



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRONICA**

**DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO UTIL PARA EI  
ESTUDIO DEL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA  
ENERGETICA DE UNA COCINA DE INDUCCION, UTILIZANDO  
CELULAS DE PELTIER**

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

**NATALY SOLEDAD CERDA GARCÍA**

**DIRECTOR: Ing. GUERRÓN LÓPEZ GONZALO EFRAÍN MSc.**

**Quito, septiembre 2016**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2016.  
Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

## PROYECTO DE TITULACIÓN

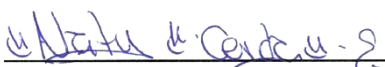
DATOS DE CONTACTO	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1715855605
<b>APELLIDO Y NOMBRES:</b>	Cerda García Nataly Soledad
<b>DIRECCIÓN:</b>	Calderón, Pasaje B Lote 4 Oe2-112 calle Carán esquina
<b>EMAIL:</b>	natalycerda1@gmail.com
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	(+593)22828444
<b>TELÉFONO MOVIL:</b>	(+593)984258703
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Diseño y aplicación de un dispositivo útil para el estudio del incremento de la eficiencia energética de una cocina de inducción, utilizando células de peltier
<b>AUTOR O AUTORES:</b>	Cerda García Nataly Soledad
<b>FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>	2016/09/21
<b>DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>	Ing. Guerron López Gonzalo Efraín MSc.
<b>PROGRAMA</b>	<b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> <input type="checkbox"/>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Diseño Y Aplicación De Un Dispositivo Termoeléctrico Para El Aprovechamiento De Calor Residual En Las Ollas De Una Cocina De Inducción.
<b>RESUMEN: Mínimo 250 palabras</b>	El calor residual producto de la cocción con ollas de inducción para

micro generación, mediante el uso de células Peltier como módulos termoeléctricos es analizado en este trabajo. El comportamiento de las ollas de inducción se lo analizó a través de los datos de temperatura generados a partir de termocuplas instaladas en la base de la olla y en los fluidos alojados dentro de la olla. El dispositivo propuesto, emplea el efecto termoeléctrico, mediante el cual se transforma el calor residual en energía eléctrica debido a la diferencia de temperatura que existe entre el módulo y la olla, donde se utilizaron cuatro configuraciones de los módulos para analizar la eficiencia de cada arreglo. Para obtener un máximo aprovechamiento del calor disipado por las ollas, se debe asociar los módulos termoeléctricos según la distribución del calor en la olla, por esa razón se modifica la geometría de una olla redonda a una de 15 caras. En la configuración eléctrica se emplea un circuito mixto, debido a que se obtuvo mejores resultados en la obtención de energía. La micro generación de energía eléctrica a través de los módulos termoeléctricos depende de la diferencia de temperatura que existe entre las dos

	<p>caras del módulo, por esta razón se construyó un sistema de refrigeración mediante un material de cambio de fase, el mismo que garantiza la máxima generación de energía. El principal aporte del presente trabajo es el incremento de la eficiencia energética de la cocina de inducción mediante el aprovechamiento del calor disipado de las ollas.</p>
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	<p>Calor Residual, Efecto termoeléctrico, Eficiencia energética, Micro generación, Cocinas de inducción.</p>
<b>ABSTRACT:</b>	<p>The residual heat by cooking in induction pots for micro generation, using thermoelectric modules as Peltier cells is showing in this work. The behavior of the induction pots was analyzed through the temperature data generated from thermocouples installed at the base of the pot and in the fluids inside the pot housed. The proposed device, uses the thermoelectric effect, whereby waste heat into electrical energy is transformed due to the temperature difference between the module and the pot, where four module configurations were used to analyze the effectiveness of each arrangement .For maximum utilization of the</p>

	<p>residual heat by the induction pots must be associated with thermoelectric modules, according to the distribution of heat in the pot, for that reason the geometry rounded pot is changed to 15 faces. In the electrical configuration is employing a mixed circuit, because best results were obtained. The micro power through the thermoelectric modules depends on the temperature difference between the two faces of the module, for this reason, a cooling system is constructed by a phase change material ensuring maximum power generation. The main contribution of this work is to increase the energy efficiency of induction cooking by utilizing the waste heat from the pots of an induction cooker.</p>
<b>KEYWORDS</b>	<p>Waste Heat, Thermoelectric Effect, Energy Efficiency, Micro Generation, Induction Cookers.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

F: 

CERDA GARCÍA NATALY SOLEDAD

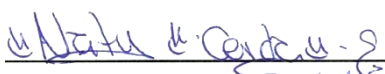
1715855605

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CERDA GARCIA NATALY SOLEDAD**, 1715855606 autora del proyecto titulado: **Diseño y aplicación de un dispositivo útil para el estudio del incremento de la eficiencia energética de una cocina de inducción, utilizando células de peltier** previo a la obtención del título de **INGENIERA EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 21 /SEPTIEMBRE/2016

F: 

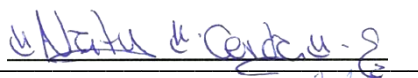
CERDA GARCIA NATALY CERDA

1715855605

# DECLARACIÓN

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

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



Nataly Soledad Cerda García

C.I. 1715855605



## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO UTIL PARA EI ESTUDIO DEL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UNA COCINA DE INDUCCION, UTILIZANDO CELULAS DE PELTIER**”, que, para aspirar al título de **INGENIERA EN MECATRÓNICA** fue desarrollado por **NATALY SOLEDAD CERDA GARCÍA**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



**ING. GUERRÓN LÓPEZ GONZALO EFRAÍN MSc**

**C.I. 0401241245**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a Dios y a mis padres.

A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi padre Milton Cerda, mi madre Martha García, mi segunda madre mi tía, mis hermanos y no menos importantes mis primos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora, quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual me abrió sus puertas preparándome para un futuro competitivo y formándome como persona de bien.

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación, principalmente mis agradecimientos están dirigidos a mi director y amigo, Ing. Gonzalo Guerrón, sin el cual no hubiese podido salir adelante, además de depositar su confianza en mí para este proyecto, y finalmente al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) y a todo su equipo.

# INDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>2. METODOLOGÍA</b>	11
2.1. Especificación de Requerimientos de Usuario	12
2.2. Especificaciones Funcionales	12
2.3. Especificaciones de Diseño Detallado	12
2.3.1. Selección de Componentes	12
2.4. Diseño	13
2.4.1. Descripción de la geometría de la olla	14
2.4.2. Estudio del comportamiento del calor y selección de la geometría	14
2.4.3. Selección del Módulo Termoeléctrico	16
2.4.4. Configuración Eléctrica	24
2.4.5. Implementación	25
2.4.8. Pruebas de experimentación	30
2.4.9. Protocolos de pruebas	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS</b>	<b>32</b>
3.1. Resultados del Medio Térmico	33
3.2. Pruebas para la configuración de las células de peltier	33
3.3. Resultado De La Eficiencia Térmica	34

3.4. Resultado de la Eficiencia Térmica del Sistema	35
3.5. Resultados de Generación de Energía en las Ollas Domésticas y Preparaciones	35
3.6. Eficiencia energética en el consumo	37
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	40
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>43</b>

## INDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>FIGURA 1:</b> Diagrama del dispositivo	15
<b>FIGURA 2:</b> Dibujo CAD de las ollas	16
<b>FIGURA 3:</b> Estudios de calor para geometrías propuestas	17
<b>FIGURA 4:</b> Dibujo CAD de la olla redonda en el fondo	18
<b>FIGURA 5:</b> Disposición de los módulos termoeléctricos propuestos en una olla Pentadecágona	25
<b>FIGURA 6:</b> Disposición de los módulos termoeléctricos propuestos en una olla redonda	25
<b>FIGURA 7:</b> Circuito de conexión en la olla redonda	26
<b>FIGURA 8:</b> Circuito de conexión en la olla pentadecágona	27
<b>FIGURA 9:</b> Módulos termoeléctricos instalados en la olla redonda	27
<b>FIGURA 10:</b> Módulos instalados en la base del sartén	28
<b>FIGURA 11:</b> Módulos instalados en la olla pentadecágona	28
<b>FIGURA 12:</b> Instalación del aislante térmico	29
<b>FIGURA 13:</b> Conexión eléctrica experimental	29
<b>FIGURA 14:</b> Conjunto terminado	30
<b>FIGURA 15:</b> Resultados en temperatura	38
<b>FIGURA 16:</b> Resultados en temperatura de la generación de energía en sopa de fideo	39
<b>FIGURA 17:</b> Resultados en temperatura de la generación de energía en fritura profunda	39

## INDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>TABLA 1:</b> Condiciones para la simulación en el software ANSYS	16
<b>TABLA 2:</b> Selección de la geometría de la olla	17
<b>TABLA 3:</b> Datos para el cálculo del medio térmico	18
<b>TABLA 4:</b> Selección de los módulos termoeléctricos	20
<b>TABLA 5:</b> Selección del disipador de calor	21
<b>TABLA 6:</b> Selección del sistema de refrigeración	22
<b>TABLA 7:</b> Selección del aislante térmico	23
<b>TABLA 8:</b> Selección de disposición de las células en la olla Pentadecágona	23
<b>TABLA 9:</b> Selección de disposición de las células en la olla redonda	24
<b>TABLA 10:</b> Selección de la configuración eléctrica	25
<b>TABLA 11:</b> Parámetros de cálculo, para la eficiencia térmica de la olla en condiciones estándar y utilizando el dispositivo	30
<b>TABLA 12:</b> Conexiones de prueba para ensayos	31
<b>TABLA 13:</b> Resultados del medio térmico	34
<b>TABLA 14:</b> Resultados configuración eléctrica	35
<b>TABLA 15:</b> Resultados del cálculo de la eficiencia térmica	35
<b>TABLA 16:</b> Resultados de generación en sopa de fideo y fritura profunda	37
<b>TABLA 17:</b> Generación vs consumo	39

## INDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I:</b> Programa del plc para adquisición de datos de temperatura	53
<b>ANEXO II:</b> Creacion del opc server para adquisicion de datos	53
<b>ANEXO III:</b> Plataforma labview para adqmicicon de datos	54
<b>ANEXO VI:</b> Codigo labview para adqmicicon de datos	55
<b>ANEXO V:</b> Artículo Cientifico Presentado en revista CENACE “Energía”	58
<b>ANEXO VI:</b> Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 101	58
<b>ANEXO VII:</b> Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 2567	58



## RESUMEN

El calor residual producto de la cocción con ollas de inducción para micro generación, mediante el uso de células Peltier como módulos termoeléctricos es analizado en este trabajo. El comportamiento de las ollas de inducción se analizó a través de los datos de temperatura generados a partir de termocuplas instaladas en la base de la olla y en los fluidos alojados dentro de la olla. El dispositivo propuesto, emplea el efecto termoeléctrico, mediante el cual se transforma el calor residual en energía eléctrica debido a la diferencia de temperatura que existe entre el módulo y la olla, donde se utilizaron cuatro configuraciones de los módulos para analizar la eficiencia de cada arreglo. Para obtener un máximo aprovechamiento del calor disipado por las ollas, se debe asociar los módulos termoeléctricos según la distribución del calor en la olla, por esa razón se modifica la geometría de una olla redonda a una de 15 caras. En la configuración eléctrica se empleó un circuito mixto, debido a que se obtuvo mejores resultados en la obtención de energía. La micro generación de energía eléctrica a través de los módulos termoeléctricos depende de la diferencia de temperatura que existe entre las dos caras del módulo, por esta razón se construyó un sistema de refrigeración mediante un material de cambio de fase, el mismo que garantiza la máxima generación de energía. El principal aporte del presente trabajo es el incremento de la eficiencia energética de la cocina de inducción mediante el aprovechamiento del calor disipado de las ollas.

**Palabras Clave:** Calor Residual, Efecto termoeléctrico, Eficiencia energética, Micro generación, Cocinas de inducción.

## ABSTRACT

The residual heat by cooking in induction pots for micro generation, using thermoelectric modules as Peltier cells is showing in this work. The behavior of the induction pots was analyzed through the temperature data generated from thermocouples installed at the base of the pot and in the fluids inside the pot housed. The proposed device, uses the thermoelectric effect, whereby waste heat into electrical energy is transformed due to the temperature difference between the module and the pot, where four module configurations were used to analyze the effectiveness of each arrangement .For maximum utilization of the residual heat by the induction pots must be associated with thermoelectric modules, according to the distribution of heat in the pot, for that reason the geometry rounded pot is changed to 15 faces. In the electrical configuration is employing a mixed circuit, because best results were obtained. The micro power through the thermoelectric modules depends on the temperature difference between the two faces of the module, for this reason, a cooling system is constructed by a phase change material ensuring maximum power generation. The main contribution of this work is to increase the energy efficiency of induction cooking by utilizing the waste heat from the pots of an induction cooker.

**Key Words:** Waste Heat, Thermoelectric Effect, Energy Efficiency, Micro Generation, Induction Cookers.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Una de las grandes problemáticas a nivel mundial es la reducción del consumo energético, sin afectar el nivel de confort (Llamas, 2009). Según Rodríguez et al., el 60 % de la energía primaria consumida a nivel mundial se disipa en forma de calor (Rodríguez, 2013). En el caso de la cocción de alimentos y específicamente en las cocinas de inducción, se desperdicia aproximadamente entre el 15 % y 40 % de toda la energía utilizada en forma de calor disipado (Villacís et al., 2015).

Estudios de aprovechamiento del calor disipado por el menaje de cocina no tienen relevancia, y tampoco son de interés en el campo de la termoelectricidad. Estudios sobresalientes que se pueden mencionar en el ámbito doméstico se han realizado en la industria de la construcción (Najafi & Woodbury, 2013; Piantanida, 2015), en un caso en concreto se propone el uso de una fachada de módulos termoeléctricos (John, 2014; Mannella, La Carrubba, & Brucato, 2014) con el fin de aprovechar el calentamiento de la superficie y convertir esta energía térmica en energía eléctrica para utilizarla dentro de la vivienda. (Rocío Herranz Pindado, 2011; Solís, 2013; Valdés, Barros, 2012).

La investigación propone un sistema de aprovechamiento de calor residual, aplicando el efecto termoeléctrico (efecto Seebeck, efecto Peltier, efecto Thompson), mediante el uso de módulos termoeléctricos.

En el caso del efecto Seebeck se genera una diferencia de potencial, partiendo de la diferencia de temperatura que existe entre el uso de dos conductores en un mismo punto (Carlos & Freire, 2014); a diferencia de su efecto complementario, el efecto Peltier propone generar una diferencia de temperatura si se aplica una diferencia de potencial (Ari & Kribus, 2010) ; el efecto Thompson solo se refiere al comportamiento del calor sobre los materiales que intervienen en el sistema.(Guerra et al., 2011; Melcor, 2015).

Los módulos termoeléctricos se caracterizan por estar compuestos de materiales semiconductores tipo N y tipo P, conectados térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie, cuando se polariza el material tipo N de forma positiva y el tipo P de forma negativa, se genera calor en una cara y frío en la otra, si se realiza una polarización inversa, la cara que genera calor

esta vez pierde energía. En este proyecto se utilizarán estos módulos aplicados a la absorción del calor residual de las ollas (Blancarte., 2011); su vida útil promedio utilizado de forma continua a 340°C y con un salto térmico mayor a 0,5°C es de 100 000 horas.(Melcor, 2015).

Para el trabajo se fijó como objetivo general diseñar y aplicar un dispositivo que incrementa la eficiencia de una cocina de inducción utilizando células de peltier, así como también sus objetivos específicos que comprenden el análisis del funcionamiento de la cocina de inducción y el módulo termoeléctrico; la caracterización de la eficiencia de la cocina de inducción y el módulo termoeléctrico; el diseño de la olla de inducción y el respectivo arreglo de peltier, el diseño de un sistema eléctrico; la determinación de la energía producida durante la cocción; y por último la validación del funcionamiento del dispositivo.

## **2. METODOLOGÍA**

## **2.1. Especificación de Requerimientos de Usuario**

Los requerimientos fueron adquiridos mediante una entrevista con expertos en cocción de alimentos los cuales manifestaron requisitos como ligereza, diseño agradable, fácil mantenimiento, variedad de repuestos, versatilidad, bajo costo, fácil limpieza, y eficiencia.

