Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0

Recibo de pago N° 74191

Visto el Informe **Nº 245-2024-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG**, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

Nº 230-2024

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **tesis** cuyo título es:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN PARA CASAS AFECTADAS POR EL FRIAJE Y HELADAS EN ZONAS ALTOANDINAS EN LA PROVINCIA DE YAUYOS EN LA ACTUALIDAD"

Presentado por:

QUISPE POZO, IVAN ANDRÉ

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA ELECTRÓNICA. El resultado obtenido es un porcentaje de DOS POR CIENTO **(2%)**, por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 09 de Octubre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Dr. José Luis Donayre Pasquel
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica

Diseño de un sistema de calefacción para casas afectadas por el friaje y heladas en zonas altoandinas en la provincia de Yauyos en la actualidad

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

TESIS

IVÁN ANDRÉ QUISPE POZO

Ica, Perú

2024

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, por el amor y el apoyo brindado en todo momento.

Y a mis abuelos, cuyo conocimiento de las zonas altoandinas, hizo posible mi viaje hacia esos lugares ubicados en gran altura y a bajas temperaturas, y me motivó a continuar con mi investigación.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar a mis padres, que siempre estuvieron ahí brindándome su apoyo.

Agradezco a mi asesor de tesis, cuyos consejos fueron valiosos para el desarrollo de la tesis y cumplir con el rigor académico que esta exige.

A la comunidad de Ortigal, que me dio un lugar donde pasar la noche la vez que fui a hacer mediciones para mi investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTOS iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS iv
ÍNDICE DE TABLAS viii
ÍNDICE DE FIGURAS ix
RESUMEN x
ABSTRACT xi
I. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Realidad problemática 1
1.2. Antecedentes de la investigación 1
1.2.1. Antecedentes internacionales 1
1.2.2. Antecedentes nacionales 3
1.2.3. Antecedentes locales 5
1.3. Formulación del problema 5
1.3.1. Problema general 5
1.3.2. Problemas específicos 5
1.4. Justificación e importancia de la investigación 5
1.5. Objetivos 6
1.5.1. Objetivo general 6
1.5.2. Objetivos específicos 6
1.6. Hipótesis 6

1.6.1. Hipótesis general 6
1.6.2. Hipótesis especificas 6
1.7. Variables de investigación 7
1.7.1. Variable independiente 7
1.7.2. Variable dependiente 7
1.8. Marco teórico 7
1.8.1. Confort Térmico 7
1.8.2. Calentamiento por inducción 8
1.8.3. Transferencia de calor por conducción 8
1.8.4. Ley de Faraday y corrientes de Eddy 9
1.8.5. Características electromagnéticas 10
1.8.6. Efecto Joule 10
1.8.7. Efecto piel (*Skin effect*) 10
1.8.8. Inversores de modulación de ancho de pulso 11
1.8.9. Convertidor resonante para aplicaciones de cocina por inducción 11
1.8.10. Medio puente resonante 12
1.8.11. Cuasi-Resonante 13
1.8.12. Principio de operación del convertidor cuasi-resonante 14
1.8.13. Control del convertidor cuasi-resonante 14
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA 15
2.1. Ingeniería inversa 15
2.1.1. Inductor resonante 15
2.1.2. Tarjeta electrónica 17
2.2. Análisis de transferencia de calor 17
2.2.1. Demanda energética en una habitación 17
2.2.2. Transmisión de calor a través de paredes 18
2.2.3. Ventilación e infiltración 19
2.2.4. Calentamiento por energía solar 20
2.2.5. Generación de calor interno 20

2.2.6. Cálculo para una habitación en el caserío de Ortigal 21
2.3. Tipo, nivel y diseño de la investigación.....24
2.3.1. Tipo de investigación.....24
2.3.2. Nivel de investigación 24
2.3.3. Diseño de investigación 24
2.4. Población y muestra.....24
2.4.1. Población 24
2.4.2. Muestra.....24
2.5. Técnicas de recolección de información.....24
2.6. Instrumentos de recolección de información 25
2.7. Técnicas de análisis e interpretación de datos 25
III. RESULTADOS.....26
3.1. Bosquejo de sistema de calefacción 26
3.2. Diseño de circuito electrónico.....27
3.3. Simulaciones en LTSPICE 28
3.4. Programación del PIC 29
3.5. Pruebas en laboratorio 30
3.6. Dimensionamiento de celdas solares y baterías.....33
3.6.1. Dimensionamiento de sistema solar fotovoltaico off-grid 33
3.7. Selección de Equipos.....34
3.7.1. Paneles solares para 4 kW de potencia 34
3.7.2. Baterías para 400 Ah 35
3.7.3. Controlador de batería de ion litio 37
3.7.4. Inversor de 3000 W.....38
3.7.5. Costo de sistema fotovoltaico y calefactor por inducción.....39
3.7.6. Esquema de sistema fotovoltaico.....40
3.7.7. Ficha técnica del sistema de calefacción 41
IV. DISCUSIÓN.....42
V. CONCLUSIONES 43

VI. RECOMENDACIONES.....44
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....46
VIII. ANEXOS 48

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE DIVERSOS MATERIALES EN 0ºC. 8
TABLA II TEMPERATURAS DE CURIE PARA VARIAS SUSTANCIAS FERROMAGNÉTICAS. 10
TABLA III PARÁMETROS DE LA BOBINA DE INDUCCIÓN EN ESPIRAL. 16
TABLA IV VALORES DE REFERENCIA DE CALOR INTERNO. 20
TABLA V VALORES DE REFERENCIA DE CALOR INTERNO EN LÁMPARAS. 21
TABLA VI POTENCIA INSTALADA Y ENERGÍA REQUERIDA DEL SISTEMA. 33
TABLA VII ALTERNATIVAS DE PANELES SOLARES 34
TABLA VIII PARÁMETROS IMPORTANTES DEL PANEL SOLAR MARCA LONGI. 35
TABLA IX ALTERNATIVAS PARA BATERÍAS 35
TABLA X ALTERNATIVAS DE CONTROLADORES DE BATERÍA 37
TABLA XI ALTERNATIVAS DE INVERSORES 38
TABLA XII COSTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Cocina de calentamiento por inducción de una sola hornilla. 15
Fig. 2 Bobina de inducción en espiral. 16
Fig. 3 Medida tomada con el medidor de inductancia UT602, de la marca UNI-T. 16
Fig. 4 Diagrama de bloques de una cocina de inducción. 17
Fig. 5 Mediciones del SENAMHI en estación Huangascar. 24
Fig. 6 Bosquejo del sistema de calefacción. 26
Fig. 7 Esquema de circuito electrónico del calefactor por inducción electromagnética. 27
Fig. 8 Diseño de PCB en software Altium Designer. 27
Fig. 9 Vista 3D del circuito impreso del calefactor por inducción. 28
Fig. 10 Circuito simulado en LTSPICE. 28
Fig. 11 Señales de la simulación. 29
Fig. 12 Implementación de prototipo para pruebas. 30
Fig. 13 Señales registradas en el osciloscopio y corriente consumida por el sistema a 24 VDC. 31
Fig. 14 Señales del microcontrolador e IGBT con osciloscopio. 31
Fig. 15 Voltajes de la batería, colector IGBT y bobina de inducción. 32
Fig. 16 Toma de temperatura de prototipo. 32
Fig. 17 Cálculo de potencia requerida haciendo uso de Excel. 33
Fig. 18 Panel solar de 555 W de la marca Longi. 35
Fig. 19 Batería de ion litio de 70 Ah y 48 V. 37
Fig. 20 Controlador de carga de batería de ion litio. 38
Fig. 21 Inversor que recibe 48 VDC y entrega 220 VAC con 3000 W de potencia. 39
Fig. 22 Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico. 40
Fig. 23 Diagrama de conexionado de sistema fotovoltaico. 40

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo diseñar un sistema de calefacción por inducción electromagnética que mejore el confort térmico de los habitantes de viviendas pequeñas en zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas. Se buscó que el sistema sea eficiente y además viable económicamente. La metodología empleada fue del tipo investigación aplicada, de alcance descriptivo y diseño no experimental. Como población se tuvo a los componentes del sistema de calefacción por inducción electromagnética, de igual manera la muestra fueron los componentes del sistema de calefacción por inducción electromagnética. Los instrumentos usados se basaron en la técnica de la observación, se realizó una ficha técnica validada por expertos para la recolección de los datos más relevantes, como el tiempo que dura la calefacción, la temperatura al interior de la vivienda y el costo de la solución. Como resultados se obtuvo que es posible realizar un prototipo de calefacción por inducción utilizando una bobina en espiral, las pruebas dan como resultado el calentamiento del agua, esto se puede extrapolar a la tensión y potencias utilizadas en el radiador de aceite. Se diseñó un sistema de calefacción que utiliza la energía solar para su uso en zonas altoandinas, la descripción técnica del sistema se encuentra en la ficha técnica. Como conclusión se tuvo que el diseño adecuado de un sistema de calefacción por inducción con energía solar puede mantener el confort térmico de los pobladores de zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas.

