB Arduino, y el modelo de referencia para la plataforma Arduino.

Especificaciones Técnicas del Arduino Uno

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Anexo 5	Hoja de datos de la tarjeta Arduino UNO	3/4
<p><b>Memoria</b></p> <p>El Atmega328 tiene 32 KB de memoria flash para almacenar código (de los cuales 0,5 KB se utiliza para el gestor de arranque); También tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM (que se puede leer y escribir con la librería EEPROM).</p> <p><b>Entradas</b></p> <p>Cada uno de los 14 pines digitales del Uno se puede utilizar como entrada o salida, utilizando las funciones <code>pinMode ()</code>, <code>digitalWrite ()</code> y <code>digitalRead ()</code>. Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia pull-up interna (desconectada por defecto) de 20-50 kOhms. Además, algunos pins tienen funciones especializadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Serie: 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del chip ATmega8U2 USB-to TTL Serial.</li> <li>• Interrupciones externas: 2 y 3. Estas clavijas se pueden configurar para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente o un cambio de valor. Vea la función <code>attachInterrupt ()</code> para más detalles.</li> <li>• PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Proporciona salida PWM de 8 bits con la función <code>analogWrite ()</code>.</li> <li>• SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines soportan la comunicación SPI, que, aunque proporcionada por el hardware subyacente, no está incluida actualmente en el lenguaje Arduino.</li> <li>• LED: 13. Hay un LED incorporado conectado a la clavija digital 13. Cuando el pin es valor ALTO, el LED está encendido, cuando el pin es LOW, está apagado.</li> </ul>		

Anexo 5	Hoja de datos de la tarjeta Arduino UNO	4/4
<p><b>Salidas</b></p> <p>El Uno tiene 6 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto miden de tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el alfiler AREF y la función <code>analogReference()</code>. Además, algunos pines tienen funcionalidad especializada:</p> <p>I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) y 5 (SCL). Apoya la comunicación I2C (TWI) utilizando la biblioteca <code>Wire</code>.</p> <p>Hay un par de otros pines en la tarjeta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AREF. Tensión de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con <code>analogReference()</code>.</li> <li>• Reiniciar. Lleva esta línea LOW para reiniciar el microcontrolador. Se utiliza normalmente para agregar un botón de reinicio a los escudos que bloquean el de la placa.</li> </ul> <p><b>Comunicación</b></p> <p>El Arduino Uno tiene una serie de facilidades para comunicarse con una computadora, otro Arduino, u otros microcontroladores. El ATmega328 proporciona una comunicación serie UART TTL (5V), que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). Un ATmega8U2 en la placa canaliza esta comunicación en serie a través de USB. Y aparece como un com virtual al software en la computadora. El firmware '8U2 utiliza los controladores USB COM estándar y no se necesita ningún controlador externo. Sin embargo, en Windows, se requiere un archivo *.inf.</p> <p>El software Arduino incluye un monitor en serie que permite enviar datos simples desde y hacia la placa Arduino. Los LEDs RX y TX de la placa parpadearán cuando se transmitan datos a través del chip USB-toserial y la conexión USB al ordenador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1).</p>		