## **2.2. Especificaciones Funcionales**

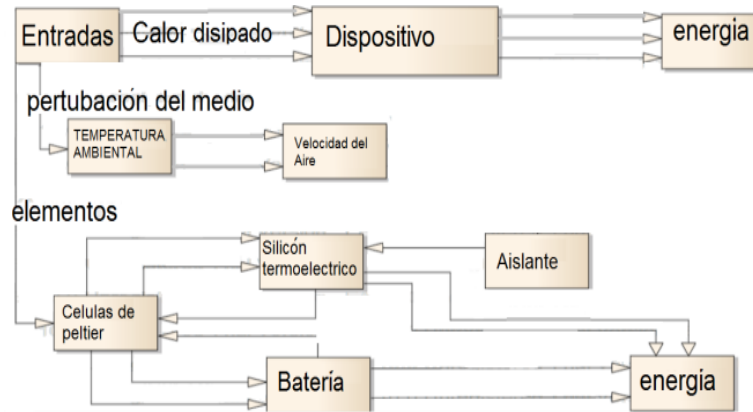
Dentro de las especificaciones funcionales se puede mencionar que debe cumplir con las normas técnicas ecuatoriana NTE INEN N101 y 2567 (ver anexo VI y VII); además de la obtención de energía eléctrica del calor residual de la olla durante la cocción de alimentos, análisis de otras geometrías de la olla para mejorar y ampliar el campo de acción de los módulos, además de garantizar la calidad de la energía producida, es decir las zonas donde la generación es estable como se muestra en las Figuras 16 y 17.

Las principales restricciones son la incompatibilidad geométrica entre los módulos termoeléctricos y las ollas de inducción convencionales. Los módulos termoeléctricos miden 40mm de ancho y alto (Melcor, 2015).

## **2.3. Especificaciones de Diseño Detallado**

### **2.3.1. Selección de Componentes**

Para la selección de componentes del dispositivo es primordial tomar en cuenta las perturbaciones existentes en el medio, como es el caso de la temperatura ambiente, el cual es un factor de alta incidencia en el sistema de refrigeración con influencia directa en la eficiencia del dispositivo (Solís, 2013) (Figura 1).



**Figura 1:** Diagrama del dispositivo

Los principales componentes de esta investigación son: módulos termoeléctricos, silicón térmico para mejorar la adherencia sin interferir en la transferencia de calor con las paredes de la olla, láminas conductoras de calor para rellenar espacios, disipador de calor de aluminio y un sustituto de hielo como refrigerante empacado en arreglos de 8 cojines.

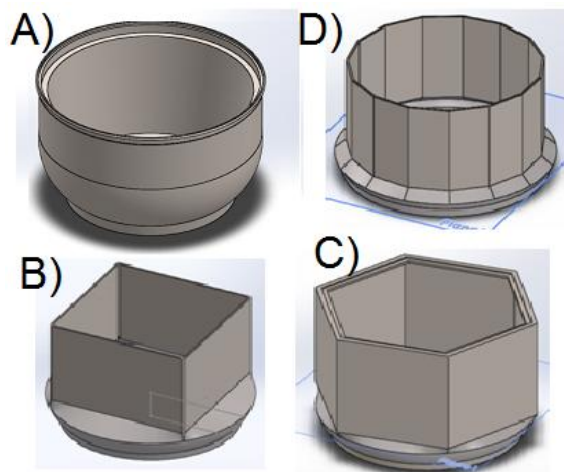
Para poder cuantificar el impacto que se puede llegar a tener sobre la temperatura interna de a la olla se utilizan 4 termocuplas ubicadas en 3 diferentes niveles dentro de la olla y una externa con la que se obtiene la temperatura externa de la olla, las cuales están conectadas a un PLC que actúa como tarjeta de adquisición de datos con estos datos posteriormente se procede a realizar un estudio del comportamiento del calor en la olla con la ayuda del software ANSYS (Ansys, 2015a, 2015b); un analizador de red eléctrica con el cual se obtuvo datos para el cálculo de la eficiencia térmica, un pirómetro para corroborar los datos obtenidos de las termocuplas, una cámara termográfica para visualizar el cambio de la temperatura, cocina de inducción y ollas que pertenecen al menaje entregado en el *“Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en Sustitución del Gas Licuado de Petróleo en el Sector Residencial”* (Ministerio de electricidad y energías renovables, 2015).

## 2.4. Diseño



### 2.4.1. Descripción de la geometría de la olla

La restricción principal es la geometría de la célula de peltier no es compatible con la geometría de la olla, razón por la que se modifica la geometría de la misma, teniendo 4 opciones para dicha modificación como se muestra en la Figura 2 respetando las dimensiones especificadas en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2567; con la olla redonda (Figura.2.A) por los espacios existentes entre el modulo y la pared de la olla (Figura 6) solo se aprovecha el 10% durante la cocción; en el caso de la olla cuadrada (Figura.2.B) cada cara tiene la capacidad de 3 módulos el problema es que la mayoría de calor se pierde en las aristas aparte que no tiene fácil limpieza; el caso de la olla hexágona (Figura.2.C) la cual tiene el características equivalentes a la cuadrada; el caso más viable para la modificación es una olla cuyo diseño abarque una célula por cara es el caso de la olla pentadecágona (Figura.2.D), esta geometría presenta condiciones similares a la redonda facilitando limpieza y un buena fijación de la tapa como se puede verificar en la Figura 3.



**Figura 1:** Dibujo CAD de las ollas A) redonda B) cuadrada C) hexágona D) pentadecágona

### 2.4.2. Estudio del comportamiento del calor y selección de la geometría

El estudio del comportamiento del calor permite visualizar la forma de la distribución de la energía residual en la pared de la olla, para esto se realizan simulaciones con la ayuda del software ANSYS y sus paquetes CFX

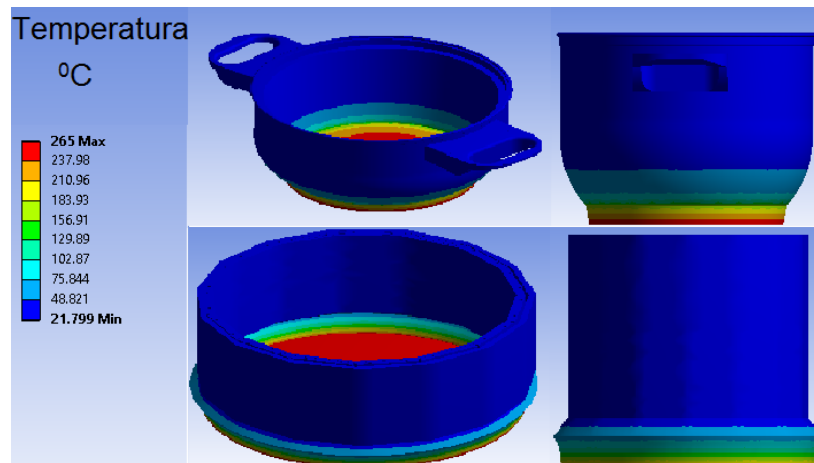
y térmico transitorio, (Ansys, 2015a, 2015b); se detalla las condiciones en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Condiciones para la simulación en el software ANSYS

Referencia	Valor
Mallado	Jacobino
Material	Acero inoxidable AISI 304
Temperatura en la base	260 °C
Convección	331 °C/mm <sup>2</sup>
Encapsulado	Caja

Debido a la incompatibilidad geométrica entre la olla del menaje y el módulo termoeléctrico clásico, se estudia el comportamiento del calor en las paredes de la olla y se identifica la geometría óptima que permita la máxima absorción de calor, tomando en cuenta la forma de los módulos termoeléctricos que son de 40 mm de alto y ancho (Melcor, 2015), sin afectar las dimensiones especificadas de la olla, las cuales se encuentran en el Reglamento Técnico Ecuatoriano NTE-INEN-2567 (instituto ecuatoriano de normalización, 2010).

Se realiza en estudio de calor con una olla redonda y en una olla modificada; se propone una olla pentadecágona (Figura 3) en la cual la distribución de calor es similar al de la olla redonda y mantiene una buena superficie radiante, logrando la adaptabilidad de la tapa y facilidad de limpieza.


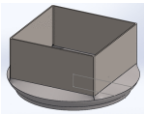
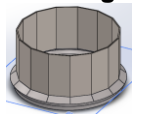


**Figura 3:** Estudios de calor para geometrías propuestas

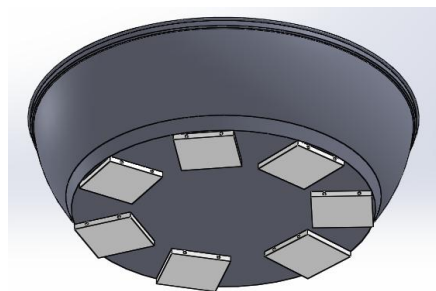
- **Selección de la geometría de la olla**

En base a los resultados del estudio, la olla modificada fue construida con 15 caras en las cuales se adhieren los módulos termoeléctricos, de tal manera que capten la mayor cantidad de calor residual; en la Tabla 2 se muestra una comparación entre las diferentes geometrías de olla, para comprobar que el dispositivo es adaptable a cualquier olla además la cantidad de calor aprovechado se realiza el estudio de una olla redonda y modificada.

**Tabla 2:** Selección de la geometría de la olla

Geometría	Redonda	Cuadrada	Pentadecágona
			
Ventajas	-Buena superficie radiante	-Buena superficie de apoyo a células, geometrías compatibles	-Buena conducción del calor por las paredes de la olla -Buena superficie radiante - Casi mantiene la geometría redonda
Desventajas	-Mal apoyo en la pared por geometrías incompatibles	-Mala conducción del calor por las paredes de la olla	- ninguna

También se propone colocar células en la base de la olla en contacto directo con el foco de la cocina Figura 4.



**Figura 4:** Dibujo CAD de la olla redonda en el fondo

### 2.4.3. Selección del Módulo Termoeléctrico

Para este cálculo se toman datos detallados en la Tabla 3, (Kahan, 2012; Yi, 2014) y las ecuaciones de transferencia de calor (Carlos Ramos, 2012; Kahan, 2012). Se calcula el número de Rayleigh [1] para determinar la forma de transferencia de calor; si esta ocurre por conducción se calcula el número de Nusselt [2] el cual permite medir el aumento de calor de una superficie a

otra; con este valor se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor [3] y el flujo calor [4]. Se debe calcular la temperatura promedio [5] que existe en la pared de la olla, siendo esta la temperatura de trabajo (Carlos Ramos, 2012; Kahan, 2012); para este análisis se toman los datos obtenidos con dos fluidos experimentales, agua y aire; los resultados se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 3:** Datos para cálculo del medio térmico

(Kahan, 2012; Yi, 2014)

Característica	Dato
Área olla redonda	27 cm <sup>2</sup>
Área olla pentadecágona	15 cm <sup>2</sup>
Masa olla redonda	2,37 kg
Masa olla pentadecágona	5 kg
Radio de la olla redonda	3,2 cm
Radio de la olla pentadecágona	3,5 cm
Temperatura fluido – pared	90 °C
Temperatura de pared al ambiente	82 °C
Espesor del material	5 mm
<b>Constantes Térmicas</b>	
Cp. acero inoxidable	477 kJ/kg
Gravedad	9.8 m/s <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,0707 K <sup>-2</sup>
Difusividad térmica	0,0605 m <sup>2</sup> /s
Viscosidad cinemática	0,0306 * 10 <sup>-3</sup> N * m/s <sup>2</sup>
Conductividad térmica	0,677 W/m * k
Número de Prandtl	1,91

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_f - t_o) \cdot l^3}{\alpha \cdot \nu} \quad [1]$$

Donde:

$Ra_{agua}$  = Número de Rayleigh para el agua.

$g$  = Gravedad. [m/s<sup>2</sup>]

$\beta$  = Coeficiente de expansión térmica. [K<sup>-2</sup>]

$t_f$  = Temperatura del fluido. [°C]

$t_o$  = Temperatura de la pared de la olla. [°C]

- $l$  =Espesor del material. [mm]  
 $\alpha$  =Difusividad térmica [m<sup>2</sup>/s].  
 $\nu$  =Viscosidad cinemática.[N \* m/ s<sup>2</sup>]

$$Nul = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (Ra_{agua})^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{8}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad [2]$$

Donde:

- $Nul$  =Número de Nusselt.  
 $Ra_{agua}$  =Número de Rayleigh para el agua.  
 $Pr$  = Número de Prandtl.

$$h = \frac{Nul * \kappa}{l} \quad [3]$$

Donde:

- $h$  = Coeficiente global de transferencia de calor para el agua.  
 [W/m<sup>2</sup> \* K]  
 $Nul$  =Número de Nusselt.  
 $l$  =Espesor del material. [mm]  
 $\kappa$  =Conductividad térmica [W/K·m]

$$q_{agua-olla} = Nul * (tf - to) * a \quad [4]$$

Donde:

- $q_{agua-olla}$  =Calor en la pared que tiene contacto con el fluido interno.  
 [W]  
 $Nul$  =Número de Nusselt.  
 $tf$  =Temperatura del fluido. [°C]  
 $to$  =Temperatura de la pared de la olla. [°C]  
 $a$  =Área [cm<sup>2</sup>]

$$T_{p(olla)} = \frac{tf - to}{2} \quad [5]$$

Donde:

- $T_{P(olla)}$  = Cálculo de temperatura promedio entre la pared que está en contacto con el fluido y la que se encuentra en contacto con el medio ambiente. [°C]

$t_f$  =Temperatura del fluido. [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_o$  =Temperatura de la pared de la olla. [ $^{\circ}\text{C}$ ]




- **Selección de los módulos termoeléctricos**

Según los resultados obtenidos en el cálculo del medio térmico, se procede a seleccionar el módulo termoeléctrico, el mismo que estará sujeto a las paredes de la olla, con el objetivo de captar la mayor cantidad de calor residual proveniente de las ollas.

El fabricante de los módulos termoeléctricos presenta una plataforma que facilita la búsqueda de los módulos en función de su medio térmico (Melcor, 2015).

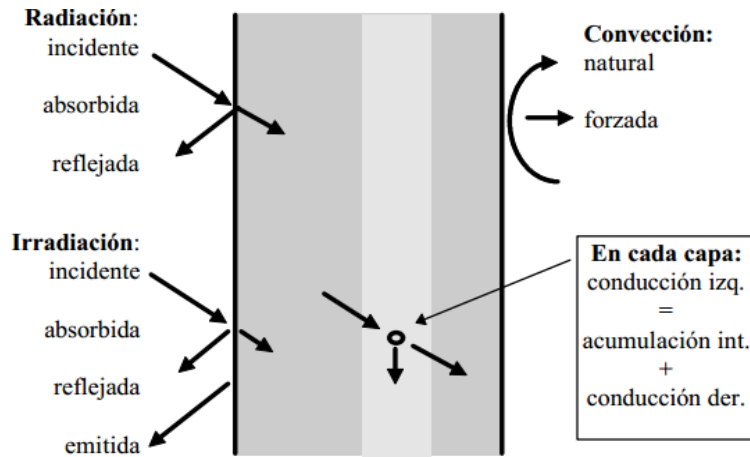
Para hacer una selección más objetiva y acertada se realiza una matriz comparativa entre los módulos que cumplen los requerimientos en función de sus ventajas y desventajas como se muestra en la Tabla 4, siendo el módulo TEC1-12706 el seleccionado por sus múltiples ventajas frente al resto.

**Tabla 1:** Selección de los módulos termoeléctricos

Modelo	TEC1-12703 	TEC1-12706 	TEC1-12710 
Ventajas	Soporta hasta los 67 °C Corriente máxima 3.3A Voltaje máximo , 0.01V en sebeeck Salto térmico 100°C	Soporta sobre los 100 °C Corriente máxima 6.0A Voltaje 0.1V en sebeeck Salto térmico 120°C Costo Muy comunes	Soporta los 66 °C -Corriente máxima 10.0A Voltaje máximo 0.001V en sebeeck Salto térmico 70°C
Desventajas	Menos comunes	Ninguna	Menos comunes Costo

- **Selección del disipador de calor**

El disipador de calor es instalado para eliminar las cargas térmicas, las cuales se generan sobre los módulos termoeléctricos, por acción de los efectos térmicos, como se detalla en la Figura 4 (Guerra et al., 2011).



**Figura 4:** Efectos sobre el dissipador de calor

(Guerra et al., 2011)

El material con el que está construido el dissipador de calor, debe tener baja resistencia térmica; para lo cual se aplica una matriz comparativa en función de las ventajas y desventajas de los materiales propuestos para el dissipador de calor como se muestra en la Tabla 5; se emplea aluminio por su baja resistencia térmica y accesibilidad en el mercado local (Valdés, Barros, 2012), el dissipador de calor deberá ajustarse a la forma de la olla.



**Tabla 2:** Selección del dissipador de calor

Modelo	Lamina de Aluminio 	Papel aluminio 	Metales (latón ,cobre) 
Ventajas	Muy común Facilidad para deformarlo a la forma deseada Baja resistencia térmica (0.22c/w) Costo Alta conductividad térmica (237 W/(m·K))	Muy común Baja resistencia térmica (0.50 c/w) Costo	Facilidad para deformarlo a la forma deseada Baja resistencia térmica (0.12c/w)
Desventajas	Ninguna	Muy delgado Se rompe con facilidad	No son comunes Costo

- **Selección del sistema de refrigeración**

Para mantener un alto salto térmico e incrementar la eficiencia en el dispositivo, es necesario el uso de un sistema de refrigeración entre el módulo termoeléctrico y el disipador de calor, para lo cual se aplica una matriz comparativa en función de las ventajas y desventajas de los sistemas como se muestra en la Tabla 6. Para el sistema de refrigeración se emplea un refrigerante que no interfiera con las propiedades organolépticas de los alimentos, es necesario que cumpla con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-INEN-101.