Palabras clave: Calefacción por inducción, confort térmico, friaje y heladas en zonas altoandinas.

ABSTRACT

This thesis had the purpose of designing a heating system by electromagnetic induction that improves thermic comfort of inhabitants of small houses in high Andean zones being affected by cold and frost. It was intended that the system was efficient and also economically viable. The methodology employed is of applied investigation, of descriptive scope and no experimental design. The population were the components of electromagnetic induction heating system, and in the same manner the sample were components of electromagnetic induction heating system. The instruments used were based upon observation technique, a data sheet validated by experts was used to gather the relevant information, like the time the heating system last, temperature inside the house and the cost of the solution. As results it was obtained that it is possible to make a prototype of induction heating by using of a spiral coil, test give us the heating of water as a result, this can be extrapoled to the voltaje and power used in oil radiator. It was designed a heating system that uses solar energy intended for use in high andean zones, the technical description of the system is on the data sheet. As conclusion we had that the correct design of a heating system by induction with solar energy can hold the termic comfort of inhabitants in high Andean zones affected by cold and frost.

Keywords: Induction heating, thermal comfort, cold and frost in high Andean areas.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las zonas altoandinas de nuestro país, durante los meses de heladas y friaje que corresponde a los meses de junio a setiembre, las temperaturas descienden incluso por debajo de los 0°C, esto afecta la salud de los pobladores de esos centros poblados, especialmente a la población más sensible: los niños y ancianos. Sabemos que la mayoría de estas casas carecen de sistema de calefacción, lo cual influye en la salud de las personas a estas temperaturas.

La presente tesis propone un método alternativo de calefacción que ayude a alcanzar una temperatura de confort en casas en estas circunstancias, y así mejorar la calidad de vida de los pobladores de zonas altoandinas. Se propone un diseño de sistema de calefacción *off-grid*, que no dependa del sistema eléctrico interconectado nacional, que mediante el uso de un sistema fotovoltaico genere energía desde cualquier lugar para brindar calefacción mediante un radiador al que se le adaptará el calentamiento por inducción. De esta forma se haría el sistema más eficiente y se mejoraría las condiciones de vida de las personas afectadas.

1.2. Antecedentes de la investigación

1.2.1. Antecedentes internacionales

Acosta (2019) [1] en su tesis propone el diseño y construcción de un prototipo de calefacción para piletas de agua mediante inducción magnética, tiene por objetivo general crear un sistema de calefacción que usa inducción electromagnética para calentar agua, como objetivos específicos analizar diferentes formas de calefacción de agua usando inducción electromagnética, establecer los parámetros de control y funcionamiento, así como implementar un prototipo del sistema con el circuito de control. La metodología que empleó es del tipo investigación aplicada y experimental. Las técnicas e instrumentos de recolección

de información se basan en la medición. Los resultados que obtuvo indican que el calentamiento por inducción es más conveniente frente al uso de una resistencia eléctrica o el uso de GLP, ya que facilita el ahorro de agua. Encontró los parámetros de operación óptimos, diseñó el circuito de control usando Mosfets y llegó a la conclusión de que estos sistemas de inducción son más eficientes a altas potencias, versátiles y de menor tamaño.

Giraldo (2020) [2] en su artículo busca la solución más adecuada para un sistema de captación solar pasiva que se puede adherir a las construcciones ya existentes. Esto con el objetivo de mejorar las condiciones de confort tanto térmico como de humedad al interior de estos recintos. Sigue una metodología de trabajo paramétrico, usando simulaciones térmicas dinámicas y técnicas de *machine learning*. Se llegó a la conclusión de que es importante para mejorar la captación solar, el alto y ancho del sistema, sin serlo tanto la profundidad del mismo. Se concluye que el muro trombe es el ideal para el clima de alta montaña en bajas latitudes, lugar en el que se desarrolla el trabajo. Por último, se encuentra que la orientación de los espacios de uso nocturno no es decisiva para garantizar el confort en el interior.

Bonilla (2020) [3] en su artículo sobre su sistema de calefacción por suelo radiante en procesos agrícolas en invernaderos, sigue el objetivo de realizar un análisis del sistema conocido como suelo radiante para su uso en la agricultura del Ecuador. El tipo de investigación es documental y descriptiva. Se concluye que el uso del suelo radiante para calefacción es ecológico porque se utiliza un consumo de energía mínimo atribuida al menor costo del combustible en las plantaciones. Permite además calefacción en invierno, y una disminución de la temperatura en verano mejorando la producción del cultivo. Se concluye también que el costo es elevado al inicio durante la inversión, aunque a largo plazo resulta ser una alternativa rentable.

Bucarey (2020) [4] en su estudio propone hacer una revisión de la literatura de todo lo concerniente a los hornos por inducción que realicen el temple en aceros. Esto con el objetivo de realizar un análisis y comparación entre los aceros templados por horno resistivo e inductivo. Para ello busca conocer los componentes básicos de un calentador por inducción que realice este tratamiento térmico, así como conocer las propiedades luego del tratamiento del acero SAE 4340, contrastando sus características con los dos métodos resistivo e inductivo. En sus resultados se comprueba que un temple inductivo a una probeta es similar

a lo que se obtiene por un temple convencional resistivo, siempre que se mantengan los parámetros del tratamiento dentro de los márgenes establecidos.

Castro (2018) [5] propone como objetivo el desarrollo de un prototipo de sistema de calefacción por inducción que de manera eficiente caliente agua potable para realizar la comparación con otros métodos de calentamiento actuales. Como metodología considera varias etapas, que son: la concepción general del sistema, determinación de parámetros, selección de dispositivos electrónicos, diseño y simulación, programación, diseño de hardware y finalmente la implementación del prototipo. Como conclusión se llegó a que el método de calentamiento por resistencia presenta una eficiencia del 50% frente al método de calentamiento por inducción llega a superar el 80% debido a las bajas pérdidas en el dispositivo de conmutación (MOSFET). Adicionalmente, encontró que el prototipo debe funcionar 20 minutos en promedio para llegar a la temperatura de 45ºC, el calentamiento se optimizó debido a que iba calentando conforme se iba llenando el reservorio. Finalmente encontró que frente a una ducha eléctrica de sistema convencional el ahorro presentado en su prototipo fue del 35%, en energía y por consiguiente en costo.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Gutiérrez (2018) [6] en su proyecto propone como objetivo estudiar si es viable implementar energía geotérmica de baja temperatura para calentar las viviendas en zonas altoandinas en la localidad de Paucarcolla, siendo esta una fuente inagotable y de alta inercia térmica. Como objetivos específicos, calcular cuánto de terreno es necesario, estudiar su viabilidad y calcular su eficiencia. La metodología de la investigación que sigue es del tipo no experimental, transversal y descriptivo. La recolección de información se basa en observaciones directas y mediciones de datos. Como conclusiones se obtuvo que el potencial geotérmico de la localidad de Paucarcolla es el adecuado al mantenerse constante la temperatura a una profundidad de 2 metros, con una temperatura promedio de 13.41ºC. El área de terreno necesario depende de la configuración que se elija, siendo la configuración horizontal la más viable. Se concluye también que la eficiencia del sistema depende de la temperatura del ambiente que va a ser climatizado y la tierra.