884  
APÉNDICE 1

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

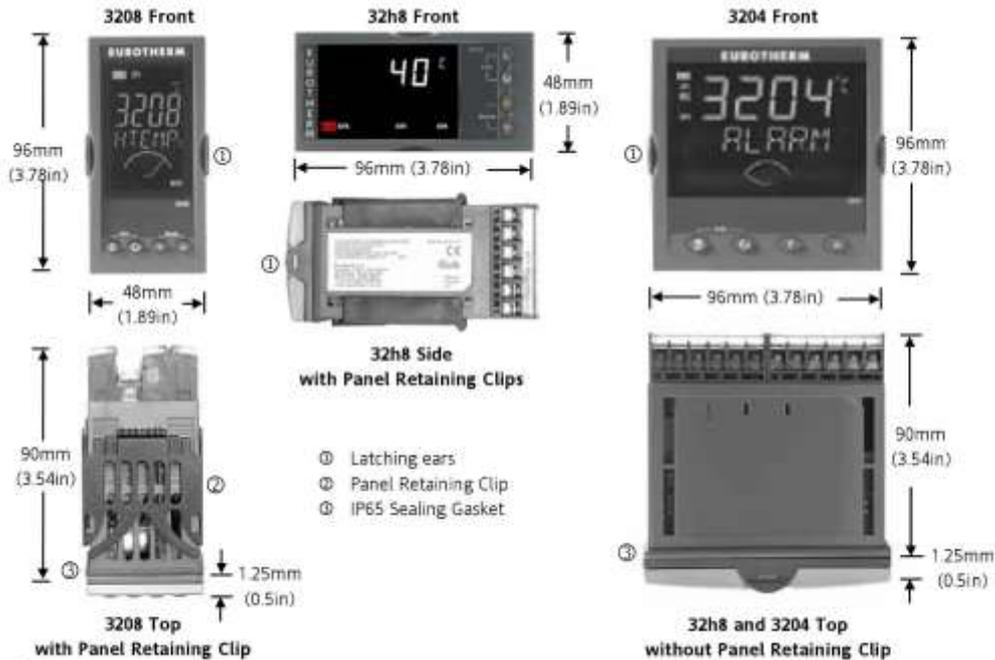
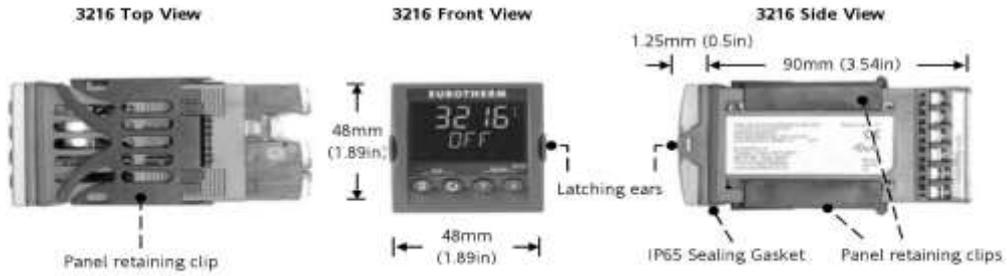
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keenan, Gas Tables, Wiley.

**1.2 Dimensions**

The following two pages show general views of the controllers together with overall dimensions.



**1.3 Step 1: Installation**

This controller is intended for permanent installation, for indoor use only, and enclosed in an electrical panel

Select a location which is subject to minimum vibrations, the ambient temperature is within 0 and 55°C (32 - 131°F) and humidity 5 to 95% RH non condensing.

The controller can be mounted on a panel up to 15mm thick

To ensure IP65 and NEMA 4 front sealing against dust and water, mount on a non-textured surface.

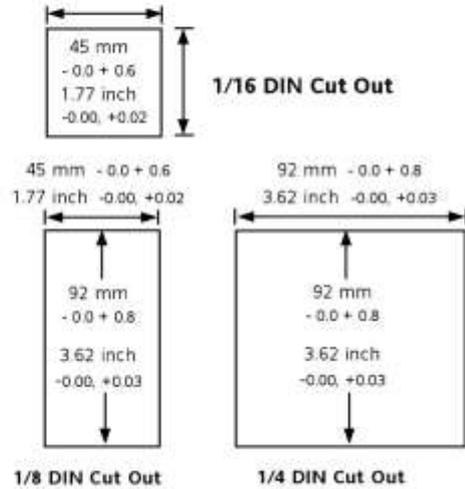
Please read the safety information in section 3 before proceeding. The EMC Booklet part number HA025464 gives further installation information.