**Tabla 3:** Selección del sistema de refrigeración


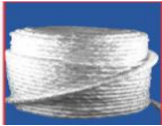
Modelo	<b>Substituto de hielo</b> 	<b>Aletas en el disipador</b> 
Ventajas	Fácil instalación Costo Muy comunes 57.7% de eficiencia	Muy comunes
Desventajas	Ninguna	33% de eficiencia Costo Instalación por soldadura

- **Selección del Aislante térmico para los conductores**

Como medida de protección de los conductores eléctricos, estos deben ser recubiertos con un aislante térmico debido a que los conductores utilizados en los módulos termoeléctricos soportan hasta 80 °C. Las temperaturas máximas a las que trabajará el dispositivo son de aproximadamente 260°C, el aislante térmico a utilizarse debe tener capacidad máxima para 4 conductores calibre 20awg (Melcor, 2015); para lo cual se aplica una matriz comparativa en función de las ventajas y desventajas como se muestra en la Tabla 7.



**Tabla 4:** Selección del aislante térmico


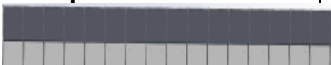

Modelo	<b>MT-5010</b> 	<b>REF: 5040</b> 	<b>MT-4660</b> 
Ventajas	Fácil instalación Muy comunes Cablen 5 cables calibre 20	Fácil instalación Muy comunes	Fácil instalación Muy comunes
Desventajas	Ninguna	No muy comunes Cablen 2 cables calibre 20	Cablen 2 cables calibre 18 Costo

• **Selección de la Disposición de los Módulos Termoeléctrico en la Superficie de la Olla**

El aprovechamiento de calor residual depende de la forma de la olla. De acuerdo a los resultados obtenidos en ANSYS (Figura 3), es necesario encontrar la distribución apropiada para maximizar la generación de energía eléctrica proveniente del dispositivo.

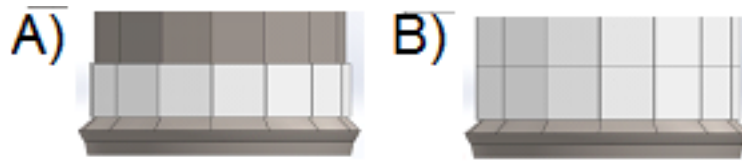
En el caso de la olla pentadecágona se aplica una matriz comparativa para encontrar la disposición más efectiva mostrada en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Selección de disposición de las células en la olla pentadecágona

Modelo	<b>Cinturón de dos fila</b> 	<b>Cinturón de una fila parte inferior</b> 	<b>Cinturón de una fila parte superior</b> 
Ventajas	Fácil instalación Asegura una buena superficie radiante de trabajo según simulaciones y trabajo experimental	Fácil instalación Asegura una buena superficie radiante de trabajo según simulaciones y trabajo experimental	Fácil instalación
Desventajas	Posicionamiento de cables	Posicionamiento de cables No aprovecha todo el calor	No aprovecha todo el calor

La máxima cantidad de calor residual se ubica en la parte inferior de la olla, por esta razón se coloca un cinturón de 15 módulos termoeléctricos en la olla pentadecágona (Figura 5.A); en la parte superior de la olla también se

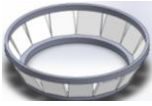
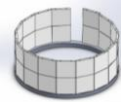
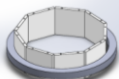
desprende calor, pero en menor proporción, por lo tanto se coloca otro cinturón para aprovechar todo el calor residual (Figura 5.B).



**Figura 5:** Disposiciones de los módulos termoeléctricos propuestos en una olla pentadecágona A) Disposición cinturón inferior B) Disposición final

En el caso de la olla pentadecágona se aplica una matriz comparativa para encontrar la disposición más efectiva mostrada en la Tabla 9.

**Tabla 9:** Selección de la disposición de las células en la olla redonda

Modelo	Cinturón una fila 	Cinturón dos filas 	Cinturón una fila superior 
Ventajas	Fácil instalación	Fácil instalación	Fácil instalación Asegura una buena superficie radiante de trabajo según simulaciones y trabajo experimental
Desventajas	Posicionamiento de cables No aprovecha todo el calor	Posicionamiento de cables No aprovecha todo el calor No asegura una buena superficie radiante de trabajo según simulaciones y trabajo experimental	Posicionamiento de cables

Como se observa en la Figura 6. Se puede verificar que no existe un buen contacto entre los módulos termoeléctricos y la pared de la olla redonda en ninguno de los casos; para efectos de este estudio se utilizan 9 módulos termoeléctricos.

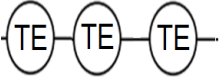
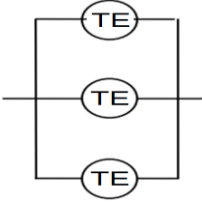
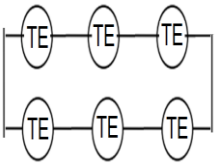
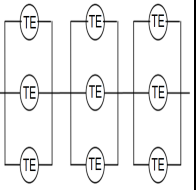


**Figura 6:** Disposiciones de los módulos termoeléctricos propuestos en una olla redonda

#### 2.4.4. Configuración Eléctrica

Para la configuración eléctrica de los módulos termoelectricos en el dispositivo es necesario tener en cuenta sus curvas de rendimiento (ver anexo VII). De forma experimental, se obtiene que la conexión más efectiva, según los resultados de la experimentación se hace una comparación para determinar el circuito más eficiente como se muestra en la Tabla 10, siendo así el circuito mixto 2 debido a que el módulo no posee un comportamiento lineal predecible (Melcor, 2015).

Tabla 10: Selección del circuito

Modelo	SERIE	PARALELO	MIXTO 1	MIXTO 2
				
Ventajas	Fácil instalación Asegura un voltaje óptimo de trabajo	Fácil instalación Asegura un corriente optima de trabajo	Fácil instalación Asegura energía aprovechable	Fácil instalación Asegura energía aprovechable
Desventajas	No asegura un corriente óptima de trabajo	No asegura un voltaje óptimo de trabajo	No da los mejores resultados	ninguna

En el caso de la olla redonda, se forman circuitos en paralelo conformados por 3 módulos termoelectricos, estos circuitos en paralelo son conectados en serie para obtener un circuito mixto como se muestra en la Figura 7.

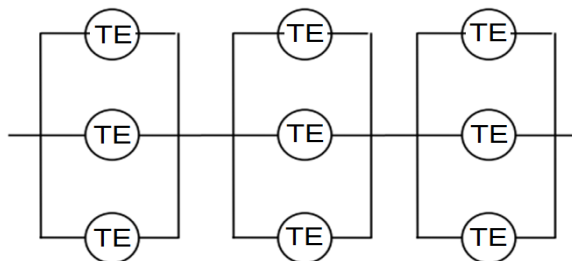
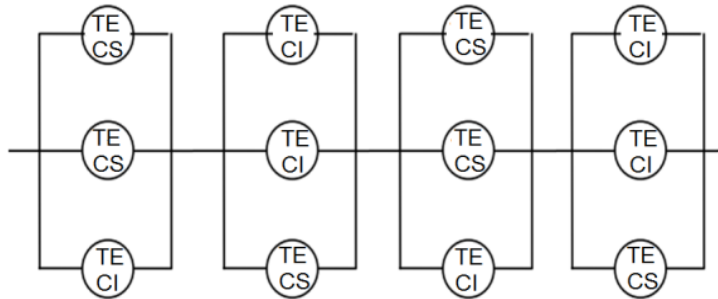


Figura 7: Circuito de conexión en la olla redonda

En la olla pentadecágona, se utiliza un circuito en paralelo formado por 3 módulos termoelectricos, dos módulos termoelectricos del cinturón inferior (CI) y un módulo termoelectrico del cinturón superior (CS) que se conectan

en serie. En los circuitos en paralelo se alterna el orden del cinturón (Figura 8) para equilibrar la captación de calor como consecuencia se obtiene un equilibrio en la generación de energía.



**Figura 8:** Circuito de conexión en la olla pentadecágona

#### 2.4.5. Implementación

Para asegurar de la adherencia de los módulos termoeléctricos a la olla, se utiliza un silicón térmico el cual también certifica la transferencia de calor al módulo termoeléctrico el silicón térmico utilizado en el presente estudio consta de dos partes las cuales deben ir mezcladas en proporciones iguales y no sobrepasar 1mm de espesor; las superficies deben estar totalmente limpias.

Al adherir los módulos hay que fijarse en que la cara fría ese en contacto con la pared de la olla, según los fabricantes de los módulos la cara fría es la que está totalmente en blanco.

##### • Olla redonda

La implementación en la olla redonda se debe rellenar con láminas conductoras para aumentar la superficie de contacto, en esta olla se instalan 9 módulos termoeléctricos como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9:** Módulos termoeléctricos instalados en la olla redonda

- **Base de sartén**

En la base del sartén se colocan lo más disperso posible para no bloquear al material ferromagnético e impedir el efecto de la cocina de inducción, se instalan 8 módulos como se muestra en Figura 10.



**Figura 10:** Módulos Instalados en la base del sartén

- **Olla pentadecágona**

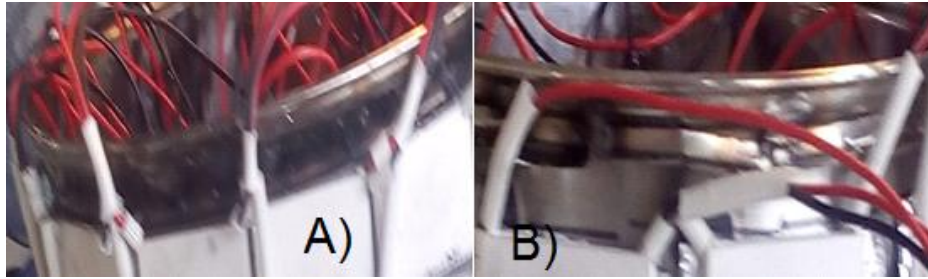
Esta olla fue diseñada de tal manera que por cara se tenga la capacidad de un módulo termoelectrico, se adhieren los módulos según la distribución seleccionada, se adhieren 30 módulos a las paredes de la olla como se visualiza en la Figura 11.



**Figura 11:** Módulos termoelectricos instalados en la olla pentadecágona

- **Instalación del aislante en los conductores**

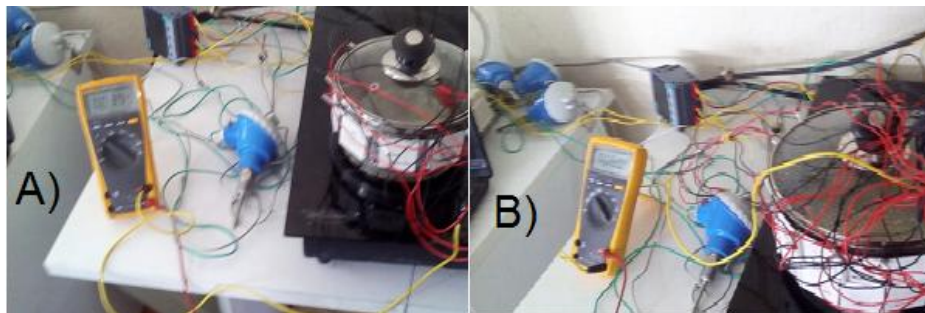
En medida de protección se coloca aislante térmico en los conductores, en el caso de la olla pentadecágona se coloca una red de conductores como se muestra en la Figura 12.A, en el caso de la olla redonda se coloca aislante en cada cable como se muestra en la Figura 12.B.



**Figura 12:** Instalación del aislante térmico A) Instalación del aislante térmico en la olla pentadecágona B) Instalación del aislante térmico en la olla pentadecágona

- **Conexión eléctrica**

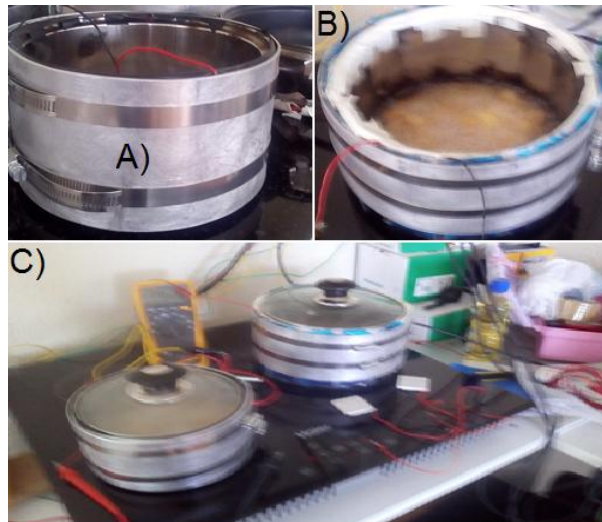
Se procede a conectar según el circuito seleccionado en la olla redonda (Figura 7) y pentadecágona (Figura 8), la conexión fue experimental obteniendo los mejores resultados con dichas conexiones como se observa en Figura 13, posteriormente se sueldan e ingresan los cables en el ducto.



**Figura 13:** Conexión eléctrica experimental A) Conexión eléctrica olla redonda B) Conexión eléctrica olla pentadecágona

- **Instalación del sistema de refrigeración y disipador de calor**

El sistema de refrigeración consta de un sustituto de hielo el cual asegura el salto térmico entre ambas caras e incrementa la generación de energía, para la instalación de este y asegurar su contacto íntimo con el módulo termoelectrico los módulos se recubren de láminas conductoras. En el caso del disipador de calor consta de un cinturón de aluminio que tiene la forma de la olla para mantenerlo fijo finalmente se ajusta con 2 juegos de abrazaderas por su dimensión, el conjunto terminado se muestra en la Figura 14.



**Figura 14:** Conjunto Terminado A) Olla redonda terminada B) Olla pentadecágona terminada

#### 2.4.6. Eficiencia térmica

La eficiencia térmica es obtenida a partir de la relación entre la potencia producida por el foco de la cocina y la potencia trasferida a la olla (Villacís et al., 2015), la cual se presenta en la ecuación [6].

$$\eta = \frac{(C_1M_1+C_2M_2+C_3M_3)*(t_0-t_\infty)}{(P*T)} * 100\% \quad [6]$$

Donde:

$C_1$  =Calor específico de la olla y tapa [kJ/kg°C]

$M_1$  = Masa de la olla y la tapa [kg]

$C_2$  = Calor específico de la olla [kJ/kg°C]

$M_2$  = Masa de la olla [kg]

$C_3$  = Calor específico de la tapa [kJ/kg°C]

$M_3$  = Masa de la tapa [kg]

$t_0$  =Temperatura inicial [°C]

$t_\infty$  = Temperatura Final [°C]

$P$  =Potencia [kw]

$T$  =Tiempo [s]

Con los datos de la Tabla 11 y la ecuación [6] se calcula la eficiencia térmica de las ollas redonda y pentadecágona, en condiciones estándar y con el uso del dispositivo.



En la Tabla 15 se presentan los resultados del cálculo de la eficiencia térmica en las ollas en condiciones estándar y utilizando el dispositivo.

**Tabla 11:** Parámetros de cálculo, para la eficiencia térmica de la olla en condiciones estándar y utilizando el dispositivo

Característica	Valor	Ollas
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	Olla Redonda
Masa de agua	3,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0,5 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	2,37 kg	
Calor específico de la tapa	0,876 kJ/kg°C	
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,2°C	
Temperatura final	224,2 °C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	231 s	
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	
Masa de agua	4,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0,5 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	5 kg	
Calor específico de la tapa	0.876 kJ/kg°C	
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,5°C	
Temperatura final	224,23°C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	303s	
Con dispositivo		
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	Olla Redonda
Masa de agua	3,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0.89 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	3,37 kg	
Calor específico de la tapa	0,876 kJ/kg°C	
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,2 °C	
Temperatura final	224,2°C	
Potencia eléctrica	1 080 W	Olla Pentadecágona
Tiempo	256 S	
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	
Masa de agua	4,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0,89 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	7,02 kg	
Calor específico de la tapa	0,87 kJ/kg°C	
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,5 °C	
Temperatura final	224,23 °C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	359 s	



### 2.4.7. Cálculo de la eficiencia del sistema

Para calcular la eficiencia del sistema, se utiliza las temperaturas de la pared de la olla y del refrigerante [7]

$$\eta = \frac{T_c - T_f}{T_c} * 100\% \quad [7]$$

Donde:

$\eta$  =Eficiencia del sistema

$t_c$  =Temperatura foco caliente [°C]

$t_f$  =Temperatura Foco frio [°C]

### 2.4.8. Pruebas de experimentación

Cada prueba debe ser realizada un mínimo de 4 veces, para compáralos entre sí, conseguir una media de los resultados y así obteniendo resultados verídicos y confiables.