Irigoin (2018) [7] en su tesis propone como objetivo diseñar un sistema de calefacción de tipo solar para una posta de salud del poblado de Bella Andina en Chota Cajamarca, para así mejorar la atención de los pacientes. Para ello tiene

como objetivos específicos realizar un diagnóstico de las condiciones en que se encuentra la posta, recopilar estudios sobre el desempeño de la energía solar en la localidad, revisar la literatura, elaborar una propuesta técnica y determinar los costos involucrados. La metodología que siguió fue del tipo analítico explicativo, se consideran los niveles descriptivo, explicativo y correlacional. Como muestra tiene a una parte de la población de Bella Andina. Como instrumentos usa guías de observación, cuestionarios y test. El estudio concluye que el calor generado incluso a una temperatura ambiente de -10 grados, velocidad del viento de 3 m/s y recurso solar de 5kWh/m2, cumple con el calor requerido para la aplicación. Se mantuvo el calor usando un acumulador de calor hecho de piedras más un recubrimiento de poliestireno. Se logró elevar la temperatura de una habitación de la posta a una temperatura de 22 grados. El costo total de la solución resultó ser económica, de alrededor de 3000 soles.

Almanza (2022) [8] en su tesis propone como objetivo el diseño de un sistema híbrido fotovoltaico con celdas Peltier para suministrar de calefacción a una vivienda rural en el distrito de Angasmarca, La Libertad. La metodología que sigue el del tipo aplicado, de diseño experimental y de alcance explicativo. Tuvo como población a 120 casas rurales, tomando como muestra una sola vivienda. Como conclusiones obtuvo que la demanda de calor requerida por la vivienda rural fue de 3.9 kW, el diseño del sistema fotovoltaico y Peltier fue hecho bajo la norma VDI 2221. Se utilizaron 95 módulos Peltier junto a 8 paneles solares llegando a una potencia de 1592 W. El costo básico del diseño fue de 20355 soles.

Huamán (2019) [9] en su tesis propone como objetivo diseñar un pasteurizador de leche que utilice corrientes de Foucault con el fin de reducir los costos de producción y minimizar el impacto ambiental en la empresa Derivados Lácteos Barreto S.R.L. Como objetivos específicos tiene identificar las necesidades de la empresa, dimensionar el equipo, seleccionar componentes y hacer el análisis económico. La metodología de su proyecto es del tipo de investigación tecnológica, de diseño pre experimental con una sola medición. Se concluyó que el sistema de pasteurización por corrientes de Foucault es capaz de disminuir el tiempo de calentamiento a la mitad del método tradicional. Adicionalmente demostró ser viable económicamente sacando ventaja en comparación al sistema tradicional de pasteurización.

Acuña (2018) [10] refiere en sus tesis que tiene el objetivo de realizar el diseño de un sistema de calefacción para casas en el ambiente rural usando energía solar,

instalándolo en una vivienda en la localidad de Acobambilla, Huancavelica. El recinto tuvo 50 m2 aproximadamente y estuvo ocupada por 6 personas. Para ello evalúa las condiciones ambientales y características de la vivienda. El diseño está conformado por un intercambiador de calor situado en el techo, que por uso de energía solar calienta un fluido que luego circula por el interior de la casa, calentando los espacios. Propone el aceite térmico Sheel Termia Oil como fluido que transfiere el calor. Como conclusión determina que es posible realizar un sistema de calefacción de estas características, ya que el sistema desarrolla 1009 watts de potencia manteniendo la temperatura al interior en los 18ºC con temperaturas exteriores de 5ºC. El costo total de la solución asciende a los 10000 soles aproximadamente.

1.2.3. Antecedentes locales

No se registran antecedentes locales.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad?

1.3.2. Problemas específicos

P.E.1:

¿De qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética con energía solar mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad?

P.E.2:

¿De qué manera la viabilidad económica de la solución mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad?

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Es conveniente realizar esta investigación porque se estaría brindando una alternativa de calefacción para las casas afectadas por el friaje y heladas en zonas altoandinas, lo cual mitigaría los efectos provocados por el frío extremo en los meses de invierno.

Su importancia se centra en su relevancia social, en el valor social y humano, ya que con la investigación y tecnología se puede lograr una solución aplicable para llevar calefacción a las casas afectadas por estos fenómenos en las zonas altoandinas mejorando la calidad de los pobladores y por ende disminuyendo el número de personas damnificadas.

El aporte sería de tipo tecnológico de fácil aplicación, pues se contaría con un sistema de calefacción por inducción para mejorar el confort de los pobladores de las zonas afectadas por el friaje y heladas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar de qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.

1.5.2. Objetivos específicos

O.E.1:

Determinar de qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética con energía solar mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.

O.E.2:

Determinar de qué manera la viabilidad económica de la solución mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.

1.6.2. Hipótesis especificas

H.E.1:

El diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética con energía solar mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.

H.E.2:

La viabilidad económica de la solución mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.

1.7. Variables de investigación

1.7.1. Variable independiente

Diseño del sistema de calefacción por inducción electromagnética.

1.7.2. Variable dependiente

Mejora del confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas.

1.8. Marco teórico

1.8.1. Confort Térmico

Según la norma ISO 7730 se describe el confort térmico como una condición mental de una persona que está en satisfacción con el ambiente térmico que le rodea.

Como vemos esta definición no es del todo precisa, pues atribuye el confort térmico a la percepción de sensación térmica de la persona, sin establecer valores promedios o rangos comunes.

Chávez (2002) [11] en su tesis doctoral describe el confort térmico más como una zona variable, que depende de varios factores, entre los que menciona: La temperatura del aire, la humedad relativa, velocidad del aire, género de la persona, edad, peso, metabolismo, estado de salud, la ingesta de bebidas y alimentos, tipo de vestimentas, expectativa del sujeto, por citar algunos.

Así vemos que no es tan fácil definir un valor exacto para determinar el confort térmico, pues depende de varios parámetros, tanto físicos como psicológicos.

García (2004) [12] menciona que se suele tomar como confort térmico las temperaturas entre los 18 y los 24ºC, lo cual varía según la vestimenta, la actividad que se esté haciendo, la edad, entre otros factores.

En base a esto se tomará como referencia el peor escenario dentro del rango típico de confort térmico, el cual es a 18ºC.

1.8.2. Calentamiento por inducción

En [13] se describe al calentamiento por inducción como el calor que se disipa debido al efecto de un campo magnético variable que actúa sobre una pieza o recipiente ferromagnético, aprovechando los fenómenos de inducción electromagnética, de corrientes parásitas o de Foucault y el efecto Joule.

"La potencia disipada por efecto Joule depende de la frecuencia y del material". [13].

1.8.3. Transferencia de calor por conducción

En [14, p. 18] se describe a la transferencia de calor por conducción mediante la ley de conducción de calor de Fourier, en la que el flujo de calor es mayor mientras mayor sea la diferencia de temperatura a través de un área determinada.

$$q = -kA\frac{\partial T}{\partial x} \tag{1}$$

La conductividad térmica de un material indica su habilidad para conducir calor. Se pueden observar algunos materiales en la siguiente tabla:

TABLA I
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE DIVERSOS MATERIALES EN 0ºC.

	Conductividad térmica k	
Materiales (Metales)	W/mºC	Btu/h.pie.ºF
Plata (pura)	420	237
Cobre (puro)	385	223
Aluminio (puro)	202	117
Niquel (puro)	93	54
Hierro (puro)	73	42
Acero al carbón, 1% C	43	25
Plomo (puro)	35	20.3
Acero cromo-niquel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4

Fuente: Transferencia de Calor, Holman (1999) [14, p. 24].