**1.3.1 Panel Mounting the Controller**

1. Prepare a cut-out in the mounting panel to the size shown. If a number of controllers are to be mounted in the same panel observe the minimum spacing shown.
2. Fit the IP65 sealing gasket behind the front bezel of the controller
3. Insert the controller through the cut-out

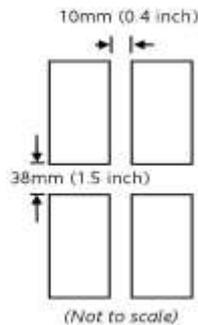
4. Spring the panel retaining clips into place. Secure the controller in position by holding it level and pushing both retaining clips forward.
5. Peel off the protective cover from the display

**1.3.2 Panel Cut-out Sizes**



**1.3.3 Recommended minimum spacing of controllers.**

Applies to all Model sizes



**1.3.4 To Remove the Controller from its Sleeve**

The controller can be unplugged from its sleeve by easing the latching ears outwards and pulling it forward out of the sleeve. When plugging it back into its sleeve, ensure that the latching ears click back into place to maintain the IP65 sealing.



# TYWATT 30

El contador de consumos.



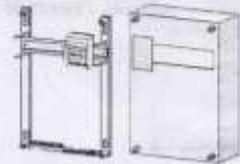
TYWATT 30 permite medir la cantidad de kilowatt/hora consumidos por una parte de la instalación eléctrica (Calefacción, Agua Caliente Sanitaria, Bomba de calor, otros...)  
 Efectúa 2 tipos de acumulados : C1 (Acumulado desde la puesta en marcha, imborrable)  
 C2 (Acumulado desde la última puesta a cero, borrable)  
 La medida de intensidad se hace a través de un aparato de medida externo (transformador de intensidad, T.I.).

## 1. Instalación

Fijación sobre riel DIN, caja modular y T.I. en el cuadro eléctrico

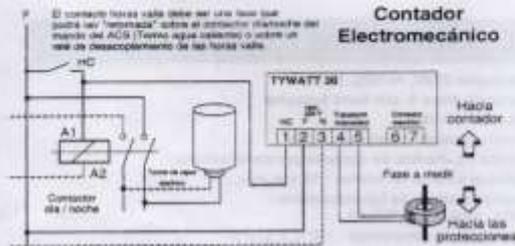
### ■ Instalación de los T.I. (transformadores de intensidad)

- La longitud del cable (tipo H03VV-F o H05V-K) de los T.I. se puede alargar un máximo de 1,5 m.
- Se pueden pasar varios conductores de una misma fase por el mismo T.I. (Ø interior 10mm máx.).



## 2. Conexión

- Los esquemas indicados deben considerarse como principio. No figuran las protecciones u otros accesorios exigidos por las normas.
- La norma y las reglas de instalación establecidas deben ser respetadas.
- Es necesario que los aparatos conectados en su cercanía no creen perturbaciones demasiado fuertes (directiva 2004/108/CE).



## 3. Puesta en servicio

- A la puesta en tensión, durante 10 segundos :
- El testigo rojo está fijo
  - El acumulado de consumo empieza (en Wh hasta 1 kWh (fig. 1), después sigue en kWh (fig. 2)) sin indicación de periodo tarifario.
- Pasados los 10 segundos :**
- El testigo rojo parpadea.
  - La indicación del periodo tarifario aparece (fig.3).

**Nota :** Poner la calefacción en marcha. La puesta en marcha del contaje (fig.1 o Fig. 2) permite verificar inmediatamente el buen funcionamiento del TYWATT 30.



#### 4. Como leer su contador de consumo ?



- 1 Selección del tipo de consumo mediante pulsaciones sucesivas de la tecla C1/C2 :  
C1 : Acumulado desde la puesta en marcha imborrable)  
C2 : Acumulado desde la última puesta a cero
- 2 Lectura del consumo en los periodos tarifarios suscritos: SELEC.
- 3 Visualización de la potencia media máxima alcanzada, en fin de lectura (antes de la vuelta a la visualización en curso)

#### Ejemplo: periodo tarifario en curso - Horas Plenas

Ejemplo : Consulta del acumulado C2.  
Periodo tarifario en curso :  
Horas Plenas