- **Condiciones de trabajo**

Las condiciones de trabajo para los ensayos se especifican en la Tabla 12.(instituto ecuatoriano de normalización, 2010)

Tabla 12: Condiciones de prueba para ensayos

Característica	Descripción
Temperatura ambiente	20°C(±10°C)
Humedad	56% (±6%)
Presión atmosférica	546,44 mmHg
Voltaje	220 V(±2V)
Frecuencia	60 Hz(±1Hz)
Fluido de prueba 1	Agua
Fluido de prueba 2	Aceite
Temperatura inicial de la olla	20°C (± 2)
<b>Orden del ensayo para fluidos</b>	
<b>Olla redonda</b>	
Primer ensayo	1 litro de agua
Segundo ensayo	½ litro de agua
Tercer ensayo	¼ de litro de agua
Cuarto ensayo	¼ de litro de aceite
Quinto ensayo	½ litro de aceite
Sexto ensayo	1 litro de aceite
<b>Olla Pentadecágona</b>	
Primer ensayo	3 litro de agua
Segundo ensayo	1 ½ litro de agua
Tercer ensayo	½ de litro de agua
Cuarto ensayo	½ de litro de aceite
Quinto ensayo	1 ½ litro de aceite

**Tabla 12:** Condiciones de prueba para ensayos (*continuación*)

<b>Sexto ensayo</b>	3 litro de aceite
<b>Condiciones de prueba para configuración de módulos termoeléctricos</b>	
<b>Condición 1</b>	Circuito serie
<b>Condición 2</b>	Circuito paralelo
<b>Condición 3</b>	Circuito mixto 1
<b>Condición 4</b>	Circuito mixto 2

- **Pruebas para la olla y la cocina en condiciones estándar.**

El objetivo de esta prueba es el calcular la eficiencia térmica de la olla y el consumo de la cocina para proceder a comparar con pruebas con el dispositivo montado; las condiciones se detallan en la Tabla 12; También la cocina debe encontrarse a temperatura ambiente entre 2-8 horas, colocar 4 termocuplas la primera en el fondo ( $T_f$ ) la segunda en la mitad ( $T_m$ ), la tercera en el borde superior ( $T_s$ ) y la cuarta la temperatura atmosférica ( $T_a$ ); en la prueba de cocción se ha tomado en cuenta dos recetas de platos comunes de preparación en los hogares ecuatorianos como son la sopa de fideo y fritura profunda de papas (Villacís et al., 2015).

- **Pruebas para la configuración eléctrica de los módulos termoeléctricos**

El objetivo es determinar la configuración con la cual se obtiene mejores resultados en función del calor disipado; las condiciones se detallan en la Tabla 12, además de las curvas de rendimiento para los arreglos, para esta prueba los módulos termoeléctricos ya deben estar instalados a la olla, se deben asociar en las diferentes configuraciones propuestas.

- **Pruebas para olla con el dispositivo**

El objetivo de la prueba es calcular y comparar la eficiencia térmica del sistema con el dispositivo y en condiciones iniciales; las condiciones se detallan en la Tabla 12; además de las condiciones para la olla en condiciones iniciales.

### **3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS**

Para validar los datos se repite cada ensayo un mínimo de 4 veces, para compáralos entre sí, conseguir una media de los resultados y así obteniendo resultados verídicos y confiables.

### 3.1. Resultados del Medio Térmico

Como se observa en la Tabla 13, la transferencia de calor en el módulo termoeléctrico se realiza por conducción en las dos ollas, el calor responde a la carga térmica del sistema.

**Tabla 13:** Resultados del medio térmico

opini	Característica	Valor	olla
AGUA	Numero de Rayleigh	$37,43 * 10^{-3}$	Olla Redonda
	Numero de Nusselt	1,05	
	Coeficiente global de transferencia de calor h	$142,21 \text{ W/m}^2 * \text{K}$	
	Calor para agua	0,023 W	
	Temperatura media de la olla	70°C	
AIRE	Numero de Rayleigh	6.63	
	Numero de Nusselt	1,69	
	Coeficiente global de transferencia de calor h	$8,87 \text{ W/m}^2 * \text{°K}$	
	Calor para aire	0,0409 W	
	Temperatura media de la olla	70°C	
AGUA	Numero de Rayleigh	$37,43 * 10^{-3}$	Olla Pentadecágona
	Numero de Nusselt	1,05	
	Coeficiente global de transferencia de calor h	$142,21 \text{ W/m}^2 * \text{K}$	
	Calor para agua	0,023 W	
	Temperatura media de la olla	70 °C	
AIRE	Numero de Rayleigh	6,63	
	Numero de Nusselt	1,69	
	Coeficiente global de transferencia de calor h	$8,87 \text{ W/m}^2 * \text{°K}$	
	Calor para aire	0,0409 W	
	Temperatura media de la olla	70 °C	

Los resultados de la tabla 13 se utilizaran en la plataforma del fabricante de los módulos termoeléctricos.

### 3.2. Pruebas para la configuración de las células de peltier

Con el dispositivo instalado en la olla se procede a tomar valores de generación de energía según los circuitos propuestos en la etapa de diseño, este ensayo se lo realiza sin refrigerante obteniendo un salto térmico de

25.6 °C en cada olla; los resultados se muestran en la Tabla 14 los valores son de producción instantánea.

**Tabla 14:** Resultados configuración eléctrica

Característica	F.E.M (V)	Intensidad (A)	Energía por segundo (W(J))
<b>Olla Redonda</b>			
<b>Conexión serie</b>	0.9	0.001	0.009
<b>Conexión paralelo</b>	0.1	0.009	0.009
<b>Conexión Mixta</b>	0.5	1.714	0.857
<b>Conexión Mixta 2</b>	0.6	2.000	1.200
<b>Olla Pentadecágona</b>			
<b>Conexión serie</b>	3.0	0.01	0.030
<b>Conexión paralelo</b>	0.1	0.09	0.009
<b>Conexión Mixta</b>	1.0	1.714	1.714
<b>Conexión Mixta 2</b>	1.5	2.000	3.000

*Nota:* las medidas de voltaje y corriente para estos cálculos fueron tomadas a la salida del dispositivo termoeléctrico

En base a los valores obtenidos en la tabla 14 se determina que la configuración eléctrica más eficiente es el circuito mixto 2 (Figura 3 y 4) de las cuales se obtuvieron los valores más altos así evidenciando mejores resultados en el aprovechamiento del calor residual.

### 3.3. Resultado De La Eficiencia Térmica

El valor de la eficiencia térmica del sistema depende directamente de la masa de la olla. Como se observa en la Tabla 15, en el caso de la geometría redonda la eficiencia térmica se reduce en un 0,61 %, y en la olla pentadecágona disminuye un 0,67 %, debido al peso de cada olla por la diferencia en el número de los módulos termoeléctricos implementados.

Esto se debe a que a la olla se instalo el dispositivo y esto implica una carga térmica extra y para alcanzar el equilibrio térmico necesita más tiempo, en promedio la olla con el dispositivo instalado se demora de 2 hasta 5 segundos más de cocción.

**Tabla 15:** Resultados del cálculo de la eficiencia térmica

Característica	Valor	Condición
<b>Eficiencia térmica olla redonda</b>	83 %	<b>Sin Dispositivo</b>
<b>Eficiencia térmica olla pentadecágona</b>	83,52%	

**Tabla 15:** Resultados del cálculo de la eficiencia térmica (*continuación*)

<b>Eficiencia térmica olla redonda</b>	82,39 %	<b>Con Dispositivo</b>
<b>Eficiencia térmica olla pentadecágona</b>	82,85%	

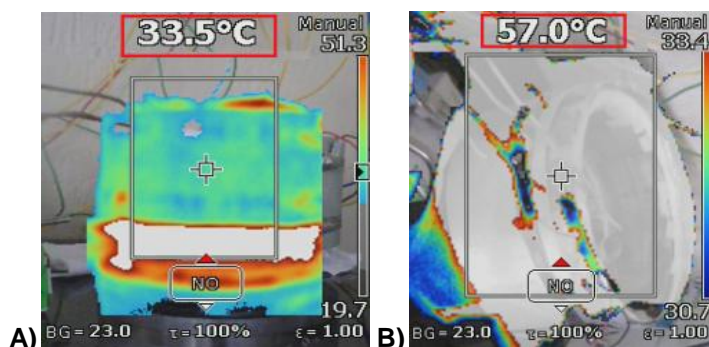
### **3.4. Resultado de la Eficiencia Térmica del Sistema**

El valor de eficiencia térmica del sistema es de 93,5%, el 6,5 % restante se pierde en la transferencia de calor para los distintos elementos que comprenden el sistema, como es el caso de la placa vitrocerámica calculado mediante la ecuación [7]. Este valor de eficiencia es similar en ambas ollas, por lo que la eficiencia térmica del sistema depende directamente de la temperatura alcanzada.

### **3.5. Resultados de Generación de Energía en las Ollas y Preparaciones Domésticas**

Para la presente investigación, se implementó dos recetas de platos comunes de preparación en los hogares ecuatorianos, los mismos que también se emplearon dentro del estudio de eficiencia energética realizado por el INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables) en conjunto con la Universidad Salesiana (Villacís et al., 2015). En una sopa de fideo se obtiene un salto térmico de 45 °C, mientras que realizando fritura profunda de papas el salto térmico está entre 130°C y 222°C.

En la Figura 15A se puede visualizar que la temperatura en el exterior de la olla es de 33,5 °C con agua a temperatura de ebullición, pero la temperatura de la olla alcanzara la temperatura del fluido en poco tiempo. Por esta razón, es necesario usar un refrigerante para asegurar el salto térmico, como se observa en la Figura 15.B en donde se está utilizando un sustituto de hielo como sistema de refrigeración.



**Figura 15:** Resultados en temperatura A) Dispositivo sin refrigerante B) Dispositivo Con refrigerante

En la Tabla 16 se muestra la energía generada en kJ, calculada a partir del voltaje y corriente obtenidos en los distintos ensayos. Para el cálculo de la energía, se toma en cuenta los diferentes tiempos de cocción, en el caso del agua se consideran 600 segundos de cocción, de los cuales se tienen 420 segundos de generación de energía; para el caso del aceite se considera 660 segundos de cocción, de los cuales se obtienen 390 segundos de generación energética.

**Tabla 16:** Resultados de generación en sopa de fideo y en fritura profunda

fluido	Generación	Voltage (v)	Corriente (A)	Energía (kJ)	Olla
Agua	Diaría	1	0,25	0,315	Olla Redonda
	Mensual	1	0,25	9,45	
	Anual	1	0,25	114,975	
	Diaría	2	1	2,76	Olla Pentadecágona
	Mensual	2	1	82,8	
	Anual	2	1	1 007,4	
Aceite	Diaría	4	0,75	3.375	Olla Redonda
	Mensual	4	0,75	101.25	
	Anual	4	0,75	1231.875	
	Diaría	5	1,5	8.91	Olla Pentadecágona
	Mensual	5	1,5	294.03	
	Anual	5	1,5	3252.15	

*Nota: los valores calculados 1260 y 1170 Segundos correspondientes aun día de cocción*

La Figura 16 muestra que al alcanzar la temperatura de ebullición la generación de energía es estable y aprovechable, caso similar sucede en la

Figura 17 donde se emplea aceite; se resaltan las zonas de energía aprovechable para las ollas redonda y pentadecágona.

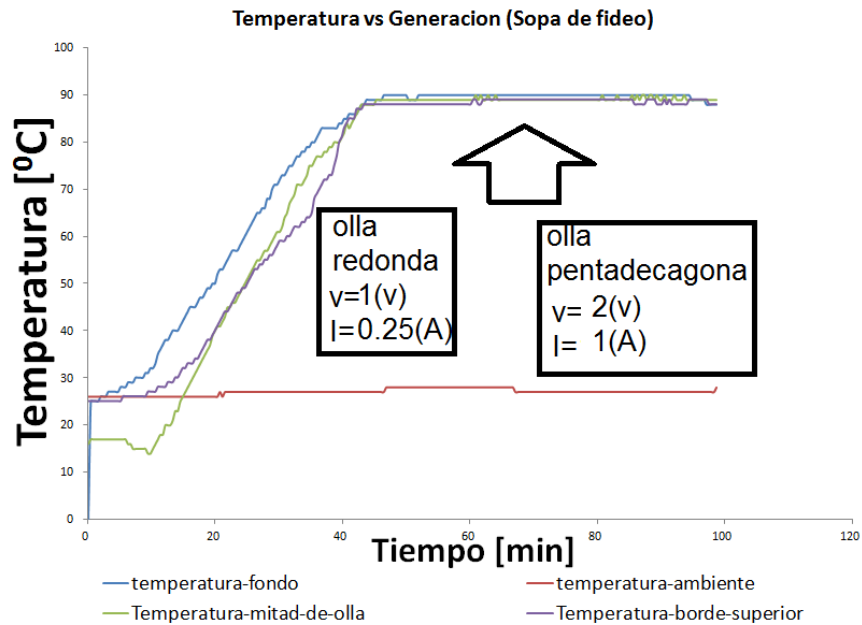


Figura 16: Resultados en temperatura de la generación de energía en sopa de fideo

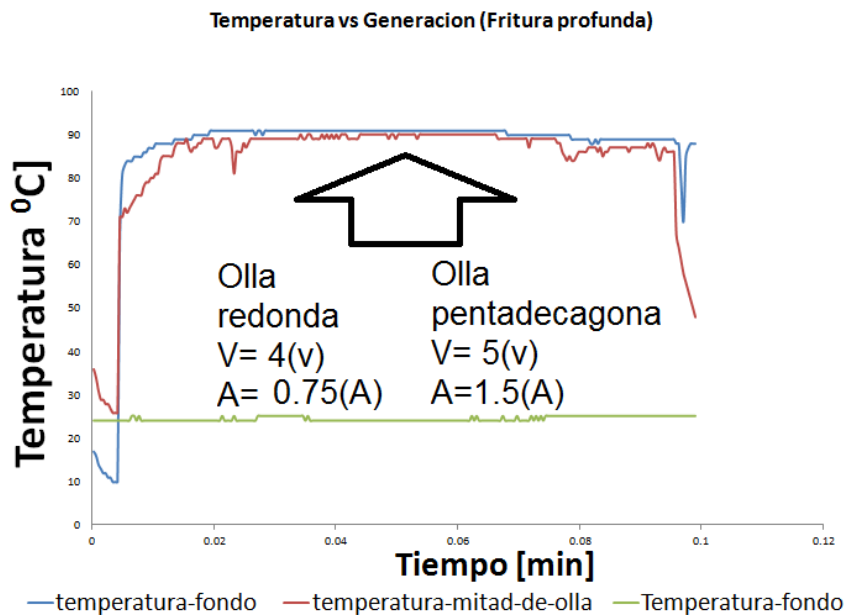


Figura 17: Resultados en temperatura de la generación de energía en fritura profunda

### 3.6. Eficiencia energética en el consumo

Para verificar la eficiencia del dispositivo se compara el consumo de energía en el sistema en condiciones estándar y con el dispositivo. El análisis del consumo se lo realiza tomando en cuenta un solo foco de cocción con



potencia máxima de 1080W. La Tabla 17 muestra el consumo de energía de la cocina frente a la energía generada por el dispositivo.

**Tabla 17:** Generación vs Consumo

Condición	Característica	Energía generada (kJ)	Energía consumida sin el dispositivo (kJ)	Energía consumida Con el dispositivo (kJ)	Olla
Agua	Diaria	0,315	5,40	5,62	Olla Redonda
	Mensual	9,45	167,40	174,10	
	Anual	114,975	1 971,00	2 049,84	
	Diaria	2,76	7,20	7,40	Olla Pentadecágona
	Mensual	82,8	223,08	229,45	
	Anual	1 007,4	2 626,54	2 701,58	
Aceite	Diaria	3.375	10,80	11,016	Olla Redonda
	Mensual	101.25	334,80	341,49	
	Anual	1231.875	3 942,	4 020,84	
	Diaria	8.91	13,36	13,56	Olla Pentadecágona
	Mensual	294.03	414,28	420,65	
	Anual	3252.15	4 877,86	4 952,90	

*Nota:* las medidas de voltaje y corriente para estos cálculos fueron tomadas a la salida del dispositivo termoeléctrico

Como se evidencia en los resultados obtenidos en la tabla 17 se consume entre el 21% y 30% de energía extra, a pesar de esta diferencia la energía generada es mayor a la generada en un 57.7%.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CONCLUSIONES**

- En el presente proyecto se ha analizado el empleo del dispositivo termoeléctrico en dos tipos de ollas, demostrando que existe la posibilidad de escalabilidad y adaptabilidad a cualquier tipo de olla, teniendo en cuenta la forma del módulo termoeléctrico y forma de olla.
- Se demuestra que el uso del dispositivo termoeléctrico incrementa la eficiencia de la cocina de inducción en un 93.5%, a pesar de consumir entre el 21% y 30% más de energía en la cocción, la diferencia de energía en el consumo es menor que la energía generada por el dispositivo.
- Para un mejor funcionamiento y mayor obtención de energía con el dispositivo termoeléctrico, es necesario el uso del sustituto de hielo como refrigerante el cual aporta al sistema con una eficiencia del 57.7% por milivoltio producido.