1.8.4. Ley de Faraday y corrientes de Eddy

"En general, la fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito." [15, p. 982]

Este enunciado, conocido como ley de inducción de Faraday, puede escribirse como:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset_B}{dt} \tag{2}$$

Y si consideramos N espiras:

$$\varepsilon = -N\frac{d\emptyset_B}{dt} \tag{3}$$

"Suponga que una espira que encierra un área A se encuentra en un campo magnético uniforme B. El flujo magnético a través de la espira es igual a BAcosϴ, por tanto, la fem inducida puede expresarse como:" [15, p. 982]

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(BA\cos\theta) \tag{4}$$

En [15, p. 983] se deduce que, de la expresión mencionada arriba, se puede inducir una tensión: variando la intensidad de campo magnético, variando el área encerrada por la espira, variando el ángulo theta entre B y la normal, o una combinación de las anteriores.

Como se ha visto, una fem y una corriente se inducen en un circuito mediante un flujo magnético variable. De la misma manera, corrientes circulantes denominadas corrientes parásitas están inducidas en piezas voluminosas de metal que se mueven a través de un campo magnético. [15, p. 997].

1.8.5. Características electromagnéticas

En [15, p. 958] se indica que existen tres categorías en las que un material se puede clasificar conforme sus propiedades magnéticas. Los materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos. Siendo este último compuesto de átomos que tienen momentos magnéticos permanentes.

La fórmula para la intensidad de campo magnético sería:

$$B = \mu \, x \, H \tag{5}$$

TABLA II
TEMPERATURAS DE CURIE PARA VARIAS SUSTANCIAS FERROMAGNÉTICAS.

Sustancia	T_{curie} (K)
Hierro	1043
Cobalto	1394
Níquel	631
Gadolinio	317
Fe_2O_3	893

Fuente: Física para Ciencias e Ingeniería Tomo II, Serway (2001) [15, p. 963].

1.8.6. Efecto Joule

Sea una porción de conductor de resistencia R recorrida por una corriente I. Se le proporciona por segundo una energía (potencia):

$$P = UI = RI \, x \, I = I^2.R \tag{6}$$

"Esta potencia se convierte íntegramente en calor (generalmente perdido)." [16, p. 81].

1.8.7. Efecto piel (*Skin effect*)

De la literatura consultada se tiene que:

Como todos sabemos de las bases de la electricidad, cuando una corriente directa fluye a través de un conductor, como un cable o barra bus, la distribución de la corriente eléctrica dentro de la sección transversal del conductor es uniforme. Sin embargo, cuando una corriente alterna fluye a través del mismo conductor, la distribución de la corriente no es uniforme. El valor máximo de la densidad de

corriente estará siempre localizado en la superficie del conductor con propiedades electromagnéticas físicas homogéneas, la densidad de la corriente irá decreciendo desde la superficie del conductor hacia su centro. Este fenómeno de distribución no uniforme de la corriente dentro de la sección transversal del conductor es llamado el efecto piel, lo cual siempre ocurre cada vez que una corriente alterna fluye. [17, p. 60]

La profundidad de penetración se expresa en metros como:

$$\delta = 503\sqrt{\frac{\rho}{\mu_r F}} \tag{7}$$

"Donde F = frecuencia en Hertz, ρ = resistividad del material (Ω*m), y μ_r = permeabilidad magnética relativa." [17, p. 62].

1.8.8. Inversores de modulación de ancho de pulso

En [18, p. 356] se menciona que los inversores, que convierten la tensión de continua a alterna, son a menudo aplicados en los variadores de velocidad de corriente alterna, los UPS, las fuentes de alimentación, y la calefacción por inducción.

1.8.9. Convertidor resonante para aplicaciones de cocina por inducción

En [19, p. 1] se dice que la tecnología de cocina por inducción presenta una mayor eficiencia en la conversión de energía si lo comparamos con las soluciones convencionales (hornos a gas y eléctricos), y además es capaz de realizar calentamiento rápido y directo, con alta densidad de potencia, alta confiabilidad, bajo costo, y hacerlo en un punto local sin generar ruido.

En [19, p. 1] además se dice que la eficiencia del calentamiento por inducción está cerca de 84%.

El calor generado es gracias a las corrientes de Eddy que son inducidas en la parte inferior de la olla o recipiente, y a esto se suma el calentamiento por histéresis del material ferromagnético. La parte más difícil está en el diseño de la parte electrónica.

En [19, p. 2] se dice que una cocina de inducción consiste de una bobina de cobre (generalmente), a través del cual fluye una corriente alterna de alta frecuencia

(AC). La frecuencia utilizada está basada en la máxima frecuencia de conmutación del interruptor el cual es usualmente un IGBT. Altas frecuencias de conmutación pueden reducir la inductancia de la bobina y el tamaño del capacitor resonante, permitiendo un ahorro de costo en los materiales. El sistema en su conjunto puede ser aproximado por un transformador eléctrico. El calor generado es debido a la carga de la resistencia equivalente de las pérdidas en el recipiente.

En [19, p. 6] además se puede ver que existen diseños como el convertidor resonante, tanto el de conmutación de cero voltaje (ZVS) como el de cero corriente (ZCS).

En [19, p. 7] se dice que para modular la potencia deseada se debe modificar la frecuencia de conmutación o el ciclo de trabajo.

En [19, p. 7] se dice que las topologías más populares para calentamiento por inducción son el convertidor serie resonante de medio puente (HB) y el convertidor cuasi-resonante de un solo interruptor (QR) o QR *flyback*. El medio puente resonante es bastante común para las cocinas de cuatro hornillas, y es popular en el mercado europeo. Mientras que el cuasi-resonante es muy común para una sola hornilla, y es muy popular en el mercado asiático.

1.8.10. Medio puente resonante

En [19, p. 8] se menciona que el acoplamiento de la bobina de inducción con el recipiente puede ser modelado como una conexión serie de un inductor y un resistor, basada en la analogía del transformador, y está definido por los valores de L_r y R_{load}. Estos valores cambian principalmente con la frecuencia de conmutación aplicada a los interruptores, el material del recipiente, la temperatura, y el acoplamiento inductor-recipiente. Otro factor importante a definir para un circuito resonante es el factor de calidad Q. Un más alto Q indica un menor ritmo de pérdida de energía relacionado a la energía almacenada en el resonador, las oscilaciones por tanto mueren más lentamente.

$$Q = \frac{Z_0}{R} \tag{8}$$

En [19, p. 9] se dice que el diseño de un convertidor resonante de medio puente para aplicación de calentamiento por inducción es importante diseñar el sistema completo para que trabaje en la zona de carga inductiva y en el rango de la frecuencia de resonancia también. Esto debido al hecho de que para la carga capacitiva hay tres efectos principales perjudiciales que podrían causar daño a los dispositivos durante el encendido: recuperación inversa del diodo anti-paralelo

del interruptor opuesto; descarga de la capacitancia de la salida del transistor y el efecto de la capacitancia de Miller.

1.8.11. Cuasi-Resonante

En [19, p. 12] se dice que los convertidores cuasi-resonantes (QR) son ampliamente usados como fuentes de alimentación AC como en cocinas de inducción inversores para microondas que suministran al magnetrón. Tales convertidores son bastante atractivos para los aparatos domésticos porque requiere solo un interruptor, usualmente un IGBT, y un solo capacitor resonante. Los convertidores QR podrían ser considerados como un buen compromiso entre costo y eficiencia en conversión de energía.

En [19, p. 12] también se dice que un inconveniente de esta familia de convertidores es el limitado rango de regulación, el cual es comúnmente definido como la razón entre el máximo nivel de potencia (limitado por el máximo voltaje permitido en el interruptor), y la mínima potencia configurable (limitado por las pérdidas de la condición de conmutación de cero voltaje ZVS).

