



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CALEFÓN A
INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA PROVEER DE
AGUA CALIENTE A VIVIENDAS UNIFAMILIARES”**

AUTORES:

**ALBA ROSA RIVERA COQUE
LEONARDO ALEXANDER FLORES GUTIÉRREZ**

DIRECTOR: ING. FRANKLIN SILVA M.

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CALEFÓN A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA PROVEER DE AGUA CALIENTE A VIVIENDAS UNIFAMILIARES**” realizado por **ALBA ROSA RIVERA COQUE** y **LEONARDO ALEXANDER FLORES GUTIÉRREZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a **ALBA ROSA RIVERA COQUE** y **LEONARDO ALEXANDER FLORES GUTIÉRREZ** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 19 de Febrero del 2016



Ing. Franklin Manuel Silva Monteros
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ALBA ROSA RIVERA COQUE** y **LEONARDO ALEXANDER FLORES GUTIÉRREZ**, con cédula de identidad N° 0503728636 y N° 0503502809, respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CALEFÓN A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA PROVEER DE AGUA CALIENTE A VIVIENDAS UNIFAMILIARES”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 19 de Febrero del 2016


Alba Rosa Rivera Coque
C.I.:0503728636


Leonardo Alexander Flores Gutiérrez
C.I.:0503502809



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ALBA ROSA RIVERA COQUE** y **LEONARDO ALEXANDER FLORES GUTIÉRREZ**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CALEFÓN A INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA PROVEER DE AGUA CALIENTE A VIVIENDAS UNIFAMILIARES**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 19 de Febrero del 2016

Alba Rosa Rivera Coque

C.I.:0503728636

Leonardo Alexander Flores Gutiérrez

C.I.:0503502809

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Jorge y Ofelia quienes por ellos soy lo que soy, por apoyo, consejos, comprensión y amor. Me han dado todo mis valores, mis principios, mi carácter, mi perseverancia, mis ganas de conseguir mis objetivos.

A mi hermano Diego quien gracias a sus juegos y preguntas siempre alegraban mis días difíciles.

A mis abuelitos, en especial a José y Digna quienes son mi inspiración.

A Gisela por recordarme que lo más importante es el trabajo duro, por su apoyo incondicional, y por dejarme ser parte de sus sueños y de su corazón gracias.

“Si no llega lo que esperabas no te conformes jamás te detengas”

LEONARDO

Con mi amor incondicional a mis padres, Luis y Rosita, por ser mi inspiración para alcanzar mi sueño anhelado.

A mi hermana Anita, por su apoyo y motivación a seguir adelante en busca de un objetivo planteado.

A mi familia por ser parte de mi vida y de mis sueños.

ALBITA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la vida por darme el privilegio de disfrutar cada día del amor de mi familia y del trabajo duro.

A mis padres, hermano, familia y amigos por todo lo que han dado durante este largo tiempo.

Al ingeniero Franklin Silva por saber cultivar mis habilidades y ser un guía durante este trabajo.

LEONARDO

A la vida por permitirme cumplir uno de mis sueños planteados.

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional, comprensión y motivación diaria en el transcurso de mi vida.

A mi familia entera y amigos por sus palabras de ánimo y apoyo en cada encuentro con ellos.

Al ingeniero Franklin Silva por ser un excelente guía académico y más que ello, un verdadero amigo.

ALBITA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV

CAPÍTULO I

1. PROBLEMÁTICA	1
1.1. Prologo.....	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Pronóstico	4
1.6. Control de la prognosis.....	4
1.7. Delimitación.....	5
1.8. Objetivos	5
1.8.1. Objetivo general	5
1.8.2. Objetivos específicos.....	5
1.9. Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	7
2.1. Marco contextual	7
2.2. Objeto de investigación	7
2.2.1. Descripción de objeto de investigación	7
2.3. Marco teórico.....	9
2.3.1. Antecedentes investigativos	9
2.3.2. Fundamentación legal	9
2.3.3. Fundamentación teórica	11

2.4. Fundamentación conceptual.....	42
2.5. Variables de investigación	43
2.5.1.Operacionalización de las variables.....	44

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	46
3.1. Caracterización.....	46
3.2. Diseño del Experimento.....	54
3.3. Modalidad de Investigación	55
3.4. Tipos de la investigación	55
3.5. Métodos.....	56
3.6. Técnicas e instrumentos.....	57
3.7. Proceso para determinar los datos medidos necesarios.....	60
3.8. Metodología para determinar la eficiencia de cada una de las pruebas	63

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
4.1. Pruebas.....	67
4.1.1.Prueba 1	69
4.1.2.Prueba 2.....	72
4.1.3.Prueba 3.....	75
4.1.4.Prueba 4.....	78
4.1.5.Prueba 5.....	81
4.1.6.Prueba 6.....	84
4.1.7.Prueba 7.....	87
4.1.8.Temperatura del agua en cada prueba	90
4.2. Cálculos de energías y eficiencias.....	91

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA.....	102
5.1. Título de la propuesta.....	102
5.2. Justificación de la propuesta.....	102
5.3. Objetivo de la propuesta.....	103
5.3.1.Objetivo general	103
5.3.2.Objetivos específicos.....	103
5.4. Estructura de propuesta	103
5.5. Desarrollo de la propuesta.....	104
5.5.1.Potencias de calefones a inducción.....	104
5.5.2.Diseño de instalación según la potencia del calefón seleccionada	105
5.5.3.Costo de instalación	107
5.5.4.Gasto energético del calefón a inducción	108
5.6. Verificación de la propuesta.....	109
5.6.1.Eficiencia del calefón a inducción con calentadores convencionales.....	109
5.7. Análisis de costo beneficio.....	113

5.8. Conclusiones de la propuesta.....	114
5.9. Recomendaciones de la propuesta.....	115

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
6.1. Conclusiones.....	116
6.2. Recomendaciones.....	117

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	118
-----------------------------------------	------------

ANEXOS

ANEXO A: INSTRUMENTO ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 1735	121
--------------------------------------------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Propiedades generales de los aceros.....</i>	36
<i>Tabla 2: Conductividad térmica del AISI.....</i>	36
<i>Tabla 3: Temperaturas y consumo en aparatos sanitarios.....</i>	42
<i>Tabla 4: Operacionalización de la variable independiente.....</i>	44
<i>Tabla 5: Operacionalización de la variable dependiente.....</i>	45
<i>Tabla 6: Normas INEN para inducción electromagnética</i>	47
<i>Tabla 7: Datos de eficiencia de la primera prueba.....</i>	51
<i>Tabla 8: Valores de T-student para grados de libertad y alfa.....</i>	52
<i>Tabla 9: Análisis estadístico descriptivo correlación y covarianza</i>	53
<i>Tabla 10: Correlación de distancias euclídeas de las eficiencias de la prueba 1</i>	54
<i>Tabla 11: Especificaciones técnicas del analizador Fluke 1735.....</i>	58
<i>Tabla 12: Condiciones establecidas para las pruebas</i>	68
<i>Tabla 13: Parámetros eléctricos de la prueba 1.....</i>	69
<i>Tabla 14: Parámetros eléctricos de la prueba 2.....</i>	72
<i>Tabla 15: Parámetros eléctricos de la Prueba 3.....</i>	75
<i>Tabla 16: Parámetros eléctricos de la Prueba 4.....</i>	78
<i>Tabla 17: Parámetros eléctricos de la prueba 5.....</i>	81
<i>Tabla 18: Parámetros eléctricos de la prueba 6.....</i>	84
<i>Tabla 19: Parámetros eléctricos de la prueba 7.....</i>	87
<i>Tabla 20: Gradientes de temperaturas de las pruebas realizadas</i>	90
<i>Tabla 21: Parámetros para calcular energías.....</i>	92
<i>Tabla 22: Resumen de parámetros y cálculos obtenidos en las pruebas</i>	100
<i>Tabla 23: Parámetros y eficiencia en cada prueba.....</i>	101
<i>Tabla 24: Potencias de calefones a inducción.....</i>	104
<i>Tabla 25: Especificaciones del calefón a inducción para instalación.....</i>	106
<i>Tabla 26: Costo por la instalación de un calefón a inducción</i>	107
<i>Tabla 27: Costo monetario de un calefón para la región Sierra.....</i>	109
<i>Tabla 28: Costo monetario de un calefón para la región Costa.....</i>	109
<i>Tabla 29: Eficiencia de un calefón a gas.....</i>	111
<i>Tabla 30: Eficiencia de un calefón eléctrico.....</i>	111
<i>Tabla 31: Eficiencia de un calefón a gas.....</i>	112
<i>Tabla 32: Eficiencia mínimas de un calefón a gas, eléctrico e inducción.....</i>	112
<i>Tabla 33: Eficiencia máximas de un calefón a gas, eléctrico e inducción.....</i>	113
<i>Tabla 34: TIR y VNA para región Sierra y Costa.....</i>	114

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: (a) Cocina de inducción de dos hornillas y sistema de calentamiento</i>	8
<i>Figura 2: Bobina y campo magnético generado al circular corriente.</i>	16
<i>Figura 3: Fenómeno de inducción electromagnética.</i>	17
<i>Figura 4: Campo Magnético y Corrientes Inducidas.</i>	18
<i>Figura 5: Campo Magnético de una Bobina.</i>	19
<i>Figura 6: Inducción magnética sobre una superficie.</i>	21
<i>Figura 7: Bobina helicoidal de varias espiras</i>	24
<i>Figura 8: Bobina de una espira</i>	24
<i>Figura 9: Bobina helicoidal multiposición</i>	24
<i>Figura 10: Bobina de canal</i>	25
<i>Figura 11: Bobina de canal curvada</i>	25
<i>Figura 12: Bobina de oblea</i>	26
<i>Figura 13: Bobina helicoidal dividida</i>	26
<i>Figura 14: Bobina interior</i>	26
<i>Figura 15: Bobina de inducción</i>	27
<i>Figura 16: Circuito eléctrico de una bobina de inducción.</i>	28
<i>Figura 17: Dilatación térmica de aceros.</i>	37
<i>Figura 18: Funcionamiento de las cocinas de inducción.</i>	38
<i>Figura 19: Tiempo empleado para bañarse según regiones naturales</i>	41
<i>Figura 20: Sistema de calentamiento por inducción</i>	46
<i>Figura 21: Sistema de inducción (cocina de inducción ECASA).</i>	47
<i>Figura 22: Implementación del proceso para la ejecución de las pruebas.</i>	48
<i>Figura 23: Sistema de calentamiento por inducción recubierto de lana de vidrio</i>	49
<i>Figura 24: Correlación y dispersión de eficiencias de la primera prueba</i>	53
<i>Figura 25: Registrador y analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 1735</i>	57
<i>Figura 26: Diagrama de flujo para validar las mediciones con 95% de eficacia</i>	62
<i>Figura 27: Diagrama de flujo para metodología de toma de medidas</i>	65
<i>Figura 28: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 1</i>	70
<i>Figura 29: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus prueba 1</i>	71
<i>Figura 30: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 1</i>	71
<i>Figura 31: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 2.</i>	73
<i>Figura 32: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo prueba 2.</i>	74
<i>Figura 33: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 2</i>	74
<i>Figura 34: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 3.</i>	76
<i>Figura 35: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo prueba 3.</i>	77
<i>Figura 36: Factor de Potencia versus tiempo de duración de la prueba 3.</i>	77
<i>Figura 37: (a) Voltaje [V] versus Tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 4.</i>	79
<i>Figura 38: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo prueba 4.</i>	80
<i>Figura 39: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 4.</i>	80
<i>Figura 40: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 5.</i>	82
<i>Figura 41: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo prueba 5.</i>	83
<i>Figura 42: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 5.</i>	83
<i>Figura 43: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 6.</i>	85
<i>Figura 44: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo prueba 6.</i>	86
<i>Figura 45: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 6.</i>	86
<i>Figura 46: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 7.</i>	88
<i>Figura 47: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo prueba 7.</i>	89

<i>Figura 48: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 7.</i>	89
<i>Figura 49: Gradientes de temperaturas versus tiempo de cada una de las pruebas</i>	91
<i>Figura 50: Calefón a inducción para una ducha con eficiencia mayor a 85%</i>	104
<i>Figura 51: instalación de un calefón</i>	106
<i>Figura 52: Elementos necesarios para la instalación</i>	107
<i>Figura 53: Eficiencias de calefones a gas y eléctricos</i>	110

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene el propósito de diseñar e implementar un calefón prototipo de inducción electromagnética para viviendas unifamiliares, con el principal objetivo de realizar un estudio investigativo que determine si la inducción electromagnética es la manera más adecuada de proveer agua caliente para el uso en éste tipo de hogares. El proyecto utiliza un sistema existente (cocina a inducción), en la cual se adapta un sistema de paso de agua construido con acero inoxidable, éste se calienta debido a la inducción y transmite el calor al agua que por él se encuentra en circulación. Con este sistema se pretende analizar la eficiencia de los sistemas de calentamiento a inducción frente a los sistemas eléctricos convencionales, se realizan diferentes pruebas donde se utiliza tanto el prototipo como un sistema eléctrico convencional. Para determinar la eficiencia de los diferentes sistemas se procede a medir la energía eléctrica utilizada en el sistema de calentamiento y la cantidad de energía que es transmitida al agua, para ello se debe conocer el volumen de agua utilizada y el gradiente de temperatura alcanzada. Una vez conocida la eficiencia de cada uno de los sistemas se puede determinar si el calentamiento por inducción es la mejor alternativa para proveer de agua caliente a las viviendas unifamiliares.

PALABRAS CLAVE:

- **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**
- **INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA**
- **CALEFÓN – EFICIENCIA - CALENTAMIENTO**

ABSTRACT

The object of this research project is to design and implement an induction electromagnetic heater prototype for single family homes, with the main objective to conduct a research study to determine if electromagnetic induction is the best way to provide hot water for using in this type of household. The project uses an existing system (induction cooking), in which a water passage system constructed of stainless steel is adapted, it is heated by induction and transmits heat to the water that is circulated by it. With this system it is to analyze the efficiency of induction heating systems over conventional electrical systems, different tests where both the prototype and a conventional electrical system are used to perform. To determine the efficiency of different systems a measuring was applied to the electrical energy used in the heating system and the amount of energy which is transmitted to the water, it must determine the volume of water used and the temperature gradient achieved. Moreover, as the efficiency of each of the systems can determine if induction heating is the best alternative to provide hot water to the houses.

KEYWORDS:

- **ELECTRONIC ENGINEERING**
- **ELECTROMAGNETIC INDUCTION**
- **HEATING - EFFICIENCY - WARMING**

CAPÍTULO I

1. PROBLEMÁTICA

1.1. Prólogo

En la actualidad existe un interés muy marcado por encontrar nuevas fuentes de energía que sean renovables y limpias y por ende beneficiosos para el planeta y la humanidad. Dentro de las alternativas aparece la inducción electromagnética como una buena opción, ya que proviene de la energía hidráulica que es renovable, es un sistema limpio y altamente eficiente.

Dentro de las necesidades que la sociedad requiere satisfacer esta la utilización de agua caliente en los hogares, los calefones que para el efecto se utilizan en la actualidad, son costosos, desperdician energía y agua, contaminan el medio ambiente por emanación de gases, por esta razón se plantea la utilización de un calefón a inducción que reemplace ya sea a los calefones a gas o a los calefones eléctricos convencionales.

1.2. Planteamiento del problema

La necesidad de contar con agua caliente para uso diario en cada uno de los hogares del país hace que se instalen calefones a gas o eléctricos, duchas eléctricas, entre otros electrodomésticos que proveen de agua caliente. En el caso de los calefones a gas, el uso del mismo conlleva un gasto importante para el estado, además los riesgos son muchos ya que pueden existir fugas de gas y provocar incendios.

El desperdicio que produce la combustión de gas puede ser mortal para los miembros de las familias que tengan calefones a gas, por tanto es necesario que su instalación sea en ambiente exteriores con mucha ventilación.

También es importante mencionar que se contamina el planeta por el uso de este electrodoméstico, de continuar con el uso de sistemas convencionales a gas se generarán grandes pérdidas económicas al país, principalmente por ser de uso masivo y estar subsidiado.

El uso de los sistemas convencionales a gas también contribuye al gasto de un recurso energético que en la actualidad ya es limitado y que a futuro demandará un costo excesivo.

Existen sistemas convencionales que utilizan electricidad y que podrían disminuir muy considerablemente las pérdidas por el uso de gas, pero debido a que su eficiencia es baja, no se presenta como una solución óptima.

Por tanto es notorio que el uso de cualquiera de los sistemas convencionales tanto a gas como eléctricos, representan graves pérdidas al país consumiendo recursos económicos que se pueden invertir en otras áreas como por ejemplo en la educación y en general en la mejora de la calidad de vida de los ecuatorianos.

1.3. Antecedentes

En la actualidad se habla de un cambio en la matriz energética para mejorar la eficiencia en la generación y la transmisión de energía presentando alternativas y perspectivas de desarrollo del sistema energético ecuatoriano, realizando un análisis de la misma y las posibilidades de mejorarla en un corto tiempo, se prevé crear fuentes de energía renovables priorizando a la hidroelectricidad que es una de las fuentes con más demanda en el país y que actualmente se están realizando proyectos que permitirán aumentar

su oferta.

Siendo uno de los parámetros más importantes el aumento de la capacidad de generación de energía eléctrica en nuestro país, ésta se hace más asequible y barata, por tanto se pueden aumentar equipos que utilicen este tipo de energía, entre los equipos que se pueden adaptar a los hogares debido a su alta eficiencia, están aquellos que usan la inducción electromagnética, por ejemplo las cocinas y calentadores de inducción.

Además se debe mencionar que existe un impulso del gobierno para que se utilicen estos sistemas, principalmente debido a lo ya mencionado, que es su alta eficiencia, produciendo menores pérdidas de energía al país y permitirá retirar los sistemas que actualmente funcionan a gas y que demandan de grandes subsidios.

Dentro de los cambios que ofrece la matriz energética a la población es el ofrecimiento de las cocinas de inducción que en la actualidad está tomando curso y aceptación por parte de los habitantes, por tanto sería de gran interés conocer además de las cocinas de inducción, otros dispositivos de este tipo que podamos utilizar.

1.4. Justificación

El estado ecuatoriano ha subsidiado por varios años el cilindro de gas abaratando el costo del mismo y asumiendo pérdidas significativas para el estado debido a que el consumo de gas para los calefones es considerable.

El gas es un recurso energético que con el pasar de los años será escaso y por tanto su costo será elevado, en este contexto el diseño del calefón propone el uso de la inducción para calentar el agua

aprovechando el consumo energético y el cambio de matriz energética por el que atraviesa el país.

El calefón a inducción mejorará la economía de los hogares ya que no será necesario comprar cilindros de gas (con un costo muy superior al actual), no se requerirán de pilas, ya que el calefón estará conectado a la red de uso familiar sin necesidad de otros elementos extras para su funcionamiento. Se eliminarán los riesgos de incendio, de intoxicación y la contaminación ambiental.

1.5. Pronóstico

De seguir con el uso de los sistemas convencionales a gas o eléctricos, se continuará afectando a la economía de las familias ecuatorianas frenando el desarrollo socioeconómico del país, limitando el desarrollo de la matriz productiva, ya que no se usa de manera eficiente y adecuada los recursos energéticos que aportan las centrales hidroeléctricas vigentes.

Si no se estudia los sistemas de inducción electromagnética existentes así como los distintos factores que hacen que sea posible aprovechar este tipo de fenómeno, se pueden malgastar recursos importantes, como recursos hídricos (agua potable) y energía eléctrica.

1.6. Control de la prognosis

Se proyecta diseñar un prototipo de calefón a inducción electromagnética que permita analizar la posibilidad de proveer agua caliente en viviendas unifamiliares utilizando este tipo de calentamiento, además se evitan gastos innecesarios, se elimina la contaminación, se disminuyen los riesgos y se evita el uso del gas que es un recurso agotable.

1.7. Delimitación

Análisis de la eficiencia energética de un calefón prototipo a inducción desarrollado en el laboratorio de Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L para determinar si es conveniente el empleo de la inducción electromagnética en el calentamiento de agua en viviendas unifamiliares, mediante pruebas desarrolladas durante los meses de octubre del 2015 a enero del 2016.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

- Diseñar e implementar un calefón prototipo a inducción electromagnética que permita realizar un análisis comparativo de su eficiencia con respecto a los sistemas de calentamiento eléctricos convencionales determinando la mejor alternativa para el uso del calentamiento de agua en viviendas unifamiliares.

1.8.2. Objetivos específicos

- Investigar y adquirir conocimientos sobre la generación y transferencia de calor en base a los sistemas de inducción electromagnética.
- Diseñar y construir un prototipo de sistema para calentamiento de agua, que utilice el principio de inducción electromagnética.
- Realizar el análisis comparativo entre el consumo energético del calefón a inducción con los calefones convencionales existentes actualmente.

- Analizar las ventajas y/o desventajas de la utilización de la inducción electromagnética para su utilización en el calentamiento de agua en viviendas unifamiliares.

1.9. Hipótesis

La construcción de un prototipo de calefón a inducción permitirá realizar el análisis comparativo de su eficiencia frente a los sistemas de calentamiento convencionales para determinar la mejor opción a ser utilizado en el calentamiento de agua para su uso en viviendas unifamiliares.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

2.1. Marco contextual

El presente trabajo busca determinar la eficiencia de un calefón prototipo a inducción electromagnética versus los calentadores eléctricos convencionales que proveen de agua caliente a viviendas unifamiliares para uso doméstico, de esta manera se contribuye con el cambio de la matriz energética, al plan del buen vivir, a disminuir la contaminación ambiental de acuerdo con las políticas de estado propuestas para la utilización de la inducción electromagnética.

Por esta razón se trata de determinar la manera más adecuada de calentar agua que permita tener una mayor eficiencia y su consecuente ahorro energético.

2.2. Objeto de investigación

El objeto de la investigación de este proyecto es el uso de un calefón prototipo a inducción electromagnética para proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares.

2.2.1. Descripción de objeto de investigación

El calefón prototipo usa una cocina a inducción comercial y un recipiente metálico que se usa para calentar el agua aprovechando la inducción electromagnética, el cual está construido con acero inoxidable AISI 430, con una forma de dos cilindros de pequeña altura unidos con un tubo del mismo material, de esta manera se aprovecha

al máximo la inducción generada por la cocina, y al contener un volumen pequeño de agua ésta se calienta rápidamente.

La cocina posee dos hornillas una de 21 cm de diámetro con una potencia de 1.5 kW y otra de 17 cm de diámetro con una potencia de 1 kW, por tanto los cilindros tienen el mismo diámetro de las hornillas con una altura de 1.5 cm como se puede observar en la *figura 1 (a)*, además su interior tiene la forma de un serpentín tipo condensador que permite homogenizar la temperatura del agua a 34°C aproximadamente. *Obsérvese en figura 1 (b)*.

Por este sistema de cilindros circula un caudal aproximado de 6 lt * min de agua a ser calentada.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Cocina de inducción de dos hornillas y sistema de calentamiento por inducción (cilindros 1 y 2) (b) Estructura interna con forma de serpentín tipo condensador

2.3. Marco teórico

2.3.1. Antecedentes investigativos

En el paper “RESULTADOS INICIALES DE UN PROTOTIPO DE CALEFÓN DE INDUCCIÓN” (2014). Previo a realizarse el Primer Concurso de Papers (artículos científicos), organizado por las carreras de Ingenierías Eléctrica y Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, su autor, Luis Quevedo luego de realizar una investigación teórica-práctica menciona el desarrollo de nuevas tecnologías que aumenten la eficiencia de sistemas eléctricos, siendo la inducción una alternativa para el reemplazo de los calefones tradicionales (David Valencia, 2014).

En la tesis “SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AGUA POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA EL USO DOMÉSTICO” (2015). Previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones el autor Jesús Israel Guamán Molina utilizando el método experimental, menciona que es más eficiente un calentador a inducción por lo que reduce el tiempo de calentamiento y el consumo de energía en relación a los otros sistemas calentadores de agua (Ríos Villacorta, 2015).

2.3.2. Fundamentación legal

En Ecuador, el Ministerio de Industrias y Productividad, de acuerdo con el plan del Buen Vivir, tiene interés de impulsar la transformación de la matriz energética en base a políticas derivadas de Estado como la Estrategia Nacional de Cambio Climático que tiene como una de sus funciones la mitigación del cambio climático fomentando la eficiencia y soberanía energética, así como el cambio gradual de la matriz energética.

El estado promueve el diseño, elaboración, construcción , implementación y utilización de productos y servicios que ahorren energía eléctrica consumida, que no sean tóxicos y de bajo impacto ambiental a través de la identificación y ejecución de acciones inclinadas a alcanzar la eficiencia energética, a nivel de uso doméstico e industrial según los artículos y políticas emitidas en la Constitución de la República del Ecuador establecida en la Asamblea Constituyente 2008 (MIPRO, 2014).

Por tanto la carta magna se declara en el capítulo cuarto Soberanía económica Sección primera Sistema económico y política económica;

Art. 283 “El sistema económico es social y solidario; reconoce al ser humano como sujeto y fin; propende a una relación dinámica y equilibrada entre sociedad, Estado y mercado, en armonía con la naturaleza; y tiene por objetivo garantizar la producción y reproducción de las condiciones materiales e inmateriales que posibiliten el buen vivir”. (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008).

Y además en el capítulo segundo biodiversidad y recursos naturales Sección séptima Biosfera, ecología urbana y energías alternativas;

Art. 413 “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.” (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008)

2.3.3. Fundamentación teórica

a. Ley de Faraday

Faraday en conjunto con otros físicos comprobaron experimentalmente que los campos magnéticos variables en el tiempo generaban o inducían una fuerza electromotriz (*f.e.m*) en circuitos eléctricos, lo cual está dado por la *ecuación 2.1* (Garcia, 1996).

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (2.1)$$

Dónde:

ϕ = *Es el flujo magnético que atraviesa el circuito eléctrico.*

ε = *Es la f.e.m que induce en un sentido relacionado con el de ϕ*

El signo menos es una indicación del sentido de la *f.e.m.* inducida será siempre de signo tal que se opondrá a la causa que lo origina.

b. Ley de Lenz

“La fuerza electromotriz inducida y la corriente inducida tienen un sentido tal que se oponen al cambio que las produce” (Donate, 1999). Esta ley es una consecuencia del principio de conservación de la energía.

c. Ley de Ampere

Un conductor que porta una corriente produce un campo magnético a su alrededor (Luis F. Quevedo, 2014), para lo cual la ley de Ampere relaciona la integral de línea $\oint B \cdot ds$, alrededor de una curva C con la corriente I_c , que atraviesa la superficie limitada por dicha curva, expresado por la *ecuación 2.2* (Mosca, 2003).

$$\oint B \cdot ds = I_c \quad (2.2)$$

Dónde:

$\oint B \cdot ds =$ Integral de línea de la componente tangencial B

$I_c =$ Es la corriente neta que penetra en el área S limitada por la curva C.

C = Es cualquier curva cerrada

Esta relación de ampere puede utilizarse para obtener una expresión del campo magnético en situaciones con un alto grado de simetría.

d. Efecto Joule

Una corriente eléctrica supone un desplazamiento de cargas a través de un conductor, y para que este desplazamiento se produzca, es necesario vencer la fuerza de rozamiento que se opone a su desplazamiento, y que como cualquier otra fuerza de rozamiento mecánico, supone la disipación de energía en forma de calor, es decir, cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, se disipa energía en forma de calor (German Santamaría, 2009) como en la ecuación 2.3, y este hecho se conoce con el nombre de efecto Joule.

$$Q = R \cdot I^2 * t \quad (2.3)$$

Dónde:

$Q =$ Cantidad de calor producida en julios (J)

$R =$ Resistencia del conductor en ohmios (Ω)

$I =$ Intensidad que circula en Amperios (A)

$t =$ Tiempo transcurrido en segundos (s)

e. **Transferencia de calor**

Es la cantidad de energía transferida a un sistema durante un proceso por otros medios diferentes al trabajo. La transferencia de energía se provoca sólo como consecuencia de una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno y se da únicamente en la dirección del descenso de temperatura de esta forma la transferencia de energía se llama *transferencia de energía por calor* (Michael J. Moran, 2004).