#### Como poner a cero las pantallas de los acumulados (únicamente C2)

Presione apróx. 10 segundos la tecla RESET C2 para poner a cero todas las pantallas de los acumulados, así como la potencia máx. alcanzada.  
Pulse SELECT para verificar



#### Potencia media máxima alcanzada

Cada 6 minutos, TYWATT 30 mide la potencia media máxima alcanzada. Si, durante un periodo de 6 minutos, el valor medido no sobrepasa el valor máximo visualizado, TYWATT 30 continúa visualizando el valor precedente. Ejemplo :



#### 5. Visor Contador

Estado del testigo	Contadores electromecánicos
Encendido	
Parpadearido	Funcionamiento normal
Apagado	Sin alimentación

#### 6. Características técnicas

- Alimentación: 220V, +/-10%, 50 Hz
- Aislamiento clase II, con tierra funcional
- Consumo : 0,5 VA
- 1 entrada contacto horas valle, 220V
- 1 entrada T.i, medida de corriente por transformador de intensidad externo (Ø interior : 10 mm máx.)
- Intensidad nominal de funcionamiento : 2 a 90A . Cos φ = de 0,8 a 1
- Temperatura de almacenaje : -10°C a +70°C
- Temperatura de funcionamiento : 0 a +40°C
- Pantalla digital
- Caja modular : 3 módulos, h = 53 mm, montaje sobre rail DIN

**PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

<b>MODELO:</b>	69330
<b>VOLTAJE:</b>	220-240V~/50Hz
<b>POTENCIA MICROONDAS:</b>	900W
<b>POTENCIA GRILL:</b>	1000 W
<b>CAPACIDAD HORNO:</b>	30Lts.
<b>DIAMETRO PLATO GIRATORIO:</b>	31,5 Cm
<b>MEDIDAS:</b>	52x49,5x33,5 Cm
<b>PESO:</b>	15,6 Kg

**INFORMACIÓN RELEVANTE****Información sobre la garantía**

Este manual aporta las instrucciones de instalación, funcionamiento y seguridad del microondas. Le recomendamos que lea todas las instrucciones de seguridad, funcionamiento e instalación antes de su instalación y puesta en marcha.

El microondas es un producto basado en una extensa investigación y testado de forma práctica. Los materiales utilizados han sido seleccionados para alcanzar la mayor duración, un aspecto atractivo y un óptimo rendimiento.

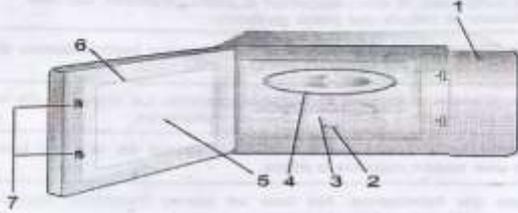
Cada unidad se inspecciona detalladamente antes de su envío.

**¡IMPORTANTE!** Conserve estas instrucciones para su futura referencia.  
Si la unidad cambia de propietario, asegúrese de que este manual acompaña al equipo.

**ADVERTENCIA**

- 1- Conecte el microondas en una toma de corriente eléctrica con el voltaje, tamaño y configuración de conexión adecuados. Si no encajan el enchufe y el receptáculo, póngase en contacto con un electricista profesional para determinar el voltaje y tamaño adecuado para instalar la toma de corriente eléctrica adecuada.
- 2- Para evitar cualquier lesión, apague el interruptor eléctrico, desenchufe la unidad de la fuente de alimentación eléctrica y deje que se enfríe antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento.
- 3- Para un funcionamiento adecuado y seguro, la unidad debe estar colocada a una distancia razonable de las paredes y materiales inflamables.
- 4- Deje un espacio libre de al menos 30 cm por los laterales para propiciar un funcionamiento correcto y seguro.
- 5- Para evitar lesiones o daños no tire del cable eléctrico de la unidad.