Y además en [19, p. 12] se explica que para una condición de carga dada (por ejemplo, cierta olla), el máximo nivel de potencia, y máximo voltaje principal, el pico de voltaje para el interruptor y capacitor resonante (por ejemplo 1200 V), puede ser calculado de la teoría de QR y puede aproximarse en la siguiente ecuación.

$$V_{res} \cong \sqrt{\frac{2.E}{C}} \tag{9}$$

$$E \cong \frac{1}{2} L I_{pk}^2 \tag{10}$$

$$I_{pk} = T_{ON} \frac{V_{dc-bus}}{L} \tag{11}$$

$$V_{res} \cong \frac{T_{ON}.V_{dc-bus}}{\sqrt{LC}} \tag{12}$$

1.8.12. Principio de operación del convertidor cuasi-resonante

En [19, p. 12] se dice que existen dos fases principales de operación (ver figura): una fase de carga donde el sistema se comporta como uno de primer orden (circuito LR) y una fase resonante donde el sistema se comporta como uno de segundo orden (circuito LRC). Por tanto, en el convertidor QR las pérdidas durante el encendido de los interruptores son en teoría eliminados, el efecto Miller es ausente y la recuperación inversa del diodo fluye a través de T1 sin ninguna pérdida adicional en el circuito resonante. En el QR las pérdidas durante el apagado son relevantes debido a la transición entre la alta corriente y el alto voltaje.

1.8.13. Control del convertidor cuasi-resonante

En [19, p. 13] se dice que el inversor resonante de medio puente es controlado por frecuencia. La frecuencia de conmutación se fija para un determinado nivel de potencia y las dos señales de control de las compuertas están desplazadas 180° con un ciclo de trabajo de 50% (aunque debe notarse que debe haber un tiempo muerto entre las dos señales para evitar conducción cruzada). Alternativamente, el inversor cuasi-resonante es controlado variando el TON. El tiempo en ON se fija para un cierto nivel de potencia y el tiempo en OFF es determinado por el tanque resonante (L_r y C_r).

En [19, p. 20] se dice que el calentamiento por inducción para aplicaciones de cocina es una tecnología muy atractiva que se está volviendo muy popular debido a su alta eficiencia en la conversión de energía.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Ingeniería inversa

Se le realiza ingeniería inversa a una cocina de inducción para comprobar la teoría con el diseño real de una cocina de inducción comercial. Para ello se adquiere una cocina de inducción de procedencia china de una sola hornilla. Se procede a desarmar la cubierta para verificar los componentes internos.



Fig. 1 Cocina de calentamiento por inducción de una sola hornilla.

2.1.1. Inductor resonante

El componente más importante de la cocina viene a ser la bobina en espiral, de la cual se obtuvieron sus dimensiones y valor de inductancia.



Fig. 2 Bobina de inducción en espiral.

TABLA III
PARÁMETROS DE LA BOBINA DE INDUCCIÓN EN ESPIRAL.

Parámetro	Valor
Diámetro del círculo interno	48.93 mm
Número de vueltas	25 vueltas
Espesor del cable	2 mm
Separación entre cables	0.57 mm
Inductancia	0.099 mH

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 3 Medida tomada con el medidor de inductancia UT602, de la marca UNI-T.

La precisión del instrumento en la escala medida es de ±2% + 8 cuentas. Entonces se tiene que el verdadero valor está comprendido en el rango de 0.08902 a 0.10898 mH.

$$\pm 2\%\ de\ 0.099 = \pm 0.00198\ mH + 8\ cuentas$$

$$0.099 - 0.00998 = 0.08902\ mH$$

$$0.099 + 0.00998 = 0.10898\ mH$$

Se observa que la bobina presenta seis imanes ubicados en la parte inferior de la misma. El espesor de la placa cerámica donde se coloca la olla, tiene un espesor de 3 mm aprox. Para mayor detalle de la bobina ver el plano en el anexo.

2.1.2. Tarjeta electrónica

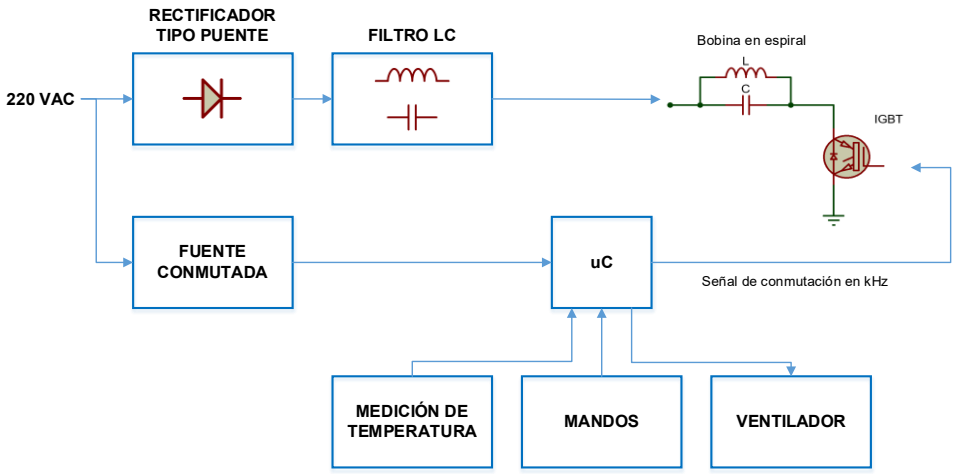


Fig. 4 Diagrama de bloques de una cocina de inducción.

Fuente: Elaboración propia.

Ver los planos del esquema electrónico en el anexo.

2.2. Análisis de transferencia de calor

2.2.1. Demanda energética en una habitación

Existen cuatro procesos de transferencia de energía:

- Transmisión, que se da a través del contorno de la habitación.
- Ventilación e infiltración, producida por flujos de aire desde el exterior.
- Calentamiento por energía solar.

- Generación de calor interno, debido a las personas, lámparas y electrodomésticos.

Algunos de estos procesos pueden agregar o quitar energía de la habitación, casa o edificio. La suma de todos estos valores debe cumplir la ley de la conservación de la energía. Si la energía entra le damos valor positivo y si la energía sale le damos valor negativo.

Si la energía que entra es mayor a la que sale, entonces la energía que queda dentro de la habitación genera un aumento de la temperatura.

$$E_{in} + E_{out} > 0 \tag{13}$$

Si la energía que entra es igual a la que sale, entonces no hay energía que quede dentro de la habitación, estamos en un estado de equilibrio, por lo tanto, la temperatura se mantiene constante.

$$E_{in} + E_{out} = 0 \tag{14}$$

Si la energía que entra es menor a la que sale, entonces tenemos un déficit de energía dentro de la habitación. Esto significa que la temperatura disminuye, este es el caso que se va a cubrir, pues para mantener la temperatura debe suministrarse calefacción.

$$E_{in} + E_{out} < 0 \tag{15}$$

Para hacer los cálculos de demanda energética se deben tomar en cuenta los cuatro procesos mencionados.

2.2.2. Transmisión de calor a través de paredes

Se calcula mediante la fórmula:

$$Q_{tr} = UA(T_i - T_o)\ [W] \tag{16}$$

Dónde:

U: Coeficiente de transferencia de calor (w/m^{2}K)

$$U = \frac{1}{R} \tag{17}$$

Q_{tr}: Flujo de calor (W)

T_i: Temperatura interior (°C)

T_o: Temperatura exterior (°C)

A: Área de la superficie (m^2)

R: Resistencia térmica general (m^2K/W)

$$R = \frac{1}{h_i} + R_c + \frac{1}{h_o} \tag{18}$$

$$R_c = \frac{\Delta x}{k} \tag{19}$$

k: Conductividad térmica del material (W/mK)

Δx: Espesor del material de la pared (m)

R_c: Resistencia térmica del material (m^2K/W)

h_i: Coeficiente de transferencia de calor interno (≈25 W/m^2K)

h_o: Coeficiente de transferencia de calor externo (≈7.5 W/m^2K)

2.2.3. Ventilación e infiltración

La infiltración se da a través de grietas en la habitación, esto no es controlable. Mientras que la ventilación es más o menos controlable.