Transferencia de calor por conducción

La transferencia de calor por conducción aparece en sólidos, líquidos y gases. Se trata de la transferencia de energía desde las partículas más energéticas de una sustancia a las partículas adyacentes menos energéticas dada por la *ecuación 2.4* se denomina Q como la cantidad de energía que es igual a la variación de temperatura de las sustancia, dependiendo del coeficiente de conductividad térmica de la sustancia k y el área que contiene a dicha sustancia.

$$Q = kA * (\Delta T[^\circ C]) \quad (2.4)$$

Dónde:

Q = Cantidad de energía (J)

k = Coeficiente de conductividad térmica de la sustancia

A = Área que contiene dicha sustancia

ΔT = Variación de la sustancia en $^\circ C$

Transferencia de calor por radiación

La radiación térmica es emitida por la materia que se transporta mediante ondas electromagnéticas. La energía transmitida está dada por la *ecuación 2.5*.

$$Q_e = \varepsilon \sigma A T_s^4 \quad (2.5)$$

Dónde:

Q_e = *Energía emitida (J)*

ε = *Emisidad de la superficie que indica la eficiencia con la que radia la superficie ($0 \leq \varepsilon \leq 1$).*

σ = *Constante de Stefan – Boltzmann*

A = *Área del sistema*

T_s^4 = *Temperatura absoluta de la superficie en su cuarta potencia*

Transferencia de calor por convección

La transferencia de energía entre una superficie sólida, líquida o gaseosa a una temperatura cualquiera, hace que la energía producida sea el resultado de transferencia de calor del área a la sustancia, se lo deduce mediante la *ecuación 2.6*.

$$Q = hA(T_s - T_f) \quad (2.6)$$

Dónde:

T_s = *Temperatura de la superficie*

T_f = *Temperatura del fluido fuera de la superficie*

A = *Superficie de trabajo.*

h = *Coeficiente de transferencia de calor.*

f. Capacidad calorífica (C)

La capacidad calorífica C de una sustancia se define como la cantidad de energía necesaria para elevar en $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de la muestra *ecuación 2.7*. De esta definición se determina un cambio ΔT en la temperatura de una sustancia.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.7)$$

Dónde:

C = Capacidad calorífica.

Q = Cantidad de calor (J).

ΔT = Variación de temperatura. ($^{\circ}\text{C}$).

g. Calor específico (c)

El calor específico c de una sustancia es la capacidad calorífica por unidad de masa. Por lo tanto, si la energía Q se transfiere a una muestra de una sustancia con masa m y la temperatura de la muestra cambia en ΔT , entonces el calor específico de la sustancia dada por *ecuación 2.8* es:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.8)$$

Dónde:

c = Calor específico de la sustancia

Q = Cantidad de calor (J).

m = Masa expresada en Kg

ΔT = Variación de temperatura ($^{\circ}\text{K}$).

h. Principio de inducción electromagnética

Los principios básicos de la inducción electromagnética son determinados mediante una corriente eléctrica que circula por un conductor en forma de bobina (inductor) genera un campo magnético en sus alrededores como se indica en la *figura 2*. La mayor intensidad del campo se da en el núcleo de la bobina, y depende de la fuerza de la corriente de excitación y del número de espiras de la bobina. (González I. G., 2005)

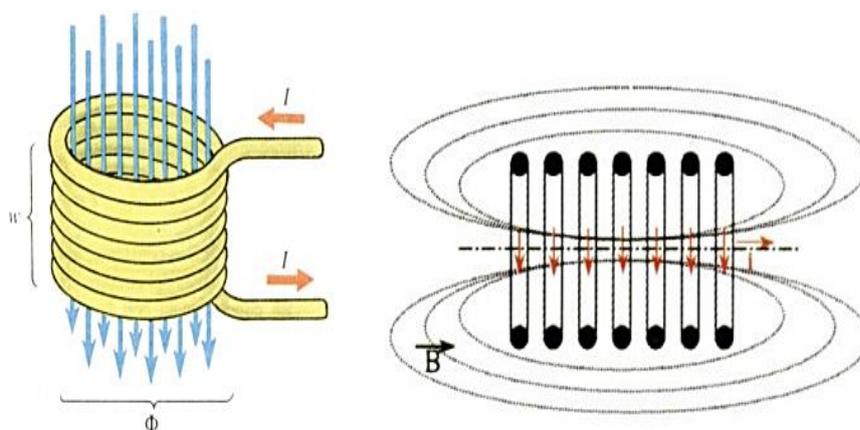


Figura 2: Bobina y campo magnético generado al circular corriente.
Fuente: (González I. G., 2005)

La inducción electromagnética consiste en que, flujos magnéticos variables en el tiempo generan en los circuitos sobre los que actúan, fuerzas electromotrices (*f.e.m.*) inducidas que, a su vez, determinan corrientes que crean campos magnéticos con sus correspondientes flujos, cuya misión es oponerse a la variación de flujo inicial, en virtud de la tendencia natural de cualquier sistema a permanecer en situación inercial (inercia electromagnética o ley de Lenz). (Gracia-Hevia, 2007)

Es el fenómeno por el cual se produce corriente "I" en un conductor, debido a las variaciones del flujo magnético que la

intercepta, el cual se puede realizar por la acción de un imán o por la acción de una corriente. Si se dispone una bobina para los casos de la *figura 3*:

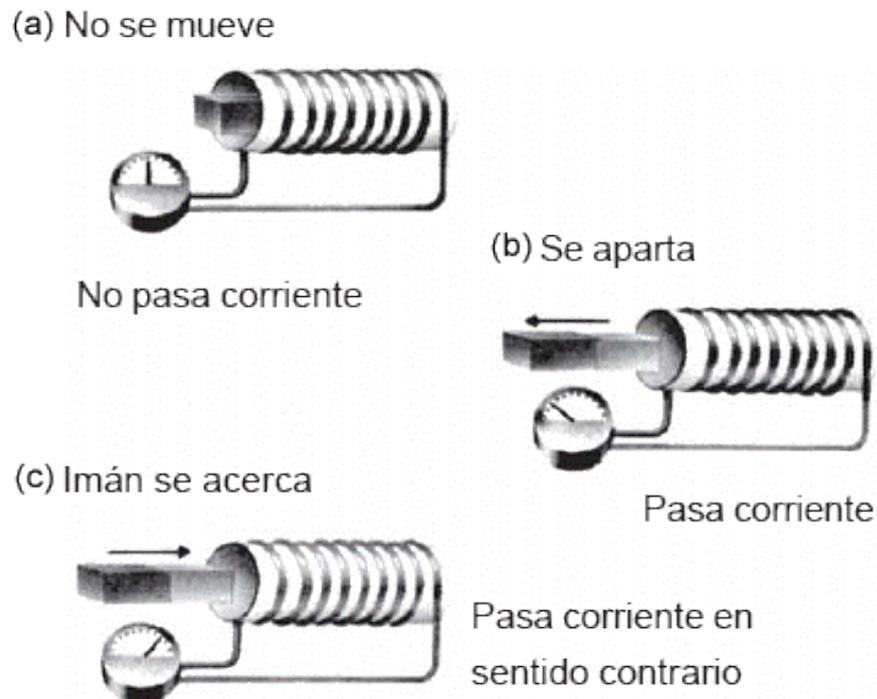


Figura 3: Fenómeno de inducción electromagnética.
Fuente: (Gracia-Hevia, 2007)

- En (a) el imán está en reposo, entonces no hay corriente.
- En (b) el imán se aleja de la bobina induciendo una corriente, pero en sentido contrario al caso (c). Si se mueve el imán con mayor rapidez, la corriente será más intensa.
- En (c) el imán se mueve hacia la bobina produciendo una corriente eléctrica, denominada corriente inducida.

Lo anterior se explica asumiendo que cuando se acerca el polo norte del imán a la bobina, la cantidad de líneas que atraviesan la espira (flujo magnético) aumentan apareciendo una corriente inducida, la que cesa cuando se detiene el imán; es decir, la corriente dura sólo mientras hay variación de campo.

i. Ley de inducción electromagnética

Considerando una región del espacio en la que existe un vector inducción magnética de valor B , el flujo magnético de dicho vector a través de una superficie dS es el producto escalar de ambos vectores que forman un ángulo θ entre ellos, se obtiene la ecuación 2.9 es decir:

$$d\phi = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B dS \cos \theta \quad (2.9)$$

Dónde:

ϕ = Flujo magnético en unidades de weber (Wb)

B = Inducción magnética expresada en tesla (T)

S = Superficie definida por el conductor

θ = Ángulo que forman el vector S perpendicular a la superficie definida por el conductor y la dirección de campo.

En la realización de diversos experimentos para ver si un campo magnético podía crear corriente eléctrica, se colocó un imán cerca de una bobina de espiras metálicas, inicialmente sin corriente y se vio que, si se movía dicho imán, entonces en la bobina aparecía una diferencia de potencial o *f.e.m.* inducida como en la figura 4 (y con ello una corriente eléctrica inducida) (González P. D., 2010).

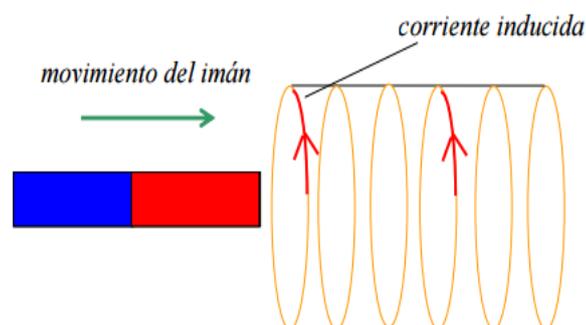


Figura 4: Campo Magnético y Corrientes Inducidas.
Fuente: (Gracia-Hevia, 2007)

j. Conceptos físicos y matemáticos de la inducción electromagnética

Corrientes de Foucault

Suponiendo un campo magnético variable perpendicular a una cara de un conductor extenso, por ejemplo una placa. El campo eléctrico inducido en el conductor producirá en su interior corrientes eléctricas inducidas, conocidas como corrientes de Foucault o corrientes en remolino. Estas corrientes de Foucault se producen también cuando un conductor se mueve en el seno de un campo magnético. Su efecto es la disipación de energía por calentamiento del conductor que está dado por $P = i^2R$ en donde: P = Potencia en Watts, i = corriente en Amperes y R = resistencia en Ohms.

Campo magnético formado por una bobina

En una bobina, el campo magnético de cada espira se suma al de la siguiente, por lo que el campo se concentra en el centro de la misma. El campo resultante es uniforme en el centro de la espira y mucho más intenso que en el exterior. En los extremos de la bobina se forman los polos magnéticos todos estos campos y polos se muestran en la siguiente *figura 5*.

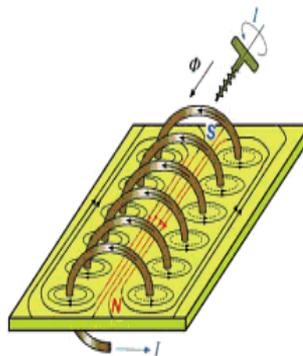


Figura 5: Campo Magnético de una Bobina.
Fuente: (Gracia-Hevia, 2007)

Fuerza magnetomotriz

Es la capacidad que posee la bobina para generar líneas de fuerza en un circuito magnético. En la *ecuación 2.10* aumenta con la intensidad de la corriente que fluye por la bobina y con el número de espiras de ésta.

$$\mathcal{F} = N \cdot I \quad (2. 10)$$

Dónde:

\mathcal{F} = Fuerza magnetomotriz en amperio-vuelta (Av).

N = Número de espiras.

I = Intensidad de corriente (A).

Para evitar fabricar bobinas de grandes dimensiones se utilizan materiales superconductores, de esta forma se consiguen potentes campos magnéticos con pocas espiras y corrientes de miles de amperios, que no calientan a los superconductores por carecer estos de resistencias.

Flujo magnético

El campo magnético representa unas líneas de fuerza, que se denominan flujo magnético. Se representa por la letra griega Φ ; sus unidades son:

- El weber (Wb), en el sistema internacional.
- El maxvelio, en el sistema EGS (Mx).

Inducción magnética

La inducción magnética se define como la cantidad de líneas de fuerza que atraviesa perpendicularmente la unidad de superficie como se observa en la *figura 6*. En cierta forma, indica el número de líneas de fuerza, o lo concentradas que están, en una parte del campo magnético.

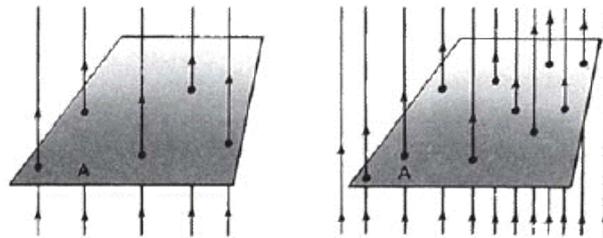


Figura 6: Inducción magnética sobre una superficie.
Fuente: (Gracia-Hevia, 2007)

k. Diseño básico de inductores

En el diseño de bobinas de inducción para calentamiento se utilizan datos empíricos, obtenidos para formas geométricas simples. Algunas ideas preliminares para el diseño de bobinas de calentamiento son: (González W. A.-B., 2013)

Acoplamiento y eficiencia: El inductor es similar al primario de un transformador y la pieza a calentar es equivalente al conjunto núcleo-secundario.

Máxima transferencia de energía: La distancia entre la superficie de la pieza y el inductor debe ser lo más estrecha posible para garantizar la máxima transferencia de energía. El área con mayor concentración de flujo magnético $\vec{\beta}$, será el área con mayor densidad de corriente J_0 .

Máxima velocidad de calentamiento: Las líneas de flujo magnético concentradas en el centro de la bobina tipo solenoide proveen la máxima velocidad de calentamiento en esta área.

La pieza a calentar: Lo que determina la forma de la bobina es la geometría de la pieza a calentar.

El centro magnético: El centro magnético del inductor tipo solenoide no siempre es el centro geométrico. Esto se debe a la contribución magnética de las espiras terminales del inductor, las cuales no conservan geometría axial con el resto de las espiras internas.

Prevención de cancelación de campos magnéticos: Algunas bobinas pueden transferir mayor cantidad de energía a la pieza a calentar, debido a su capacidad de concentrar flujo magnético, por lo tanto, para prevenir pérdidas de energía, es necesario cancelar la inducción que no contribuye con el calentamiento.

Tipo de fuente de poder y velocidad de producción: La fuente de poder puede variar según la aplicación que va a tener, siendo la capacidad de entregar potencia y la frecuencia de trabajo las características más importantes.

Material de la bobina: Debe considerarse la resistencia óhmica del material con que se elabora la bobina. Una resistencia baja evita pérdidas de potencia por efecto Joule en el inductor y reduce la necesidad de refrigeración del sistema. Es necesario emplear un material cuya propiedad de transmisión de calor sea alta para construir la bobina.

Elección de la geometría: La elaboración de un inductor depende de la geometría de la pieza a ser tratada, por esto es necesario establecer las condiciones geométricas necesarias.

Refrigeración: La bobina experimentará pérdidas por efecto Joule debido a su resistencia eléctrica, incremento de temperatura alterando las características físicas del inductor tales como la maleabilidad y conductividad eléctrica. Usualmente se emplea tubería de cobre, la cual permite introducir un refrigerante para el intercambio de calor.

Factibilidad: El proceso de fabricación de la bobina debe considerar los costos asociados al tipo de material utilizado y las ventajas que representa la construcción de una bobina cuya geometría permita el tratamiento térmico de diversos tipos de superficie.

I. Tipos de bobinas de inducción

La bobina de trabajo, también conocida como inductor, es el componente del sistema de calentamiento por inducción que determina el grado de eficacia y eficiencia con que se calienta la pieza de trabajo. Las bobinas de trabajo varían en complejidad, desde una simple bobina enrollada con forma helicoidal compuesta por varias vueltas hasta una bobina mecanizada con alta precisión a partir de cobre macizo y soldada, a continuación se detallan algunos tipos de bobinas existentes: (Dahake, 2009).

Bobina helicoidal de varias espiras

La bobina helicoidal que se muestra en la *figura 7*, es la bobina más común y eficiente; en ella, el número de espiras define la anchura del patrón de calentamiento. La pieza de trabajo puede permanecer estacionaria dentro de la bobina para proporcionar una franja de calentamiento.



Figura 7: Bobina helicoidal de varias espiras
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina de una espira

Las bobinas de una espira (ver *figura 8*) resultan ideales para calentar una franja estrecha de una pieza de trabajo o la punta de una pieza de trabajo. Con frecuencia, estas bobinas se ciñen a la pieza para proporcionar un patrón de calentamiento exacto.

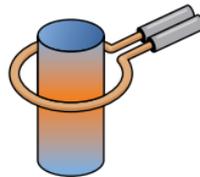


Figura 8: Bobina de una espira
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina helicoidal multiposición

Las bobinas multiposición (ver *figura 9*) se utilizan para producir más piezas dentro de un tiempo determinado, pero permitiendo un proceso de calentamiento completo. Mientras se calienta una pieza de trabajo en una de las posiciones, la otra bobina puede ser cargada y descargada para el siguiente ciclo de calentamiento.

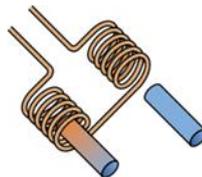


Figura 9: Bobina helicoidal multiposición
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina de canal

Las bobinas pueden conformarse de modo que la pieza de trabajo atraviese el campo electromagnético por acción de un mecanismo de transporte lineal. La pieza de trabajo se calienta a medida que avanza por la bobina de canal, y ésta puede configurarse para calentar toda la pieza o sólo una pequeña franja (ver *figura 10*).

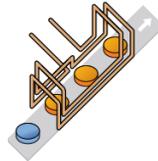


Figura 10: Bobina de canal
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina de canal curvada

Con frecuencia, las bobinas de canal están curvadas para adaptarse a una mesa giratoria y se configuran para ocupar uno de los pasos de un proceso de montaje de varios pasos (ver *figura 11*).

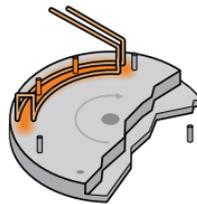


Figura 11: Bobina de canal curvada
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina de oblea

Las bobinas de oblea se utilizan cuando es necesario calentar la pieza de trabajo sólo desde un lado o cuando no es posible rodear la pieza (ver *figura 12*).



Figura 12: Bobina de oblea
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina helicoidal dividida

Las bobinas helicoidales divididas de una o varias espiras se utilizan cuando no es posible el acceso al área a calentar utilizando una bobina helicoidal (ver figura 13).



Figura 13: Bobina helicoidal dividida
Fuente: (Dahake, 2009)

Bobina interior

Los orificios interiores pueden calentarse con bobinas interiores de una o varias espiras (ver figura 14).



Figura 14: Bobina interior
Fuente: (Dahake, 2009)

m. Modelo eléctrico de una bobina de inducción

La bobina de inducción

La bobina de inducción es un dispositivo que emplea el principio de la inducción mutua, para producir tensiones muy elevadas a partir de tensiones de alimentación relativamente bajas.

Las bobinas comunes de inducción (ver *figura 15*), se componen generalmente, de dos bobinas separadas y arrolladas alrededor de un núcleo construido con alambres de hierro, una de las bobinas se llama bobina o arrollamiento primario y se compone de relativamente pocas vueltas de alambre grueso; la otra, llamada secundaria o arrollamiento secundario, se compone de muchas vueltas de alambre más delgado que el primario y, a menudo, aunque no siempre, se construye inmediatamente encima y bien apretada contra el primario, y concéntrica con este arrollamiento alrededor del mismo núcleo magnético. Los impulsos de corriente eléctrica de baja tensión, que pasan a través del primario, producen un campo magnético pulsante cuyas líneas de fuerza también rodean los conductores del secundario.

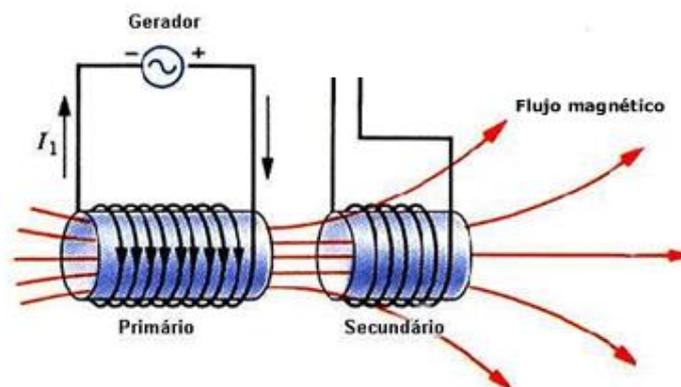


Figura 15: Bobina de inducción

Fuente: (Toro, 1988)

Esquema de una bobina de inducción

Partiendo del modelo del transformador y considerando que el acoplamiento magnético es menor a la unidad, el circuito equivalente mediante inductancias acopladas, la carga es la bobina de trabajo o de inducción del sistema. La *figura 16*, muestra el esquema eléctrico general del sistema de inducción.

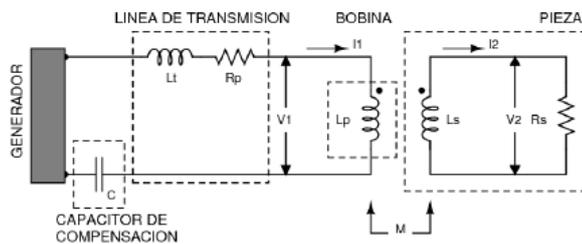


Figura 16: Circuito eléctrico de una bobina de inducción.
Fuente: (Toro, 1988)

Donde L_p es la inductancia de la bobina de inducción, L_s y R_s son la inductancia y la resistencia óhmica respectivamente, que forma la espira que aparece en la carga por efecto pelicular y M , representa la inductancia mutua entre ambas bobinas. Es un sistema dinámico, donde los parámetros eléctricos varían con la frecuencia de operación, afectando los comportamientos electromagnéticos y termodinámicos.

n. Principio de calentamiento por inducción

Energía transferida

La carga de una instalación de inducción es calentada debido al efecto Joule como resultado de las corrientes de Eddy Foucault inducidas.

La fórmula simple para la potencia es $P = R * I^2$ pero no puede usarse porque la distribución de las corrientes sobre el conductor no es uniforme según la ecuación 2.11.

$$P = \pi * d * h * H^2 * \sqrt{\pi * \rho * \mu_0 * \mu_r * f * C * F} \quad (2.11)$$

Dónde:

P = Potencia

d = Diámetro del cilindro (m)

h = Altura del cilindro (m)

H = Intensidad del campo magnético (A / m)

ρ = Resistividad ($\Omega * m$)

μ_0 = Permeabilidad magnética de vacío ($4 \pi * 10^{-7} H / m$)

μ_r = Permeabilidad relativa

f = Frecuencia (Hz)

Los dos últimos términos de la fórmula son factores de corrección:

F (*Factor de Transmisión de Potencia*): Toma en cuenta la relación entre la profundidad de penetración y las dimensiones externas de la carga. F depende de la geometría de la carga.

C (*Factor de Acoplamiento*): Corrector para las dimensiones relativas del inductor y la carga. La corrección es más pequeña si el inductor es más largo y el espacio entre el inductor y la carga es más pequeño.

Las características del material son muy importantes, especialmente la resistividad y la permeabilidad relativa. Para materiales ferromagnéticos estas características son muy adecuadas y

permiten máxima transferencia de potencia y altas temperaturas en la carga con pocas pérdidas en la fuente.

Eficiencia eléctrica

La eficiencia eléctrica está definida por la ecuación 2.12 depende de P potencia inducida y P_i la potencia disipada del inductor, expresada como.

$$\eta_e = \frac{P}{P + P_i} \quad (2.12)$$

Dónde:

$\eta_e =$ *Eficiencia eléctrica*

$P =$ *Potencia inducida en la carga*

$P_i =$ *Potencia disipada en el inductor*

La eficiencia eléctrica también es afectada por la relación diámetro/efecto penetración (en caso de carga cilíndrica). Finalmente, el diseño del inductor también es importante.

Factor de potencia

El inductor y la carga representan una potencia reactiva importante existe un espacio entre el inductor y la carga y por otro lado, la propia carga tiene un carácter inductivo.

Proceso técnico

Debido a la alta densidad de potencia una instalación de calentamiento inductivo puede ser compacta y entregar calor de

manera rápida, la inducción ofrece la posibilidad de alcanzar altas temperaturas, ausencia de pérdidas en transferencias caloríficas.

Consumo de energía

Los sistemas de calentamiento inductivo tienen una buena eficiencia, la eficiencia energética también depende de las características del material a calentar. Una cantidad importante de las pérdidas de calor pueden ser recuperadas.

Calidad

La calidad es posible trabajando en vacío o en atmósferas inertes donde se puede determinar con precisión y el calentamiento puede ser regulado con precisión.

Limitaciones

Una instalación de calentamiento inductivo normalmente implica una inversión significativa y debe compararse a las técnicas de calefacción convencionales.

o. Características del calentamiento inductivo

Para las aplicaciones de calentamiento por inducción, se tienen las siguientes características más importantes.

- El efecto piel que caracteriza la distribución de las corrientes inducidas en la pieza. La intensidad del campo magnético alterna que penetra en el material decrece rápidamente al aumentar su penetración y por lo tanto también las corrientes inducidas.

- La potencia disipada en la pieza que caracteriza el rendimiento del fenómeno eléctrico.

Los parámetros más importantes que intervienen en el proceso del calentamiento por inducción son:

- La frecuencia de la corriente
- La naturaleza del material a calentar y su estado
- La intensidad del campo magnético inductor
- El acoplamiento entre el inductor y la pieza a calentar.
- El tipo de inductor y sus características geométricas
- La naturaleza del material conductor del inductor

p. Materiales para inducción electromagnética

Existen una variedad de materiales que se emplean para fabricar utensilios adecuados para las cocinas de inducción electromagnética, también para la construcción de calentadores de agua y hornos de inducción industriales se los construye con distintos materiales, pero en especial se utiliza el acero inoxidable.

Tipos de materiales

En el mercado se encuentran varios tipos de aceros inoxidables con distintas características internas que hacen de éstos una gran opción para ser utilizados en la elaboración de equipos que trabajen con inducción electromagnética.

Acero martensíticos

Son la primera rama de los aceros inoxidables. Representan una porción de material ferroso, sus características son:

- Moderada resistencia a la corrosión endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza.
- Son magnéticos debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad.

Los martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido de cromo es generalmente de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%.

Aceros ferríticos

Estos aceros inoxidables AISI (American Iron & Steel Institute) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, sus características son:

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno.
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Son magnéticos.
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados.
- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión
- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío.

Los ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08%.

Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características.

Aceros Austeníticos

Los aceros inoxidable austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico.
- Excelente soldabilidad.
- Excelente factor de higiene y limpieza formada sencilla y de fácil transformación.
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas.
- Son no magnéticos.

Los austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno para las nuevas aleaciones que mejoran sus características de resistencia de corrosión soldabilidad.

El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08% para todas las aleaciones.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650° C en una variedad de ambientes de trabajo o de exposición.

Esta familia se divide en dos categorías:

- SERIE 300 AISI.- Aleaciones cromo-níquel.
- SERIE 200 AISI.- Aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno.

SERIE 300 AISI Es la más extensa, mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También puede contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son adicionados para conferir ciertas características. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados.

SERIE 200 AISI Contiene menor cantidad de níquel. El contenido de manganeso es de 5 a 20%. La adición de nitrógeno incrementa la resistencia mecánica.

Aceros austenoferríticos

Son aleaciones cromo-níquel-molibdeno, sus características son las siguientes:

- Son magnéticos.
- No pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos.
- Buena soldabilidad.
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

Los dúplex tienen un contenido de cromo de entre 18 y 26% y de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos de nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno imparten ciertas características de resistencia a la corrosión.

Propiedades de los aceros

Si el acero ferrítico tiene una estructura interna en forma de FERRITA, que es magnética. Lo mismo sucede cuando se produce internamente la forma MARTENSITICA.

Sin embargo el acero inoxidable austenítico AISI, tiene una estructura interna en forma de AUSTENITA, que no es magnética estas son algunas de sus características de los aceros en la *tabla 1*, se detalla las propiedades más importantes de los aceros.

Tabla 1
Propiedades generales de los aceros

PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACEROS					
TIPO	RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	DUREZA	MAGNÉTICOS	ENDURECIBLES POR TRATAMIENTO O TÉRMICO (TEMPLE)	SOLDABILIDAD
Martensítico	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media baja	Si	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta	No	No	Excelente

Fuente: (BONNET, 2013)

Conductividad térmica: La conductividad térmica de los ferríticos es superior a la de los austeníticos (*tabla 2*), lo cual permite limitar las concentraciones en calor en el fondo de las ollas.

Tabla 2
Conductividad térmica del AISI

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		
CARACTERÍSTICA	AUSTENÍTICO	FERRÍTICO
Conductividad térmica (W/m°C)	15	18

Fuente: (Aperam Stainless Europ, 2011)

Coefficiente de dilatación térmica: Gracias a un coeficiente de dilatación térmico bajo (*ver figura 17*), los fondos de los utensilios de cocción fabricados con ferríticos conservan su planicidad, lo cual

favorece una mejor cocción, en particular cuando se trata de cocción por inducción.

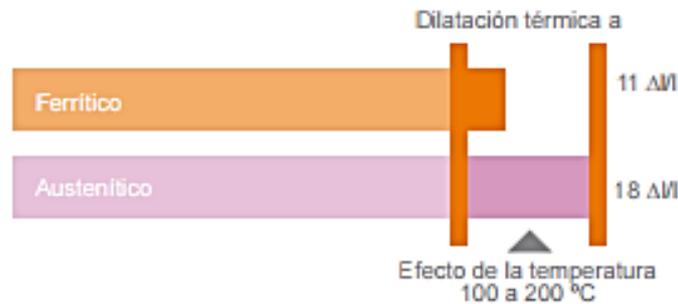


Figura 17: Dilatación térmica de aceros.
Fuente: (Aperam Stainless Europ, 2011)

q. Aplicaciones de la inducción electromagnética

Las aplicaciones de inducción electromagnética dentro del campo industrial se dan para las transformaciones metalúrgicas como la fusión, forja, tratamientos térmicos, soldaduras, sellado de envase, curado de adhesivos y pastas sellantes, entre otros.