## **RECOMENDACIONES**

- Debido a que en un inicio se tenía problemas con las fugas y las soldas en la olla pentadecágona se recomienda que la olla sea un solo cuerpo.
- En el caso del dispositivo se recomienda el diseño de un módulo termoeléctrico con la forma de la olla para su posterior manufactura de esta manera se maximiza la eficiencia del módulo termoeléctrico
- Para mejores resultados utilizar un sistema de refrigeración que aumente el salto térmico asegurando la menor temperatura posible en la cara caliente independiente de la temperatura de la cara fría.
- Se recomienda tener cuidado cuando se lleva al módulo termoeléctrico a un salto térmico menor a 0.5 ya que se destruye el módulo.
- Para futuros trabajos se recomienda hacer uso de un acumulador de energía, el cual sea abastecido por la energía extraída de un dispositivo termoeléctrico implementado en una olla para cocina de inducción.

## BIBLIOGRAFIA

- ansys. (2015a). Ansys Cfx. Retrieved From <https://www.hlrn.de/home/view/system/cfx>
- Ansys. (2015b). Ansys Mechanical Apdl Thermal Analysis Guide. *Analysis*.
- Ari, N., & Kribus, A. (2010). Impact Of The Peltier Effect On Concentrating Photovoltaic Cells. *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 94(12), 2446–2450.  
<http://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.08.015>
- Blancarte., W. (2011). *Efecto Peltier*. Wilfredo Blancarte Lizárraga.
- Carlos, T., & Freire, P. (2014). *Termoelectricidad . Aplicación De Las Placas Peltier A La Generación De Energía Eléctrica En Plataformas*.
- Carlos Ramos. (2012). Mecanismos De Tránsito De Calor. In *Transferencia De Calor* (Pp. 407–427).
- Guerra, L., Mill, I., & Iii, C. (2011). *Refrigeración De Vacunas Mediante Una Máquina Frigorífica Por Efecto Peltier*. Universidad Politécnica Carlos Iii De Madrid.
- Instituto Ecuatoriano De Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 2 567:2010 (2010).
- John, T. S. (2014). High Efficient Seebeck Thermoelectric Device For Power System Design And Efficiency Calculation : A Review Of Potential Household Appliances, 97(18), 37–42.
- Kahan, S. (2012). *Transferencia De Calor*.
- Llamas, P. (2009). *Eficiencia Energética* (Vol. I).
- Mannella, G. A., La Carrubba, V., & Brucato, V. (2014). Peltier Cells As Temperature Control Elements: Experimental Characterization And Modeling. *Applied Thermal Engineering*, 63(1), 234–245.  
<http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.10.069>
- Melcor. Especificaciones Melcor De Celdas Peltier Parte I (2015).
- Ministerio De Electricidad Y Energía Renovable. Programa De Eficiencia Energética Para Cocción Por Inducción Y Calentamiento De

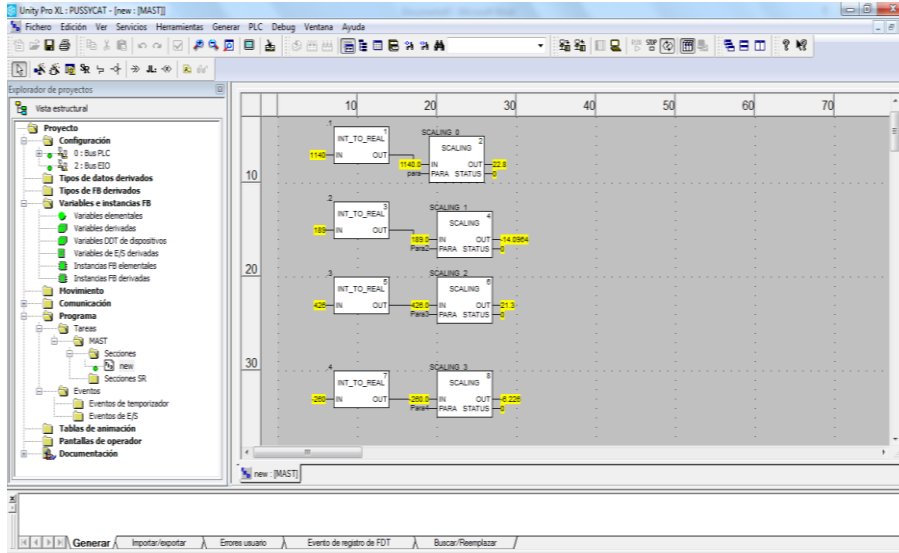
Agua Con Electricidad En Sustitución Del Gas Licuado De Petróleo (Glp) En El Sector Residencial (2015).

- Najafi, H., & Woodbury, K. A. (2013). Optimization Of A Cooling System Based On Peltier Effect For Photovoltaic Cells. *Solar Energy*, 91, 152–160. [Http://Doi.Org/10.1016/J.Solener.2013.01.026](http://doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.026)
- Piantanida, P. (2015). Pv & Peltier Façade : Preliminary Experimental Results. *Energy Procedia*, 78, 3477–3482. [Http://Doi.Org/10.1016/J.Egypro.2015.11.337](http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.337)
- Rocío Herranz Pindado. (2011). *Climatización Mediante Células Peltier*.
- Rodriguez, J. (2013). *El Problema De La Energía. El Problema La Energía*.
- Solís, M. (2013). *Diseño De Paneles Generadores De Electricidad Por Efecto Seebeck Modalidad: Trabajo De Grado De Pregrado-*.
- Valdés, Barros, V. (2012). “ *Cogeneración Mediante Efecto Seebeck , Peltier Y Tompson : Un Nuevo Reto “* .
- Villacís, S., Martínez, J., Riofrío, A. J., Carrión, D. F., Orozco, M. A., & Vaca, D. (2015). *Energy Efficiency Analysis Of Different Materials For Cookware Commonly Used In Induction Cookers. Energy Procedia* (Vol. 75). Elsevier B.V. [Http://Doi.Org/10.1016/J.Egypro.2015.07.252](http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.252)
- Yi, L. (2014). Comportamiento Termico De Cerramientos Soldado. In *Posesos Fisicos De Trasferencia De Calor* (P. 26).

**ANEXOS**

# ANEXO I

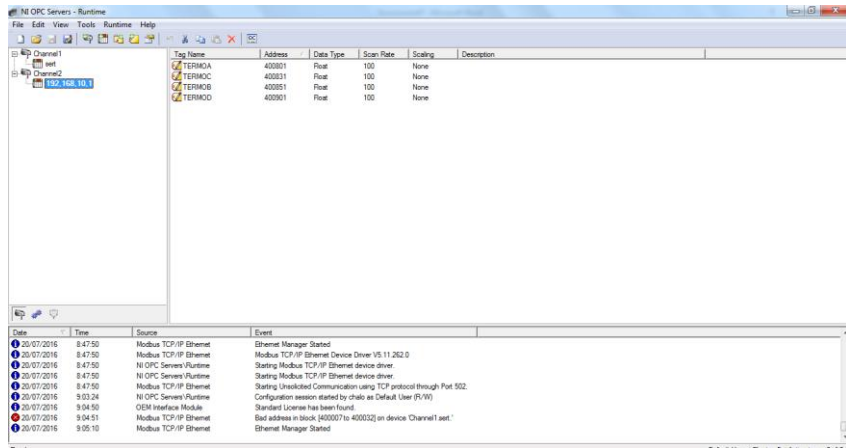
## PROGRAMA DEL PLC PARA ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA



# ANEXO II

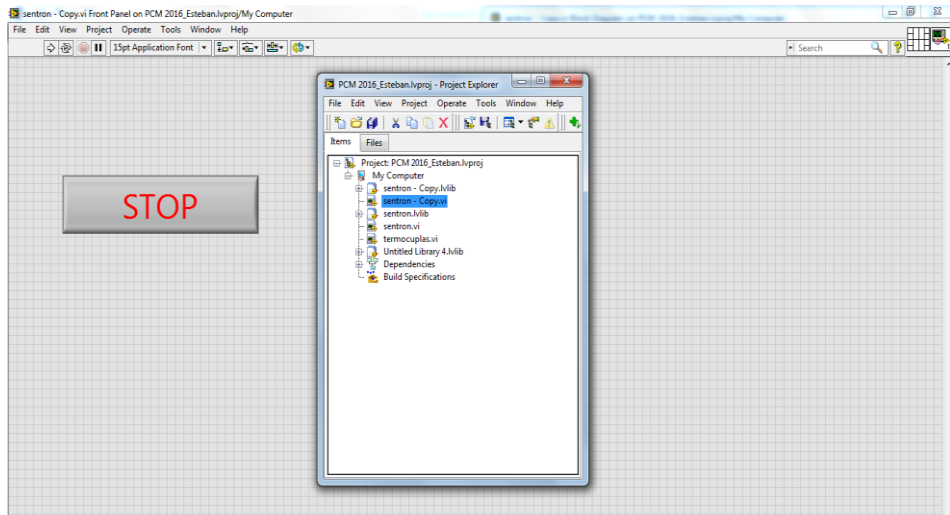
## CREACION DEL OPC SERVER PARA ADQUISICION DE DATOS

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
Voltagea	400006	Float	100	None	
vddv	400007	Float	100	None	
Voltageab	400009	Float	100	None	
VoltageVoa	400011	Float	100	None	
Current a	400014	Float	100	None	
Current b	400015	Float	100	None	
Current c	400017	Float	100	None	
Apparent A	400020	Float	100	None	Power
Apparent B	400022	Float	100	None	power
Apparent C	400024	Float	100	None	Power
Active a	400025	Float	100	None	power
Active b	400027	Float	100	None	power
Active C	400029	Float	100	None	Power
Reactive a	400031	Float	100	None	power
Reactive b	400034	Float	100	None	power
Reactive c	400036	Float	100	None	power
Power a	400037	Float	100	None	factor
Power b	400039	Float	100	None	factor
Power c	400041	Float	100	None	factor
THDR Voltage a	400043	Float	100	None	
THDR voltage b	400045	Float	100	None	
THDR Voltage c	400047	Float	100	None	
THDR current a	400049	Float	100	None	
THDR current b	400051	Float	100	None	
THDR current c	400053	Float	100	None	
Frequency	400055	Float	100	None	
Average Voltage vphn	400057	Float	100	None	
Average voltage piph	400059	Float	100	None	
Average current	400062	Float	100	None	
Total Apparent	400063	Float	100	None	power
Total Active	400066	Float	100	None	power
Total reactive	400068	Float	100	None	
Total power	400070	Float	100	None	factor
Amplitude Unbalance	400072	Float	100	None	voltage
Amplitude Unbalanced	400074	Float	100	None	current



### ANEXO III

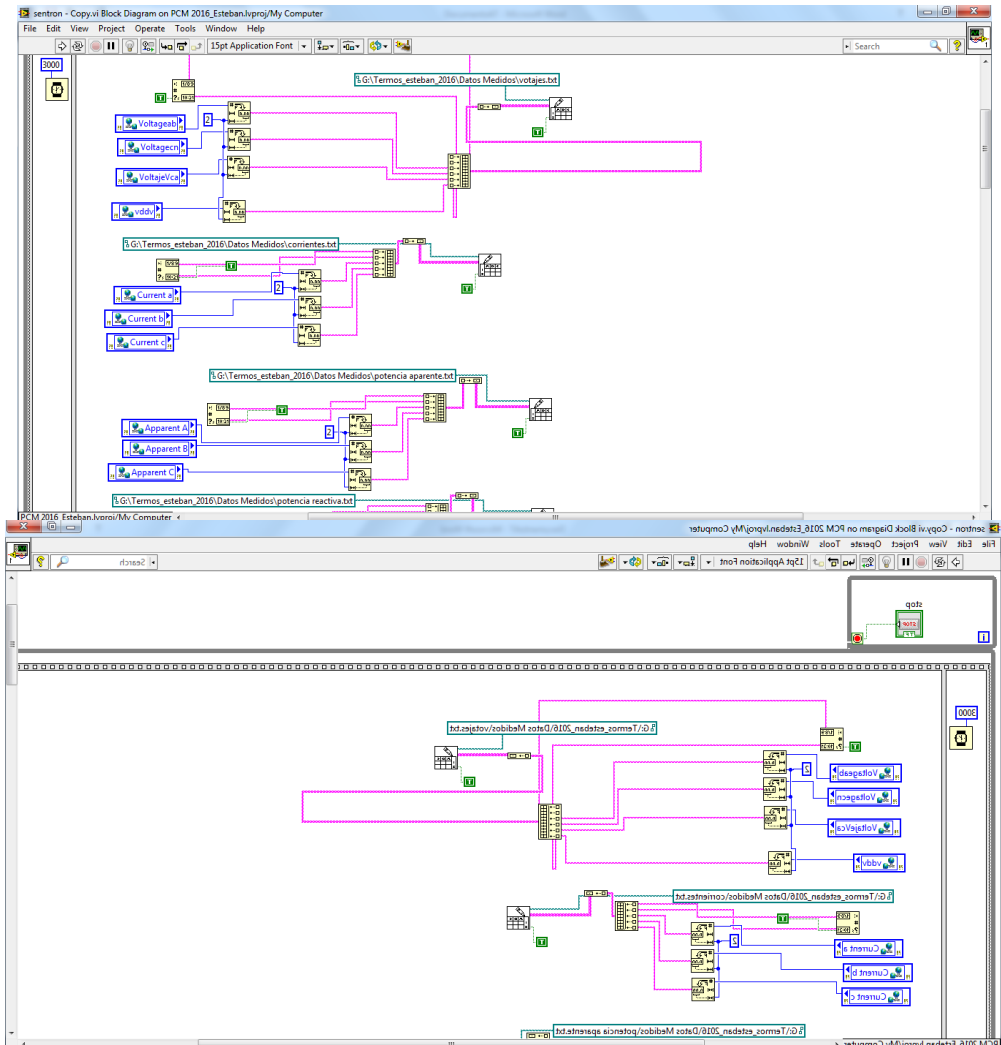
## PLATAFORMA LABVIEW PARA ADQUICION DE DATOS