En una habitación sin recuperación de calor se calcula mediante la fórmula:

$$Q_{vent+inf} = (m_v + m_i)C_p(T_o - T_i)\ [W] \tag{20}$$

Dónde:

$Q_{vent+inf}$: Flujo de calor (W)

m_v: Flujo másico de ventilación (kg/s)

m_i: Flujo másico de infiltración (kg/s)

C_p: Calor específico del aire (J/kgK)

T_o: Temperatura del exterior (°C)

T_i: Temperatura del interior (°C)

2.2.4. Calentamiento por energía solar

Considerando únicamente el calor ganado a través de las ventanas, se calcula mediante la fórmula:

$$Q_{sol} = f . g_{shade} . g_{glass} . A_{window} . P_{sol} \; [W] \tag{21}$$

Dónde:

P_{sol}: Radiación solar global en un plano vertical o de la misma orientación de la ventana (W/m^2)

A_{window}: Superficie de la ventana (m^2)

g_{glass}: Factor solar de la ventana

g_{shade}: Factor solar de los elementos que provocan sombra

f: Factor de reducción para edificios pesados (ligero = 1, pesado = 0.85)

2.2.5. Generación de calor interno

Tenemos algunos valores de referencia:

TABLA IV
VALORES DE REFERENCIA DE CALOR INTERNO.

Ítem	Potencia
Una persona descansando	≈100 W
Computadora de escritorio	≈65 W
Monitor	≈25 W
Laptop	≈40 W
Cargador de celular	≈12 W
Televisor	≈91 W
Refrigeradora	≈310 W

Fuente: Curso en línea, demanda energética en edificios [20].

Lámparas de 500 a 700 lúmenes:

TABLA V
VALORES DE REFERENCIA DE CALOR INTERNO EN LÁMPARAS.

Tipo	Potencia
Incandescente	60 W
Halógeno	50 W
Fluorescente	11 W
LED	5 – 7 W

Fuente: Curso en línea, demanda energética en edificios [20].

En casas estos valores no son muy altos debido a que por lo general hay pocas personas dentro, poco uso de la iluminación y de electrodomésticos.

2.2.6. Cálculo para una habitación en el caserío de Ortigal

Se visitó el caserío de Ortigal, el cual queda dentro del distrito de Madeán, en la provincia de Yauyos, en la sierra de Lima. Para llegar al lugar para realizar el estudio se tuvo que tomar una movilidad en Cañete, el cual llegó en aproximadamente 6 horas al destino. Se observó que había mucha nubosidad en el pequeño pueblo, el frío era intenso y lloviznaba a una altura que supera los 3000 metros sobre el nivel del mar. De esta experiencia se obtuvieron las dimensiones de una habitación promedio del lugar, y conocimiento de los materiales de la misma. Se hizo firmar una constancia al secretario de la comunidad campesina de Ortigal, de que se acudió al lugar con motivos de realizar un estudio para la elaboración de tesis. El documento se puede observar en anexos.

Para simplificar los cálculos se considerará solo el aporte de la transmisión de calor a través del contorno de la habitación, se observó en algunos ejemplos que la salida de calor debido a ventilación e infiltración es casi el calor que entra por radiación solar y generación interna. Desde luego estos valores pueden variar dependiendo del lugar donde se encuentre la casa, incurriendo en un porcentaje de error. A pesar de ello solo se requiere un valor estimado del calor necesario en la habitación para fines de dimensionamiento del sistema de calefacción. Los siguientes datos medidos corresponden a una vivienda típica de la zona.

Datos:

Dimensiones de la habitación: 5 m x 3.90 m x 2.20 m (Largo x ancho x alto).

Material del techo: Madera de eucalipto.

Material de las paredes: Adobe.

Material del piso: Tierra.

k_{madera}: 0.159 W/mK

k_{adobe}: 0.81 W/mK

Δx_{madera}: 0.10 m

Δx_{adobe}: 0.20 m

Nota: Para fines prácticos no se considera la puerta ni el suelo. En el techo sobre la madera hay calamina para evitar la lluvia, esta no se tomará en cuenta.

T_o: 14 °C

T_i: 20 °C (Confort térmico)

Desarrollo:

$$Q_{tr} = UA(T_i - T_o)\ [W]$$

$$Q_{tr} = Q_{paredes} + Q_{techo}$$

i) $Q_{paredes} = U_{adobe}.A_{paredes}(20 - 14\ °C)$

$$U_{adobe} = \frac{1}{R_{adobe}}$$

$$R_{adobe} = \frac{1}{h_i} + R_{c\ adobe} + \frac{1}{h_o}$$

$$R_{c\ adobe} = \frac{\Delta x_{adobe}}{k_{adobe}} = \frac{0.20\ m}{0.81\ \frac{W}{mK}} = 0.2469\ \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{adobe} = \frac{1}{25\ \frac{W}{m^2K}} + R_{c\ adobe} + \frac{1}{7.5\ \frac{W}{m^2K}}$$

$$R_{adobe} = 0.04\ \frac{m^2K}{W} + 0.2469\ \frac{m^2K}{W} + 0.1333\ \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{adobe} = 0.4202\ \frac{m^2K}{W}$$

$$U_{adobe} = \frac{1}{0.4202\ \frac{m^2K}{W}} = 2.3798\ \frac{W}{m^2K}$$

$$A_{paredes} = 2A_1 + 2A_2 = 2(5 \times 2.20) + 2(3.9 \times 2.2)$$

$$A_{paredes} = 2(11) + 2(8.58) = 39.16\ m^2$$

Entonces:

$$Q_{paredes} = 2.3798\ \frac{W}{m^2K}.\ 39.16\ m^2(6K) = 559.16\ W$$

ii) $Q_{techo} = U_{madera}.A_{techo}(20 - 14\ °C)$

$$R_c = \frac{\Delta x_{madera}}{\mathrm{k}_{madera}} = \frac{0.10\ m}{0.159\ \frac{W}{mK}} = 0.6289\ \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{madera} = 0.04 + 0.6289 + 0.1333 = 0.8022\ \frac{m^2K}{W}$$

$$U_{madera} = \frac{1}{0.8022} = 1.2466\ \frac{W}{m^2K}$$

$$A_{techo} = 5 \times 3.90 = 19.5\ m^2$$

Entonces:

$$Q_{techo} = 1.2466\ \frac{W}{m^2K}.\ 19.5\ m^2(6K) = 145.85\ W$$

$$\therefore\ Q_{tr} = 559.16\ W + 145.85\ W$$

$$Q_{tr} = 705.01\ W$$

Por lo tanto, se requieren 705 W de potencia para mantener una temperatura de 20 °C al interior de la habitación en Ortigal, con una temperatura ambiente de 14 °C.

Se selecciona la temperatura de 18ºC como temperatura de confort para el diseño, según el rango del confort mencionado en García (2006) [12].

Si se hace nuevamente el cálculo para una temperatura de confort de 18°C, entonces se requieren 470 W de potencia.

Si se hace el cálculo para elevar la temperatura desde 0ºC hasta 18ºC, entonces se requieren 2115 W de potencia. Que según el reporte de SENAMHI se diseña para el peor escenario. Se selecciona 0ºC como el peor escenario, si bien no existe

reporte de temperaturas en la localidad de Ortigal, se tiene una referencia en los datos de temperatura del SENAMHI de la localidad de Huangascar, que se encuentra cerca al distrito de Madeán, con una temperatura mínima promedio en el mes de junio de 10ºC. Se pueden observar estos datos en una tabla en los anexos. En la siguiente imagen se puede observar de donde se obtuvieron los datos.

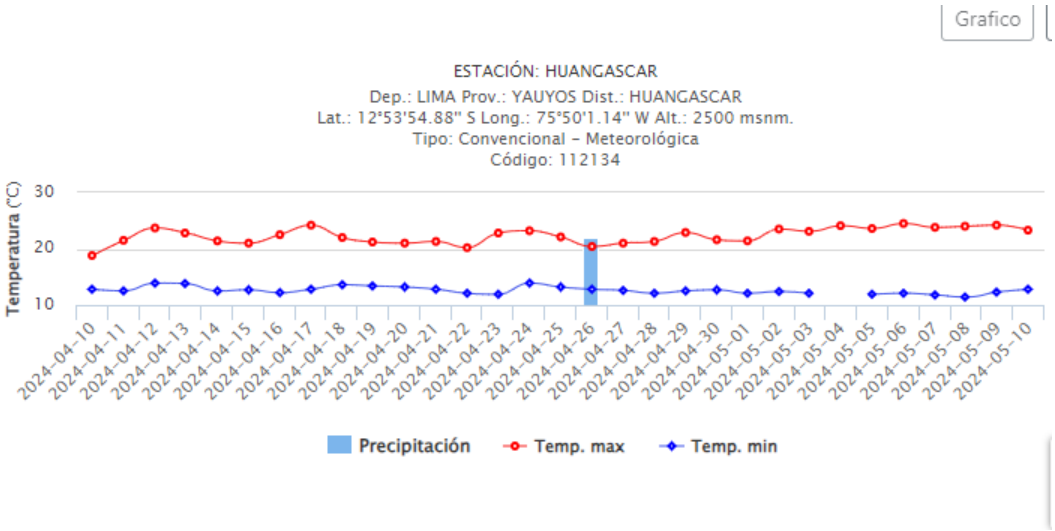


Fig. 5 Mediciones del SENAMHI en estación Huangascar.