Cocinas de inducción

El desarrollo de la tecnología actualmente está implicado en todos los aspectos de la vida y hoy en día se ha impuesto en la cocción de los alimentos con introducción de las cocinas de inducción.

Siendo las cocinas *una placa de inducción, cuya superficie de contacto es vitrocerámica, lleva instalada una bobina por la que fluye corriente y que genera un campo magnético que se transmite a la base del recipiente de cocina, donde se transforma inmediatamente en calor* (INDURAMA, 2014), el mismo campo generado es inducido a la superficie de la olla como se muestra en la *figura 18*, provocando la cocción de los alimentos.

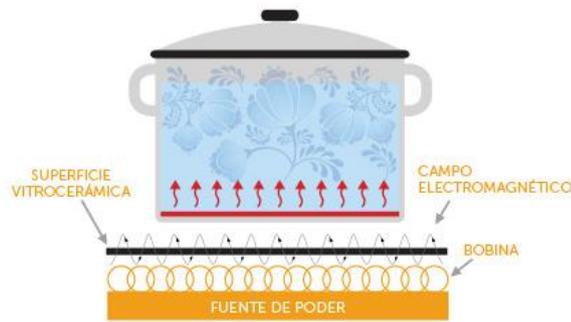


Figura 18: Funcionamiento de las cocinas de inducción.
Fuente: (INDURAMA, 2014)

Dentro de las ventajas que las cocinas de inducción brindan son:

- **Seguridad:** Los riesgos de explosión e intoxicación de gas, quemaduras son evitables debido a los sensores que reconocen automáticamente si el recipiente se encuentra sobre la superficie de inducción.
- **Eficiencia:** Trabaja con una eficiencia energética de mayor o igual al 85%.
- **Limpieza:** Con la superficie de vitrocerámica la limpieza es muy fácil que se puede realizar solo con un paño húmedo.
- **Estética:** Con una visión moderna y agradable.
- **Fácil uso:** No requiere de fosforeras para su encendido, con el teclado táctil es fácil utilización.
- **Responsabilidad ambiental:** La pérdida de energía bajo este sistema es muy baja, lo que permite que el tiempo se reduzca notablemente al momento de cocinar, cocinando a menor tiempo, menor electricidad y menor pago.

Hornos de inducción

Los hornos de inducción con el paso de los años se han convertido en el mejor recurso para fundir materiales ferrosos y no ferrosos con alta

potencia y frecuencia lo que conlleva a tener una mayor eficiencia y productividad.

Prácticamente los hornos de inducción *son equipos eléctricos que utilizan una corriente inducida para fundir la carga (material). Es decir, consisten en una unidad de potencia o inversor que inyecta corriente de frecuencia alterna y variable a una bobina, la cual contiene una sección de cobre reforzado y alta conductividad maquinada en forma helicoidal; la corriente que pasa por la bobina forma un campo electromagnético* (Botero, 2014).

La utilización de los hornos de inducción prevalece porque son limpios, por el calentamiento que producen derriten rápidamente los materiales por lo que son fáciles para mantener y operar; dado a que la inducción genera un rápido calentamiento, permiten tener controles de temperatura y calor precisos.

Tipos de hornos de inducción

Existen dos clases de hornos de inducción:

Baja frecuencia: el calor se produce por el efecto Joule de la corriente inducida por corriente alterna a través del metal que se desea fundir.

Alta frecuencia: El calor lo producen las corrientes de Foucault, ordinariamente consideradas como parásitas, inducidas en el metal, que actúan como núcleo de un solenoide.

r. Viviendas unifamiliares

Según las estadísticas del censo de población y vivienda del 2010, en la ciudad de Latacunga la tendencia de las viviendas propias y

totalmente pagadas son del 57.1%, es decir, más de la mitad de su población cuenta con su casa propia con servicios básicos como eléctrico, telefónico, abastecimiento de agua, eliminación de basura, conexión de servicio higiénico entre otros.

En la actualidad, las viviendas cuentan con otros servicios para el acceso a las tecnologías de la información mediante el internet, computadoras portátiles y los celulares, también con cambios en el proceso del calentamiento de agua mediante calefones eléctricos y calefones a inducción que hoy en día se promueven como uno de los principales criterios para la eficiencia energética en viviendas unifamiliares.

Existen definiciones muy abiertas de las viviendas unifamiliares, pero se puede afirmar que una vivienda unifamiliar es una construcción destinada a una sola familia con necesidades energéticas como las siguientes:

Aguas salientes sanitarias (ACS): El consumo de agua caliente supone un gasto total de energía de hasta un 80%. El agua caliente se utiliza en la ducha, en el aseo personal, en la lavadora, la cocina, los lavadores.

Calor y frío: La climatización depende de la época del año (invierno o verano) y a la región donde esté ubicada la vivienda; pero siempre resultará mejor un aislamiento adecuado de la envolvente del espacio construido, para reducir el consumo hasta en un 50%.

- **Calor:** La calefacción en una vivienda es utilizada en climas fríos para mantenerse una temperatura interior de 25°C, que está dentro de un rango de confortabilidad.

- **Refrigeración:** es utilizada en climas cálidos y es un proceso donde se disminuye la temperatura de un espacio para alcanzar un grado de confort térmico en una vivienda.

Electricidad: La electricidad se utiliza para iluminación o para el uso de electrodomésticos. Se deben instalar sistemas de control de energía y de aparatos modernos y eficaces.

Consumo de agua en viviendas unifamiliares

El tiempo empleado para bañarse según la población de las regiones naturales, como se muestra en la *figura 19*, el 89,3% de los hogares que se encuentra en la región Costa utilizan más de 20 minutos para bañarse, en cambio la región Sierra muestra menores incidencias con el 73,1%.

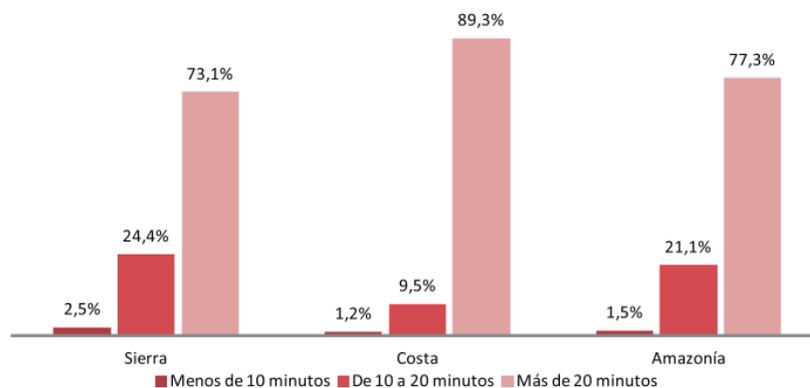


Figura 19: Tiempo empleado para bañarse según regiones naturales
Fuente: (INEC, 2012)

El agua es un recurso natural limitado cuya cantidad disminuye con el pasar de los años.

Por esta razón, se debería realizar cambios en los hábitos del uso y su manejo en los hogares basados en el ahorro y la sensibilización de que este recurso natural es limitado, para tomar conciencia de que se

debe utilizar la cantidad mínima necesaria evitando desperdicios y garantizando el bienestar de las futuras generaciones.

s. Temperaturas de aguas salientes sanitarias (ACS)

El volumen y la temperatura de agua son datos importantes y relevantes al momento de hacer uso de un calefón para el calentamiento del agua así como también el tiempo de empleo del suministro.

Dichos datos pueden variar de acuerdo al tipo de vivienda, en la investigación planteada se enfoca para las viviendas unifamiliares en las que se describen los siguientes datos como se puede observar en la *tabla 3*, tanto del consumo como la temperatura y el tiempo de llenado.

Tabla 3
Temperaturas y consumo en aparatos sanitarios

TIPO DE EDIFICACIÓN	APARATO	TEMPERATURA (°C)	CONSUMO POR LLENADO (L)	TIEMPO DE LLENADO (MINUTOS)
Vivienda Unifamiliar	Bañera	38	150	15
	Bidet	35	5	2
	Ducha	40	45	6
	Lavamanos	35	2	2

Fuente: (Escribano, Octubre 2008)

2.4. Fundamentación conceptual

Calefón es un artefacto que cumple la función de calentar el agua en forma instantánea, el agua se calienta durante el tiempo que recorre desde la entrada hasta la salida del aparato por efecto de la combustión del gas en el cuerpo de caliente de caldeo, siendo esta la principal diferencia con otros artefactos productores de agua caliente,

como el termo, que es un acumulador de agua. (Meléndez Aguilera, 2007)

Vivienda unifamiliar es una construcción arquitectónica la cual sirve de respaldo para una familia proporcionando los debidos servicios y espacios para que los que habitan puedan vivir adecuadamente donde tienen los ambientes bien distribuidos. (Meléndez Aguilera, 2007)

Inducción electromagnética cuando una corriente alterna fluye por un conductor, el movimiento de electrones ocurrirá a la misma frecuencia en conductores próximos que no están conectados con el alambre por el cual fluye la corriente. (Gibilisco, 1994)

Potencia es la rapidez a la que se gasta o disipa la energía. La potencia se expresa en joules por segundo o watts. (Gibilisco, 1994)

Eficiencia energética es la razón, expresada por lo general como porcentaje, entre la potencia de salida de un dispositivo o sistema y la potencia de entrada a ese dispositivo o sistema. La eficiencia de todo dispositivo es menor del 100 por ciento; si bien algunos dispositivos se acercan a la eficiencia del 100 por ciento, este ideal nunca se logra en realidad. (Gibilisco, 1994)

2.5. Variables de investigación

Variable independiente Diseño de un calefón prototipo a inducción electromagnética.

Variable dependiente Proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares.

2.5.1. Operacionalización de las variables

Tabla 4
Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Diseño de un calefón prototipo a inducción electromagnética	Calefón es un artefacto que cumple la función de calentar el agua en forma instantánea que recorre desde la entrada hasta la salida del aparato. (Meléndez Aguilera, 2007)	Energía eléctrica consumida por sistema de inducción electromagnética.	Planilla de consumo	kWh	Registrador y analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico –Fluke 1735. Tabla de datos.
	Inducción electromagnética cuando una corriente alterna fluye por un conductor, el movimiento de electrones ocurrirá a la misma frecuencia en conductores próximos que no están conectados con el alambre por el cual fluye la corriente. (Gibilisco, 1994)	Energía almacenada en el agua.	Incremento de energía	J	Registrador y analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico –Fluke 1735. Tabla de datos.
		Consumo energético.	Eficiencia	%	Calculadora, guía de observación, Tabla de datos, formulario, Excel.

Tabla 5
Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares	<p><i>Proveer es proporcionar aquello, servicio o producto que se necesita para algo</i> (Definición, 2006)</p> <p>Vivienda Unifamiliar es una construcción arquitectónica la cual sirve de respaldo para una familia proporcionando los debidos servicios y espacios para que los que habitan puedan vivir adecuadamente donde tienen los ambientes bien distribuidos. (Meléndez Aguilera, 2007)</p>	Cantidad del caudal de agua	Lit/min	USD	Cubeta de laboratorio, cronometro, guía de observación, formulario.
		Consumo de energía eléctrica.	Planilla de consumo	USD	Registrador y analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico –Fluke 1735. Tabla de datos, formulario.
		Rentabilidad económica	Eficiencia	USD	Tabla de datos, formulario.
		Inversión económica (propuesta)	VAN, TIR	USD	Guía de observación, formulario, manuales, catálogos.
		Confort en el uso doméstico del agua	Temperatura del agua	°C	Multímetro EME 5808 con termopar. Tabla de datos

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización

El proyecto de investigación se desarrolla en el laboratorio de Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- L, para determinar mediante pruebas la eficiencia energética de un calefón prototipo a inducción.

Para la ejecución de las pruebas se diseña un sistema de calentamiento por inducción elaborado con acero inoxidable AISI 430, tipo cilindro de dos partes una con un diámetro 21 *cm* y otra con un diámetro de 17 *cm*, las dos con alturas de 15 *mm* y el grosor del material en la base de 0,6 *mm* y en las paredes como en la parte superior un grosor de 0,4 *mm*. Su estructura interna es separada cada 3 *cm* por pequeñas láminas del mismo material con un grosor de 0,4 *mm*, que adquiere la forma de un serpentín tipo condensador como se puede ver en la *figura 20*.



Figura 20: Sistema de calentamiento por inducción con estructura interna tipo serpentín condensador

El recipiente que tiene la forma de cilindro es diseñado de acuerdo a las normas INEN 2851, los mismos que se enuncian en el ensayo de eficiencia energética para recipientes usados en cocinas de inducción y corresponden a los diámetros del fondo magnético para utensilios de cocinas normalizadas, en lo que la norma manifiesta que se debe tener un material de alta conductividad térmica con un espesor mínimo de 0,5 mm cuando se utilice acero inoxidable AISI 430 por lo que el sistema está estructurado con las siguientes dimensiones mostradas en la *tabla 6*.

Tabla 6
Normas INEN para inducción electromagnética

UTENSILIO DE COCINA	DIÁMETRO FONDO MAGNÉTICO "A" (MM)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA BOCA "B" (MM)	ALTURA MÍNIMO "C" (MM)	ESPESOR FONDO MÍNIMO (MM)	LLANURA MÁXIMA DEL FONDO (MM)	FONDO CONVEXO MÁXIMO (MM)
1	140 +/- 10	140 + 30	70	1,5	0,075	0,3
2	180 +/- 10	180 + 30	90	1,5	0,075	0,3
3	210 +/- 10	210 + 30	110	1,5	0,1	0,3

Fuente: (INEN, 2010)

La inducción es generada por una cocina de marca ECASA (ver *figura 21*), cuya potencia es de 2.5 kW, con una eficiencia energética de ($\geq 85\%$), en donde se coloca el sistema de calentamiento por inducción por el cual circula el agua proveniente de un tanque de almacenamiento con capacidad de 15 litros.



Figura 21: Sistema de inducción (cocina de inducción ECASA)

En la implementación del sistema de calentamiento por inducción, los tubos instalados para la circulación del agua se lo realiza con plomería tipo PP de Plastigama tanto a la entrada y salida del sistema. Son escogidos los tubos de este tipo porque previenen la disipación de calor y son construidos específicamente para instalaciones de agua caliente en viviendas unifamiliares. Para evitar fugas se utiliza teflón en las uniones.

Para las conexiones eléctricas del calefón prototipo se utiliza cable gemelo flexible número *AWG* 2x12, que soporta una corriente de 25 A, perteneciente a la gama baja de tensión (hasta 1000 V) dado que el sistema requiere un voltaje nominal de 220 V. Todo lo mencionado anteriormente contempla a la implementación del proceso para la ejecución de las pruebas del calefón prototipo a inducción como se puede observar en la *figura 22*.



Figura 22: Implementación del proceso para la ejecución de las pruebas del calefón prototipo a inducción

Se utiliza en un recubrimiento de lana de vidrio al sistema de calentamiento por inducción, ver *figura 23*, para aumentar la transferencia de calor al sistema y evitar la disipación del calor al medio ambiente.



Figura 23: Sistema de calentamiento por inducción recubierto de lana de vidrio bajo la estructura mostrada

La investigación busca analizar la eficiencia energética del calefón prototipo a inducción comparado con calentadores convencionales, y determinar si éste es la mejor opción para proveer de agua caliente en viviendas unifamiliares optimizando recursos energéticos. Para el efecto se realizan experimentos donde se considera la misma cantidad de agua con diferentes niveles de potencia utilizada en generar la inducción, se varían las condiciones del sistema, por ejemplo se aísla o no el sistema utilizando recubrimiento de lana de vidrio.

Para cada experimento se mide la potencia consumida, la temperatura del agua tanto en la entrada como en la salida, a partir de estos datos se determina la eficiencia del calefón prototipo y la de un calefón eléctrico. Este

procedimiento se realiza seis veces con diferentes potencias con y sin aislamiento.

Las eficiencias obtenidas permitirán determinar si el calefón a inducción es mejor que los sistemas de calentamiento convencionales. Los aspectos a tomarse en cuenta dentro del plan de pruebas son:

- Se considera un volumen de agua de 10 litros para cada una de las pruebas.
- La temperatura inicial del agua es la temperatura ambiente al momento de realizar la prueba.
- Se hace circular el agua por el sistema y se miden: la potencia consumida, el tiempo que se demora en circular el volumen de agua establecido, la corriente consumida, el voltaje de alimentación, la variación de la temperatura del agua.
- Se calcula la energía eléctrica consumida y la energía contenida en el agua y se determina la eficiencia.

Un mismo proceso se realiza utilizando un calentador eléctrico convencional, para luego de determinar las eficiencias de estos dos sistemas, se realiza un análisis comparativo cuantitativo para concluir cual sistema es el más adecuado y eficiente para proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares.

Las mediciones se realizan mediante un analizador de energía eléctrica trifásico Fluke 1735, que permite registrar información de las mediciones.

Para fijar el número de mediciones necesarias y adecuadas que garantice la validez de los datos y por consiguiente el análisis comparativo de la eficiencia se recurre a procedimientos estadísticos como la prueba t-student de esta manera se busca corroborar sí el número de mediciones del mismo

experimento es el adecuado o cuantas mediciones se deben realizar para validar los datos, por esta razón se usa prueba t con su fórmula:

$$t = \frac{|\bar{x} - x_i|}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Dónde:

t = Es el valor de t-student

n = Número de repetición de la prueba

$\bar{x} - x_i$ = El error permisible en la medición

\bar{x} = Valor medio

x_i = Valor cualquiera correspondiente

σ = La desviación estándar

Se considera las mediciones del primer experimento realizado 5 veces bajo las mismas condiciones se tienen los datos en la *tabla 7* se determina la eficiencia y los parámetros necesarios para aplicar la prueba t-student.

Tabla 7
Datos de eficiencia de la primera prueba

PRUEBA	POTENCIA	ENERGÍA	ENERGÍA AGUA	EFICIENCIA	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	2 504.14	901 492.32	669 440	74.26	74.63	1.003
2	2 527.89	910 041.10	669 440	73.56		
3	2 451.36	882 490.32	669 440	75.86		
4	2 453.81	883 373.04	669 440	75.78		
5	2 524.00	908 642.20	669 440	73.60		

Obtenida la eficiencia energética en cada experimento se determina la desviación estándar y valor promedio:

$$\sigma = 1,003$$

$$\bar{x} = 7.63$$

El error aceptado para validar los datos de un proyecto de investigación es de 95% con un coeficiente alfa de $\alpha = 0.025$, el número de pruebas que se considera es $n = 5$, con lo cual se obtiene una t-student calculada de $t_{cal} = 3.06$, y de acuerdo con la tabla T el grado de libertad es $gl = 4$ se obtiene de la *tabla 8* el valor t-student es $t_{crit} = 2.77$.

Tabla 8
Valores de T-student para grados de libertad y alfa

α $n - 1$	0.025
1	12.7062
2	4.3027
3	3.1824
4	2.7764
5	2.5706

Fuente: (Torre, 2008)

Se observa que el valor $t_{cal} > t_{crit}$ es mayor entonces se concluye que existe una diferencia significativa que supera al t-crítico, por tanto según los grados de libertad se determina que es suficiente con tres o cuatro mediciones por cada prueba para asegurar un 95% de nivel confianza.

Para asegurar que es suficiente con tres mediciones se utiliza el coeficiente de correlación r para determinar si las eficiencias están correlacionadas entre sí según *tabla 9*, además se verifica si los datos no se encuentran dispersos a la medida que se utiliza para los cálculos y que permita asegurar que los valores estén dentro de un nivel de confianza cuando se tome una medición en cualquier instante y que ésta tenga una confianza del 95%.

Tabla 9
Análisis estadístico descriptivo correlación y covarianza

PRUEBA	EFICIENCIA	CORRELACIÓN R	COVARIANZA
1	74.26	0.68	0.78
2	73.56		
3	75.85		

Luego de realizar la correlación y covarianza con tres datos de eficiencias se determina que es suficiente realizar tres pruebas para asegurar una confianza del 95% ya que el coeficiente de correlación es $r = 0.68$, por tanto indica que la asociación de las variables aleatorias tienen una correlación fuerte es decir que las medidas de las demás pruebas varían con respecto a la primera teniendo una dispersión mínima. Y la covarianza indica que las eficiencias tienen dependencia directa positiva por lo que se determina que las mediciones no son dispersas entre sí como se observa en la *figura 24*, la dispersión de las eficiencias de la primera prueba.

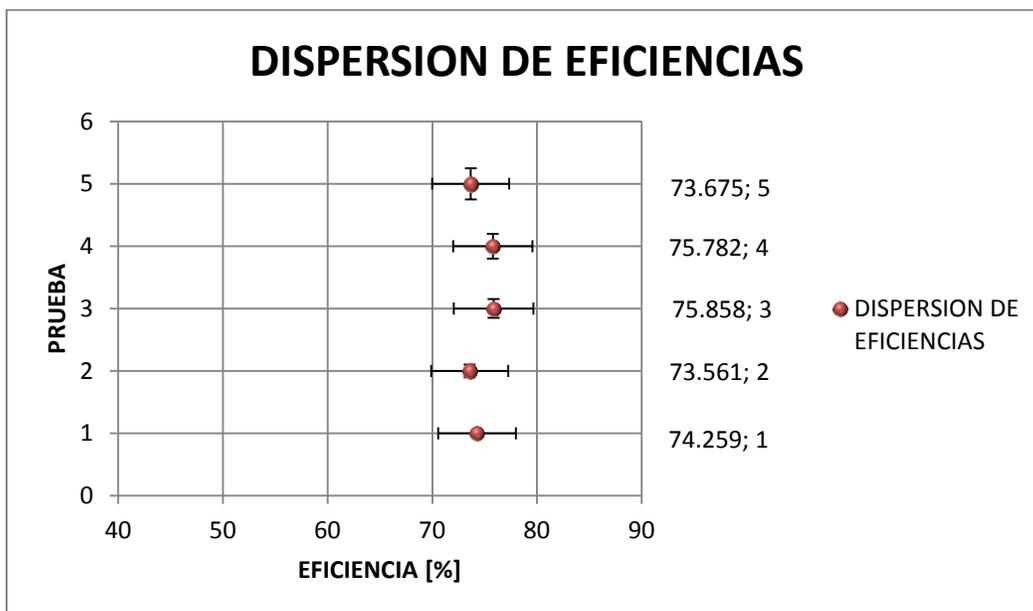


Figura 24: Correlación y dispersión de eficiencias de la primera prueba

Para terminar se calcula la correlación de distancias euclídeas de las eficiencias *tabla 10*, con ayuda del SPSS (software estadístico) en la cual se observa claramente que la diferencia entre ella no es significativa.

Tabla 10
Correlación de distancias euclídeas de las eficiencias de la prueba 1

	DISTANCIA EUCLÍDEA				
	1	2	3	4	5
1	0	0.289	1.281	1.403	0.486
2	0.289	0	1.570	1.692	0.197
3	1.281	1.570	0	0.122	1.767
4	1.403	1.692	0.122	0	1.889
5	0.486	0.197	1.767	1.889	0

Por tanto es suficiente con realizar cada prueba tres veces para obtener datos con un error aceptable para proyectos de investigación de 5%, se consideran 7 pruebas cada una repetida 3 veces, 7 parámetros eléctricos cada una con un total de 147 mediciones en total.

3.2. Diseño del Experimento

En el análisis se busca encontrar la eficiencia de un calefón prototipo y compararla con la de un calentador eléctrico convencional, siendo la variable a manipular el nivel de potencia con la que se inducirá al sistema de calentamiento por inducción, un instrumento digital determina los niveles de potencia con la que se trabaja para cada prueba.

Para realizar la investigación planteada en el proyecto se requiere la medición de variables como: energía eléctrica consumida, corriente, voltaje de alimentación, temperatura del agua tanto en la entrada como en la salida, tiempo de demora de cada prueba. De estas mediciones se obtiene la energía consumida, la energía absorbida por el agua, y la eficiencia, para luego realizar un análisis comparativo y concluir cuál es la manera más adecuada de proveer agua caliente en viviendas unifamiliares.

3.3. Modalidad de Investigación

- **Investigación bibliográfica:** Constituye la introducción al conocimiento ya existente, teorías, hipótesis, experimentos y prototipos sobre la problemática abordada en el proyecto de investigación, se utiliza fuentes de investigación, documentos y libros, que permita conocer a profundidad las variables de investigación sobre el diseño de un calefón prototipo a inducción electromagnética y proveer de agua caliente a viviendas unifamiliares.
- **Investigación de campo:** Trata del proceso sistemático y racional de recolección, tratamiento, análisis y presentación de datos en forma directa con la realidad del problema de las informaciones necesarias para la investigación donde se desarrolló el prototipo del sistema de calentamiento por inducción.
- **Investigación experimental:** Es la manipulación de variable independiente en conjunto con actividades metódicas para observar cambios en las respectivas variables dependientes para recabar información y datos en este caso se prueba el calefón prototipo a inducción con diferentes niveles de potencia y parámetros para disminuir pérdidas de transferencia de calor y se analiza la eficiencia energética.

3.4. Tipos de la investigación

- **Exploratoria:** Puesto que pone al investigador en contacto directo con el diseño del calefón prototipo y con el sistema de calentamiento por inducción.

- **Correlación:** El investigador debe relacionarse directamente con el calentamiento del agua en el calefón prototipo para asociar los parámetros eléctricos obtenidos mediante pruebas para el análisis de su eficiencia energética.

3.5. Métodos

- **Analítico** se deben analizar los parámetros energéticos del sistema de calentamiento de inducción electromagnética (cocina de inducción) y determinar directamente cual es la potencia eléctrica consumida, la eficiencia energética y la cantidad de energía aprovechada en el agua.
- **Deductivo** se da la necesidad de comprender y establecer los procesos que permiten generar la inducción electromagnética, aprovechando indirectamente para generar calor y ser transmitidos al agua por medio de fenómenos termodinámicos cumpliendo con los objetivo de elevar la temperatura del agua para uso doméstico.
- **Inductivo** debido a que se trata de un diseño de un calefón prototipo a inducción, donde se analiza los parámetros energéticos que influyen directamente en el sistema de calentamiento por inducción, que permite determinar cuál es el sistema más adecuado para calentar agua de uso doméstico en viviendas unifamiliares y mejorar la eficiencia energética.
- **Experimental** para comprender y determinar los parámetros adecuados en el sistema de calentamiento por inducción se debe experimentar el número de veces adecuado y recolectar datos necesarios para el análisis.

3.6. Técnicas e instrumentos

Técnica en el proyecto se plantea un método cuantitativo para aplicar los métodos de investigación analítico y experimental para medir, adquirir, registrar, tratar y transmitir la información, así como también trata de los principios y normas que ayudan a realizar una investigación deductiva e inductiva para indagar sobre los conocimientos teóricos e información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Instrumento es el medio o herramientas concretas reales para medir, recolectar y registrar datos o información de la investigación planteada, para este caso se realiza una técnica cuantitativa de investigación utilizando tablas de datos o gráficas, mediante criterios que permitan evaluar y analizar los datos adquiridos con el instrumento adecuado que para este caso se utiliza un *Registrador y analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico –Fluke 1735* observado en la *figura 25*. Sus especificaciones técnicas (ver *tabla 11*) lo hacen el instrumento más idóneo para registrar los datos de este proyecto de investigación.