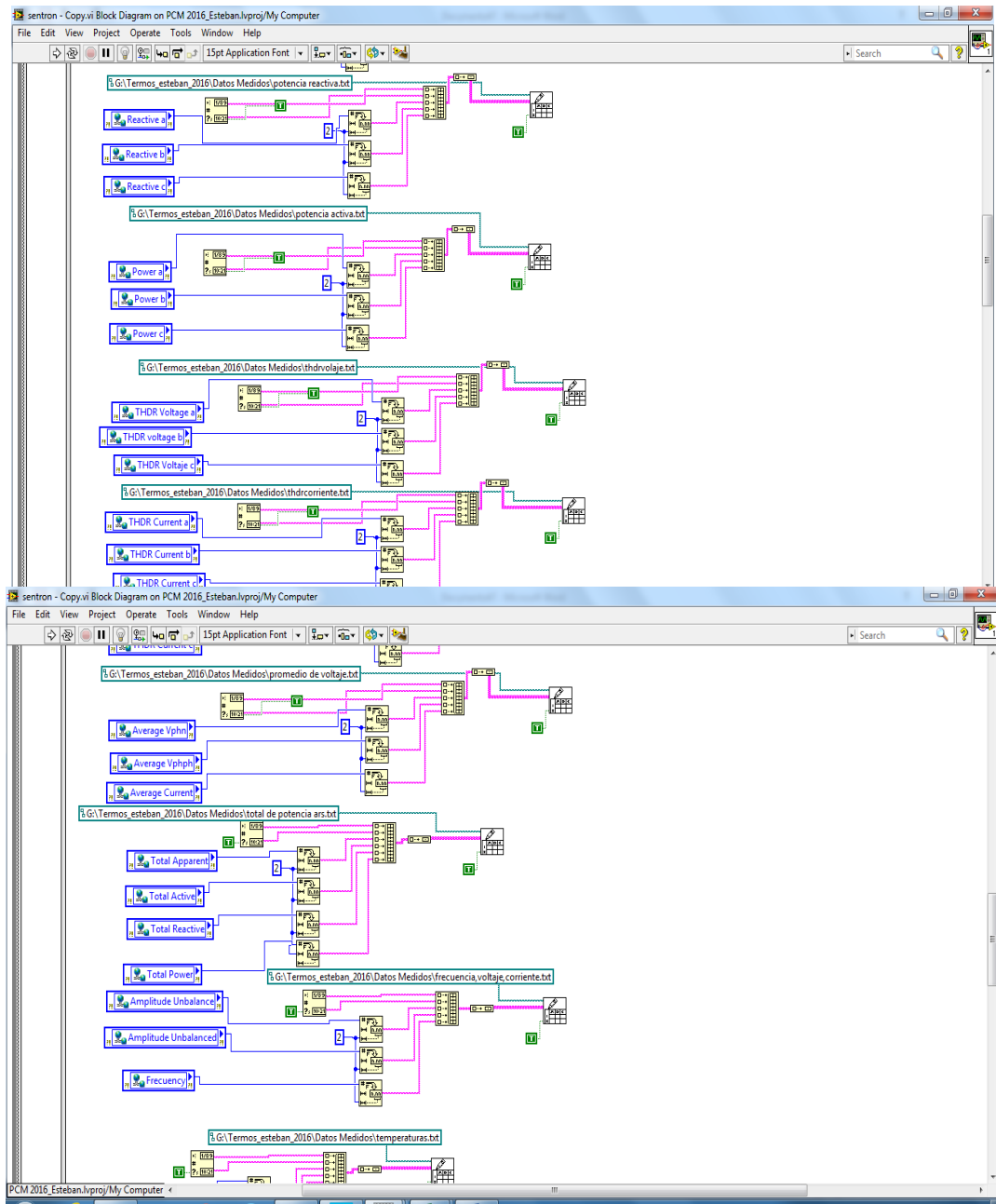


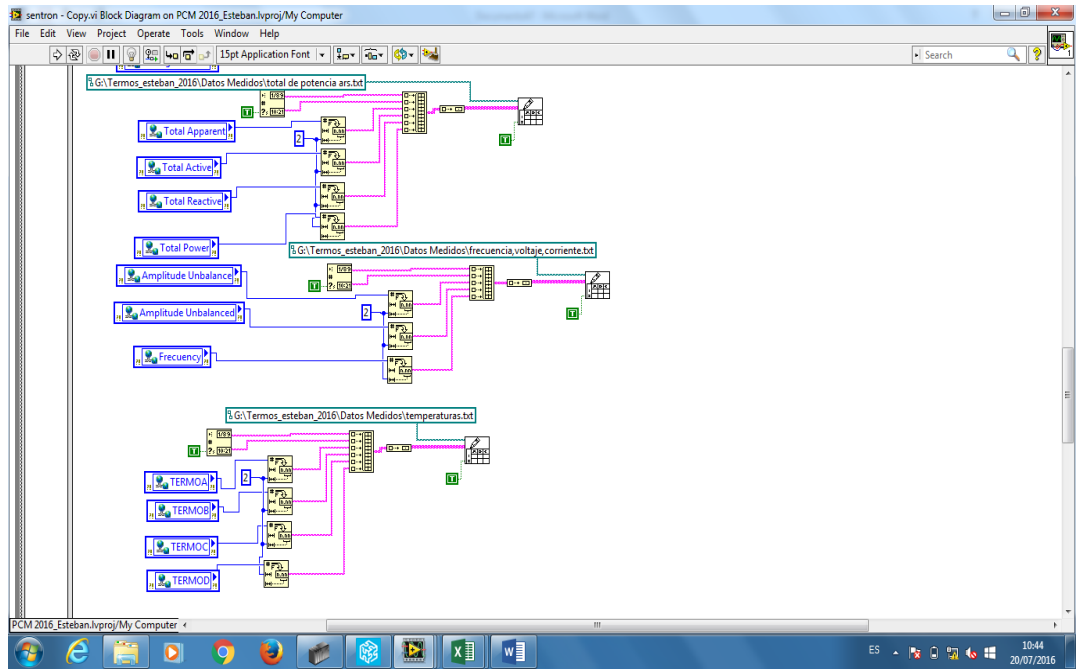


## ANEXO IV

### CODIGO LABVIEW PARA ADQUICION DE DATOS







# DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO TERMoeLECTRICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE CALOR RESIDUAL EN LAS OLLAS DE UNA COCINA DE INDUCCION.

G. Guerrón<sup>1</sup> N.Cerda<sup>2</sup> D. Rodriguez<sup>1</sup>

1, Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER

E-mail: gonzalo.guerron@iner.gob.ec, dario.rodriguez@iner.gob.ec

<sup>2</sup>, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ingeniería en Mecatrónica, Quito, Ecuador

E-mail: cgns84972@ute.edu.ec

## Resumen

El calor residual producto de la cocción con ollas de inducción para micro generación, mediante el uso de células Peltier como módulos termoelectrónicos es analizado en este trabajo. El comportamiento de las ollas de inducción se lo analizó a través de los datos de temperatura generados a partir de termocuplas instaladas en la base de la olla y en los fluidos alojados dentro de la olla. El dispositivo propuesto, emplea el efecto termoelectrónico, mediante el cual se transforma el calor residual en energía eléctrica debido a la diferencia de temperatura que existe entre el módulo y la olla, donde se utilizaron cuatro configuraciones de los módulos para analizar la eficiencia de cada arreglo. Para obtener un máximo aprovechamiento del calor disipado por las ollas, se debe asociar los módulos termoelectrónicos según la distribución del calor en la olla, por esa razón se modifica la geometría de una olla redonda a una de 15 caras. En la configuración eléctrica se emplea un circuito mixto, debido a que se obtuvo mejores resultados en la obtención de energía. La micro generación de energía eléctrica a través de los módulos termoelectrónicos depende de la diferencia de temperatura que existe entre las dos caras del módulo, por esta razón se construyó un sistema de refrigeración mediante un material de cambio de fase, el mismo que garantiza la máxima generación de energía. El principal aporte del presente trabajo es el incremento de la eficiencia energética de la cocina de inducción mediante el aprovechamiento del calor disipado de las ollas.

*Palabras Clave: Calor Residual, Efecto termoelectrónico, Eficiencia energética, Micro generación, Cocinas de inducción.*

## Abstract

The residual heat by cooking in induction pots for micro generation, using thermoelectric modules as Peltier cells is showing in this work. The behavior of the induction pots was analyzed through the temperature data generated from thermocouples installed at the base of the pot and in the fluids inside the pot housed. The proposed device, uses the thermoelectric effect, whereby waste heat into electrical energy is transformed due to the temperature difference between the module and the pot, where four module configurations were used to analyze the effectiveness of each arrangement. For maximum utilization of the residual heat by the induction pots must be associated with thermoelectric modules, according to the distribution of heat in the pot, for that reason the geometry rounded pot is changed to 15 faces. In the electrical configuration is employing a mixed circuit, because best results were obtained. The micro power through the thermoelectric modules depends on the temperature difference between the two faces of the module, for this reason, a cooling system is constructed by a phase change material ensuring maximum power generation. The main contribution of this work is to increase the energy efficiency of induction cooking by utilizing the waste heat from the pots of an induction cooker.

*Index terms: Waste Heat, Thermoelectric Effect, Energy Efficiency, Micro Generation, Induction Cookers.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las grandes problemáticas a nivel mundial es la reducción del consumo energético, sin afectar el nivel de confort (Llamas, 2009). Según *Rodríguez et al.*, el 60 % de la energía primaria consumida a nivel mundial se disipa en forma de calor (Rodríguez, 2013). En el caso de la cocción de alimentos y específicamente en las cocinas de inducción, se desperdicia aproximadamente entre el 15 % y 40 % de toda la energía utilizada en forma de calor disipado (Villacís et al., 2015).

Estudios de aprovechamiento del calor disipado por el menaje de cocina no tienen relevancia, y tampoco son de interés en el campo de la termoelectricidad. Estudios sobresalientes que se pueden mencionar en el ámbito doméstico se han realizado en la industria de la construcción, en un caso en concreto se propone el uso de una fachada de módulos termoeléctricos con el fin de aprovechar el calentamiento de la superficie y convertir esta energía térmica en energía eléctrica para utilizarla dentro de la vivienda. (John, 2014; Mannella et al., 2014; Najafi & Woodbury, 2013; Piantanida, 2015; Rocío Herranz Pindado, 2011; Solís, 2013; Valdés, Barros, 2012).

La presente investigación propone un sistema de aprovechamiento de calor residual, aplicando el efecto termoeléctrico (efecto Seebeck, efecto Peltier, efecto Thompson), mediante el uso de módulos termoeléctricos.

En el caso del efecto Seebeck se genera una diferencia de potencial, partiendo de la diferencia de temperatura que existe entre el uso de dos conductores en un mismo punto; a diferencia de su efecto complementario, el efecto Peltier propone generar una diferencia de temperatura si se aplica una diferencia de potencial; el efecto Thompson solo se refiere al comportamiento del calor sobre los materiales que intervienen en el sistema. (Ari & Kribus, 2010; Carlos & Freire, 2014; Guerra et al., 2011; Melcor, 2015).

Los módulos termoeléctricos se caracterizan por estar compuestos de materiales semiconductores tipo N y tipo P, conectados térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie, cuando se polariza el material tipo N de forma positiva y el tipo P de forma negativa, se genera calor en una cara y frío en la otra, si se realiza una polarización inversa, la cara que genera calor esta vez pierde energía. En el presente proyecto se utilizarán estos módulos aplicados a la absorción del calor residual de las ollas (Blancarte., 2011); su vida útil promedio utilizado de forma continua a 340°C y con un salto térmico mayor a 0,5°C es de 100 000 horas. (Melcor, 2015).

Este estudio está organizado de la siguiente manera: En primer lugar, se presenta la forma de la olla donde

se justifica la razón de la geometría y los resultados a esperarse, como el cálculo del medio térmico para la selección de los componentes. Posteriormente se explica la instalación del dispositivo en las paredes de la olla y la configuración de los módulos termoeléctricos. Finalmente, se detallan los resultados y conclusiones.

## 2. EQUIPOS Y MATERIALES

### 2.1. Equipos

Los equipos utilizados en este estudio comprenden el uso de 4 termocuplas tipo K, las cuales están conectadas a un PLC que actúa como tarjeta de adquisición de datos, necesaria para generar la información de temperatura; se emplea una PC para el tratamiento de los datos obtenidos y simulación con la ayuda del software ANSYS (Ansys, 2015a, 2015b); un analizador de red eléctrica con el cual se obtuvo datos para el cálculo de la eficiencia térmica, un pirómetro para corroborar los datos obtenidos de las termocuplas, una cámara termográfica para visualizar el cambio de la temperatura, un multímetro mediante el cual se mide la cantidad de energía eléctrica generada por el dispositivo, balanza digital, cocina de inducción y ollas que pertenecen al menaje entregado en el “Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en Sustitución del Gas Licuado de Petróleo en el Sector Residencial” (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2015).

### 2.2. Materiales

Los principales componentes de esta investigación son: módulos termoeléctricos, silicón térmico para mejorar la adherencia sin interferir en la transferencia de calor con las paredes de la olla, láminas conductoras de calor para rellenar espacios, disipador de calor de aluminio y un sustituto de hielo como refrigerante empacado en arreglos de 8 cojines.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Condiciones de Trabajo

Las condiciones de trabajo para los ensayos se especifican en la tabla 1.

**Tabla 1: Condiciones de prueba para ensayos**

Característica	Descripción
Temperatura ambiente	20°C (±10°C)
Humedad	56% (±6%)
Presión atmosférica	546,44 mmHg
Voltaje	220 V (±2V)
Frecuencia	60 Hz (±0Hz)
Fluido de prueba 1	Agua
Fluido de prueba 2	Aceite
Temperatura inicial de la olla	20°C (± m)

Orden del ensayo para fluidos	
<b>Olla redonda</b>	
Primer ensayo	1 litro de agua
Segundo ensayo	½ litro de agua
Tercer ensayo	¼ de litro de agua
Cuarto ensayo	¼ de litro de aceite
Quinto ensayo	½ litro de aceite
Sexto ensayo	1 litro de aceite
<b>Olla Pentadecágona</b>	
Primer ensayo	3 litro de agua
Segundo ensayo	1 ½ litro de agua
Tercer ensayo	½ de litro de agua
Cuarto ensayo	½ de litro de aceite
Quinto ensayo	1 ½ litro de aceite
Sexto ensayo	3 litro de aceite
<b>Condiciones de prueba para configuración de módulos termoeléctricos</b>	
Condición 1	Circuito serie
Condición 2	Circuito paralelo
Condición 3	Circuito mixto 1
Condición 4	Circuito mixto 2

**3.2. Estudio del Comportamiento del Calor y Selección de la Geometría de la Olla**

El estudio del comportamiento del calor permite visualizar la forma de la distribución de la energía residual en la pared de la olla, para esto se realizan simulaciones con la ayuda del software ANSYS y sus paquetes CFX y térmico transitivo[16], (Ansys, 2015a), se detalla las condiciones en la tabla 2.

**Tabla 2: Condiciones para la simulación en el software Ansys**

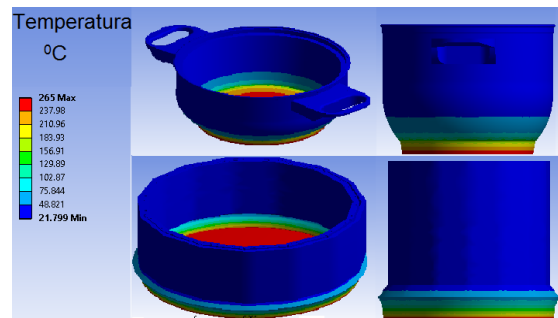
Referencia	Valor
Mallado	Jacobino
Material	Acero inoxidable AISI 304
Temperatura en la base	260 °C
Convección	331 °C/mm <sup>2</sup>
Encapsulado	Caja

Debido a la incompatibilidad geométrica entre la olla del menaje y el módulo termoeléctrico clásico, se estudia el comportamiento del calor en las paredes de la olla y se identifica la geometría óptima que permita la máxima absorción de calor, tomando en cuenta la forma de los módulos termoeléctricos que son de 40 mm de alto y ancho (Melcor, 2015), sin afectar las dimensiones especificadas de la olla, las cuales se encuentran en el Reglamento Técnico Ecuatoriano NTE-INEN-2567 (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2010).

Se realiza la simulación en una olla redonda y en una olla modificada debido a que existe incompatibilidad geométrica entre la olla redonda y el módulo termoeléctrico; se propone una olla pentadecágona (figura 1) en la cual la distribución de calor es similar al de la olla redonda y mantiene una buena superficie radiante, logrando la adaptabilidad de la tapa y facilidad de limpieza. Por estas razones se escoge la

olla pentadecágona para el estudio de aprovechamiento de calor residual.

En base a los resultados del estudio, la olla modificada fue construida con 15 caras en las cuales se adhieren los módulos termoeléctricos, de tal manera que capturen la mayor cantidad de calor residual, también se diseñan soportes para la sujeción de los módulos y un ducto para su conexión eléctrica ubicado en la parte superior de la olla. El estudio de calor demuestra que el borde superior presenta la menor la temperatura, sin embargo, es imprescindible el uso de un aislante térmico en los conductores eléctricos.



**Figura 1: Estudios de calor de geometrías propuestas**

**3.3. Cálculo del Medio Térmico para la Selección del Módulo Termoeléctrico**

Para este cálculo se toman datos experimentales detallados en la tabla 1, constantes térmicas detalladas en la tabla 3 (Kahan, 2012; Yi, 2014) y las ecuaciones de transferencia de calor (Carlos Ramos, 2012; Kahan, 2012). Se calcula el número de Rayleigh (1) para determinar la forma de transferencia de calor; si esta ocurre por conducción se calcula el número de Nusselt (2) el cual permite medir el aumento de calor de una superficie a otra; con este valor se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor (3) y el flujo calor (4). Se debe calcular la temperatura promedio (5) que existe en la pared de la olla, siendo esta la temperatura de trabajo(Carlos Ramos, 2012; Kahan, 2012); para este análisis se toman los datos obtenidos con dos fluidos experimentales, agua y aire; los resultados se presentan en la tabla 5.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_f - t_o) \cdot (l^3)}{\alpha \cdot \nu} \tag{1}$$

$$Nul = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \cdot (Ra_{\text{agua}})^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \tag{2}$$

$$h = \frac{Nul \cdot k}{l} \tag{3}$$

$$Q_{\text{agua-olla}} = Nul * (T_f - T_o) * a \quad (4)$$

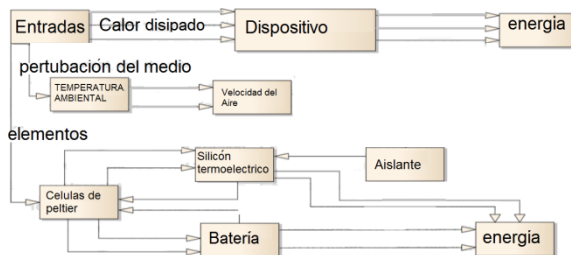
$$T_p(\text{olla}) = \frac{T_f - T_o}{2} \quad (5)$$

**Tabla 5: Datos experimentales para cálculo del medio térmico**

Característica	Dato
Área olla redonda	27 cm <sup>2</sup>
Área olla pentadecágona	15 cm <sup>2</sup>
Masa olla redonda	2,37 kg
Masa olla pentadecágona	5 kg
Radio de la olla redonda	3,2 cm
Radio de la olla pentadecágona	3,5 cm
Temperatura fluido – pared	90 °C
Temperatura de pared al ambiente	82 °C
Espesor del material	5 mm
Constantes Térmicas	
Cp. acero inoxidable	477 kJ/kg
Gravedad	9.8 m/s <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	0,0707 K-2
Difusividad térmica	0,0605m <sup>2</sup> /s
Viscosidad cinemática	0,0306 * 10 <sup>-3</sup> N * m/s <sup>2</sup>
Conductividad térmica	0,677 W/m * k
Número de Prandtl	1,91

### 3.4. Selección de Componentes

Para la selección de componentes del dispositivo es primordial tomar en cuenta las perturbaciones existentes en el medio, como es el caso de la temperatura ambiente, el cual es un factor de alta incidencia en el sistema de refrigeración con influencia directa en la eficiencia del dispositivo (Solís, 2013) ( figura 2).