2.3. Tipo, nivel y diseño de la investigación

2.3.1. Tipo de investigación

Es del tipo investigación aplicada.

2.3.2. Nivel de investigación

Es de alcance descriptivo.

2.3.3. Diseño de investigación

Es de diseño no experimental, se hará una selección de equipos del sistema fotovoltaico y un análisis de sus principales parámetros.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

Componentes del sistema de calefacción por inducción electromagnética.

2.4.2. Muestra

Componentes del sistema de calefacción por inducción electromagnética.

2.5. Técnicas de recolección de información

Se hará uso de la técnica de la observación, el cual utiliza la ficha técnica como instrumento de recolección de datos, ficha que debe ser validada por juicio de expertos.

2.6. Instrumentos de recolección de información

Uso de la ficha técnica, el cual debe ser validado, donde se tomarán mediciones de los parámetros relevantes para fines del estudio.

2.7. Técnicas de análisis e interpretación de datos

Selección de un programa de análisis de datos, uso de hojas de cálculo Microsoft Excel. Se usará el método estadístico inferencial para la interpretación de los datos.

III. RESULTADOS

3.1. Bosquejo de sistema de calefacción

En la figura 6 se puede observar el bosquejo de la solución final, dentro de una habitación y considerando todos los componentes del sistema.

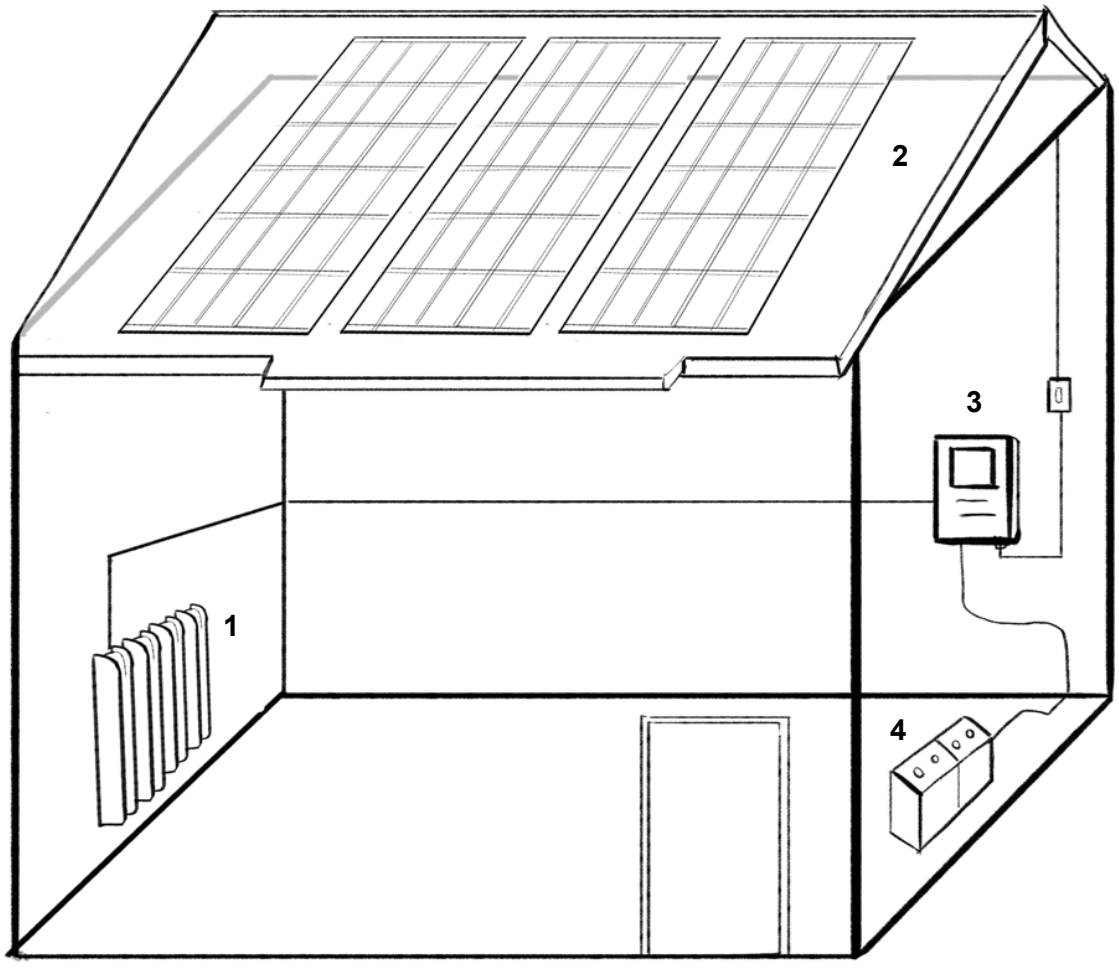


Fig. 6 Bosquejo del sistema de calefacción.

Los componentes son: (1) Radiador de aceite diatérmico, (2) Paneles solares, (3) Controlador de carga, con inversor incluido o inversor separado, (4) Banco de baterías.

3.2. Diseño de circuito electrónico

Se diseñó el circuito electrónico en base a lo visto en la literatura y comprobado en la ingeniería inversa.

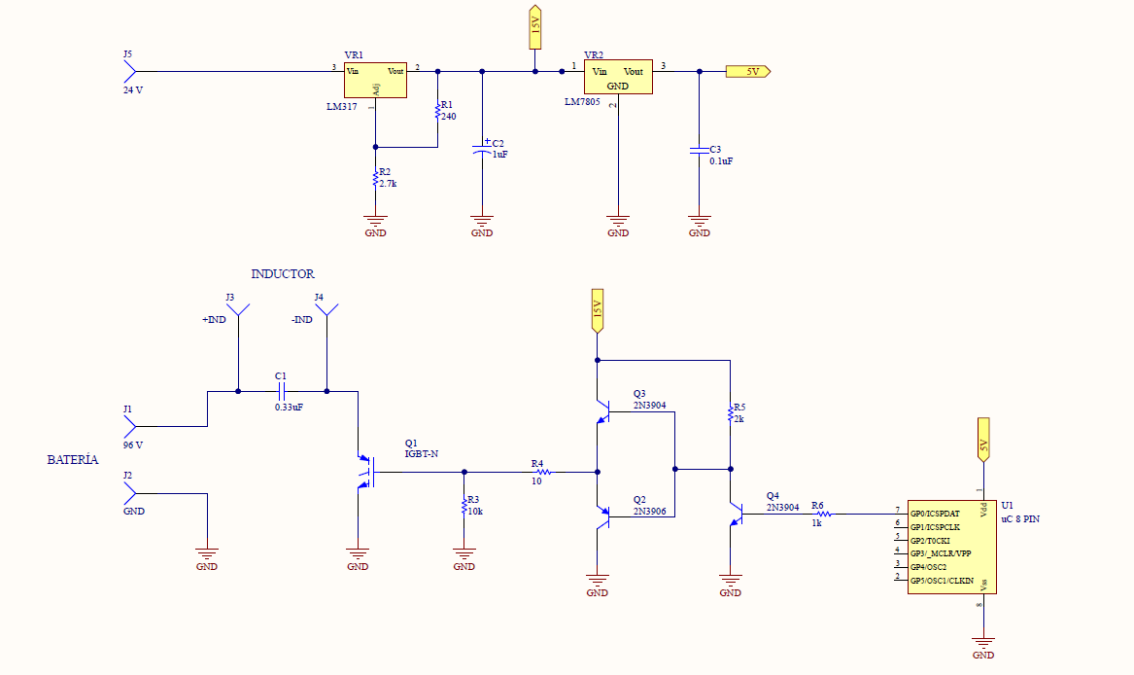


Fig. 7 Esquema de circuito electrónico del calefactor por inducción electromagnética.