Figura 25: Registrador y analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico –Fluke 1735
Fuente: (Fluke, 1996-2016)

Tabla 11
Especificaciones técnicas del analizador Fluke 1735

PARÁMETRO	ÍTEMES
Voltios RMS	Rangos de medición V-rms (estrella): 57 V/66 V/110 V/120 V/127 V /220 V/23 V/240 V/260 V/277 V/347 V/380 V/400 V/417 V/480 V ac Rangos de medición V-rms (delta): 100 V/115 V/190 V/208 V/220 V/380 V/400 V/415 V/450 V/480 V/600 V/660 V/690 V/720 V/830V ac
Amperios	Rango de medida del conjunto flexi rms: 15 A/150 A/3.000 A rms (en sinusoidal) Rango de medida de la abrazadera de corriente: 1 A/10 A
Frecuencia	Rango de medida: 46 Hz a 54 Hz y 56 Hz a 64 Hz
Armónicos y THD	Al armónico 50 (<50 % de nominal)
Medición de potencia Rango de medición (P - activo, S - aparente, Q - reactivo, D - distorsión)	consulte los rangos de medición V-rms y A-rms
Medición de energía (kWh, KVAh, kVARh)	Resolución 1 W a 10 W
PF (factor de alimentación)	0,000 a 1,000
Eventos	Detección de inflexiones de tensión, prominencias de tensión e interrupciones de tensión con una resolución de 10 ms y error de medición de la onda sinusoidal de medio período de rms
Memoria	Memoria Flash de 4 MB, 3,5 MB para datos de medición
Velocidad de muestreo	10,24 kHz
Frecuencia de línea	50 Hz o 60 Hz, seleccionable por el usuario, con sincronización automática
Display	Pantalla transmisiva de color de gráficos VGA, 320x240 píxeles con retroiluminación adicional y contraste ajustable, texto y gráficos en color
Interfaz	Conector hembra SUB-D RS-232; 115,2 k baudios
Fuente de alimentación	Paquete de baterías NiMH, con adaptador de ac (15 V a 20 V/0,8 A)
Temperatura de funcionamiento	0 °C → +40 °C
Tamaño (AlxAnxPr)	240 mmx180 mmx110 mm
Peso	1,7 kg, incluida batería

Fuente: (Fluke, 1996-2016)

Durante el proyecto se utilizan las siguientes técnicas con sus respectivos instrumentos:

- **La observación** que implica la visualización de la forma actual que se utiliza para calentar agua con calentadores convencionales eléctricos y la utilización de la inducción en cocinas para mejorar el proceso actual y aprovechar tecnologías existentes. Su instrumento la guía de observación.
- **Experimentos** se diseñan pruebas experimentales para evaluar, medir e inventariar datos que permitan encontrar la eficiencia energética y analizar los mismos. Su instrumento es material experimental tabla de datos.
- **La medición** se tomarán medidas a variables como la potencia, su voltaje, su corriente, temperatura del agua tanto como en entrada como a la salida de cada una de las pruebas diseñadas. Sus instrumentos son de medición de variables digitales.

Siendo los parámetros a ser medidos los siguientes:

- ✓ Cantidad de agua [lt]: es la cantidad de agua que se calentará con el calefón prototipo se mide con una cubeta de laboratorio.
 - ✓ Temperatura de agua inicial [°C]: es la temperatura que tiene el agua antes de realizar una prueba se utiliza termopar tipo K.
 - ✓ Temperatura de agua final [°C]: es la de temperatura que tendrá el agua luego de ser calentada, se utiliza un termopar tipo K.
 - ✓ Voltaje [V] y Corriente [A]: que se consume el calefón prototipo, en la prueba se utiliza Analizador Fluke 1735
 - ✓ Potencia [kW]: la energía consumida por unidad de tiempo, por el calefón prototipo, en la prueba se utiliza un Analizador Fluke 1735.
 - ✓ Tiempo [s]: el tiempo en que demora en circular los 10 lt de agua por los cilindros, se usa una cronometro con exactitud de milésimas de segundos.
- **Inventarios** se recolectan datos sobre potencia, voltaje, corriente, factor de potencia y temperatura de agua tanto como en la entrada como a su salida

de cada una de las pruebas diseñadas. Sus instrumentos son tabla de datos.

- **Pruebas estadísticas** se realizarán procedimientos estadísticos que permitan obtener mediante cálculos matemáticos la veracidad correspondiente en el desarrollo de los mismos, mediante la aplicación de las fórmulas que se requieran, para asegurar que el proyecto conlleva cálculos reales para su objetivo del análisis energético del calefón prototipo. Sus instrumentos son los formularios y software.

3.7. Proceso para determinar los datos medidos necesarios

Se realizan cada una de las pruebas, de las cuales se toman tres veces las mismas medidas de cada uno de los parámetros necesarios para realizar el análisis de eficiencia.

Cada experimento se lo desarrolla con la misma cantidad de agua (10 litros), con la temperatura inicial del agua al momento de realizar la prueba, la misma que circulará por el sistema de calentamiento por inducción que es sobrepuesto en las zonas de inducción de la cocina.

Se plantean siete tipos de pruebas que varían en las condiciones de calentamiento por inducción, determinado por los niveles de potencia de la cocina, los cuales se irán combinando de acuerdo a la prueba que se realiza, a continuación se detallan las condiciones de las pruebas.

1. Zona 1 y zona 2 con niveles de potencia de 7 y 6 respectivamente.
2. Zona 1 con nivel 9 de potencia y zona 2 en nivel 0 de potencia.
3. Zona 1 en nivel 0 y en nivel 9 de potencia la zona 2.
4. Zona 1 y zona 2 con niveles de potencia de 7 y 6 respectivamente con lana de vidrio.

5. Zona 1 con nivel 9 de potencia y zona 2 en nivel 0 de potencia con lana de vidrio.
6. Zona 1 en nivel 0 y en nivel 9 de potencia la zona 2 recubierta con lana de vidrio.

En las tres pruebas siguientes se recubre al sistema con lana de vidrio para aumentar la transferencia de calor al sistema y evitar la disipación del calor al medio ambiente. Las condiciones de los niveles de potencia son las mismas que las primeras pruebas con la única diferencia que tendrá dicho recubrimiento el sistema de calentamiento por inducción. Para la última prueba se utiliza una ducha eléctrica conectada al sistema por donde solo se hará circular el agua, es decir, la inducción en las zonas 1 y 2 estarán apagadas.

Durante el tiempo transcurrido en la ejecución de las pruebas, se registrará en Excel medidas de la temperatura final del agua, corriente, potencia y voltaje consumidos durante el proceso para posteriormente realizar cálculos matemáticos y procesos estadísticos que permitan determinar la eficiencia energética en cada una de las pruebas.

Este proceso se resume en el siguiente diagrama de flujo mostrado en la *figura 26* con el cual se determina el procedimiento seguido.

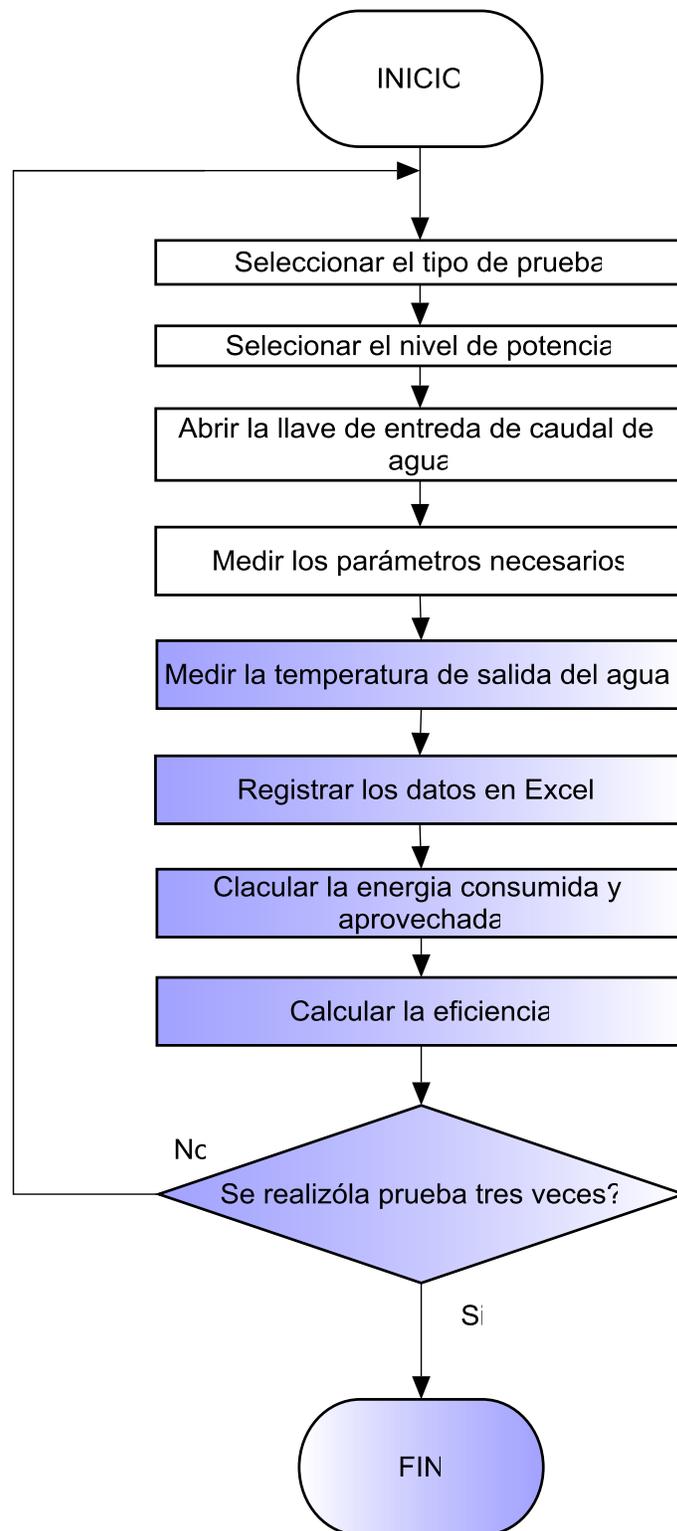


Figura 26: Diagrama de flujo para validar las mediciones con 95% de eficacia

3.8. Metodología para determinar la eficiencia de cada una de las pruebas

El agua contenida en la cubeta de laboratorio ingresa a los cilindros mediante una llave de paso que controla el caudal para tener 6 lts*min con una temperatura inicial de 17°C, la inducción generada por el sistema será el método por el cual los cilindros transfieren el calor por convección al agua que circula por los mismos, para determinar la variación de la temperatura del agua se mide su temperatura final cuando la prueba haya concluido.

Para conocer la eficiencia del calefón se mide la temperatura de salida del agua para así calcular la energía contenida en ella.

La metodología utilizada es la siguiente:

Se mide la cantidad de agua con una cubeta de laboratorio.

- Se selecciona la prueba a realizar para elegir el nivel de potencia con la que se trabajará.
- Se inicia la prueba con apertura de la llave de paso.
- Durante la prueba se mide:
 - ✓ Tiempo que se demora en circular el contenido total de la cubeta por el calefón prototipo.
 - ✓ Temperatura inicial del agua.
 - ✓ Voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva potencia aparente que se consume durante la prueba.
 - ✓ La temperatura de salida del agua.
 - ✓ Registrar los datos.

- Para el análisis:

- ✓ Calcular la energía contenida o aprovechada por el agua.
- ✓ Calcular la energía consumida por el calefón prototipo.
- ✓ Determinar la eficiencia de cada una de las pruebas.
- ✓ Realizar el análisis comparativo entre las eficiencias.

Para lo cual se determina los siguientes parámetros:

- **Variación de temperatura**, es la gradiente de temperatura que presenta el agua.
- **Caudal**, es el consumo de agua por minuto que se tendrá durante cada prueba.
- **Tiempo**, es el tiempo empleado para que el agua circule por el sistema en su totalidad.
- **Potencia Activa**, es la energía por unidad de tiempo consumida por el calefón prototipo para calentar el agua.

Para entender de mejor manera la metodología utilizada se plantea el según el diagrama de flujo de la *figura 27*.

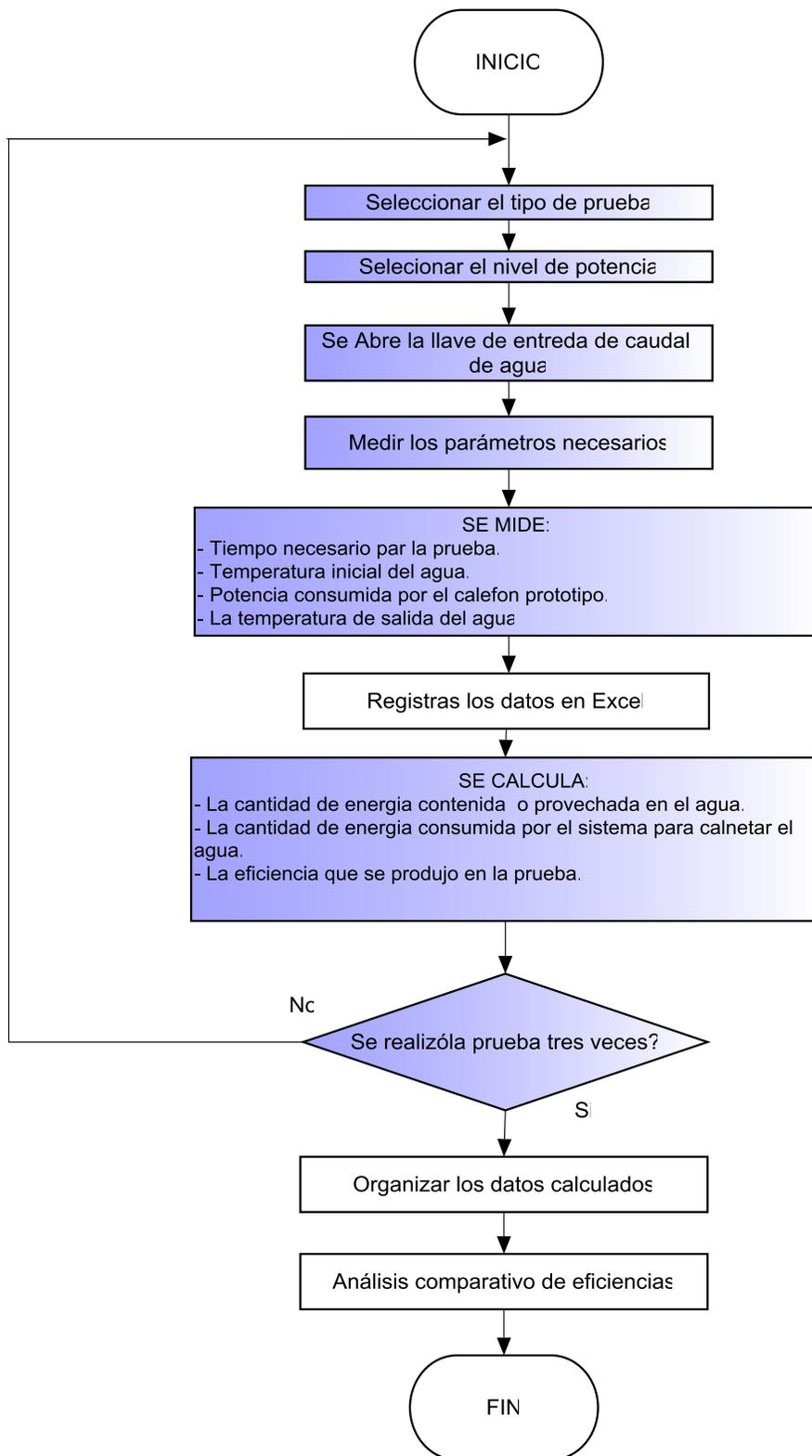


Figura 27: Diagrama de flujo para metodología de toma de medidas

El proceso observado en la *figura 27*, se lo realiza para cada una de las pruebas, además para tener una eficacia del 95% se debe realizar 3 pruebas de cada experimento, se recolecta información para ser tratada y luego se realiza el análisis de eficiencia para así concluir con la manera más adecuada de calentar agua para proveer a vivienda unifamiliares.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Pruebas

Para la verificación del funcionamiento del sistema de calentamiento, se establecen pruebas que permitan determinar parámetros eléctricos como la potencia, corriente, voltaje, factor de potencia, eficiencia energética entre otros para el análisis correspondiente con los gastos energéticos de los calefones eléctricos convencionales.

Por lo que se planifica una lista de pruebas en base a la metodología de investigación experimental la cual permite un procedimiento adecuado para realizar cada una de las pruebas, como se observa en la *tabla 12*.

Lo que permite combinar los máximos niveles de potencia de la cocina para que se produzca la mayor inducción al sistema de acero inoxidable implementado como también se utiliza un recubrimiento de lana de vidrio para aumentar la resistencia de transferencia de calor.

En la *tabla 12*, además se detallan como se realizaron las demás pruebas sus condiciones y parámetros considerados al inicio y durante la misma, de cada uno de los experimentos o pruebas realizadas en la investigación.

Tabla 12
Condiciones establecidas para las pruebas

PRUEBAS	PARÁMETROS	VALORES
PRUEBA 1	Zona 1	Nivel 7 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 6 (Potencia)
	Tiempo	6,13 min
	Lana de vidrio	NO
	Volumen de agua	10 litros
PRUEBA 2	Zona 1	Nivel 9 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 0 (Potencia)
	Tiempo	6,41 min
	Lana de vidrio	NO
	Volumen de agua	10 litros
PRUEBA 3	Zona 1	Nivel 0 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 9 (Potencia)
	Tiempo	6,51 min
	Lana de vidrio	NO
	Volumen de agua	10 litros
PRUEBA 4	Zona 1	Nivel 7 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 6 (Potencia)
	Tiempo	6,41 min
	Lana de vidrio	SI
	Volumen de agua	10 litros
PRUEBA 5	Zona 1	Nivel 9 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 0 (Potencia)
	Tiempo	6,45 min
	Lana de vidrio	SI
	Volumen de agua	10 litros
PRUEBA 6	Zona 1	Nivel 0 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 9 (Potencia)
	Tiempo	6,18 min
	Lana de vidrio	SI
	Volumen de agua	10 litros
PRUEBA 7 (CALENTADOR ELÉCTRICO)	Zona 1	Nivel 0 (Potencia)
	Zona 2	Nivel 0 (Potencia)
	Calentador eléctrico	Potencia
	Tiempo	6,5 min
	Lana de vidrio	NO
	Volumen de agua	10 litros

El complemento más importante dentro de las pruebas es de utilizar una ducha eléctrica conectada al sistema de calentamiento.

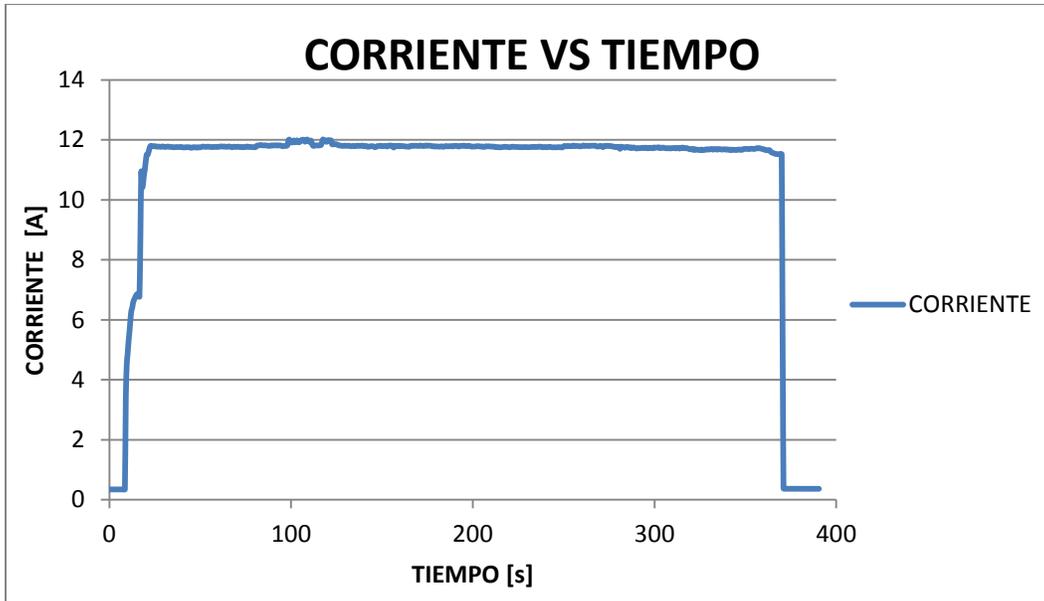
4.1.1. Prueba 1

Sistema de calentamiento sobre zona de inducción1 (nivel de potencia 7) y zona de inducción2 (nivel de potencia 6), para lo cual se toma los datos de la *tabla 13*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

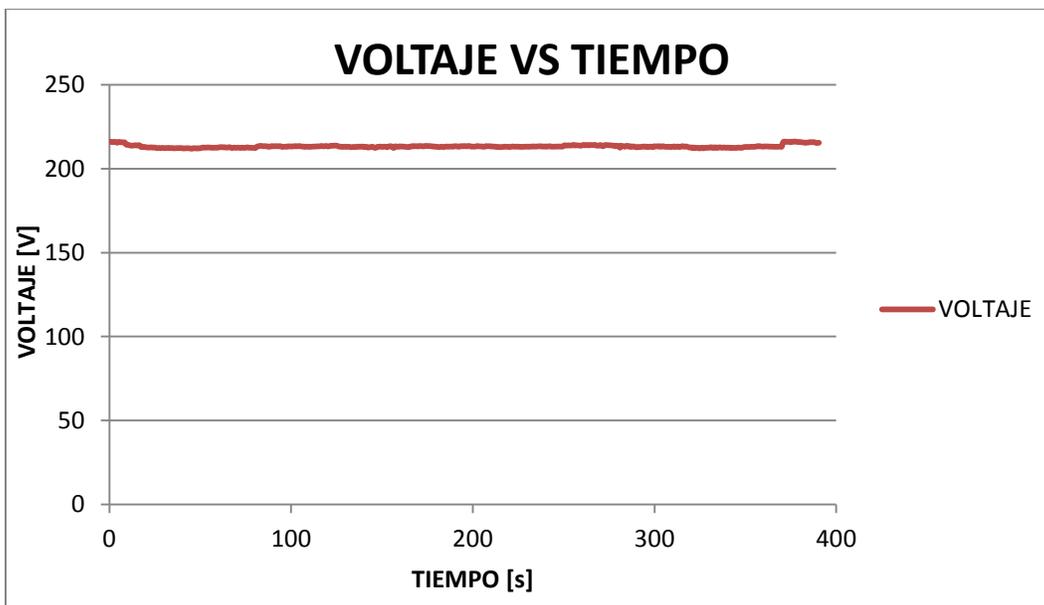
Tabla 13
Parámetros eléctricos de la prueba 1

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	fp
0	213.775	6.839	60	1 454.7	134.7	1 461.9	0.994
15	213.775	6.839	60	1 454.7	134.7	1 461.9	0.994
30	212.275	11.771	60	2 489.4	202.5	2 498.7	0.996
45	211.913	11.737	59.97	2 478.0	201.6	2 487.3	0.995
60	212.625	11.771	59.96	2 493.6	203.4	2 502.9	0.995
75	212.512	11.767	59.98	2 490.9	202.2	2 500.8	0.995
90	213.288	11.810	59.96	2 511.0	203.4	2 518.8	0.996
105	213.375	11.971	59.96	2 545.5	202.8	2 554.5	0.996
120	213.262	11.973	60.00	2 544.3	203.4	2 553.3	0.996
135	212.800	11.789	59.93	2 500.2	202.8	2 508.9	0.996
150	212.975	11.791	59.95	2 500.8	203.4	2 511.3	0.995
165	213.075	11.790	59.95	2 503.2	203.1	2 512.2	0.996
180	213.038	11.783	59.91	2 502.0	203.1	2 510.4	0.996
195	213.475	11.808	59.95	2 512.2	203.7	2 520.6	0.996
210	213.288	11.780	60.00	2 505.3	204.3	2 512.8	0.996
225	213.05	11.760	60.02	2 496.6	203.4	2 505.3	0.996
240	213.113	11.756	60.02	2 496.6	203.7	2 505.3	0.996
255	214.075	11.808	59.99	2 517.6	205.2	2 527.8	0.995
270	214.025	11.802	60.00	2 516.4	205.8	2 526.0	0.995
285	213.538	11.764	60.03	2 501.1	204.9	2 512.2	0.994
300	213.125	11.734	59.96	2 491.5	203.7	2 500.8	0.995
315	213.275	11.735	59.97	2 493.9	203.4	2 503.2	0.996
330	212.500	11.682	59.96	2 472.0	202.5	2 482.5	0.995
345	212.300	11.660	59.97	2 466.9	201.9	2 475.6	0.996
360	213.150	11.684	60.04	2 481.6	203.7	2 490.3	0.996
375	215.725	0.365	60.04	2 481.6	203.7	2 490.3	0.996
390	215.400	0.365	60	30.6	71.1	78.6	0.388
405	215.413	0.365	60	30.9	71.1	78.9	0.391

Los datos de la *tabla 13* correspondientes a la prueba 1, son representados gráficamente en la *figura 28*, donde se puede apreciar que la corriente y voltaje no tienen cambios bruscos.



(a)



(b)

Figura 28: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 1

La potencia activa, reactiva y aparente consumidas por el sistema es casi constante sin cambios bruscos como se aprecia en la *figura 29*, así como el factor de potencia casi constante durante la prueba 1 graficado en la *figura 30*.

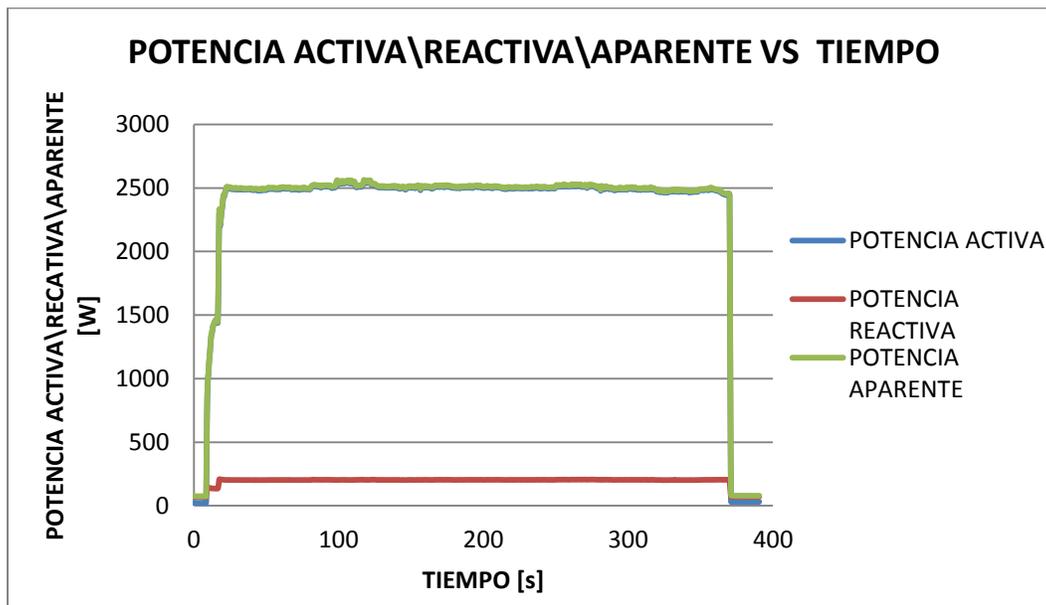


Figura 29: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 1

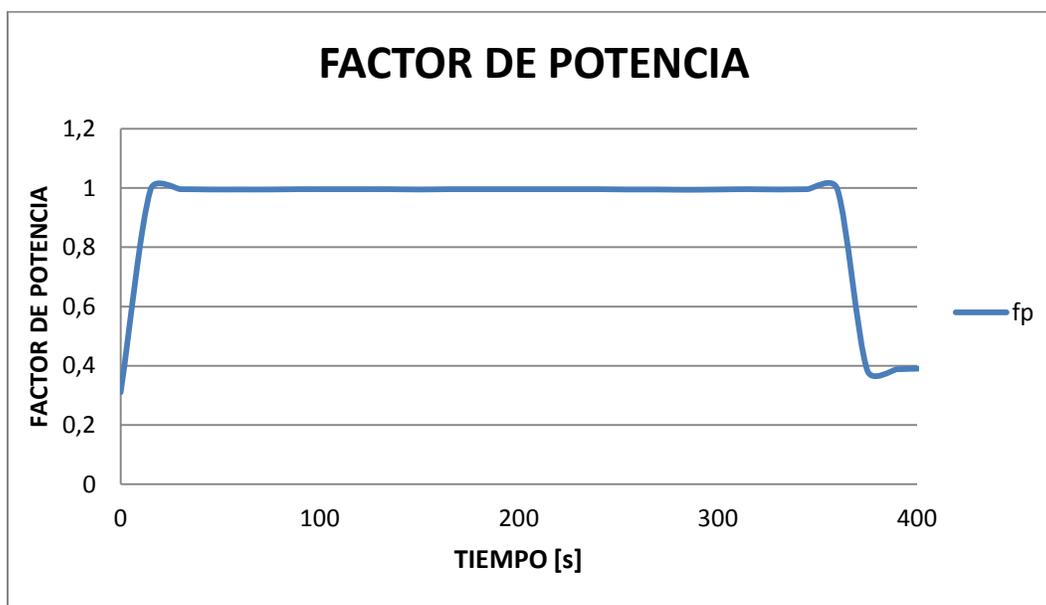


Figura 30: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 1

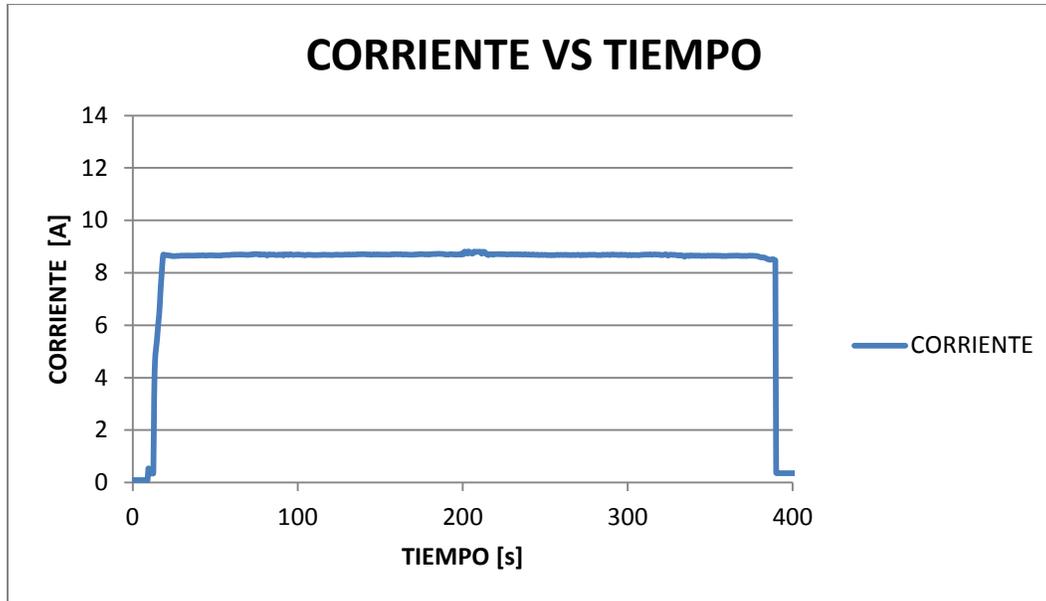
4.1.2. Prueba 2

Sistema de calentamiento sobre zona de inducción1 (nivel de potencia 9) y zona de inducción2 (nivel de potencia 0), para lo cual se toma los datos de la *tabla 14*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