### DESCRIPCION DE LAS PARTES



- 1- Panel de control
- 2- Eje del plato giratorio
- 3- Aro para el plato giratorio
- 4- Bandeja de cristal
- 5- Ventana de observación
- 6- Puerta
- 7- Sistema de bloqueo de seguridad
- 8- Rejilla para el grill



#### Instalación del plato giratorio

Centro (parte inferior)

Aro para el plato giratorio

Eje del plato giratorio

Ensamblaje del plato giratorio

- a. Nunca coloque la bandeja de cristal al revés. La bandeja de cristal nunca deberá entrar en contacto con otros elementos.
- b. Se deben usar tanto la bandeja de cristal como el aro durante el cocinado.
- c. Todos los alimentos o recipientes de comida se deben colocar siempre sobre la bandeja de cristal para su cocinado.
- d. Si la bandeja de cristal o el aro se rajan o se rompen, póngase en contacto con su centro de servicio autorizado más cercano.

#### Luces indicadoras



- 1- Cocinar Grill/Combi (más potente)
- 2- Cocinar Grill/Combi
- 3- Descongelar por tiempo
- 4- Descongelar por peso
- 5- Cocinar microondas
- 6- Configuración reloj
- 7- Temporizador
- 8- Automático
- 9- Bloqueo de seguridad
- 10- Peso

### Parámetros detallados de Z1s

Modelo	GASON Z1s (3000gx0.0g)
Peso	300g
Material	Acero inoxidable trefilado del metal
Tamaño	127*106*20mm
Unidades	ct, dwt, ozt, g, oz, gn
PCS cuentan	Apoyo
Pantalla	Pantalla LCD
Sensor	sensor de alta precisión
Valor de división	0,1g
El margen de tolerancia máximo	3000g
Fuente de alimentación	Pilas AAA * 2
Duración de la batería	1 año
Límite de error	0,3g
Lista de embalaje	1 x Z1s balanza de precisión 2 x Pilas de AAA 1 x Manuales 1 x Bandejas grandes (13*11*2,2 cm) 1 x Bandeja pequeña (10.6*10*0.9cm)

<b>Anexo 11</b>	<b>Especificaciones del Analizador de redes FLUKE 1735</b>	<b>1/4</b>
-----------------	--	------------

### **1735 Power Logger**

Con este 1735 Power Logger (en adelante, “registrador”) puede realizar estudios de tensión, corriente y potencia para determinar las cargas existentes.

El registrador es también una herramienta de investigación de calidad de la potencia con fines generales que revela la calidad del suministro de tensión en cualquier punto de una red de distribución.

El registrador se ha desarrollado en concreto para electricistas de planta e instaladores eléctricos con una función importante en la investigación y solución de problemas en el sistema de distribución eléctrico.