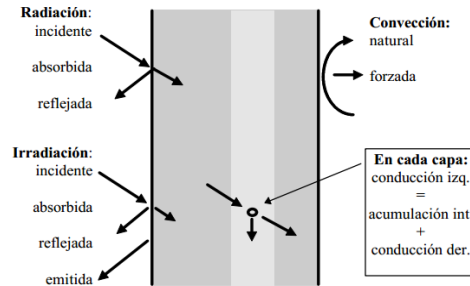


**Figura 2: Diagrama del dispositivo**

Según los resultados obtenidos en el cálculo del medio térmico, se procede a seleccionar el módulo termoeléctrico, el mismo que estará sujeto a las paredes de la olla, con el objetivo de captar la mayor cantidad de calor residual proveniente de las ollas.

El disipador de calor es instalado para eliminar las cargas térmicas, las cuales se generan sobre los módulos termoeléctricos, por acción de los efectos térmicos, como se detalla en la figura 3 [11]. El

material con el que está construido el disipador de calor, debe tener baja resistencia térmica; se emplea aluminio por su baja resistencia térmica y accesibilidad en el mercado local [6].



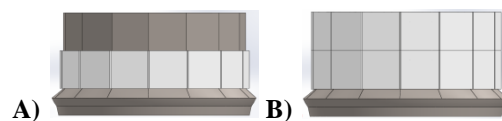
**Figura 3: Efectos sobre el disipador de calor [11]**

Para mantener un alto salto térmico e incrementar la eficiencia en el dispositivo, es necesario el uso de un sistema de refrigeración entre el módulo termoeléctrico y el disipador de calor. Para el sistema de refrigeración se emplea un refrigerante que no interfiera con la salud humana estando en contacto con alimentos, es necesario que cumpla con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-INEN-101.

Como medida de protección de los conductores eléctricos, estos deben ser recubiertos con un aislante térmico debido a que los conductores utilizados en los módulos termoeléctricos soportan hasta 80 °C. Las temperaturas máximas a las que trabajará el dispositivo son de aproximadamente 260°C, el aislante térmico a utilizarse debe tener capacidad máxima para 4 conductores calibre 20awg (Melcor, 2015).

### 3.5. Disposición de los Módulos Termoeléctrico en la Superficie de la Olla

El aprovechamiento de calor residual depende de la forma de la olla. De acuerdo a los resultados obtenidos en ANSYS, es necesario encontrar la distribución apropiada para maximizar la generación de energía eléctrica proveniente del dispositivo. La máxima cantidad de calor residual se ubica en la parte inferior de la olla, por esta razón se coloca un cinturón de 15 módulos termoeléctricos en la olla pentadecágona (figura 4.A); en la parte superior de la olla también se desprende calor, pero en menor proporción, por lo tanto se coloca otro cinturón para aprovechar todo el calor residual (figura 4..B).



**Figura 4: Disposiciones de los módulos termoeléctricos propuestos en una olla pentadecágona**

Como se observa en la figura 5. Se puede verificar que no existe un buen contacto entre los módulos termoeléctricos y la pared de la olla redonda en ninguno de los casos; para efectos de este estudio se utilizan 9 módulos termoeléctricos.

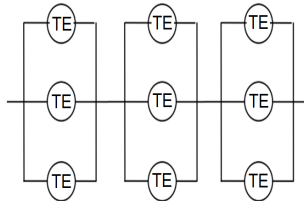


**Figura 5: Disposiciones de los módulos termoeléctricos propuestos en una olla redonda**

### 3.6. Configuración Eléctrica

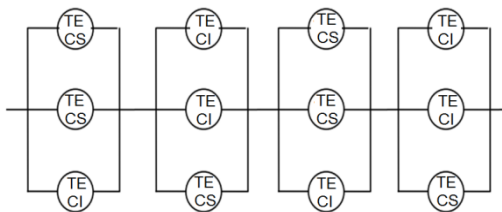
Para la configuración eléctrica de los módulos termoeléctricos en el dispositivo es necesario tener en cuenta sus curvas de rendimiento. De forma experimental, se obtiene que la conexión más efectiva es un circuito mixto debido a que el módulo no posee un comportamiento lineal predecible [11] (Melcor, 2015).

En el caso de la olla redonda, se forman circuitos en paralelo conformados por 3 módulos termoeléctricos, estos circuitos en paralelo son conectados en serie para obtener un circuito mixto como se muestra en la figura 6.



**Figura 6: Circuito de conexión en la olla redonda.**

En la olla pentadecágona, se utiliza un circuito en paralelo formado por 3 módulos termoeléctricos, dos módulos termoeléctricos del cinturón inferior (CI) y un módulo termoeléctrico del cinturón superior (CS) que se conectan en serie. En los circuitos en paralelo se alterna el orden del cinturón para equilibrar la generación de energía como se muestra en la figura 7.



**Figura 7: Circuito de conexión en la olla pentadecágona**

### 3.7. Eficiencia térmica y Eficiencia del sistema

#### 3.7.1. Eficiencia térmica

La eficiencia térmica es obtenida a partir de la relación entre la potencia producida por el foco de la cocina y la potencia transferida a la olla (Villacés et al., 2015), la cual se presenta en la ecuación (6).

$$\eta = \frac{(C_1 M_1 + C_2 M_2 + C_3 M_3) * (T_o - T_\infty)}{(P * t)} * 100\% \quad (5)$$

Con los datos de la tabla 4 y la ecuación (6) se calcula la eficiencia térmica de las ollas redonda y pentadecágona, en condiciones estándar y con el uso del dispositivo.

En la tabla 4 se presentan los resultados del cálculo de la eficiencia térmica en las ollas en condiciones estándar y utilizando el dispositivo.

**Tabla 4: Parámetros de cálculo, para la eficiencia térmica de la olla en condiciones estándar y utilizando el dispositivo**

Característica	Valor	ollas
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	Olla Redonda
Masa de agua	3,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0,5 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	2,37 kg	
Calor específico de la tapa	0,876 kJ/kg°C	
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,2°C	
Temperatura final	224,2 °C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	231 s	
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	Olla Pentadecágona
Masa de agua	4,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0,5 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	5 kg	
Calor específico de la tapa	0.876 kJ/kg°C	
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,5°C	
Temperatura final	224,23°C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	303s	
<b>Con dispositivo</b>		
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	Olla Redonda
Masa de agua	3,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0.89 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	3,37 kg	



Calor específico de la tapa	0,876 kJ/kg°C	<b>Olla Pentadecágona</b>
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,2 °C	
Temperatura final	224,2°C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	256 S	
Calor específico del agua	4,18 kJ/kg°C	
Masa de agua	4,5 kg	
Calor específico del recipiente y la tapa	0,89 kJ/kg°C	
Masa total del recipiente	7,02 kg	
Calor específico de la tapa	0,87 kJ/kg°C	<b>Olla Pentadecágona</b>
Masa de la tapa	1 kg	
Temperatura inicial	18,5 °C	
Temperatura final	224,23 °C	
Potencia eléctrica	1 080 W	
Tiempo	359 s	

**3.7.2. Cálculo de la eficiencia del sistema**

Para calcular la eficiencia del sistema, se utiliza las temperaturas de la pared de la olla y del refrigerante (7).

$$\eta = \frac{T_c - T_f}{T_c} * 100\% \tag{7}$$

**4. RESULTADOS**

**4.1. Resultados del Medio Térmico**

Como se observa en la tabla 5, la transferencia de calor en el módulo termoeléctrico se realiza por conducción en las dos ollas, el calor responde a la carga térmica del sistema.

**Tabla 5: Resultados del medio térmico**

fluido	Característica	Valor	
<b>AGUA</b>	Numero de Rayleigh	37,43 * 10 <sup>-3</sup>	<b>Olla Redonda</b>
	Numero de Nusselt	1,05	
	Coefficiente global de transferencia de calor h	142,21 W/m <sup>2</sup> * K	
	Calor para agua	0,023 W	
	Temperatura media de la olla	70°C	
<b>AIRE</b>	Numero de Rayleigh	6,63	
	Numero de Nusselt	1,69	
	Coefficiente global de transferencia de calor h	8,87 W/m <sup>2</sup> * °K	
	Calor para aire	0,0409 W	
	Temperatura media de la olla	70°C	

<b>AGUA</b>	Numero de Rayleigh	37,43 * 10 <sup>-3</sup>	<b>Olla Pentadecágona</b>
	Numero de Nusselt	1,05	
	Coefficiente global de transferencia de calor h	142,21W/m <sup>2</sup> * K	
	Calor para agua	0,023 W	
	Temperatura media de la olla	70 °C	
<b>AIRE</b>	Numero de Rayleigh	6,63	
	Numero de Nusselt	1,69	
	Coefficiente global de transferencia de calor h	8,87 W/m <sup>2</sup> * °K	
	Calor para aire	0,0409 W	
	Temperatura media de la olla	70 °C	

**4.2. Resultado De La Eficiencia Térmica**

El valor de la eficiencia térmica del sistema depende directamente de la masa de la olla, como se observa en la tabla 6. En el caso de la geometría redonda la eficiencia térmica se reduce en un 0,61 %, y en la olla pentadecágona disminuye un 0,67 %, debido al peso de cada olla por la diferencia en el número de los módulos termoeléctricos implementados.

**Tabla 6: Resultados del cálculo de la eficiencia térmica**

Característica	Valor	Condición
Eficiencia térmica olla redonda	83 %	<b>Sin Dispositivo</b>
Eficiencia térmica olla pentadecágona	83,52%	
Eficiencia térmica olla redonda	82,39 %	<b>Con Dispositivo</b>
Eficiencia térmica olla pentadecágona	82,85%	

**4.3. Resultado de la Eficiencia Térmica del Sistema**

El valor de eficiencia térmica del sistema es de 93,5 %, el 6,5 % restante se pierde en la transferencia de calor para los distintos elementos que comprenden el sistema, como es el caso de la placa vitrocerámica calculado mediante la ecuación (7). Este valor de eficiencia es similar en ambas ollas, por lo que la eficiencia térmica del sistema depende directamente de la temperatura alcanzada.

**4.4. Resultados de Generación de Energía en las Ollas y Preparaciones Domésticas**

Para la presente investigación, se implementó dos recetas de platos comunes de preparación en los hogares ecuatorianos, los mismos que también se emplearon dentro del estudio de eficiencia energética realizado por el INER (Instituto Nacional de

Eficiencia Energética y Energías Renovables) en conjunto con la Universidad Salesiana(Villacís et al., 2015).

En una sopa de fideo se obtiene un salto térmico de 45 °C, mientras que realizando fritura profunda de papas el salto térmico está entre 130°C y 222°C.

En la figura 8.A se puede visualizar que la temperatura en el exterior de la olla es de 33,5 °C con agua a temperatura de ebullición, pero la temperatura de la olla alcanzara la temperatura del fluido en poco tiempo. Por esta razón, es necesario usar un refrigerante para asegurar el salto térmico, como se observa en la figura 8.B en donde se está utilizando un sustituto de hielo como sistema de refrigeración.

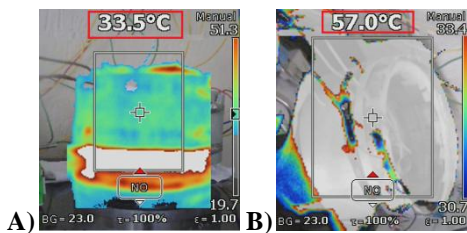


Figura 8: Resultados en temperatura

En la tabla 7 se muestra la energía generada en kJ, calculada a partir del voltaje y corriente obtenidos en los distintos ensayos. Para el cálculo de la energía, se toma en cuenta los diferentes tiempos de cocción, en el caso del agua se consideran 600 segundos de cocción, de los cuales se tienen 420 segundos de generación de energía; para el caso del aceite se considera 660 segundos de cocción, de los cuales se obtienen 390 segundos de generación energética.

Tabla 7: Resultados de generación en sopa de fideo y en fritura profunda

Fluido	Generación	Voltage (v)	Corriente (A)	Energía (kJ)	Olla
Agua	Diaria	1	0,25	0,315	Redonda
	Mensual	1	0,25	9,45	
	Anual	1	0,25	114,975	
	Diaria	2	1	2,76	Pentadecagona
	Mensual	2	1	82,8	
	Anual	2	1	1 007,4	
Aceite	Diaria	4	0,75	5,4	Redonda
	Mensual	4	0,75	162	
	Anual	4	0,75	1 971	
	Diaria	5	1,5	14,85	Pentadecagona
	Mensual	5	1,5	490,05	
	Anual	5	1,5	5 420,25	

La figura 9 muestra que al alcanzar la temperatura de ebullición la generación de energía es estable y aprovechable, caso similar sucede en la figura 10 donde se emplea aceite; se resaltan las zonas de energía aprovechable para las ollas redonda y pentadecágona.

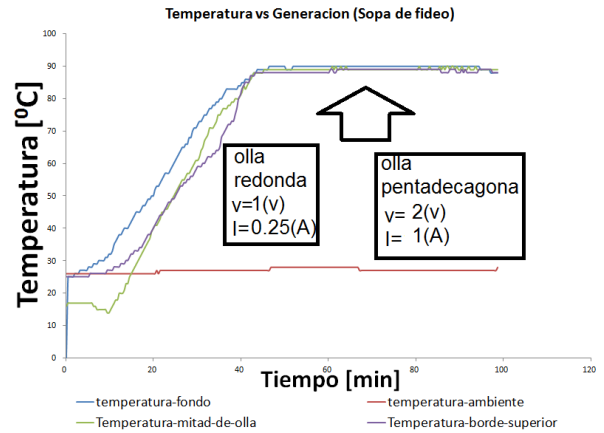


Figura 9: Resultados en temperatura de la generación de energía en sopa de fideo

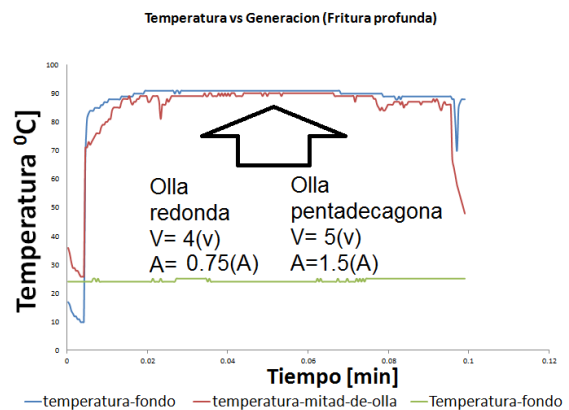


Figura 10: Resultados en temperatura de la generación de energía en fritura profunda

#### 4.5. Eficiencia Energética En El Consumo

Para verificar la eficiencia del dispositivo se compara el consumo de energía en el sistema en condiciones estándar y con el dispositivo. El análisis del consumo se lo realiza tomando en cuenta un solo foco de cocción con potencia máxima de 1080W. La tabla 8 muestra el consumo de energía de la cocina frente a la energía generada por el dispositivo.