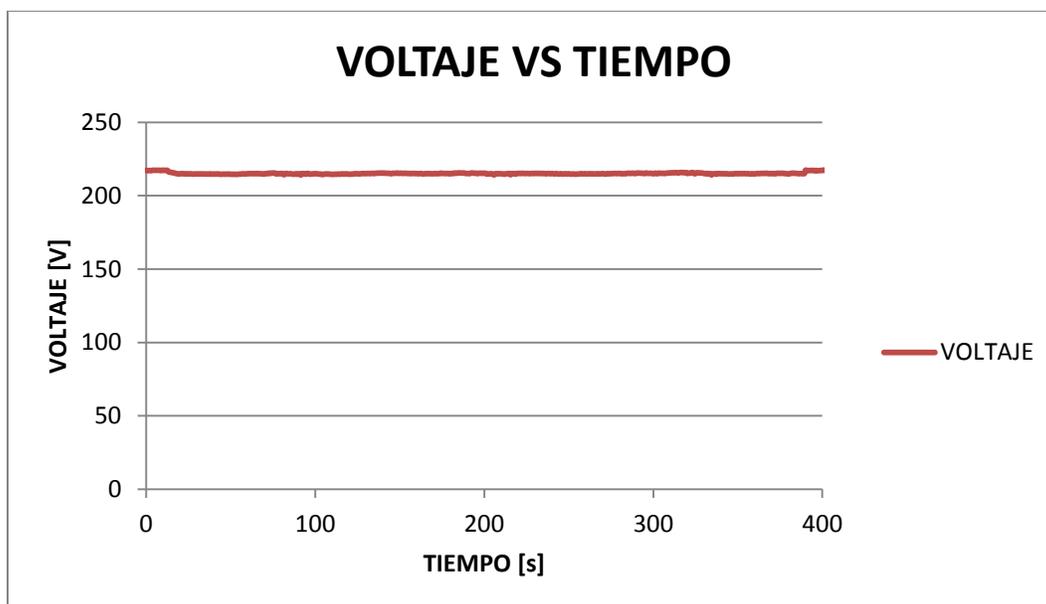
Tabla 14
Parámetros eléctricos de la prueba 2

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	fp
0	217.325	0.093	60.01	20.1	0.6	20.1	0.99
15	215.813	5.677	60	1 218.6	142.2	1 225.2	0.994
30	214.850	8.658	59.96	1 854.0	132	1 860.3	0.996
45	214.663	8.659	59.96	1 854.0	132	1 858.8	0.996
60	214.988	8.689	59.95	1 861.8	131.7	1 868.1	0.996
75	215.45	8.714	59.98	1 871.1	132.3	1 877.1	0.996
90	214.788	8.690	59.93	1 862.4	131.4	1 866.6	0.997
105	214.637	8.680	59.94	1 857.3	131.4	1 862.7	0.997
120	214.663	8.680	59.95	1 857.6	131.4	1 863.3	0.996
135	215.113	8.696	60.00	1 866.9	132.3	1 870.8	0.997
150	215.275	8.697	59.97	1 866.9	132.0	1 872.3	0.996
165	214.95	8.700	59.95	1 864.8	131.1	1 869.9	0.997
180	215.063	8.707	59.96	1 866.9	131.7	1 872.6	0.996
195	215.337	8.704	59.98	1 869.3	132.0	1 874.1	0.997
210	214.913	8.802	59.94	1 886.1	130.8	1 891.8	0.996
225	215.150	8.708	60.00	1 865.7	131.7	1 873.5	0.995
240	215.100	8.699	59.99	1 865.7	131.4	1 871.1	0.996
255	214.738	8.675	59.95	1 857.6	131.1	1 863.0	0.997
270	215.038	8.689	59.95	1 863.9	131.4	1 868.4	0.997
285	215.288	8.692	59.98	1 863.9	131.4	1 871.1	0.995
300	214.9	8.666	59.97	1 857.0	131.1	1 862.1	0.996
315	215.525	8.689	59.98	1 867.2	132.3	1 872.9	0.996
330	215.113	8.666	59.99	1 858.2	132.3	1 864.2	0.996
345	214.75	8.644	59.98	1 851.0	131.4	1 856.4	0.996
360	214.913	8.643	60.01	1 853.4	131.4	1 857.3	0.997
375	215.188	8.652	60.02	1 855.8	131.7	1 861.5	0.996
390	217.337	0.37	60	26.4	72	80.1	0.329
405	217.387	0.356	59.97	26.1	72.3	77.4	0.338

Los datos de la prueba 2 son representados gráficamente en la *figura 31*, de la misma manera se puede apreciar que la corriente y voltaje no tienen cambios bruscos.



(a)



(b)

Figura 31: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 2.

En la prueba 2 también se puede observar que las potencias son casi constante mostrado en la *figura 32*, de igual manera el factor de potencia graficado en la *figura 33*.

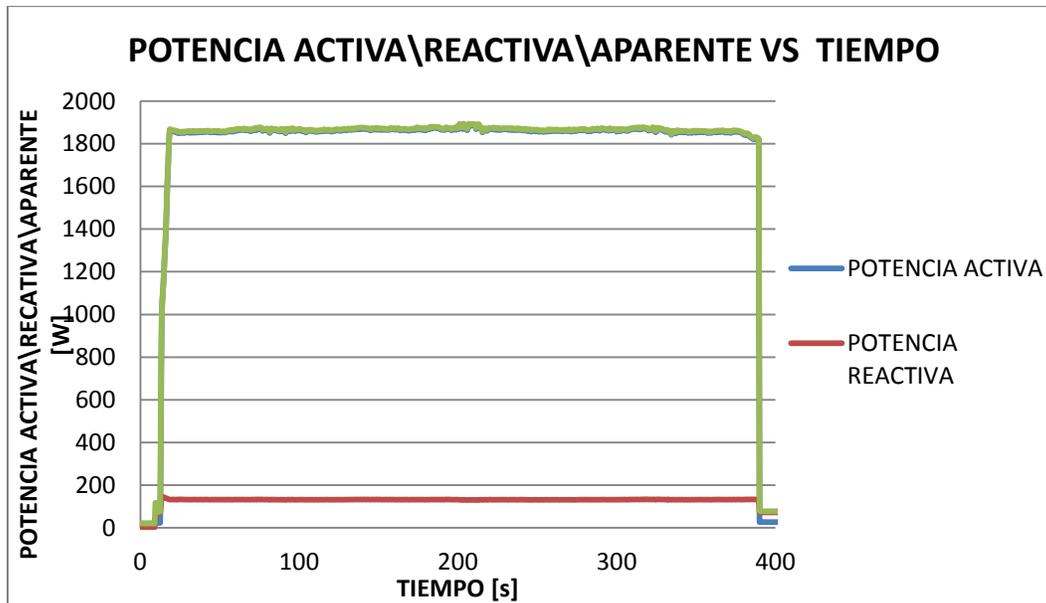


Figura 32: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 2

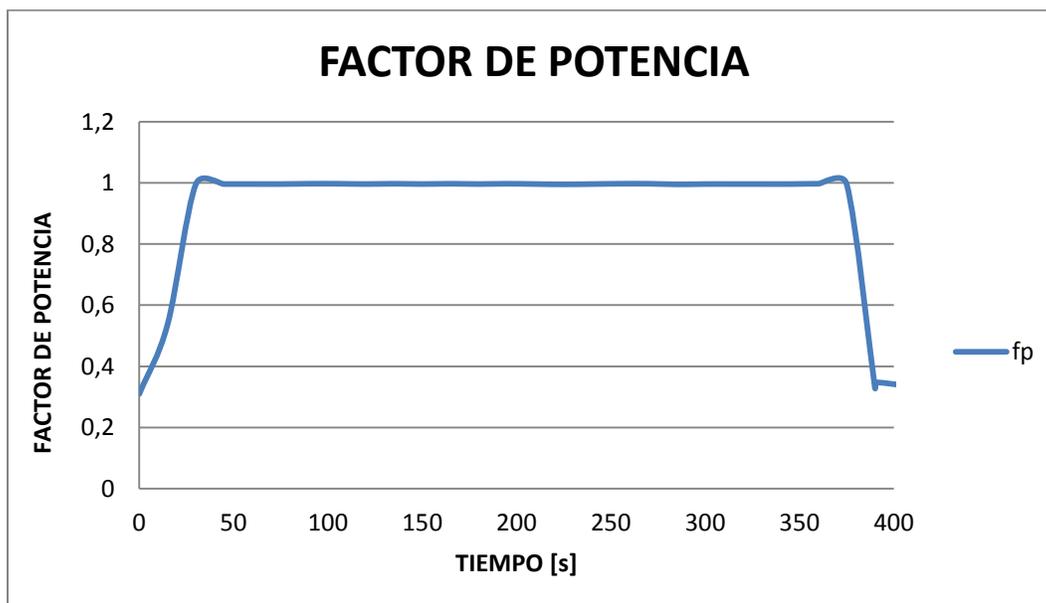


Figura 33: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 2

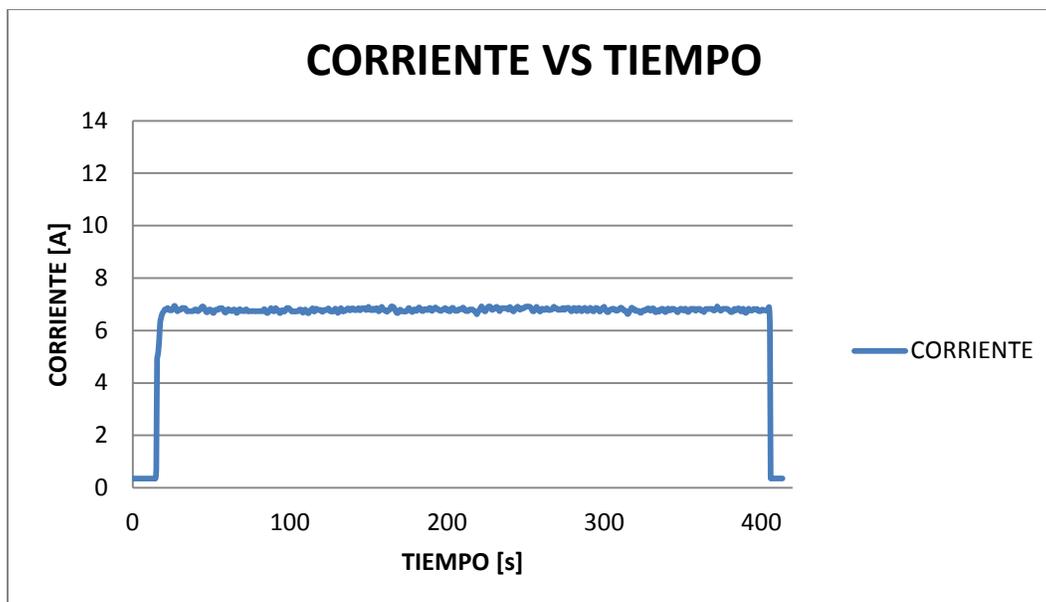
4.1.3. Prueba 3

Sistema de calentamiento sobre zona de inducción1 (nivel de potencia 0) y zona de inducción2 (nivel de potencia 9), para lo cual se toma los datos de la *tabla 15*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

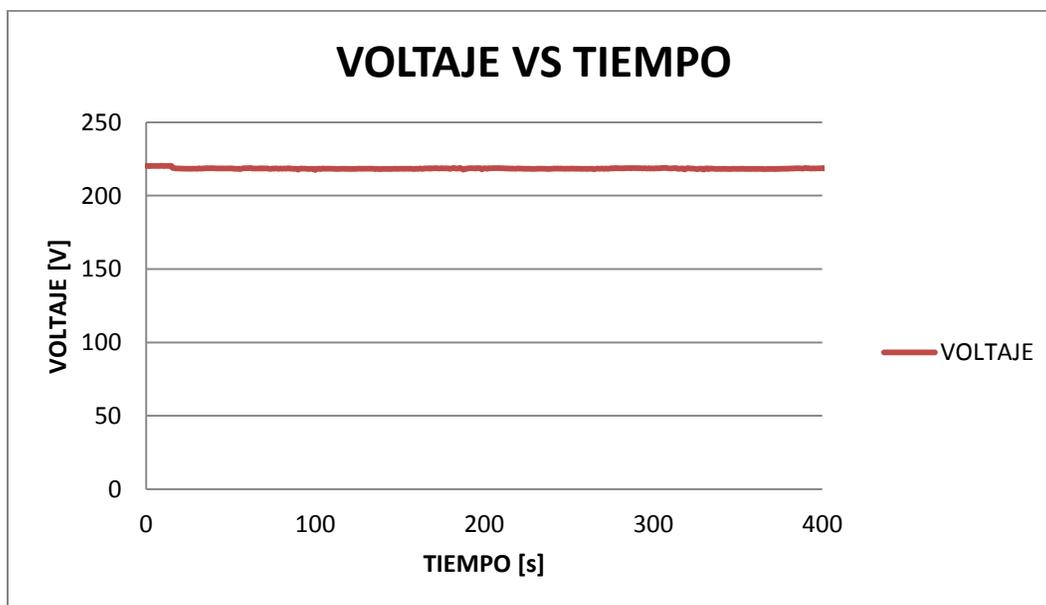
Tabla 15
Parámetros eléctricos de la Prueba 3

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	fp
0	220.25	0.353	59.96	21.6	74.7	78	0.276
15	220.225	0.686	59.98	23.4	74.4	151.2	0.215
30	218.288	6.792	59.97	1 475.7	139.2	1 482.6	0.994
45	218.550	6.901	59.98	1 501.5	139.5	1 508.1	0.995
60	218.700	6.757	60.01	1 469.7	140.1	1 477.8	0.994
75	218.475	6.740	59.99	1 465.8	139.2	1 472.7	0.995
90	217.725	6.736	60.04	1 459.8	138.6	1 466.7	0.994
105	218.425	6.734	60.02	1 463.4	139.5	1 470.6	0.994
120	218.113	6.760	60.00	1 467.3	138.6	1 474.5	0.994
135	218.188	6.781	60.02	1 473.3	138.9	1 479.9	0.995
150	218.288	6.904	60.00	1 500.3	138.3	1 507.2	0.994
165	218.563	6.916	59.99	1 505.4	138.9	1 511.7	0.995
180	218.350	6.769	60.00	1 469.4	139.8	1 478.1	0.993
195	218.400	6.780	60.00	1 474.8	139.8	1 480.8	0.995
210	218.650	6.869	60.05	1 494.0	140.4	1 501.8	0.994
225	218.275	6.791	59.95	1 476.0	139.5	1 482.3	0.995
240	218.288	6.899	60.02	1 499.1	139.5	1 506.0	0.995
255	218.300	6.73	60.02	1 463.1	139.8	1 469.1	0.995
270	218.413	6.833	60.01	1 485.6	139.5	1 492.5	0.995
285	218.725	6.794	60.01	1 479.9	140.4	1 485.9	0.995
300	218.500	6.907	59.99	1 502.7	139.5	1 509.3	0.995
330	217.788	6.791	59.95	1 472.7	136.8	1 479.3	0.995
345	218.188	6.800	59.95	1 478.4	137.7	1 483.8	0.995
360	218.175	6.824	59.94	1 482.3	136.8	1 488.9	0.995
375	218.288	6.815	59.95	1 480.8	137.1	1 487.7	0.994
390	218.8	6.676	60.04	1 450.8	138.3	1 460.7	0.992
405	218.35	6.895	59.94	1 500.6	137.1	1 505.4	0.996

Los datos de la prueba 3 son representados gráficamente en la *figura 34*, de la misma manera se puede apreciar que la corriente y voltaje son casi continuos.



(a)



(b)

Figura 34: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 3.

En la prueba 3 las potencias son casi constante mostrado en la *figura 35*, de igual manera el factor de potencia graficado en la *figura 36*.

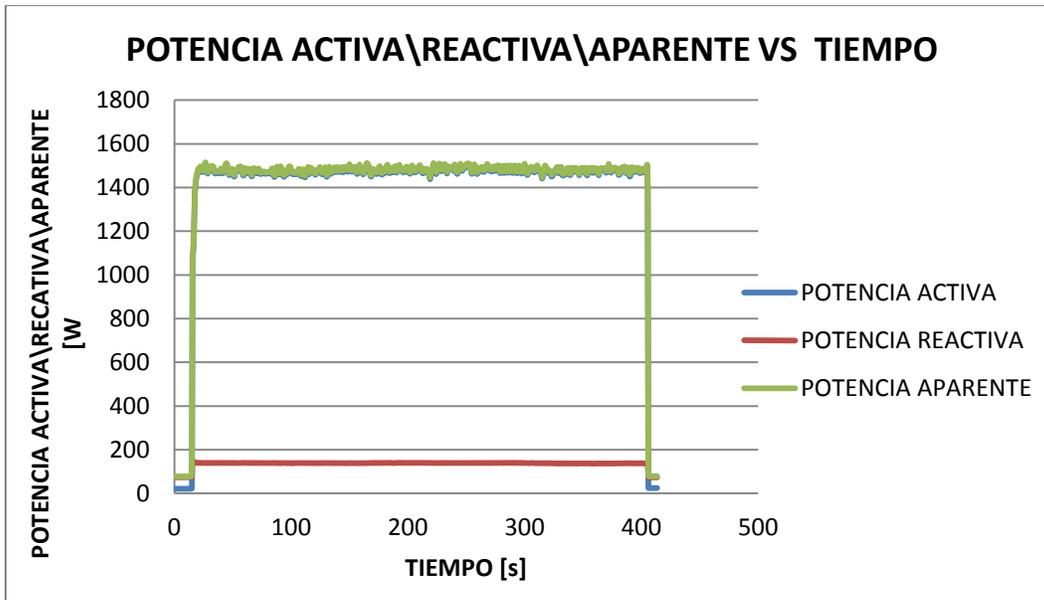


Figura 35: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 3.

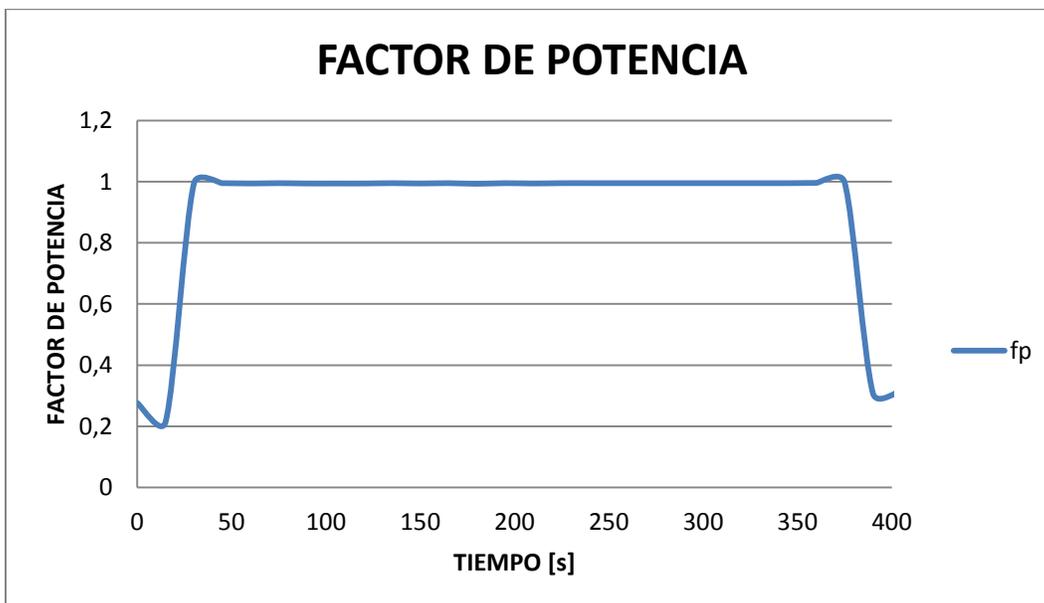


Figura 36: Factor de Potencia versus tiempo de duración de la prueba 3.

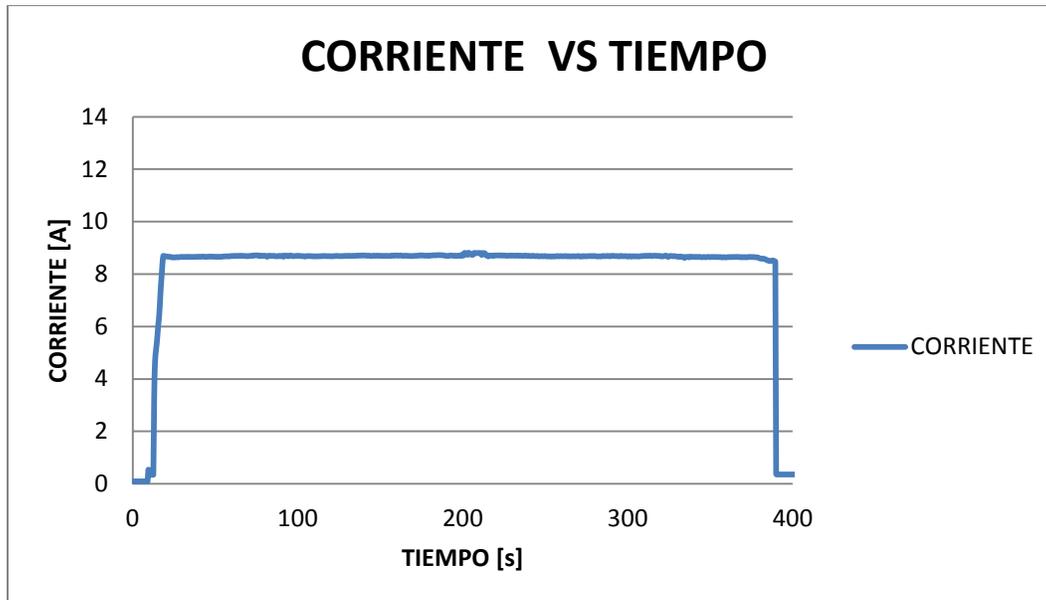
4.1.4. Prueba 4

Sistema de calentamiento recubierto de lana de vidrio sobre zona de inducción1 (nivel de potencia 7) y zona de inducción2 (nivel de potencia 6), para lo cual se toma los datos de la *tabla 16*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

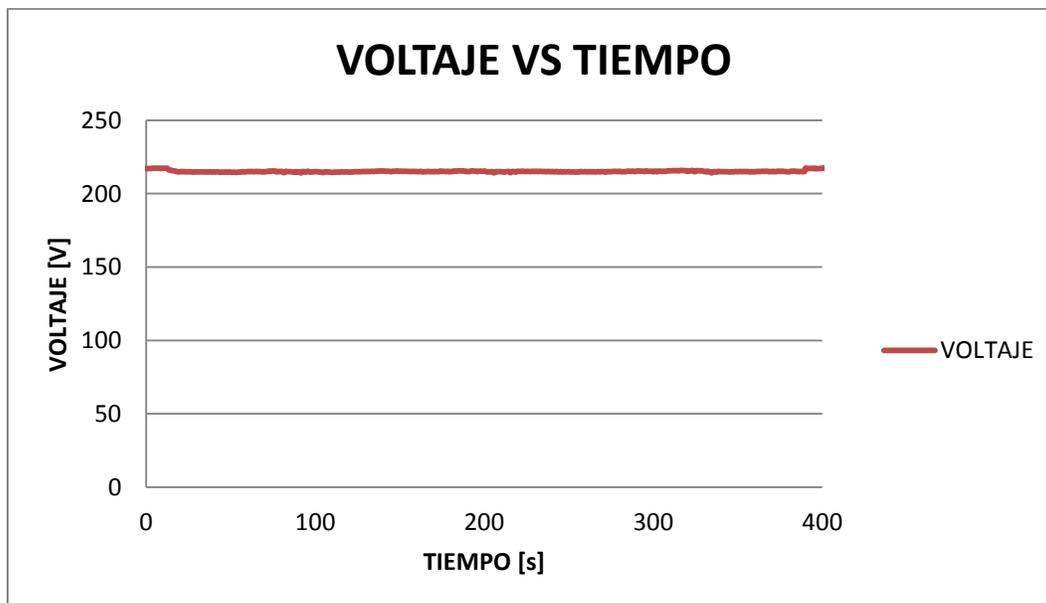
Tabla 16
Parámetros eléctricos de la Prueba 4

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	fp
0	220.212	0.31	59.96	19.5	64.8	68.1	0.287
15	220.700	0.326	60.00	24.6	65.1	71.7	0.342
30	217.825	11.22	59.96	2 434.8	200.1	2 444.1	0.995
45	217.825	11.22	59.94	2 434.2	199.5	2 444.1	0.995
60	217.425	11.2	59.96	2 427.0	199.5	2 435.1	0.996
75	217.800	11.215	59.94	2 433.6	199.5	2 442.6	0.996
90	217.975	11.224	59.96	2 438.1	201.3	2 446.8	0.996
105	218.288	11.212	59.96	2 436.9	201.3	2 447.4	0.995
120	217.550	11.18	59.94	2 423.7	200.1	2 432.4	0.996
135	217.188	11.115	60.00	2 402.4	198.6	2 413.8	0.995
150	217.300	11.164	60.02	2 415.9	199.5	2 426.1	0.995
165	217.212	11.153	59.99	2 414.1	199.5	2 422.8	0.996
180	214.375	10.984	59.98	2 342.4	193.2	2 354.7	0.994
195	215.775	11.054	59.97	2 376.0	195.9	2 385.0	0.995
210	216.913	11.115	60.02	2 406.9	199.8	2 411.1	0.998
225	215.788	11.041	59.94	2 372.1	195.9	2 382.6	0.995
240	216.00	11.047	59.99	2 380.2	196.5	2 386.2	0.997
255	216.575	11.074	59.92	2 386.2	197.7	2 398.5	0.994
270	214.9	10.969	59.91	2 346.9	194.7	2 357.4	0.995
285	215.775	11.069	59.99	2 380.2	196.2	2 388.3	0.996
300	215.988	11.069	59.95	2 379.6	196.2	2 390.7	0.995
315	215.488	11.186	60.00	2 402.1	195.3	2 410.5	0.996
330	214.85	11.146	59.94	2 385.0	194.4	2394.6	0.995
345	216.8	11.254	59.95	2 430.9	197.7	2 439.9	0.996
360	215.637	11.172	59.96	2 398.5	195.0	2 409.0	0.995
375	215.725	11.176	59.94	2 399.4	195.0	2 411.1	0.994
390	216.063	11.185	59.98	2 407.2	196.5	2 416.5	0.995
405	220.700	0.326	60.00	24.6	65.1	71.7	0.342

Las mediciones realizadas en la prueba 4 son representados gráficamente en la *figura 37*, se puede apreciar que la corriente y voltaje son casi continuos.



(a)



(b)

Figura 37: (a) Voltaje [V] versus Tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 4

En la prueba 4 las potencias son casi constante mostrado en la *figura 38*, de igual manera el factor de potencia graficado en la *figura 39*.