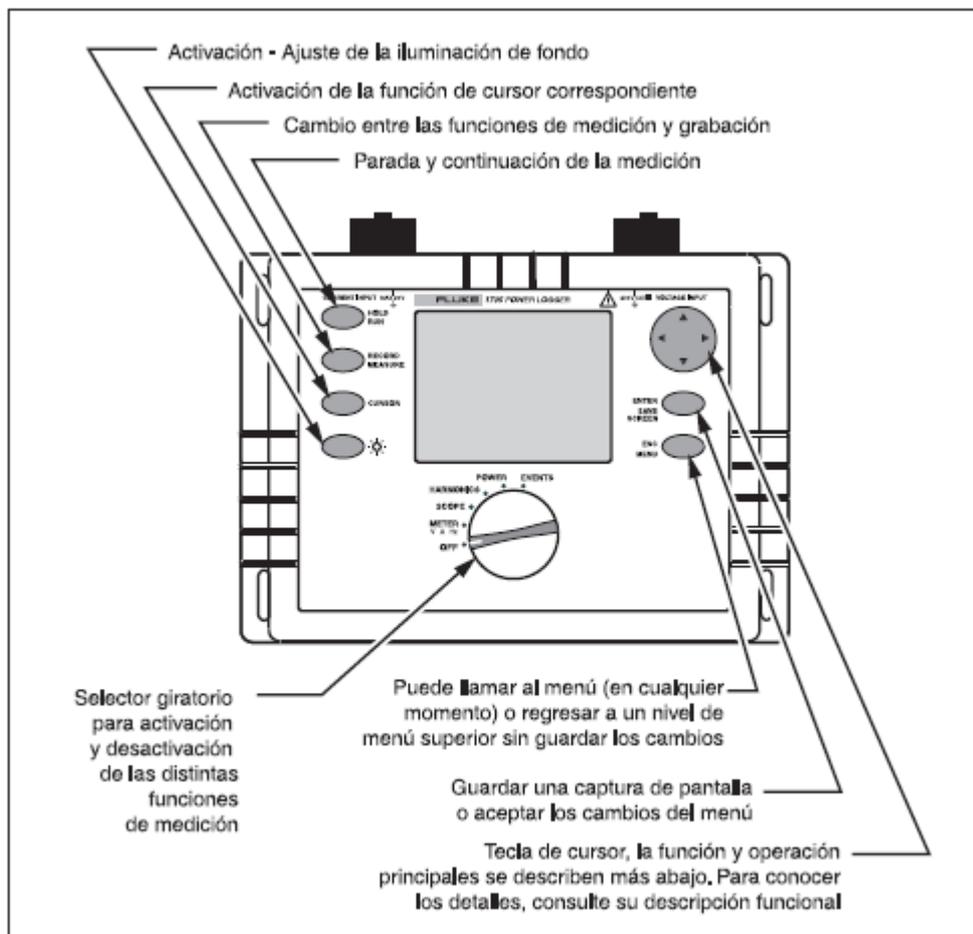
El 1735 Power Logger está equipado con la tecnología Flash. Esto le permite realizar actualizaciones del firmware. Use para ello la utilidad Windows Flash

Update. La encontrará en el CD-ROM del 1735 que se incluye. Si hay una actualización del firmware, la encontrará en el sitio Web de Fluke:

[www.fluke.com](http://www.fluke.com)

### **Accesorios estándar y opcionales**

Equipo	Modelo o número de pieza
Power Logger	Fluke-1735
Cargador de batería, BC1735, 115 V/230 V 50/60 Hz	2584895
Toma de alimentación de CA internacional para cargador de batería	2441372
FS17XX, juego flexible blindado de cuatrfásicos para los modelos 1735, 1743, 1744, 1745 (15 A/150 A/1500 A)	2637482
JUEGO DE CONDUCTORES DE TENSIÓN TIPO BANANA CUATRFÁSICOS PARA FLUKE-1735/45	3276205
Pinza Dolphin, negra	2540728
WC17XX, CLIPS DE CABLES CODIFICADOS POR COLOR	2637481
Batería recargable, NiMH 7,2 V	2625171
Estuche flexible	1642656
CD-ROM, MANUAL Y SOFTWARE DE FLUKE-1735 Incluye: manuales, PC Application Software, utilidad de actualización de firmware (inglés, francés, alemán, italiano, español, portugués, chino simplificado, checo, polaco, ruso, turco y sueco)	2583487
Manual de funcionamiento básico del 1735	3611908
Cable de conexión USB 2.0, mini USB B5 macho – USB A macho	3671728

*Descripción de los elementos de control*

*Los símbolos que se utilizan en esta instrucción operativa  $\triangle$   $\nabla$  y  $\triangleleft$   $\triangleright$  corresponden a las respectivas direcciones de las teclas de control del cursor.*

<b>Anexo 11</b>	<b>Especificaciones del Analizador de redes FLUKE 1735</b>	<b>3/4</b>
-----------------	--	------------

### **1735 Power Logger**

Con este 1735 Power Logger (en adelante, “registrador”) puede realizar estudios de tensión, corriente y potencia para determinar las cargas existentes.

El registrador es también una herramienta de investigación de calidad de la potencia con fines generales que revela la calidad del suministro de tensión en cualquier punto de una red de distribución.

El registrador se ha desarrollado en concreto para electricistas de planta e instaladores eléctricos con una función importante en la investigación y solución de problemas en el sistema de distribución eléctrico.