Tabla 8: Generación vs Consumo

Condición	Característica	Energía generada (kJ)	Energía consumida sin el dispositivo (kJ)	Energía consumida Con el dispositivo (kJ)	Olla
Agua	Diaria	0,315	5,40	5,62	Redond
	Mensual	9,45	167,40	174,10	

	<b>Anual</b>	114,975	1 971,00	2 049,84	Olla Redonda cagóna
	<b>Diaria</b>	2,76	7,20	7,40	
	<b>Mensual</b>	82,8	223,08	229,45	
	<b>Anual</b>	1 007,4	2 626,54	2 701,58	
Aceite	<b>Diaria</b>	3.375	10,80	11,016	Olla Redonda
	<b>Mensual</b>	101.25	334,80	341,49	
	<b>Anual</b>	1231.875	3 942,	4 020,84	Olla Redonda cagóna
	<b>Diaria</b>	8.91	13,36	13,56	
	<b>Mensual</b>	294.03	414,28	420,65	
	<b>Anual</b>	3252.15	4 877,86	4 952,90	

## 5. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se ha analizado el empleo del dispositivo termoeléctrico en dos tipos de ollas, demostrando que existe la posibilidad de escalabilidad y adaptabilidad a cualquier tipo de olla, teniendo en cuenta la forma de la célula peltier y forma de olla.
- Se demuestra que el uso del dispositivo termoeléctrico incrementa la eficiencia de la cocina de inducción, a pesar de consumir más energía en la cocción, la diferencia de energía en el consumo es menor que la energía generada por el dispositivo.
- Para un mejor funcionamiento y mayor obtención de energía con el dispositivo termoeléctrico, es necesario el uso del sustituto de hielo como refrigerante.
- Para futuros trabajos se recomienda hacer uso de un acumulador de energía, el cual sea abastecido por la energía extraída de un dispositivo termoeléctrico implementado en una olla para cocina de inducción.

## 6. NOMENCLATURA

### Acrónimos

<b>TE</b>	= Modulo Termoeléctrico.
<b>CI</b>	= Cinturón inferior
<b>CS</b>	= Cinturón superior
<b>PLC</b>	= Controlador lógico programable
<b>PC</b>	= Computadora Personal

### Variables

$Ra_{agua}$	= Número de Rayleigh para el agua.
$h_{agua}$	= Coeficiente global de transferencia de calor para el agua. $[W/m^2 * K]$
$q_{agua-olla}$	= Calor en la pared que tiene contacto con el fluido interno. $[W]$

$T_{P(olla)}$  = Cálculo de temperatura promedio entre la pared que está en contacto con el fluido y la que se encuentra en contacto con el medio ambiente.  $[^{\circ}C]$

$g$  = Gravedad.  $[m/s]^2$

$\beta$  = Coeficiente de expansión térmica.  $[K^{-2}]$

$t_f$  = Temperatura del fluido.  $[^{\circ}C]$

$t_o$  = Temperatura de la pared de la olla.  $[^{\circ}C]$

$l$  = Espesor del material.  $[mm]$

$\alpha$  = Difusividad térmica  $[m^2/s]$ .

$\nu$  = Viscosidad cinemática.  $[N * m / s^2]$

$Nul$  = Número de Nusselt.

$Pr$  = Número de Prandtl.

$\kappa$  = Conductividad térmica  $[W/K \cdot m]$

$a$  = Área  $[cm^2]$

$C_1$  = Calor específico de la olla y tapa  $[kJ/kg^{\circ}C]$

$M_1$  = Masa de la olla y la tapa  $[kg]$

$C_2$  = Calor específico de la olla  $[kJ/kg^{\circ}C]$

$M_2$  = Masa de la olla  $[kg]$

$C_3$  = Calor específico de la tapa  $[kJ/kg^{\circ}C]$

$M_3$  = Masa de la tapa  $[kg]$

$t_o$  = Temperatura inicial  $[^{\circ}C]$

$t_{\infty}$  = Temperatura Final  $[^{\circ}C]$

$P$  = Potencia  $[kw]$

$T$  = Tiempo  $[s]$

$t_c$  = Temperatura foco caliente  $[^{\circ}C]$

$t_f$  = Temperatura Foco frio  $[^{\circ}C]$

### Definiciones

**Sistema** = Esta compuesto por olla y cocina.

**Foco** = Quemador utilizado en la cocina.

**Olla en Condiciones estándar** = Olla sin dispositivo.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anslys. (2015a). Anslys Cfx. Retrieved from <https://www.hlrn.de/home/view/System/CFX>
- Anslys. (2015b). ANSYS Mechanical APDL Thermal Analysis Guide. *Analysis*.

- Ari, N., & Kribus, A. (2010). Impact of the Peltier effect on concentrating photovoltaic cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(12), 2446–2450.  
<http://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.08.015>
- Blancarte., W. (2011). *Efecto peltier*. Wilfredo Blancarte Lizárraga.
- Carlos, T., & Freire, P. (2014). *Termoelectricidad . Aplicación de las placas Peltier a la generación de energía eléctrica en plataformas*.
- Carlos Ramos. (2012). Mecanismos de transferencia de calor. In *Transferencia de calor* (pp. 407–427).
- Guerra, L., Mill, I., & Iii, C. (2011). *Refrigeración de vacunas mediante una máquina frigorífica por efecto Peltier*. Universidad Politécnica Carlos III de Madrid.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 567:2010 (2010).
- John, T. S. (2014). High Efficient Seebeck Thermoelectric Device for Power System Design and Efficiency Calculation : A Review of Potential Household Appliances, 97(18), 37–42.
- Kahan, S. (2012). *Transferencia de calor*.
- Llamas, P. (2009). *EFICIENCIA ENERGÉTICA* (Vol. I).
- Mannella, G. A., La Carrubba, V., & Brucato, V. (2014). Peltier cells as temperature control elements: Experimental characterization and modeling. *Applied Thermal Engineering*, 63(1), 234–245.  
<http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.10.069>
- Melcor. Especificaciones MELCOR de celdas Peltier Parte I (2015).
- Ministerio de electricidad y energía renovable. PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA COCCIÓN POR INDUCCIÓN Y CALENTAMIENTO DE AGUA CON ELECTRICIDAD EN SUSTITUCIÓN DEL GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) EN EL SECTOR RESIDENCIAL (2015).
- Najafi, H., & Woodbury, K. A. (2013). Optimization of a cooling system based on Peltier effect for photovoltaic cells. *Solar Energy*, 91, 152–160.  
<http://doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.026>
- Piantanida, P. (2015). PV & Peltier façade : preliminary experimental results. *Energy Procedia*, 78, 3477–3482.  
<http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.337>
- Rocío Herranz Pindado. (2011). *Climatización mediante células peltier*.
- Rodríguez, J. (2013). *El problema de la ENERGÍA. El problema la energía*.
- Solís, M. (2013). *DISEÑO DE PANELES GENERADORES DE ELECTRICIDAD POR EFECTO SEEBECK MODALIDAD: Trabajo de grado de pregrado-*.
- Valdés, Barros, V. (2012). “ *Cogeneración mediante efecto Seebeck , Peltier y Tompson : Un nuevo reto “*.
- Villacís, S., Martínez, J., Riofrío, A. J., Carrión, D. F., Orozco, M. A., & Vaca, D. (2015). *Energy efficiency analysis of different materials for cookware commonly used in induction cookers. Energy Procedia* (Vol. 75). Elsevier B.V.  
<http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.252>
- Yi, L. (2014). Comportamiento termico de cerramientos soldado. In *Posesos fisicos de transferencia de calor* (p. 26).



**Gonzalo Efraín Guerrón.-** Nació en Quito, Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniero Electrónico con énfasis en Automatización y Control en la Universidad de las Fuerzas

Armadas (ESPE) en 2007; Master en Ciencias con la especialidad de Energías y Combustibles para el futuro por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), Madrid en 2011; Se desempeñó desde el 2012 como líder de proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética, para el INER, actualmente se desempeña como Director de Aplicaciones y Transferencia Tecnológica en la misma institución; es docente en la Universidad Tecnológica Equinoccial en la facultad de Ingeniería Mecatrónica.



**Nataly Soledad Cerda.-** Nació en Quito, Ecuador en 1993. Actualmente, egreso de la facultad de ciencias de la ingeniería e industrias de la carrera de ingeniería en Mecatrónica en la

Universidad Tecnológica Equinoccial en julio 2016, Sus campos de investigación están relacionados con el Desarrollo de eficiencia energética y energías alternativas.



**Darío Gonzalo Rodríguez** nació en Quito, Ecuador, en 1991. Se graduó en la "Universidad Tecnológica Equinoccial" como ingeniero mecatrónico. En la actualidad trabaja como analista técnico para el Instituto

Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), proyecto “termoeléctrica eficiencia energética estudio de la subasta”.

## **ANEXO VI**

### **REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 101 “ARTEFACTOS ELECTRODOMÉSTICOS PARA COCCIÓN POR INDUCCIÓN”**

Determina las características para la seguridad, eficiencia y operación de cocinas de inducción. Esta norma técnica se aplica para a todos los artefactos de cocción por inducción de uso doméstico de diferencia de potencial eléctrica nominal comprendida entre 180V hasta 250V, que sean fabricados a nivel nacional, ensamblados partir de conjuntos CKDs o importados que se comercialicen en el Ecuador

Los postulados más relevantes para el proyecto de investigación son:

- Los artefactos electrodomésticos para la cocción por inducción deben diseñarse y fabricarse de tal manera que al ser utilizados funcionen con seguridad, que no presenten peligro para las personas o al entorno, incluso en el caso de uso incorrecto.
- Solo podrán ser comercializadas en el territorio nacional los artefactos electrodomésticos para la cocción por inducción que cumplan con las disposiciones relativas al rotulado y los demás requisitos establecidos en este reglamento.
- Los artefactos contemplados en este reglamento técnico deben comercializarse de acuerdo a las condiciones locales de frecuencia y diferencia de potencial eléctrica para garantizar la seguridad, incluso en casos de fluctuaciones, interrupciones o de la reanudación del suministro de la energía eléctrica.
- La Distorsión Armónica Total (THD) no podrá superar el 3% con respecto a la fundamental para la diferencia de potencial eléctrica y 5% para la corriente en operación normal del equipo.

El factor de potencia tiene que ser igual o mayor a 0.98 en operación.

**ANEXO VI**

**REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO NTE INEN 2567**

**“UTENSILIOS DE COCINA. RECIPIENTES DOMÉSTICOS**

**USADOS SOBRE HORNILLAS, COCINAS O PLACAS DE**

**CALENTAMIENTO.”**

Determina las características y especificaciones de los utensilios para asegurar la eficiencia de las cocinas de inducción. De manera similar, todas las ollas y sartenes para cocinas de inducción deberán cumplir con las disposiciones que se establecen las características y especificaciones de estos utensilios.

- Los requisitos de seguridad de eficiencia energética para los recipientes domésticos usados sobre hornillas, cocinas o placas de calentamiento. Es aplicable a todos los recipientes domésticos, independientemente del material o método de fabricación empleado.
- Hay que tomar en cuenta que los utensilios de cocina y recubrimientos internos deben construirse con materiales de grado alimenticio los cuales no deben atender contra ninguna de las cualidades organolépticas de los alimentos preparados.

Los postulados más relevantes para el presente proyecto son:

- Los materiales del fondo y la base debe ser compatibles con la inducción electromagnética, es decir, una aleación que tenga propiedades ferromagnéticas, El fondo del recipiente debe garantizar que no existan deformaciones hasta una temperatura de 320°C. La unión entre el interior y la base del recipiente debe garantizar que no existan filtraciones, roturas, deformaciones y migración de elementos, en las temperaturas normales de operación.
- En el caso de las paredes deben ser de acero inoxidable el cual debe ser de calidad igual o superior al AISI 304 o el AISI 202. El espesor de pared de los utensilios de acero inoxidable y acero enlozado aptos para inducción no deben ser menores de 0,5 mm ± 0,05 mm. El espesor de pared de los utensilios de aluminio aptos para inducción no deben ser menores de 1,6 mm. No se permiten paredes de acero que no sean inoxidables sin recubrimiento de porcelana.”

## ANEXO VII

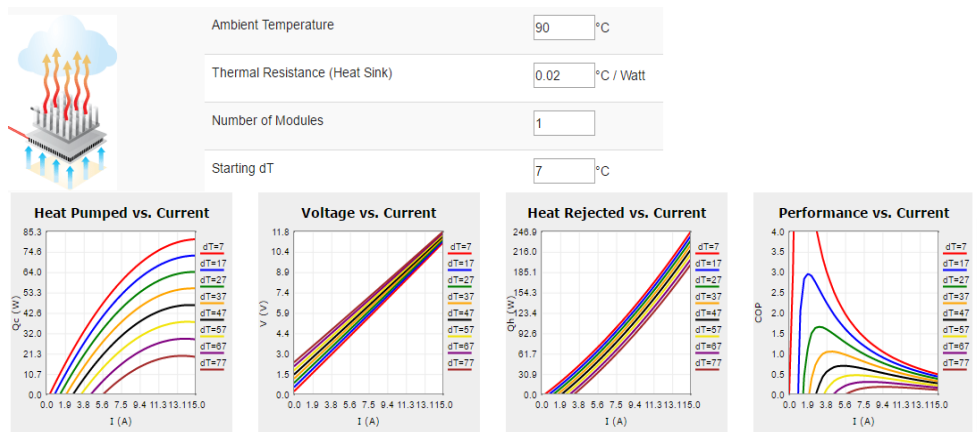
### CURVAS DE RENDIMIENTO MÓDULO TERMOELÉCTRICO

En la figura se puede apreciar de un arreglo de un módulo de peltier con los siguientes parámetros:

Parámetros para la selección de la célula de peltier según el fabricante FERROTEC.

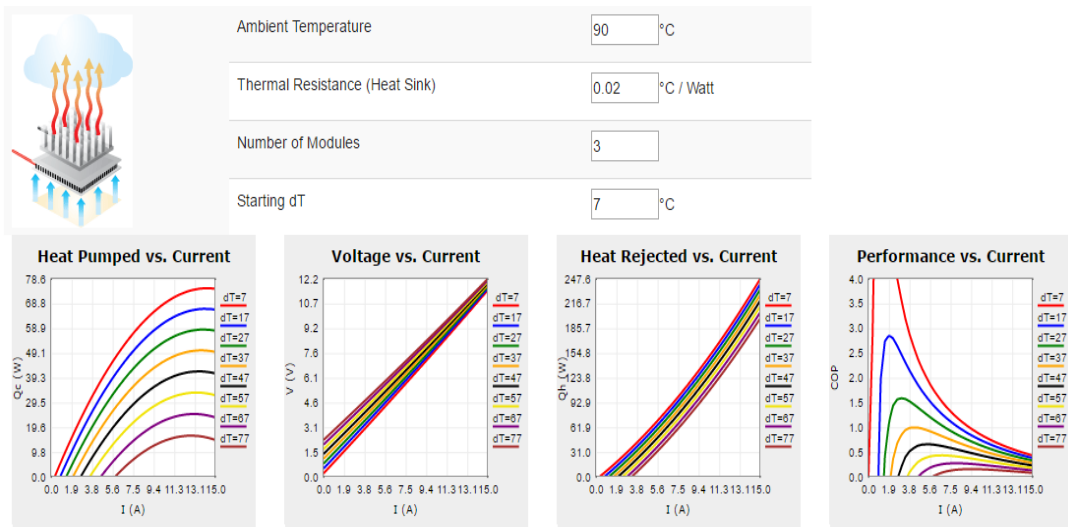
Parámetro	Valor
Temperatura Ambiente	90 °C
Resistencia térmica (disipador de calor)	0.22°C/Watt
Número de módulos	1
dt inicial	7°C

Ingreso de parámetros para obtención de las curvas de rendimiento del módulo termoelectrico




Curvas de rendimiento del módulo termoelectrico

### 3 Módulos en serie

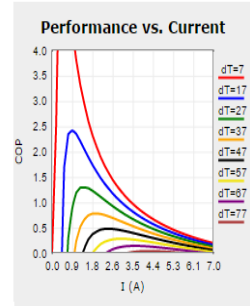
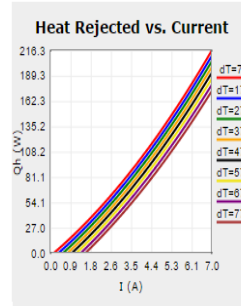
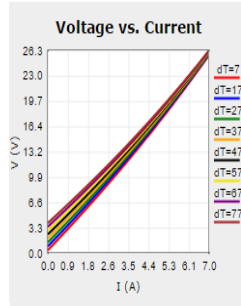
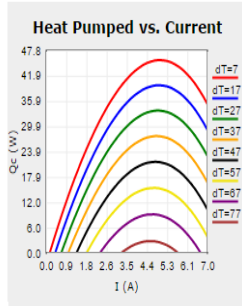


Curvas de rendimiento en conexión serie de 3 módulos termoelectricos

### 3 Módulos en paralelo



Ambient Temperature	<input type="text" value="90"/> °C
Thermal Resistance (Heat Sink)	<input type="text" value="0.02"/> °C / Watt
Number of Modules	<input type="text" value="3"/>
Starting $\Delta T$	<input type="text" value="7"/> °C



Curvas de rendimiento en conexión paralelo de 3 módulos termoelectrónicos.