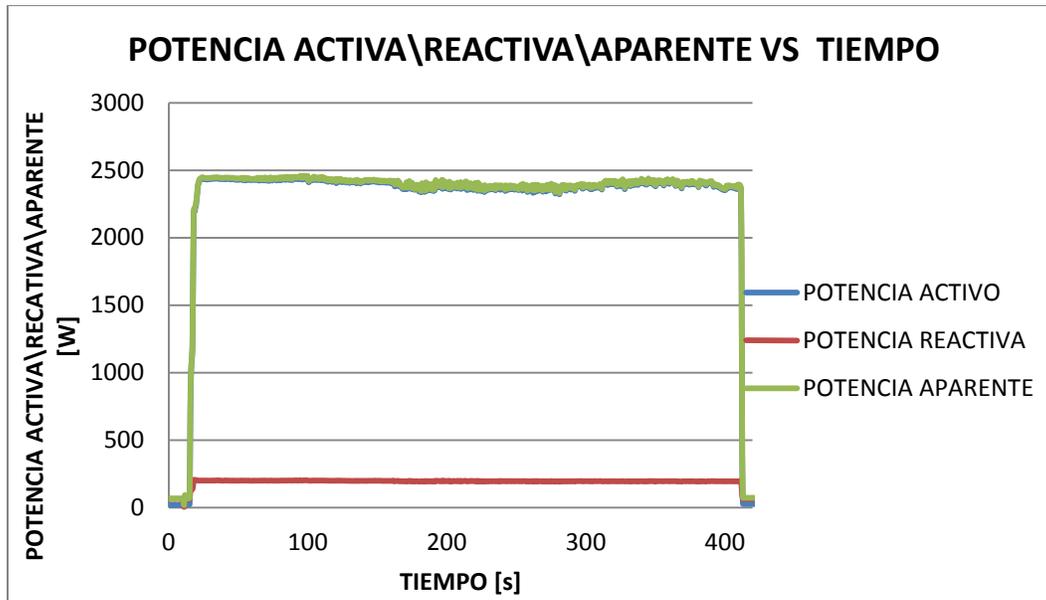


Figura 38: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 4.

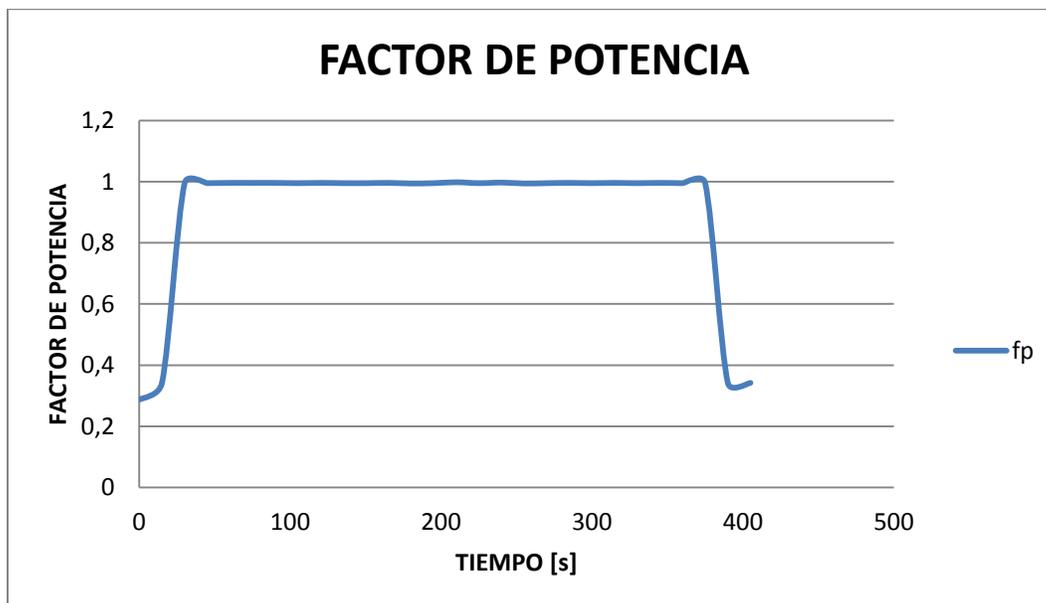


Figura 39: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 4.

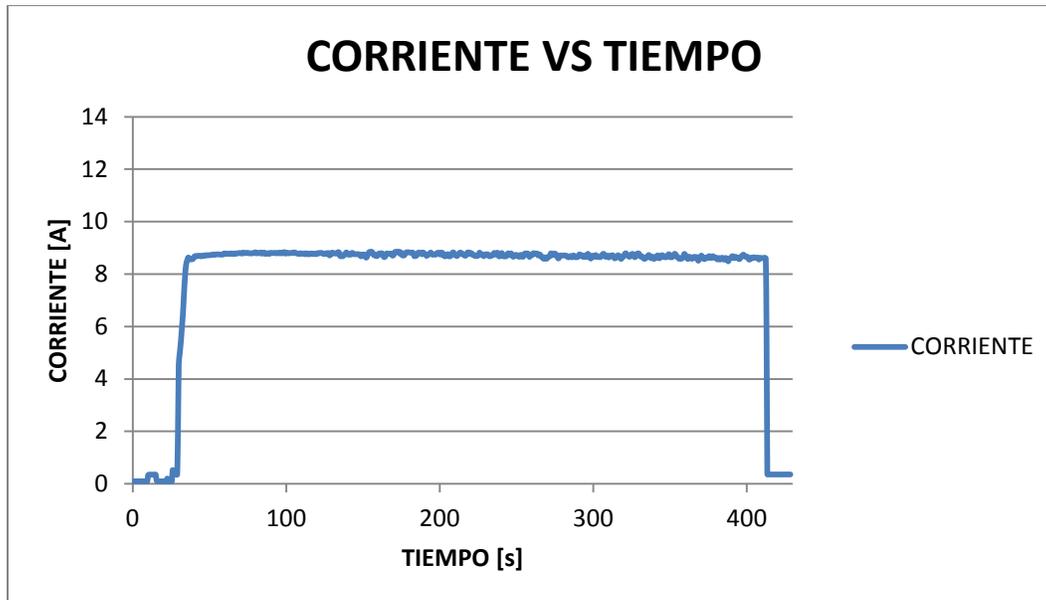
4.1.5. Prueba 5

Sistema de calentamiento recubierto de lana de vidrio sobre zona de inducción1 (nivel de potencia 9) y zona de inducción2 (nivel de potencia 0), para lo cual se toma los datos de la *tabla 17*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

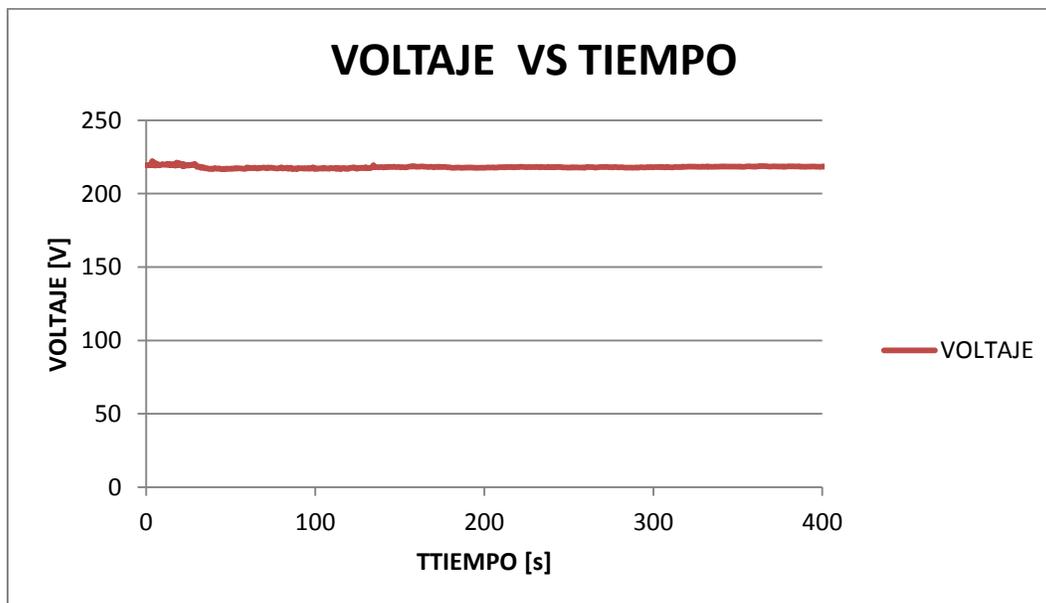
Tabla 17
Parámetros eléctricos de la prueba 5

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	fp
0	219.45	0.094	60.02	20.7	0.9	20.7	0.308
15	219.375	0.349	59.98	23.7	72	76.5	0.508
30	218.250	4.568	60.04	987.9	146.4	996.9	0.99
45	216.738	8.688	59.98	1 878.0	131.7	1 882.8	0.997
60	217.438	8.774	60.03	1 902.9	132	1 907.7	0.997
75	217.387	8.797	59.99	1 906.5	131.4	1 912.2	0.996
90	217.400	8.810	59.93	1 909.5	131.1	1 915.2	0.996
105	217.100	8.801	59.93	1 904.4	130.8	1 910.7	0.996
120	217.150	8.776	59.96	1 900.2	130.5	1 905.6	0.996
135	217.975	8.703	59.97	1 890.3	131.4	1 896.9	0.996
150	218.050	8.750	60.01	1 903.5	131.1	1 908.0	0.997
165	218.350	8.733	60.02	1 902.0	132.6	1 907.1	0.996
180	217.775	8.825	60.02	1 916.4	131.4	1 922.1	0.996
195	217.575	8.753	59.98	1 899.0	131.4	1 904.4	0.997
210	218.012	8.757	60.00	1 903.8	131.7	1 909.2	0.996
225	217.988	8.715	60.02	1 893.6	132.0	1 899.9	0.996
240	218.188	8.767	59.99	1 909.2	132.3	1 912.8	0.997
255	218.000	8.735	59.97	1 898.1	131.1	1 904.4	0.996
270	218.175	8.595	60.01	1 867.5	132.0	1 875.3	0.995
285	217.712	8.689	59.98	1 885.5	131.7	1 891.8	0.996
300	217.975	8.681	60.01	1 886.1	132.0	1 892.4	0.996
315	218.113	8.650	60.00	1 881.0	132.3	1 886.4	0.996
330	218.200	8.768	60.02	1 909.2	132.0	1 913.4	0.997
345	218.375	8.712	60.02	1 896.9	131.7	1 902.3	0.996
360	218.587	8.733	60.03	1 903.8	132.0	1 908.9	0.997
375	218.462	8.656	60	1 886.7	132.3	1 891.2	0.997
390	218.3	8.633	60.02	1 877.7	132.3	1 884.9	0.995
405	15	219.375	0.349	59.98	23.7	72	76.5

Las mediciones de la prueba 5 son representados gráficamente en la *figura 40*, se puede apreciar que la corriente y voltaje son casi continuos.



(a)



(b)

Figura 40: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 5.

En la prueba 5 las potencias son casi constante como en la prueba 2 mostradas en la *figura 41*, de igual manera el factor de potencia graficado en la *figura 42*.

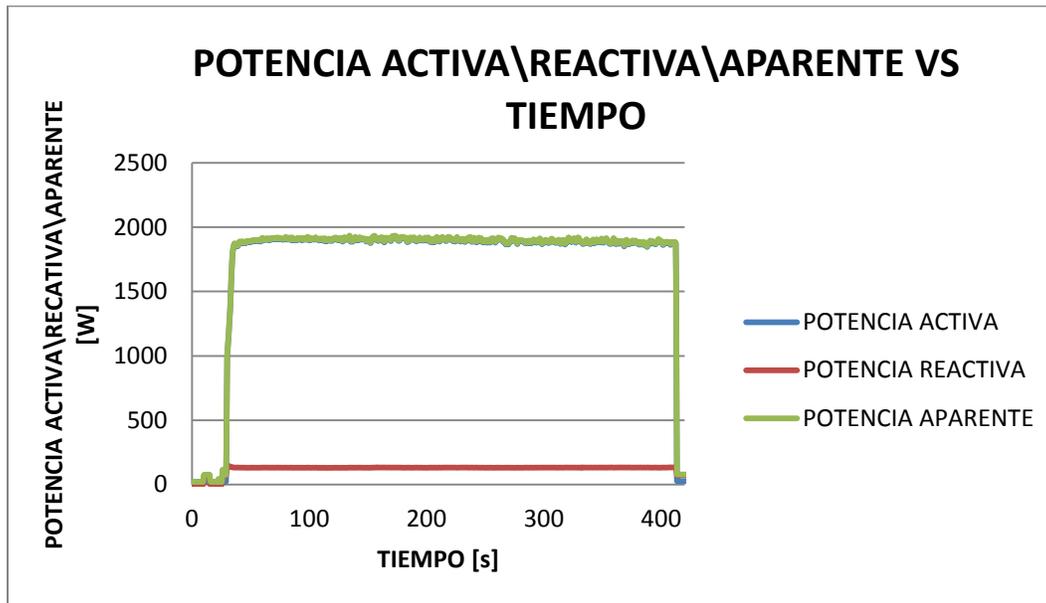


Figura 41: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 5.

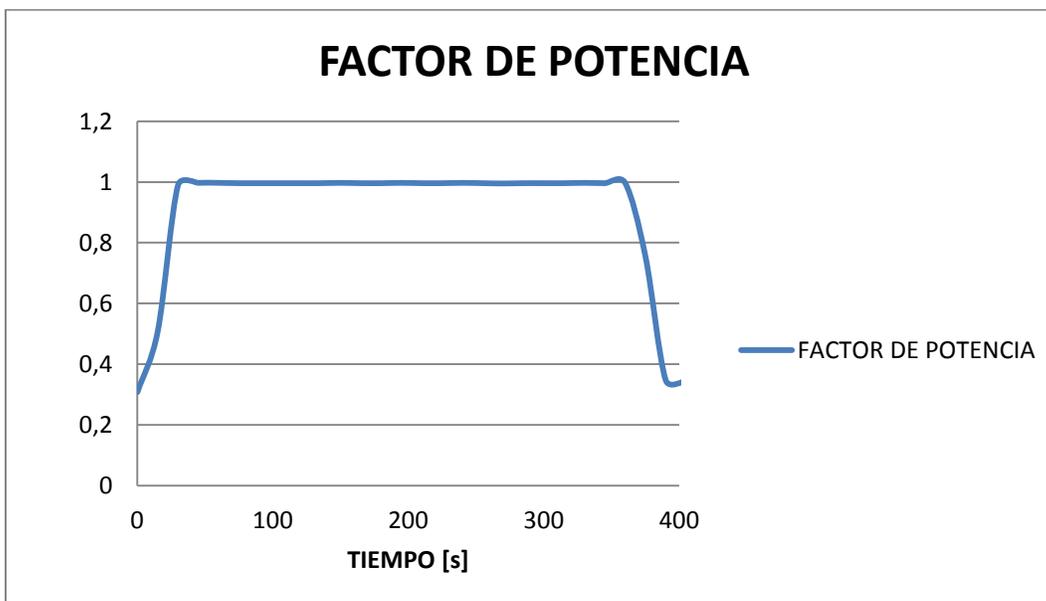


Figura 42: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 5.

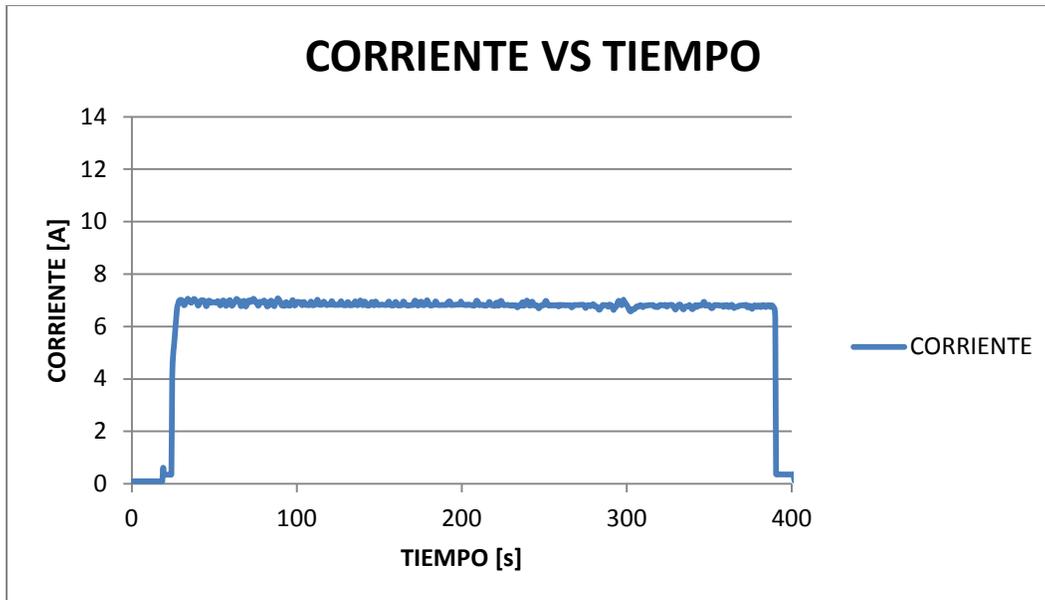
4.1.6. Prueba 6

Sistema de calentamiento recubierto de lana de vidrio sobre zona de inducción¹ (nivel de potencia 0) y zona de inducción² (nivel de potencia 9), para lo cual se toma los datos de la *tabla 18*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

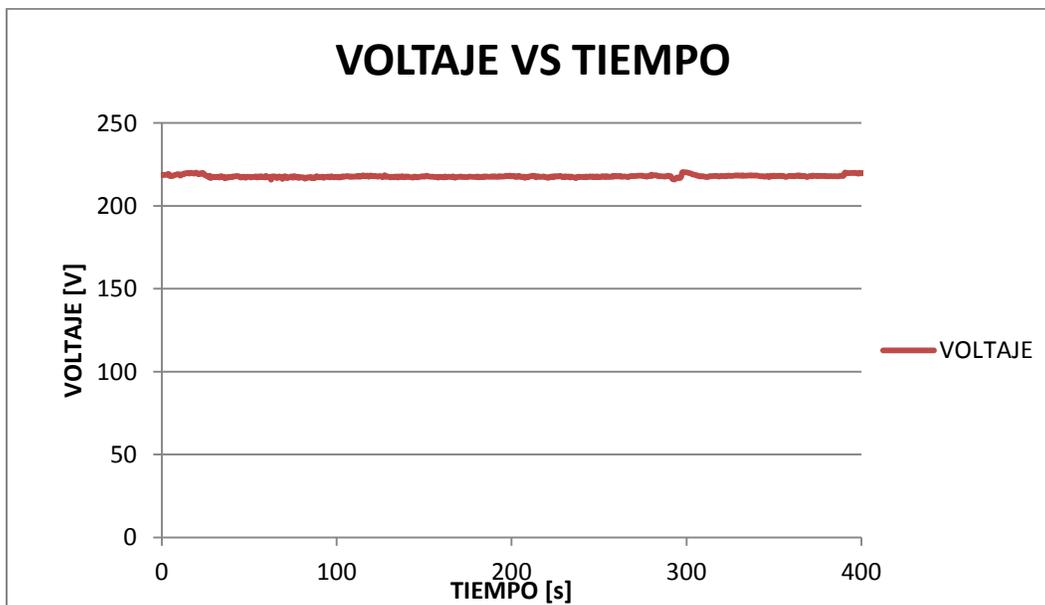
Tabla 18
Parámetros eléctricos de la prueba 6

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	fp
0	218.837	0.095	59.97	20.7	0.9	21	0.98
15	219.775	0.095	59.99	20.7	1.5	21	0.995
30	217.238	7.004	59.98	1 515.3	135.9	1 521.3	0.995
45	217.075	6.779	60.02	1464.6	135.3	1 471.5	0.994
60	217.500	6.923	59.97	1 498.5	135.6	1 505.7	0.994
75	216.962	6.919	59.96	1 492.8	135	1 501.5	0.993
90	217.325	6.944	59.95	1 500.0	135	1 509.5	0.993
105	217.775	6.878	59.95	1 491.9	135.9	1 497.9	0.995
120	218.175	6.840	60.04	1 484.7	137.4	1 492.2	0.994
135	217.075	6.927	59.98	1 497.0	135.0	1 503.9	0.994
150	217.725	6.821	59.99	1 478.4	136.5	1 485.3	0.995
165	217.475	6.941	59.98	1 502.1	135.6	1 509.6	0.995
180	217.700	6.866	60.00	1 487.7	136.2	1 494.6	0.994
195	217.725	6.824	60.01	1 478.7	136.2	1 485.9	0.994
210	217.725	6.905	59.91	1 495.2	135.3	1 503.6	0.993
225	217.900	6.818	59.94	1 478.7	136.2	1 485.9	0.994
240	217.375	6.929	59.97	1 498.5	135.0	1 506.0	0.995
255	217.900	6.818	59.97	1 478.7	135.3	1 485.6	0.994
270	218.025	6.821	60.00	1 480.8	136.2	1 487.4	0.995
285	217.925	6.785	59.98	1 472.7	136.5	1 478.7	0.995
300	220.25	6.818	60.01	1 493.7	138.9	1 501.8	0.994
315	217.975	6.818	60.04	1 479.3	136.2	1 486.2	0.995
330	218.25	6.691	60.02	1 453.2	136.5	1 460.1	0.995
345	217.700	6.805	59.99	1 473.6	135.6	1 481.4	0.994
360	217.925	6.815	60	1 479.3	135.6	1 485.3	0.995
375	218.262	6.781	60.02	1 471.5	135.6	1 480.2	0.993
390	218.375	6.367	60	1 385.1	136.2	1 390.2	0.996
405	23.3	0.1	60	0.3	2.1	2.1	0.136

Las mediciones de la prueba 6 son representados gráficamente en la *figura 43*, se puede apreciar que la corriente y voltaje son casi continuos.



(a)



(b)

Figura 43: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 6.

En la prueba 6 las potencias son casi constante como en la prueba 3 mostradas en la *figura 44*, de igual manera el factor de potencia graficado en la *figura 45*.

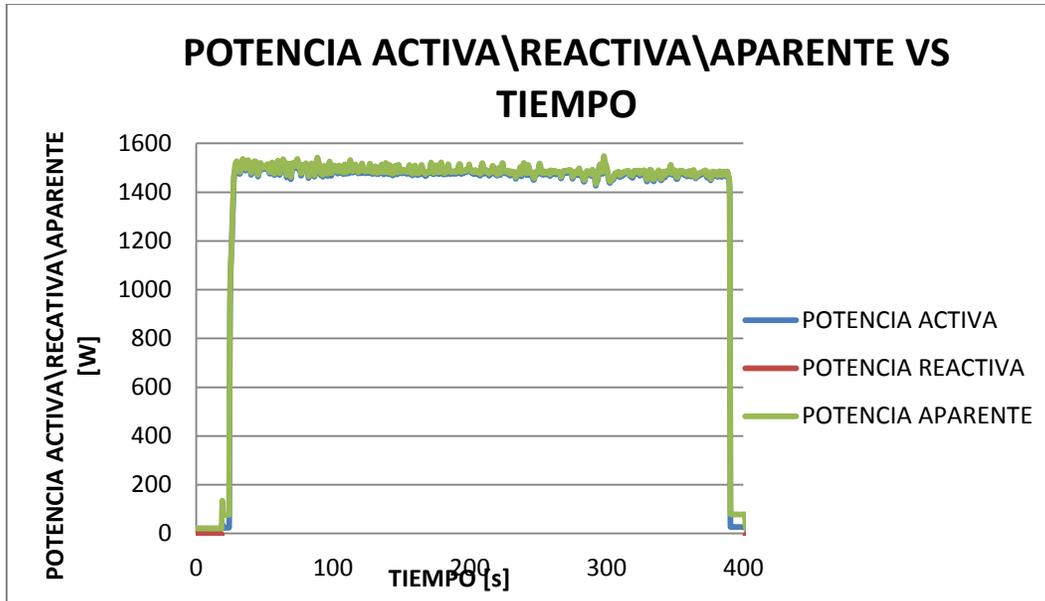


Figura 44: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 6.

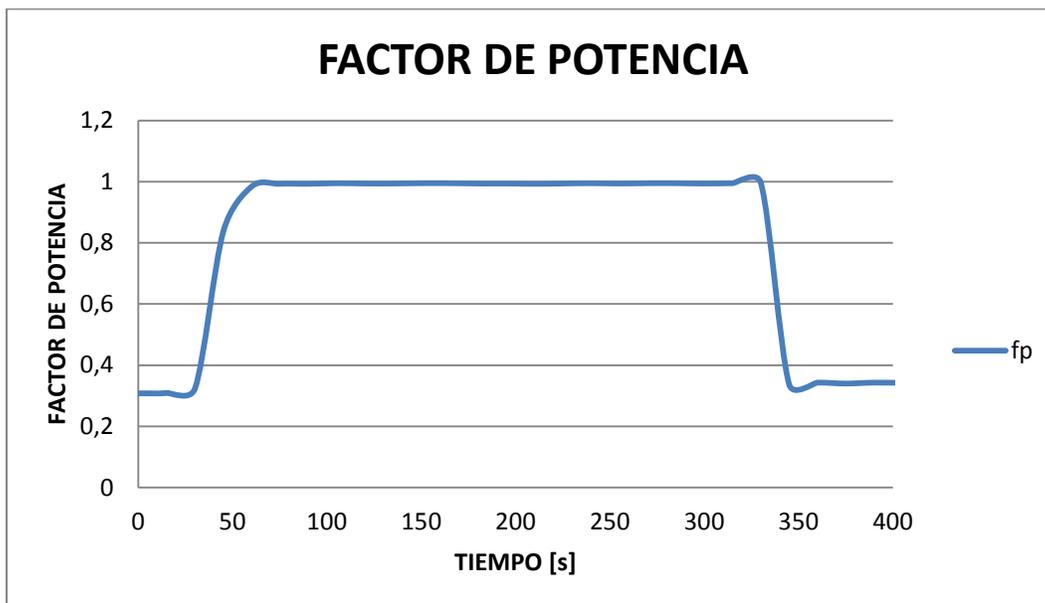


Figura 45: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 6.

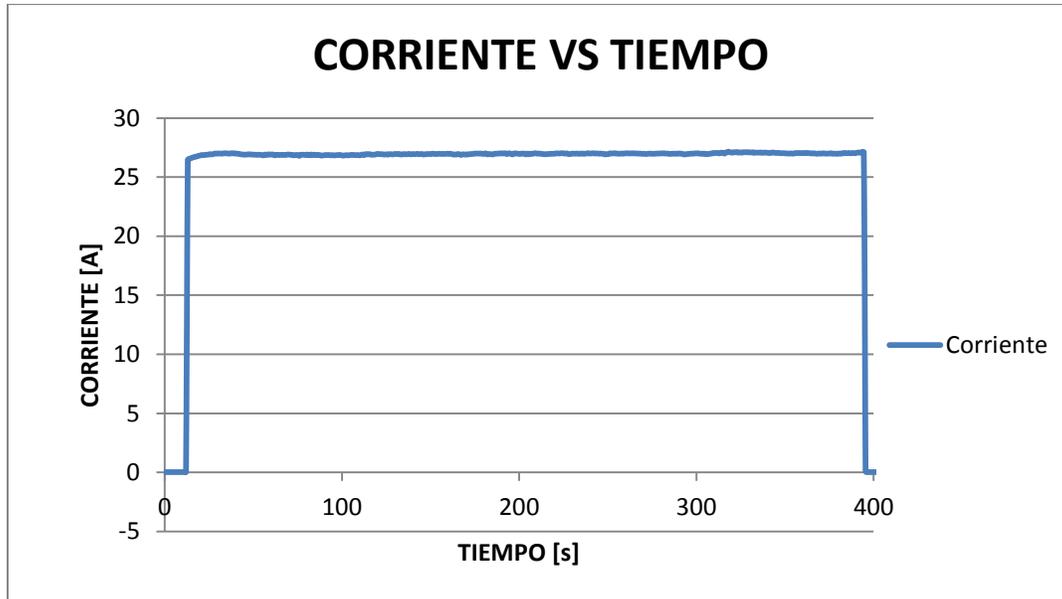
4.1.7. Prueba 7

Ducha eléctrica conectada al sistema de calentamiento solo para la circulación del agua, para lo cual se toma los datos de la *tabla 19*. Se realiza con las condiciones de la *tabla 12*.