El 1735 Power Logger está equipado con la tecnología Flash. Esto le permite realizar actualizaciones del firmware. Use para ello la utilidad Windows Flash

Update. La encontrará en el CD-ROM del 1735 que se incluye. Si hay una actualización del firmware, la encontrará en el sitio Web de Fluke:

[www.fluke.com](http://www.fluke.com)

### **Accesorios estándar y opcionales**

Equipo	Modelo o número de pieza
Power Logger	Fluke-1735
Cargador de batería, BC1735, 115 V/230 V 50/60 Hz	2584895
Toma de alimentación de CA internacional para cargador de batería	2441372
FS17XX, juego flexible blindado de cuatrfásicos para los modelos 1735, 1743, 1744, 1745 (15 A/150 A/1500 A)	2637462
JUEGO DE CONDUCTORES DE TENSIÓN TIPO BANANA CUATRFÁSICOS PARA FLUKE-1735/45	3276205
Pinza Dolphin, negra	2540726
WC17XX, CLIPS DE CABLES CODIFICADOS POR COLOR	2637481
Batería recargable, NiMH 7,2 V	2625171
Estuche flexible	1642656
CD-ROM, MANUAL Y SOFTWARE DE FLUKE-1735 Incluye: manuales, PC Application Software, utilidad de actualización de firmware (inglés, francés, alemán, italiano, español, portugués, chino simplificado, checo, polaco, ruso, turco y sueco)	2583487
Manual de funcionamiento básico del 1735	3611908
Cable de conexión USB 2.0, mini USB B5 macho – USB A macho	3671726

**Conexiones de fase individuales y divididas**

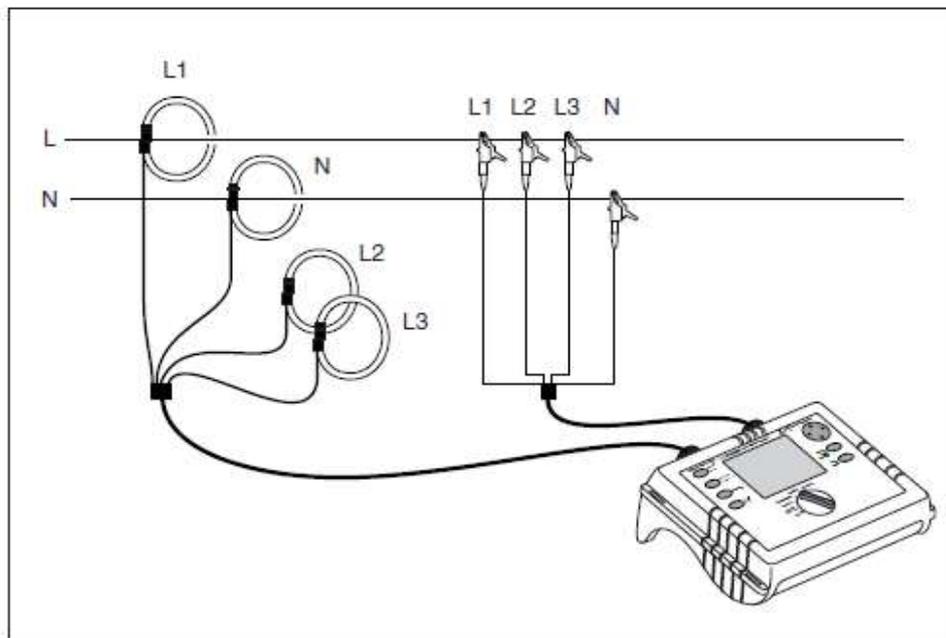
Para fases únicas + neutro, consulte la figura y conecte los conductores así:

Tensión:

Red	Conductores de prueba
Línea	A (L1)
Línea (misma)	B (L2)
Línea (misma)	C (L3)
N	N

Corriente:

Red	Conductores de prueba
L1	A (L1)
No está conectado	B (L2)
No está conectado	C (L3)
N	N



ed040.eps

Figura 6. Conexiones de fase única