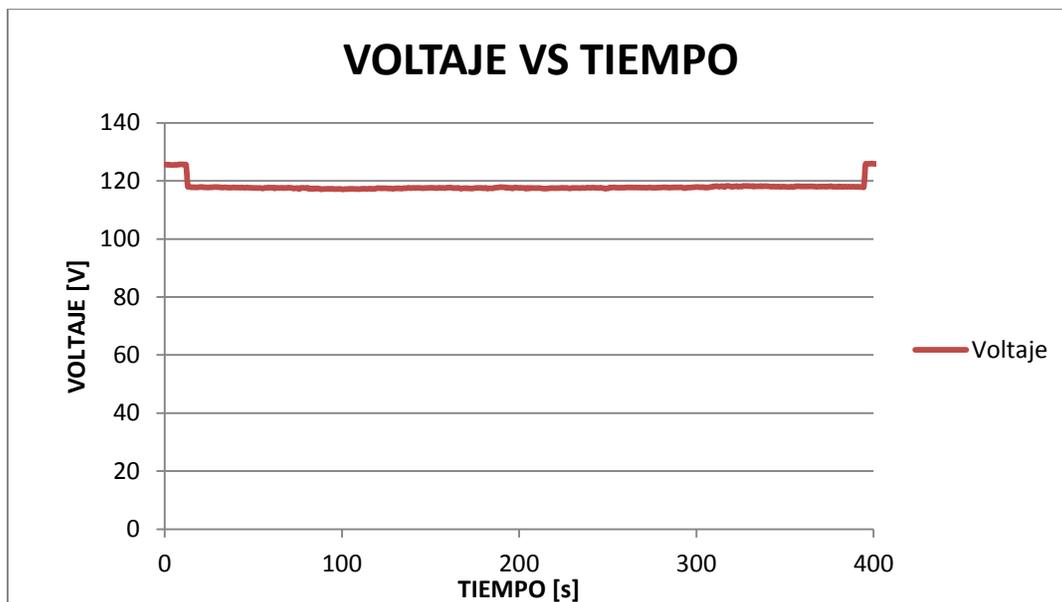
Tabla 19
Parámetros eléctricos de la prueba 7

TIEMPO [s]	TENSIÓN [V]	CORRIENTE [A]	FRECUENCIA [HZ]	POTENCIA ACTIVA [W]	POTENCIA REACTIVA [W]	POTENCIA APARENTE [W]	Fp
0	125.613	0.023	59.99	2.7	1.2	2.7	0.966
15	117.8	26.615	59.99	3 135.3	43.5	3 135.3	1
30	117.875	26.995	60.02	3 181.8	44.1	3 181.8	1
45	117.637	26.899	59.96	3 164.4	44.7	3 164.4	1
60	117.675	26.921	59.93	3 168.0	43.2	3 168.0	1
75	117.500	26.864	59.95	3 156.3	42.6	3 156.3	1
90	117.213	26.853	59.94	3 147.6	42.9	3 147.6	0.999
105	117.225	26.876	59.98	3 150.6	42.3	3 150.6	1
120	117.475	26.965	60.01	3 168.0	44.1	3 168.0	0.999
135	117.488	26.948	59.95	3 164.4	43.2	3 166.2	0.999
150	117.65	26.952	59.97	3 171.3	44.7	3 171.3	1
165	117.512	26.936	59.97	3 165.3	43.8	3 165.3	1
180	117.438	26.963	59.99	3 166.5	42.6	3 166.5	1
195	117.600	26.982	60.01	3 173.1	45	3 173.4	0.999
210	117.512	26.997	59.98	3 172.5	43.2	3 172.5	1
225	117.625	27.02	60.01	3 178.2	42.6	3 178.2	1
240	117.613	26.997	59.97	3 174.9	43.2	3 175.2	0.999
255	117.700	27.003	59.99	3 178.2	42.9	3 178.2	1
270	117.675	26.969	59.97	3 173.4	43.5	3 173.4	1
285	117.650	26.963	59.97	3 172.5	43.8	3 172.5	0.999
300	117.875	27.008	60.02	3 183.3	43.2	3 183.6	0.999
315	118.175	27.057	60.00	3 197.4	43.2	3 197.4	1
330	118.175	27.09	59.98	3 201.3	43.2	3 201.3	1
345	118	27.04	59.99	3 190.5	43.2	3 190.5	1
360	118.063	27.027	59.97	3 191.1	43.8	3 191.1	1
375	118.075	27.001	60.01	3 188.1	43.5	3 188.1	0.999
390	117.963	27.04	59.98	3 189.6	43.5	3 189.6	1
405	125.613	0.023	59.99	3.9	1.2	2.7	0.966
420	125.613	0.023	59.99	2.7	1.2	2.7	0.966

Las mediciones realizadas con el calentador eléctrico de la prueba 7 son representados gráficamente en la *figura 46*, se puede apreciar que la corriente y voltaje son casi continuos.



(a)



(b)

Figura 46: (a) Voltaje [V] versus tiempo (b) Corriente [A] versus tiempo de la prueba 7.

En la prueba 7 las potencias son casi constante en la *figura 47*, de igual manera el factor de potencia graficado en la *figura 48*.

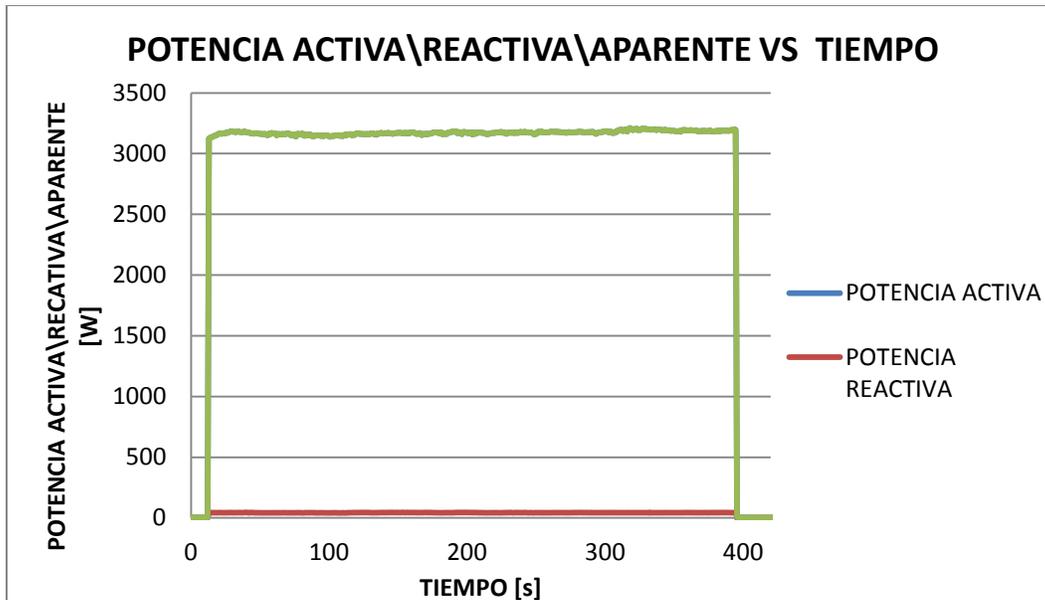


Figura 47: Potencias Activa [W], Aparente [W], Reactiva [W] versus tiempo consumidas durante la prueba 7.

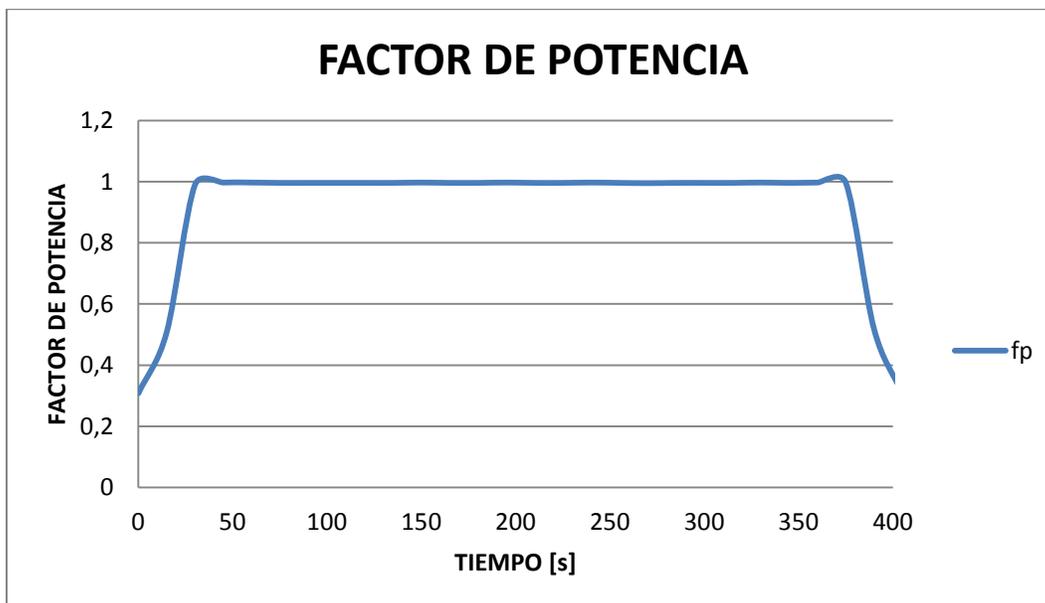


Figura 48: Factor de potencia versus tiempo de duración de la prueba 7.

4.1.8. Temperatura del agua en cada prueba

Con el gradiente de temperatura se determina la energía contenida en el agua que se mide con un termopar en intervalos de tiempo de 10 s entre cada medida (ver *tabla 20*). Para observar en forma gráfica el cambio de temperatura del agua durante cada una de las pruebas realizadas observe la *figura 49*.

Tabla 20
Gradientes de temperaturas de las pruebas realizadas

TIEMPO [s]	PRUEBA 1 [°C]	PRUEBA 2 [°C]	PRUEBA 3 [°C]	PRUEBA 4 [°C]	PRUEBA 5 [°C]	PRUEBA 6 [°C]	PRUEBA 7 [°C]
0	17	17	17	17	17	17	17
10	17	18	18	18	18	17	20
20	19	19	18	20	18	17	23
40	21	21	20	21	20	18	30
60	22	21	21	22	21	18	37
80	23	21	21	23	21	18	38
100	23	22	22	24	22	19	38
120	25	24	22	26	23	19	38
140	28	26	22	28	25	21	38
160	31	28	23	31	27	25	38
180	32	28	23	32	29	25	38
200	33	28	23	35	29	25	38
220	33	28	23	36	29	25	38
240	33	28	23	36	29	25	38
260	33	28	23	36	29	25	38
280	33	28	23	36	29	25	38
300	33	28	23	36	29	25	38
320	33	28	23	36	29	25	38
340	33	28	23	36	29	25	38
340	33	28	23	36	29	25	38
360	33	28	23	36	29	25	38
380	33	28	23	36	29	25	38
400	33	28	23	36	29	25	38
420	33	28	23	36	29	25	38
440	33	28	23	36	29	25	38
460	33	28	23	36	29	25	38
480	33	28	23	36	29	25	38
500	33	28	23	36	29	25	38

Los gradientes de temperatura de todas las pruebas se grafican en la *figura 49*, donde se nota que en la prueba 7 aumenta de temperatura más rápido ya que la niquelina del calentador eléctrico se encuentra en contacto directo con el agua, pero la temperatura que alcanza la prueba 4 es la adecuada para tomar una ducha, además de los beneficios que conlleva con es el ahorro energético por utilizar un calefón a inducción.

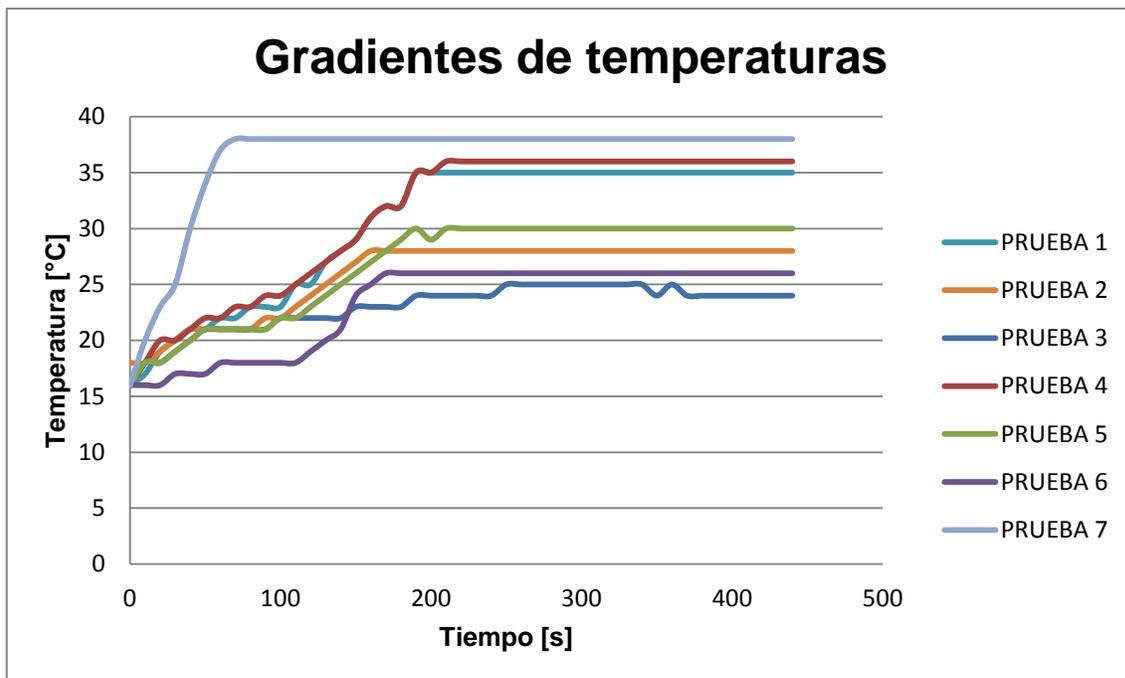


Figura 49: Gradientes de temperaturas versus tiempo de cada una de las pruebas

4.2. Cálculos de energías y eficiencias

Culminadas todas las pruebas se organizan los datos en la *tabla 21*, la cual presenta todos los parámetros utilizados para realizar los cálculos que determinen la energía consumida por el calefón prototipo y la energía contenida en el agua.

Tabla 21
Parámetros para calcular energías

	TEMPERATURA INCICAL [°C]	TEMPERATURA FINAL [°C]	POTENCIA ACTIVA [kW]	TIEMPO [s]
PRUEBA 1	17	33	2,5	368
PRUEBA 2	17	28	1,85	384
PRUEBA 3	17	23	1,47	390
PRUEBA 4	17	36	2,5	385
PRUEBA 5	17	29	1,85	387
PRUEBA 6	17	25	1,4	370
PRUEBA 7	17	38	3,18	390

Cantidad de energía almacenada en el agua

Para el cálculo de la cantidad de energía almacenada en el agua se utiliza la ecuación 2.13

$$Q = m * k * \Delta T C^{\circ} \quad (2.13)$$

Dónde:

Q = Cantidad de energía almacenada

m = Masa (cantidad de agua expresada en litros)

k = Coeficiente de transferencia de calor $4.184 \frac{J}{g^{\circ}C}$

ΔT = Diferencia de temperatura en °C

A continuación se detallan los cálculos de la cantidad de energía almacenada en el agua en cada una de las pruebas:

Prueba 1

$$Q = m * k * \Delta T^{\circ}C$$

$$Q = 10lt * \frac{1000g}{1lt} * 4.184 \frac{J}{g^{\circ}C} * (33 - 17)^{\circ}C$$

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * 16^\circ\text{C}$$

$$Q = 669\,440\text{ J}$$

Prueba 2

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (28 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q = 460\,240\text{ J}$$

Prueba 3

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (23 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q = 251\,040\text{ J}$$

Prueba 4

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (36 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q = 794\,960\text{ J}$$

Prueba 5

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (29 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q = 502\,080\text{ J}$$

Prueba 6

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (25 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q = 334\,720\text{ J}$$

Prueba 7

$$Q = 10\text{lt} * \frac{1\,000\text{g}}{1\text{lt}} * 4.184 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (38 - 17)^\circ\text{C}$$

$$Q = 878\,640\text{ J}$$

Energía eléctrica consumida

La energía eléctrica se obtiene del producto entre la potencia activa consumida y el tiempo empleado durante cada una de las pruebas realizadas.

Prueba 1

$$E = P_{\text{con}} * t$$

$$E = 2.5\text{ kW} * 6.13\text{ min}$$

$$E = 2.5 * 1\,000 * \frac{1\text{ J}}{1\text{sg}} * 368\text{ sg}$$

$$E = 920\,000\text{ J}$$

Prueba 2

$$E = 1.85\text{ kW} * 6.41\text{ min}$$

$$E = 1.85 * 1\,000 * \frac{1J}{1sg} * 384\,sg$$

$$E = 710\,400\,J$$

Prueba 3

$$E = 1.47\,kW * 6.51\,min$$

$$E = 1.47 * 1\,000 * \frac{1J}{1sg} * 390\,sg$$

$$E = 573\,300\,J$$

Prueba 4

$$E = 2.5\,kWh * 6.41\,min$$

$$E = 2.5 * 1\,000 * \frac{1J}{1sg} * 385\,sg$$

$$E = 962\,500\,J$$

Prueba 5

$$E = 1.85\,kW * 6.45\,min$$

$$E = 1.85 * 1\,000 * \frac{1J}{1sg} * 387\,sg$$

$$E = 715\,950\,J$$

Prueba 6

$$E = 1.4\,kW * 6.18\,min$$

$$E = 1.4 * 1\ 000 * \frac{1\ J}{1\ sg} * 370\ sg$$

$$E = 518\ 000\ J$$

Prueba 7

$$E = 3.18\ kW * 6.5\ min$$

$$E = 3.18 * 1\ 000 * \frac{1\ J}{1\ sg} * 390\ sg$$

$$E = 1\ 240\ 200\ J$$

Eficiencia energética

Una vez obtenido la cantidad de energía almacenada en el agua y la energía consumida para cada una de las pruebas, se procede a obtener la eficiencia energética que permita realizar un análisis del consumo de energía del sistema por inducción.

Prueba 1

$$\eta = \frac{Q_s}{E_e} * 100\ \%$$

$$\eta = \frac{669\ 440\ J}{920\ 000\ J} * 100\ \%$$

$$\eta = 0,7277 * 100\ \%$$

$$\eta = 72,77\ \%$$

En la primera prueba bajo sus respectivos parámetros con los niveles de potencia de 7 y 6 de la cocina, trabaja con una potencia activa de 2,5 kW y el

sistema de inducción sin ningún recubrimiento aporta una eficiencia del 72,77 %, valor un recomendable dentro de tendencia deseada según las aguas salientes sanitarias es del 80% de acorde al gasto energético realizado para elevar la temperatura del agua.

Prueba 2

$$\eta = \frac{460\,240\,J}{710\,400\,J} * 100\%$$

$$\eta = 64,79\%$$

Al trabajar solo con la zona 1 con el máximo nivel de potencia, la energía eléctrica consumida en el agua es casi el doble de cantidad de energía almacenada en el agua, considerando que se trabaja en las mismas condiciones del sistema de inducción arroja un valor de eficiencia baja en relación a la primera prueba de 64,78% dado que trabaja una sola de las zonas de inducción.

Prueba 3

$$\eta = \frac{251\,040\,J}{573\,300\,J} * 100\%$$

$$\eta = 43.79\%$$

El nivel de potencia máximo en la zona 2, refleja una baja cantidad de energía consumida en el agua debido a que la zona 2 de inducción tiene un diámetro menor y la transferencia de calor al agua varía lo que se manifiesta en la temperatura final del agua; su eficiencia baja considerablemente en relación a las anteriores dado dichas condiciones de la prueba.

Prueba 4

$$\eta = \frac{794\,960\,J}{962\,500\,J} * 100\%$$

$$\eta = 82.59\%$$

Es notable que la eficiencia del sistema de calentamiento por inducción mejore en ésta prueba con el recubrimiento de la lana de vidrio y con el funcionamiento de las zona1 y 2 de inducción a los niveles de potencia de 7 y 6 respectivamente; la cantidad de energía almacenada en el agua es alta por la transferencia de calor del sistema al agua reduciendo las pérdidas al mínimo la transferencia de calor al medio ambiente.

Prueba 5

$$\eta = \frac{502\,080\,J}{715\,950\,J} * 100\%$$

$$\eta = 70,13\%$$

En la quinta prueba, con el nivel máximo de potencia en la zona 1 la inducción al sistema recubierta de la lana de vidrio aumenta en comparación con la prueba 2, donde es notable que el recubrimiento mejora la transferencia de calor y por ende la eficiencia del sistema de calentamiento por inducción.

Prueba 6

$$\eta = \frac{334\,720\,J}{518\,000\,J} * 100\%$$

$$\eta = 64,62\%$$

La transferencia de calor en la zona 2 genera una energía consumida en el agua de 334 720 J, cantidad mayor a la de la prueba 3, debido a que aumenta la temperatura de salida del agua por el recubrimiento de la lana de vidrio, la eficiencia sube considerablemente en comparación con la prueba 3.

Prueba 7

$$\eta = \frac{878\,640\,J}{1\,240\,200\,J} * 100\%$$

$$\eta = 70,85\%$$

Tanto la energía eléctrica consumida como la cantidad de energía almacenada en el agua llegan a tener valores altos en comparación con las demás pruebas, puesto que se trabaja con la ducha eléctrica. El sistema de calentamiento por inducción solo permite el paso del agua, es decir, no se utiliza la cocina para la generación de inducción.

La eficiencia en ésta prueba no supera a la de la prueba 4, que es la mejor en relación a las todas las pruebas anteriores, donde cabe recalcar que la utilización de un recubrimiento de lana de vidrio al sistema mejora notablemente la transferencia de calor sin disipaciones al medio ambiente y por ende sube la temperatura final del agua que consecuentemente genera una alta eficiencia la sistema.

A continuación en la *tabla 22* se resume todos los parámetros y los cálculos obtenidos para el posterior análisis de la eficiencia energética.

Tabla 22
Resumen de parámetros y cálculos obtenidos en las pruebas

N° PRUEBA	TEMPERATURA EN °C		TIEMPO DE PRUEBA (SEG)	POTENCIA EN (KW)	CANTIDAD DE ENERGÍA EN EL AGUA (J)	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA (J)	EFICIENCIA (%)
	Inicial	Final					
1	17	33	368	2,5	669 440	920 000	72,77
2	17	28	384	1,85	460 240	710 400	64,79
3	17	23	390	1,47	251 040	573 300	43,79
4	17	36	385	2,5	794 960	962 500	82,59
5	17	29	387	1,85	502 080	715 950	70,13
6	17	25	370	1,4	334 720	518 000	64,62
7	17	38	390	3,18	878 640	1 240 200	70,85

Una vez obtenido todos los parámetros y realizado el cálculo de la eficiencia energética para cada una de las pruebas establecidas, se analizar los resultados obtenidos, en los cuales se puede observa que la mejor eficiencia del sistema de calentamiento por inducción se lo obtiene en la prueba 4, donde se trabaja con los niveles de potencia de 7 y 6 de las zonas 1 y 2 respectivamente, y con el recubrimiento de la lana de vidrio que permitió aumentar la resistencia de transferencia de calor por inducción al medio ambiente.

La prueba realizada con la ducha eléctrica llega a obtener una temperatura del agua más alta pero su energía consumida tiene un alto valor, por lo cual su eficiencia es inferior a la de la prueba 4, donde se nota que la utilización de la lana de vidrio ayuda a conservar el calor disminuyendo las pérdidas al medio ambiente.

Para tener una visualización más clara y analítica del proceso de las pruebas y de la eficiencia obtenida en cada una de las pruebas, se se detalla en la *tabla 23*.

Tabla 23
Parámetros y eficiencia en cada prueba

PRUEBA	PARÁMETROS	VALORES	EFICIENCIA (%)
PRUEBA 1	Zona 1	Nivel 7 (Potencia)	72,77
	Zona 2	Nivel 6 (Potencia)	
	Tiempo	6,13 min	
	Lana de vidrio	NO	
	Volumen de agua	10 litros	
PRUEBA 2	Zona 1	Nivel 9 (Potencia)	64,79
	Zona 2	Nivel 0 (Potencia)	
	Tiempo	6,41 min	
	Lana de vidrio	NO	
	Volumen de agua	10 litros	
PRUEBA 3	Zona 1	Nivel 0 (Potencia)	43,79
	Zona 2	Nivel 9 (Potencia)	
	Tiempo	6,51 min	
	Lana de vidrio	NO	
	Volumen de agua	10 litros	
PRUEBA 4	Zona 1	Nivel 7 (Potencia)	82,59
	Zona 2	Nivel 6 (Potencia)	
	Tiempo	6,41 min	
	Lana de vidrio	SI	
	Volumen de agua	10 litros	
PRUEBA 5	Zona 1	Nivel 9 (Potencia)	70,13
	Zona 2	Nivel 0 (Potencia)	
	Tiempo	6,45 min	
	Lana de vidrio	SI	
	Volumen de agua	10 litros	
PRUEBA 6	Zona 1	Nivel 0 (Potencia)	64,62
	Zona 2	Nivel 9 (Potencia)	
	Tiempo	6,18 min	
	Lana de vidrio	SI	
	Volumen de agua	10 litros	
PRUEBA 7 (CALENTADOR ELÉCTRICO)	Zona 1	Nivel 0 (Potencia)	70,85
	Zona 2	Nivel 0 (Potencia)	
	Calentador eléctrico	Potencia	
	Tiempo	6,5 min	
	Lana de vidrio	NO	
	Volumen de agua	10 litros	

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1. Título de la propuesta

Diseño para la instalación de un calefón a inducción electromagnética para proveer de agua caliente en viviendas unifamiliares.

5.2. Justificación de la propuesta

En la actualidad las viviendas del país que utilizan calefones, en su gran mayoría tienen instalados calentadores a gas y la otra parte calentadores eléctricos para proveer de agua caliente de uso doméstico, lo que ocasiona un gran desperdicio de energía ya que los dispositivos eléctricos son sistemas que consumen y desperdician energía al no utilizar de manera eficiente la misma, en tanto los dispositivos que utilizan GLP conllevan el riesgo a tener accidentes por explosiones y atenta contra la salud de los habitantes y del medio ambiente por la emanación de gases.

Es por esto que se busca aprovechar de manera eficiente la energía que se producirá por el cambio de la matriz energética que atraviesa el país, para así minorar el consumo energético por duchas, calentadores eléctricos y dejar de invertir dinero en el subsidio de gas.

5.3. Objetivo de la propuesta

5.3.1. Objetivo general

- Diseñar la instalación de un calefón a inducción electromagnética para proveer de agua caliente a una vivienda unifamiliar para mejorar eficiencia energética.

5.3.2. Objetivos específicos

- Elegir el calefón a inducción apropiado para ser instalado en una vivienda unifamiliar.
- Diseñar la instalación de una calefón a inducción en una vivienda unifamiliar.
- Evaluar el costo beneficio del calefón a inducción frente a otros dispositivos.

5.4. Estructura de propuesta

La propuesta plantea el diseño para realizar la instalación de un calefón a inducción electromagnética que satisfaga con las necesidades de una vivienda unifamiliar y mejore la eficiencia energética para lo que se considera los siguientes parámetros:

- Potencia necesaria.
- Diseño para la instalación de un calefón a inducción en una vivienda unifamiliar.
- Análisis del costo beneficio de un calefón a inducción frente a los calefones convencionales a gas y eléctricos.

5.5. Desarrollo de la propuesta

5.5.1. Potencias de calefones a inducción

La potencia del calefón depende del litraje de agua que puede calentar por minuto es decir cuando mayor sea su capacidad mayor será la potencia del mismo y se tendrá mayor cantidad de agua disponible para su uso, por esto se propone un calefón seleccionable entre 6, 8 o 12 litros para escoger el más idóneo para una vivienda unifamiliar se considera el número de habitantes de la misma como se detalla en la *tabla 24* y en la *figura 50*, se observa el artefacto.

Tabla 24
Potencias de calefones a inducción

CAPACIDAD [lit/min]	NUMERO DE PERSONAS	POTENCIAS [kW]
6	2 a 3	6
8	4 a 5	9
12	5 a 7	12



Figura 50: Calefón a inducción para una ducha con eficiencia mayor a 85% (UKER, 2015)

Para una vivienda unifamiliar que está compuesta por 4 o 5 personas, se escoge un calefón con una capacidad de 8 litros por minuto para realizar el

diseño. El calefón debe tener una alimentación de 220 V para consumir menos corriente y por ende disminuir las pérdidas, también la instalación debe ser adecuada para evitar cualquier tipo de pérdidas por calentamiento del cable y por seguridad en la misma.

El dispositivo escogido tiene una potencia de 9 kW lo cual es suficiente para elevar la temperatura del agua aprovechando la energía eléctrica de manera eficiente, además siendo una alternativa amigable con el planeta y así mismo tiene la capacidad de proveer agua caliente para uso doméstico en una vivienda unifamiliar.

5.5.2. Diseño de instalación según la potencia del calefón seleccionada

En el diseño de la instalación de un calefón a inducción se debe considerar varios parámetros para seleccionar el dispositivo calefactor como son:

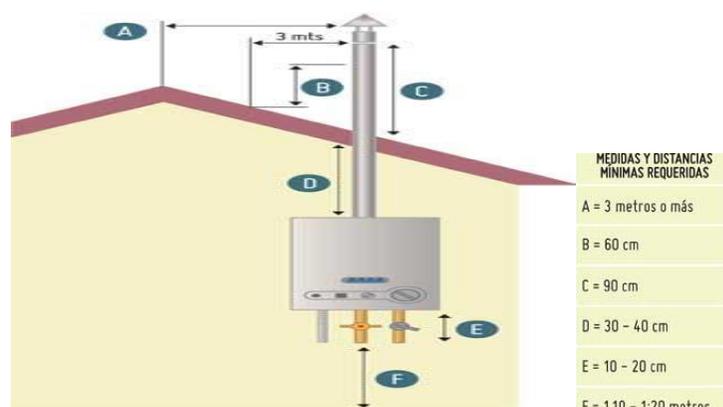
- La capacidad o litraje según la vivienda y número de personas.
- Conexiones de agua, prolongación de cañerías y alimentación del calefón.
- Ubicación y espacio que ocupará el calefón.
- Montaje del calefón.

Se propone instalar un calefón a inducción, el mismo que no emana gases contaminantes, por lo que no es necesario adecuar un espacio que tenga ventilación, pero si se necesita una alimentación de 220 V para reducir las pérdidas en el consumo de energía eléctrica y las demás características que tiene el calefón se detallan en la *tabla 25*.

Tabla 25
Especificaciones del calefón a inducción para instalación

PARÁMETRO	UNIDAD
Alimentación	220 V
Capacidad	8 lt/min
Potencia	9 kW
Espacio (celosía)	1.40 metros cuadrados

La instalación del calefón a inducción puede ser observada en la *figura 51.a* la cual muestra una instalación en el exterior de la vivienda y en la *figura 51.b* se observa una instalación dentro de la misma.



(a)



(b)

Figura 51: instalación de un calefón (a) en el exterior de la vivienda (b) en el interior de la vivienda

Fuente: (SODIMAC, 2015)

Una vez seleccionado el lugar de la instalación se debe tener en cuenta el número de personas que lo utilizarán y cuál es el tiempo que estará en funcionamiento, para determinar el consumo de energía diaria y por mes que tendrá el calefón para evaluar su eficiencia.

5.5.3. Costo de instalación

Para determinar el costo total por la instalación de un calefón con tales características se debe determinar todo los elementos necesarios para realizar el montaje en una vivienda unifamiliar.

Se consideran los siguientes gastos observados en la *tabla 26*, y los elementos a utilizarse en la *figura 52*, siendo lo necesario para saber el costo que conlleva instalar un a calefón a inducción en una vivienda unifamiliar.

Tabla 26
Costo por la instalación de un calefón a inducción

PARÁMETRO	\$ USD
Calefón a inducción	250
Instalación	50
Cañería	50
Cables de conexión	50



Figura 52: Elementos necesarios para la instalación

Fuente: (SODIMAC, 2015)

Para realizar la instalación eléctrica el precio puede variar dependiendo de la distancia que se encuentre la fuente, además el sistema debe contar con un breaker de 30 A a 220V para su correcta protección.

5.5.4. Gasto energético del calefón a inducción

Para determinar el gasto que representa utilizar un calefón a inducción se analiza la energía eléctrica utilizada diaria y mensualmente dado el tiempo útil del mismo.

En un calefón de 8 lit/min para una vivienda unifamiliar se propone que va ser utilizado por 4 personas todos los días, con un promedio de duración de una ducha de 15 min diariamente según el INEC, si el calefón a inducción tiene una potencia de 9kW entonces el tiempo útil es:

$$\textit{Tiempo útil} = 4\textit{personas} * 15\textit{min}$$

$$\textit{Tiempo útil} = 60 \textit{ min}$$

$$\textit{Tiempo útil} = 1\textit{h}$$

El tiempo útil del calefón diariamente es de 1 hora para la región Sierra y para la región Costa es de 80 min o 1,20 horas ya que el índice demuestra que en la región Costa una ducha demora 20 minutos, considerado esto la energía eléctrica consumida es:

$$E = \textit{Tiempo útil} * \textit{vatios calefón}$$

$$E = 1\textit{h} * 9\ 000\ \textit{W}$$

$$E = 9\ \textit{kWh}$$

$$E = 9\ 000 * 1000\ \textit{J}$$

$$E = 9\ 000\ 000\ \textit{J}$$

Ahora el costo total se detalla en la *tabla 27*, donde se determina el costo diario y mensual al utilizar un calefón a inducción de 8 lit /min para proveer de agua caliente en la región Sierra y en la *tabla 28*, se detalla el costo para la región Costa.

Tabla 27
Costo monetario de un calefón para la región Sierra

CAPACIDAD [lit/min]	POTENCIA [W]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA [J]	VALOR EN \$USD
8	9 000	1	30	210 000	21

Tabla 28
Costo monetario de un calefón para la región *Costa*

CAPACIDAD [lit/min]	POTENCIA [W]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA [J]	VALOR EN \$USD
8	9 000	1,2	36	324 000	32,4

Para la región Costa el gasto mensual de consumo energético es más elevado debido a que en ésta región una ducha tiene una duración de 20 min como mínimo, sin embargo el costo de instalación es el mismo. es posible que el consumo en la Costa sea menor pues la temperatura inicial es mayor.

5.6. Verificación de la propuesta

5.6.1. Eficiencia del calefón a inducción con calentadores convencionales

Para realizar la verificación de la propuesta se compara las eficiencias del calefón a inducción con las eficiencias de los calefones convencionales, dando una proyección de cual se deberá utilizar a futuro en el país, para proveer de agua caliente en viviendas unifamiliares.

La eficiencia de los calefones a gas y eléctricos vienen clasificados por clases que van desde A hasta E, cada una específica un rango de eficiencia energética como se muestra en el siguiente *figura 53*.

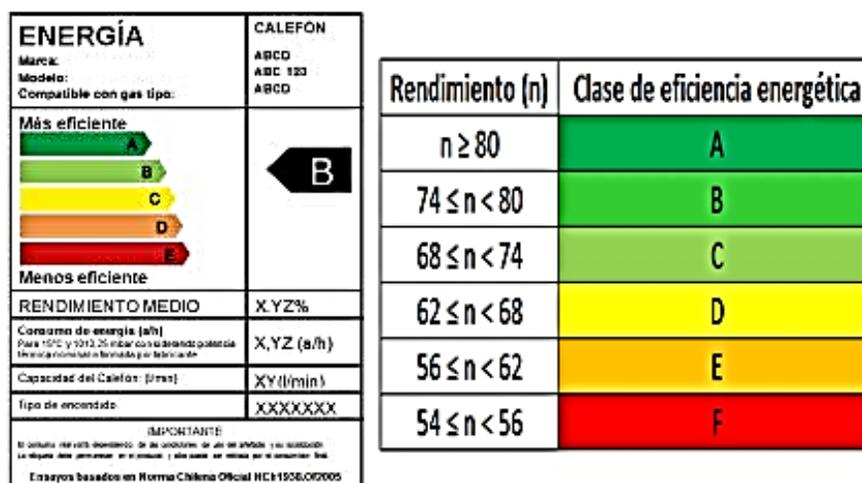


Figura 53: Eficiencias de calefones a gas y eléctricos

Fuente: (Ministerio de Energía (División de Eficiencias energéticas), 2014)

Los calefones a gas natural o GLP y eléctricos tienen una eficiencia de la clase B siendo los más comunes con un rango de $74\% < n < 80\%$ existen calefones eléctricos de alta eficiencia de clase A pero son muy costosos debido a su electrónica interna por lo que en el país son muy poco comerciales.

La eficiencia del calefón a inducción es del $80\% < n < 85\%$ considerando la eficiencia mínima que se obtiene de las pruebas realizadas anteriormente y el límite superior de los calefones y cocinas a inducción que pronostican tener una eficiencia mayor al 85%.

Conociendo esto se puede determinar la energía consumida por un calefón a gas, un calefón eléctrico convencionales y de un calefón a inducción.

Eficiencia de un calefón a gas

Un calefón a gas utiliza aproximadamente un cilindro de gas al mes teniendo en cuenta que no es el mismo tiempo de duración de una ducha en la Sierra que en la Costa, pero la eficiencia varia dentro de los mismos rangos sin importar la región lo que se observa en la *tabla 29*, se busca determinar la eficiencia del calefón a gas más utilizada y según la *figura 53* etiqueta de eficiencia para tener una veracidad en los datos al momento de realizar la comparación energética.

Tabla 29
Eficiencia de un calefón a gas

CAPACIDAD [lit/min]	POTENCIA [W]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	EFICIENCIA MÍNIMA [%]	EFICIENCIA MÁXIMA [%]
10 – 12	14300	1 - 1,2	30 -36	74	80

Eficiencia de un calefón eléctrico

La eficiencia del calefón eléctrico es mejor que la de un calefón a gas debido a que utiliza energía eléctrica y su alimentación es a 220 V, al momento de ponerlo en funcionamiento ya que su transferencia de calor es directa, las eficiencias de los calefones eléctricos se muestran en la *tabla 30*.

Tabla 30
Eficiencia de un calefón eléctrico

CAPACIDAD [lit/min]	POTENCIA [W]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	EFICIENCIA MÍNIMA [%]	EFICIENCIA MÁXIMA [%]
8	10000	1 - 1,2	30 -36	75	80

Eficiencia de un calefón a inducción

Para la eficiencia del calefón a inducción se considera como mínimo la eficiencia encontrada anteriormente en este documento siendo el 80 % y la máxima según los calefones a inducción fabricados actualmente es mayor al 85%, (ver *tabla 31*).

Tabla 31
Eficiencia de un calefón a gas

CAPACIDAD [lit/min]	POTENCIA [W]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	EFICIENCIA MÍNIMA [%]	EFICIENCIA MÁXIMA [%]
8	9000	1 - 1,2	30 -36	80	85

En el análisis de la eficiencia se lo hace con los valores mínimos y máximos para verificar la validez de los datos y de la propuesta planteada. Para los calefones a gas, eléctricos y de inducción se tienen las siguientes eficiencias mínimas:

- **Eficiencia calefón a gas 74%**
- **Eficiencia calefón eléctrico 75%**
- **Eficiencia calefón a inducción 80%**

Las eficiencias tienen el siguiente consumo de energía para cada uno de los calefones, hay que considerar la región donde se encuentre instalado el mismo ya que el tiempo de una ducha varía como se detalla en *tabla 32*.

Tabla 32
Eficiencia mínimas de un calefón a gas, eléctrico e inducción

	POTENCIA [W]	CAPACIDAD [lit/min]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	EFICIENCIA [%]	COSTO MENSUAL \$ USD	
						SIERRA	COSTA
GAS	14300	10 - 12	1 - 1,2	30 -36	74	24	24
ELÉCTRICO	10000	8	1 - 1,2	30 -36	75	30	36
INDUCCIÓN	9000	8	1 - 1,2	30 -36	80	21	32,4

Para los niveles más altos de eficiencia de los calefones se tiene los siguientes valores:

- **Eficiencia calefón a gas 80%**
- **Eficiencia calefón eléctrico 80%**
- **Eficiencia calefón a inducción 85%**

El costo que representa tener calefones con tales eficiencias se representan en la *tabla 33*, considerando la región donde se encuentre instalado.

Tabla 33
Eficiencia máximas de un calefón a gas, eléctrico e inducción

	POTENCIA [W]	CAPACIDAD [lit/min]	TIEMPO ÚTIL DIARIO [h]	TIEMPO ÚTIL MENSUAL [h]	EFICIENCIA [%]	COSTO MENSUAL \$ USD	
						SIERRA	COSTA
GAS	14300	10 - 12	1 - 1,2	30 -36	80	24	24
ELÉCTRICO	10000	8	1 - 1,2	30 -36	80	30	36
INDUCCIÓN	9000	8	1 - 1,2	30 -36	85	21	32,4

5.7. Análisis de costo beneficio

En el ámbito social se contribuye con la disminución de gases emanados a la atmósfera por ende se tiene una menor demanda de gas licuado o GLP, además de un ahorro energético considerable, por lo que se considera que el aporte social es tanto por el planeta y por la seguridad de las personas.

Para demostrar el costo beneficio de la propuesta se analiza la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VNA), que tiene la instalación de un calefón a inducción electromagnética frente a un calefón a gas y eléctrico.

En el análisis económico se considera el costo del cilindro de gas el que tendrá después de que el subsidio se acabe, un valor oficial aproximado de 24 USD por cilindro, por lo tanto se analiza para las eficiencias mínimas de los

calefones a gas, eléctricos e inducción y se tiene un ahorro mensual de 3 USD (ver *tabla 32*) al reemplazar el de gas o el eléctrico por uno de inducción electromagnética en la región Sierra, 8.4 USD.

Por tanto el ahorro energético mensual que se tiene es de 3.0 USD como mínimo dependiendo de la región, se considera un tiempo de vida útil del artefacto de 60 meses, con una inversión total de instalación de 50 USD frente al eléctrico y de 100 USD si se considera el calefón a gas con un interés anual del 12% considerado en todo esto el TIR y VNA que se obtienen para la región Sierra y Costa se exponen en la *tabla 34*.

Tabla 34
TIR y VNA para región Sierra y Costa

	COSTO DE INSTALACIÓN \$ USD	INVERSIÓN \$ USD	AHORRO \$ USD	AHORRO \$ USD	TIR SIERRA	VNA SIERRA \$ USD	TIR COSTA	VNA COSTA \$ USD
GAS	350	100	3	8.4	2%	51.65	8%	224.62
ELÉCTRICO	400	50	3	3.6	6%	101.65	3%	131.98

El tiempo de retorno es menor a dos años en la región Sierra y para la región Costa es menor al año y medio, es decir el proyecto es rentable ya que a partir de esto todos los meses se ahorra energía eléctrica.

5.8. Conclusiones de la propuesta

- En el diseño de la instalación de un calefón a inducción se elige un calefón de 8kW, adecuado para una vivienda unifamiliar ya que su capacidad es suficiente para abastecerla de agua caliente asegurando el confort.
- Al instalar un calefón a inducción electromagnética se tiene un valor actual de retorno del 51.65 USD como mínimo, pero esto es cuando el cilindro de gas pierda su subsidio es decir que en un futuro el calefón a inducción representara un ahorro energético y económico.

- El calefón a inducción puede ser instalado en el interior de la vivienda debido a que no emana gases tóxicos, lo que representa un ahorro económico en la instalación y al mismo tiempo un ahorro energético.

5.9. Recomendaciones de la propuesta

- La instalación del calefón a inducción debe ser para vivienda unifamiliar la cual este habitada por 4 o 5 personas.
- Considerar la capacidad del calefón de acuerdo al número de grifos o salidas de agua la que esté conectado el calefón a inducción.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- En la investigación se determina que las bobinas de inducción deben ser de tipo oblea para que el campo magnético sea aprovechado de mejor manera por la bobina secundaria, reduciendo perdidas ya que el campo se concentra solo en la segunda bobina.
- Se utiliza AISI 430 para diseñar el sistema de calentamiento por inducción ya que su coeficiente de conductividad térmica 21 Kcal/m°C siendo el índice de conductividad más alto que se tiene en los aceros inoxidables, de esta manera se puede transmitir el calor en el menor tiempo posible y por sus características ferromagnéticas lo hace el idóneo para ser utilizado en este proyecto.
- La eficiencia del sistema de calentamiento por inducción mejora notablemente al ser recubierto por lana de vidrio, lo cual evita la disipación de calor al medio ambiente permitiendo que exista una mayor transferencia de calor al agua que circula por el sistema.
- La potencia nominal del sistema de inducción es de 2.5kW y durante la prueba que demora entre 6 min y 7 min se consume una energía de 920 000 J lo cual es aprovechado en un 72,77% por el calefón prototipo, pero al memorar las perdidas por transferencia de calor se tiene un rendimiento del 82.59%, lo que da a conocer que es más eficiente utilizar un calefón a inducción.

- Una de las ventajas de utilizar la inducción electromagnética en calefones es reducir el consumo energético que se tiene por un calefón eléctrico, además de que es una energía verde que no contamina y ni emana gases contaminantes es una alternativa que puede ahorrar energía eléctrica ya que son sistemas que trabajan a 220 V para disminuir pérdidas.
- Se puede mejorar el sistema de calentamiento por inducción al construirlo con otro material ferroso que supere las características del AISI 430 para aprovechar de mejor manera la transferencia de calor al agua.
- Al sistema de calentamiento por inducción se lo puede recubrir con otro tipo de aislante térmico mejor que la lana de vidrio para que reduzca ms las pérdidas generadas por el mismo sistema.

6.2. Recomendaciones

- Las instalaciones eléctricas deben estar bajo protecciones de seguridad, con cables apropiados para 220V, como el AWG de la gama baja que soporte una corriente >30 A.
- Asegurarse que el aislamiento del calefón a inducción sea de muy alta calidad y dure de acuerdo con la vida útil del artefacto para que de esta manera pueda trabajar bajo la misma eficiencia durante su tiempo de vida.
- El agua es un recurso natural, la misma que se debe cuidar y evitar su gasto innecesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Ecuador.

Donate, A. (1999). Principios de Electricidad y Electronica II. Barcelona: Marcombo S.A.

Garcia, F. G.-O. (1996). ley de Faraday. En *ELEMENTOS DE ELECTROMAGNETISMO CLASICO* (págs. 249-251). Madrid : UPCO.

German Santamaría, A. C. (2009). En *Electrotecnia* (págs. 30-31). Andalucía- España: editex.

Gibilisco, S. a. (1994). *Electrónica: diccionario enciclopédico. Tomo 2*. México D.F. : McGraw-Hill Interamericana.

Michael J. Moran, H. N. (2004). Fundamnetos de Termodinámica Técnica. Barcelona: Reverté.

Toro, V. d. (1988). *Fundamnetos de Ingenieria Eléctrica* . México D.F. : Prendce Hall.

Torre, R. D. (2008). *Probabilidad y estadistica para ciencias y energia*. Barcelona: DELTA.

UKER. (2015). Recuperado el 30 de 01 de 2016, de www.uker.com

Mosca, T. (2003). En *Fisica para la Ciencia y la Tecnología* (pág. 809). New York: Reverte.

LINKOGRAFIA

Aperam Stainless Europ. (2011). Recuperado el 26 de 11 de 2015, de <http://www.aperan.com>

BONNET. (2013). Recuperado el 26 de 11 de 2015, de <http://www.bonnet.es>

Botero, I. F. (2014). Hornos de Induccion. *Meltaactual*, 27.

Dahake, D. G. (2009). *Bobinas de trabajo de calentamiento por inducción*. (AMBRELL) Recuperado el 22 de 10 de 2015, de <http://www.ambrell.com/PDFo/411-0168-16.pdf>

Definicion. (2006). Recuperado el 14 de 01 de 2016, de www.definicion.de

González, I. G. (10 de 2005). *emmafiorentino*. Obtenido de <http://www.emmafiorentino.com.ar/VIII%20SEMINARIO/APLICACIONES.PDF>

Escribano, J. C. (Octubre 2008). Manual de Energía Solar Térmica. *Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energía , Cuarta Edición*.

- Fluke. (1996-2016). Recuperado el 25 de 01 de 2016, de <http://www.fluke.com/fluke/eses/medidores-de-calidad-de-la-energia-electrica/registradores-de-calidad-electrica/fluke-1735.htm?pid=56028>
- González, P. D. (14 de 04 de 2010). *Apoyo para la preparacion de los estudios de Ingenieria y Arquitectura*. (Universidad Politecnica de Madrid) Obtenido de http://ocw.upm.es/apoyo-para-la-preparacion-de-los-estudios-de-ingenieria-y-arquitectura/fisica-preparacion-para-la-universidad/contenidos/electromagnetismo/unidad_21_induccion_em.pdf
- González, W. A.-B. (Marzo de 2013). *SciELO*. (Universidad, Ciencia y Tecnología) Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212013000100004&script=sci_arttext
- Gracia-Hevia, J. R. (2007). En *Conceptos de Electromagnetismo* (pág. 151). Servicios Publicitarios-Universidad de Oviedo.
- INDURAMA. (2014). Recuperado el 18 de 11 de 2015, de <http://www.indurama.com>
- INEC. (Junio de 2012). (ENEMDU) Recuperado el 26 de Noviembre de 2015, de www.inec.es
- INEN. (2010). Obtenido de www.inen.com
- Luis F. Quevedo, F. A. (2014). Initial Results from a Prototype Corresponding to an Induction Water Heater. *IEEE*, 1-2.
- Meléndez Aguilera, E. A. (2007). *Analisis comparativo energetico y ambiental, en calefones de uso doméstico que operan con gas licuado de petróleo y gas natural*. Chile: B - Universidad de Santiago de Chile.
- Ministerio de Energía (División de Eficiencias energéticas). (2014). Recuperado el 30 de 01 de 2016, de http://formularios.minenergia.cl/cpeee/archivos_bajar/lena.pdf
- MIPRO. (16 de 04 de 2014). *MIPRO*. Recuperado el 09 de 01 de 2016, de <http://www.industrias.gob.ec/>
- SODIMAC. (2015). Recuperado el 30 de 01 de 2016, de http://www.sodimac.cl/static/site/guiasdeCompra/150520_calefaccion/calefon.html
- David Valencia, L. G. (04 de 08 de 2014). Resultados iniciales de un prototipo de calefón de inducción. *UPS-CUENCA*.
- Ríos Villacorta, A. (06 de 2015). *SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AGUA POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA EL USO DOMÉSTICO*. Obtenido de UTA: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/13071>

ANEXOS

ANEXO A

Instrumento analizador de energía Fluke 1735



Nombre del modelo	Descripción	Listas de precios
Fluke 1735	<p>El registrador incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estuche de transporte flexible • 4 sondas de corriente flexibles (15 A/150 A/3000 A) • Software PowerLog • Cables de prueba y pinzas • Juego de marcadores de colores • Cable de conexión al ordenador • Adaptador de CA internacional (115/230 V, 50/60 Hz) • Manual de usuario en formato impreso (inglés) • Manual de usuario en CD en varios idiomas 	

Especificaciones

General	
Pantalla:	Pantalla VGA transmisiva en color de 320 x 240 píxeles, retroiluminación adicional y contraste ajustable; texto y gráficos en color
Calidad:	Desarrollado, diseñado y fabricado según la norma DIN ISO 9001
Memoria:	Memoria Flash de 4 MB, 3,5 MB para medir datos
Interfaz:	Conector RS-232 SUB-D; 115.200 baudios, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada, actualizaciones de firmware posibles a través de la interfaz RS-232 (cable de extensión de 9 patillas)
Velocidad de muestreo:	10,24 kHz
Frecuencia de línea:	50 Hz o 60 Hz, seleccionable por el usuario, con sincronización automática
Alimentación eléctrica:	Juego de baterías NiMH con adaptador de CA (de 15 V a 20 V/0,8 A)
Tiempo de funcionamiento con batería:	Normalmente > 12 horas sin usar la retroiluminación y > 6 horas con uso elevado de la retroiluminación
Dimensiones:	240 mm x 180 mm x 110 mm
Peso:	1,7 kg, baterías incluidas

Condiciones ambiente	Rango de temperatura de funcionamiento: De -10 °C a +50 °C Rango de temperaturas de almacenamiento: De -20 °C a +60 °C Rango de temperaturas de trabajo: De 0 °C a +40 °C Rango de temperatura de referencia: 23 °C ± 2 °C Nota: Los términos anteriores están definidos en las normas europeas. Para calcular la especificación en cualquier punto del rango de temperaturas, utilice el coeficiente térmico siguiente. Coeficiente térmico: ± 0,1% del valor medido por °C de la referencia Error intrínseco: Se refiere a la temperatura de referencia, se garantiza una desviación máxima durante dos años Error de funcionamiento: Se refiere al rango de temperatura de trabajo, se garantiza una desviación máxima durante dos años Clase climática: C1 (IEC 654-1) de -5 °C a +45 °C, de 5% a 95% HR, sin condensación Carcasa: Termoplástica de cycoloy resistente a impactos y rayaduras, de tipo V0 (no inflamable) con funda protectora de goma
EMC	Emisiones: IEC/EN 61326-1:1997 clase B Inmunidad: IEC/EN 61326-1:1997
Seguridad	Seguridad: IEC 61010-1 600 V CAT III, aislamiento doble o reforzado, grado 2 de contaminación Protección: IP65; EN60529 (sólo la carcasa principal sin el compartimento de las baterías) Los valores RMS se miden con una resolución de 20 ms.
Medida de Vrms en estrella	Rango de medida: 57 V/66 V/110 V/120 V/127 V/220 V/230 V/240 V/260 V/277 V/347 V/380 V/400 V/417 V/480 V CA Error intrínseco: ± (0,2% del valor medido + 5 dígitos) Error de funcionamiento: ± (0,5% del valor medido + 10 dígitos) Resolución: 0,1 V
Medida de Vrms delta	Rango de medida: 100 V/115 V/190 V/208 V/220 V/380 V/400 V/415 V/450 V/480 V/600 V/660 V/690 V/720 V/830 V CA Error intrínseco: ± (0,2% del valor medido + 5 dígitos) Error de funcionamiento: ± (0,5% del valor medido + 10 dígitos) Resolución: 0,1 V
Medida de intensidad (valor eficaz)	Rangos de FlexiSet I: 15 A/150 A/3000 A (valor eficaz, sinusoidal) Rangos de pinza amperimétrica: 1 A/10 A Resolución: 0,01 A Rangos 150 A/3000 A y 1 A/10 A Error intrínseco: ± (0,5% del valor medido + 10 dígitos) Error de funcionamiento: ± (1% del valor medido + 10 dígitos) Rangos 15 A Error intrínseco: ± (0,5% del valor medido + 20 dígitos) Error de funcionamiento: ± (1% del valor medido + 20 dígitos) No se consideran los errores de las sondas de corriente.
Con FlexiSet	Error de medida de FlexiSet: ± (2% del valor medido + 10 dígitos) Influencia de la posición: ± (3% del valor medido + 10 dígitos) CF (habitual): 2,83

	Nota:	Si utiliza FlexiSet, asegúrese de colocar el conductor en dirección opuesta al bloqueo de FlexiSet
Medida de potencia (P - activa, S - aparente, Q - reactiva, D - Distorsión)	Rango de medida:	Consulte los rangos de medida de tensión e intensidad (valor eficaz) Los errores de alimentación se calculan añadiendo los errores de tensión y corriente Error adicional debido a factor de potencia (PF) Error especificado x (1-[PF]) El rango máximo con una conexión en triángulo de rango de tensión de 830 V y un rango de corriente de 3000 A es de 2,490 MW, es posible que aparezcan valores superiores si se utilizan PT y CT con función de relación
	Error intrínseco:	± (0,7% del valor mostrado + 15 dígitos)
	Resolución:	1 kW
	Error de funcionamiento:	± (1,5% del valor medido + 20 dígitos)
	Error intrínseco:	Rango habitual con conexión en estrella de 230 V de rango de tensión y rango de corriente de 34,50 KW. ± (0,7% del valor mostrado + 15 dígitos)
	Resolución:	De 1 W a 10 W
	Error de funcionamiento:	± (1,5% del valor medido + 20 dígitos)
		Los errores de los sensores de corriente no se han tenido en consideración.
Medida de energía (kWh, KVAh, kVARh)	Error intrínseco:	± (0,7% del valor medido + error de variación F* + 15 dígitos)
	Resolución:	De 1 W a 10 W
	Error de funcionamiento:	± (1,5% del valor medido + error de variación F* + 20 dígitos) *Error de variación de frecuencia
PF (Factor de potencia)	Rango:	De 0,000 a 1,000
	Resolución:	0,001
	Precisión	±1% del valor máximo de la escala
Medida de la frecuencia	Rango de medida:	De 46 Hz a 54 Hz y de 56 Hz a 64 Hz
	Error intrínseco:	± (0,2% del valor medido + 5 dígitos)
	Error de funcionamiento:	± (0,5% del valor medido + 10 dígitos)
	Resolución:	0,01 Hz
Armónicos	Rango de medida:	Hasta el armónico 50° (< 50% de la tensión nominal)
Precisión	V_m, I_m, THDV, THDI:	IEC 61000-4-7:2002, Clase II
	V_m ≥ 3% V_n:	± 5% V _m
	V_m < 3% V_{nom}:	±0,15% V _{nom}
	I_m ≥ 10% I_{nom}:	± 5% I _m
	I_m < 10% I_{nom}:	± 0 5% I _{nom}
	THDV:	para una distorsión armónica total (THD) < 3% ± 0,15% en V _{nom} para una THD ≥ 3% ± 5% en V _{nom}
	Distorsión armónica total de corriente:	para una THD < 10% ± 0,5% en I _{nom} para una THD ≥ 10% ± 5% en I _{nom}
	Tensión nominal:	Rango de tensión nominal
	Corriente nominal:	Rango de corriente nominal V _m e I _m son valores medidos de armónicos m
Eventos		Detección de fluctuaciones e interrupciones de tensión con una resolución de 10 ms y medida de errores del semiperíodo de la onda sinusoidal de valor eficaz.
	Error intrínseco:	± (1% del valor medido + 10 dígitos)
	Error de funcionamiento:	± (2% del valor medido + 10 dígitos)
	Resolución:	0,1 V



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por **ALBA ROSA RIVERA COQUE** y **LEONARDO ALEXANDER FLORES GUTIÉRREZ**.

En la ciudad de Latacunga, a los 29 días del mes de febrero del 2016 bajo la supervisión de.

**Ing. Franklin Silva
DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

**Ing. Franklin Silva
DIRECTOR DE CARRERA**

**Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO**

DEPARTAMENTO DE ADMISIÓN Y REGISTRO