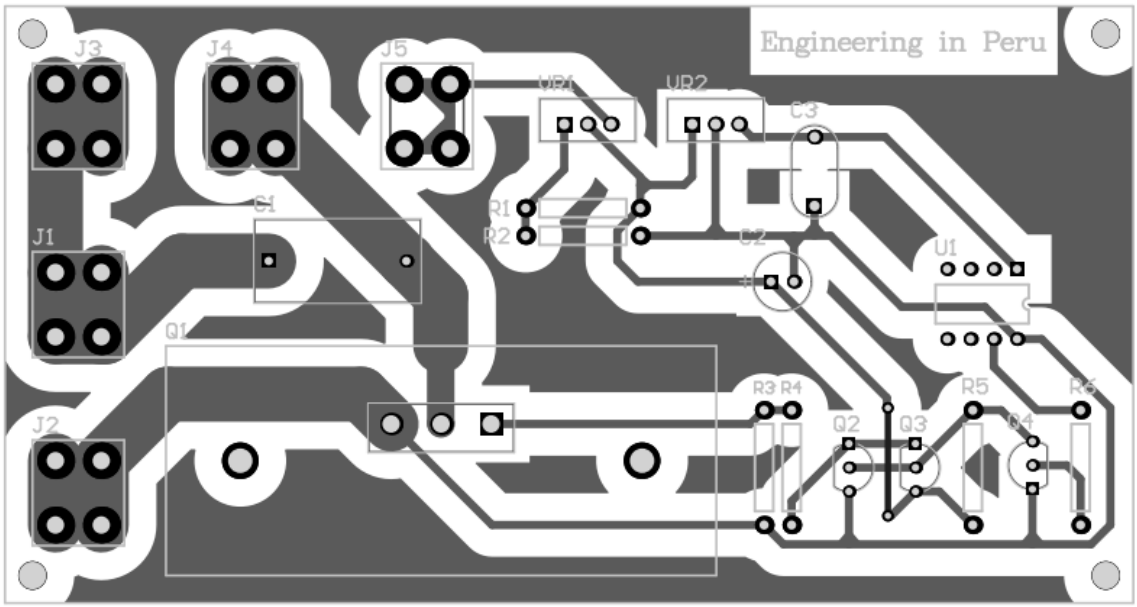


Fig. 8 Diseño de PCB en software *Altium Designer*.

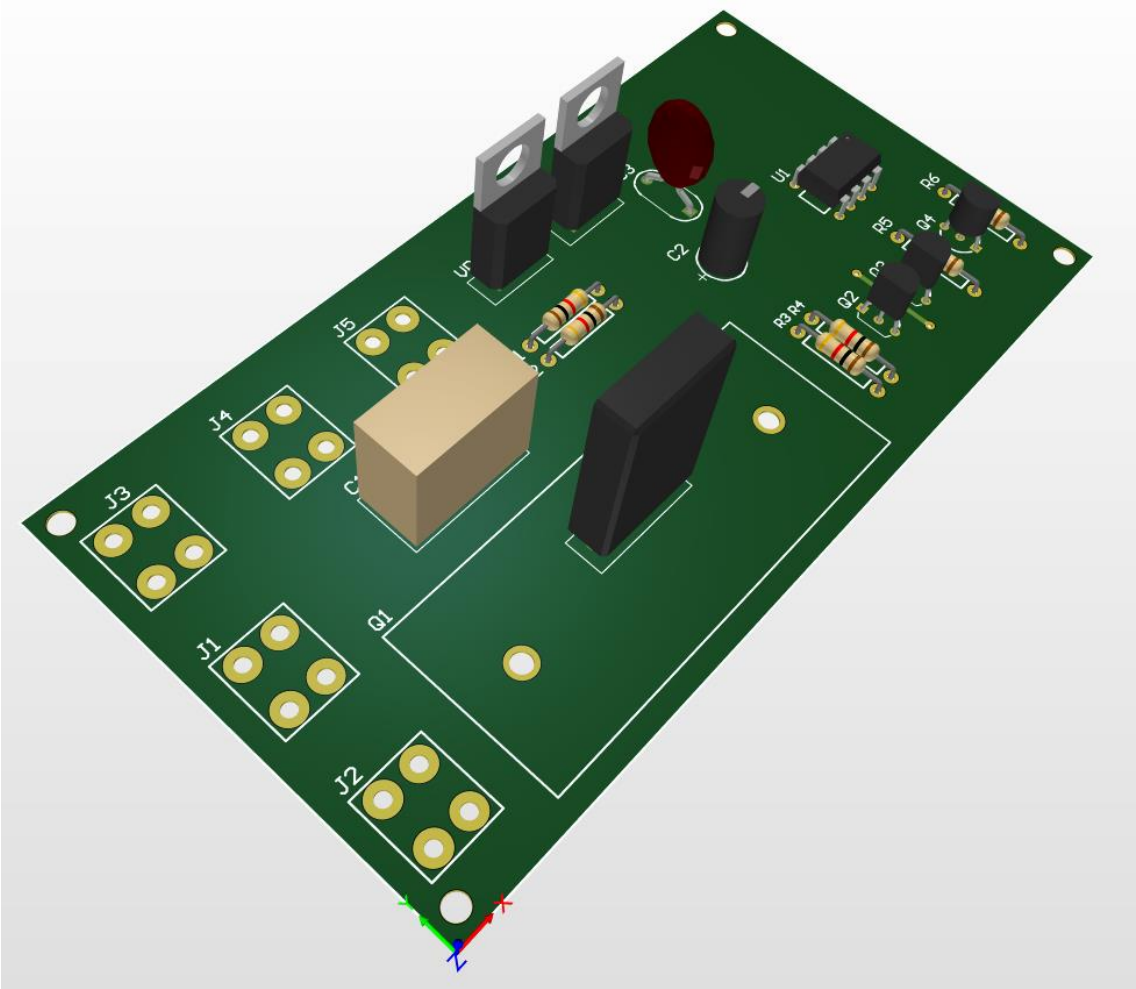


Fig. 9 Vista 3D del circuito impreso del calefactor por inducción.

3.3. Simulaciones en LTSPICE

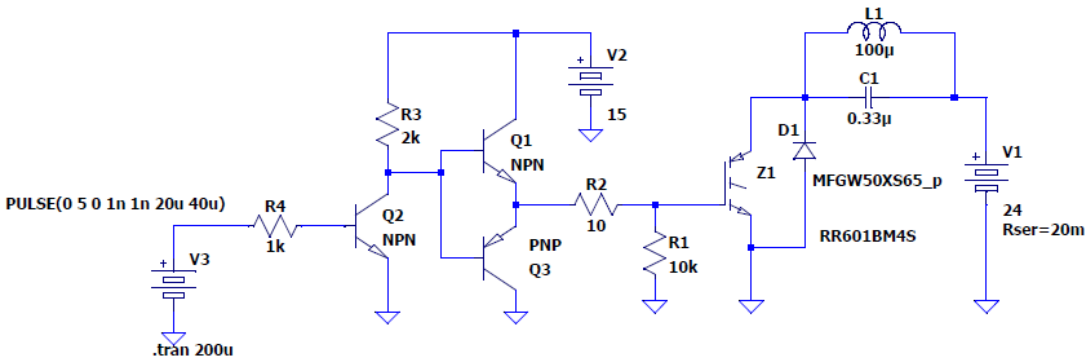


Fig. 10 Circuito simulado en LTSPICE.

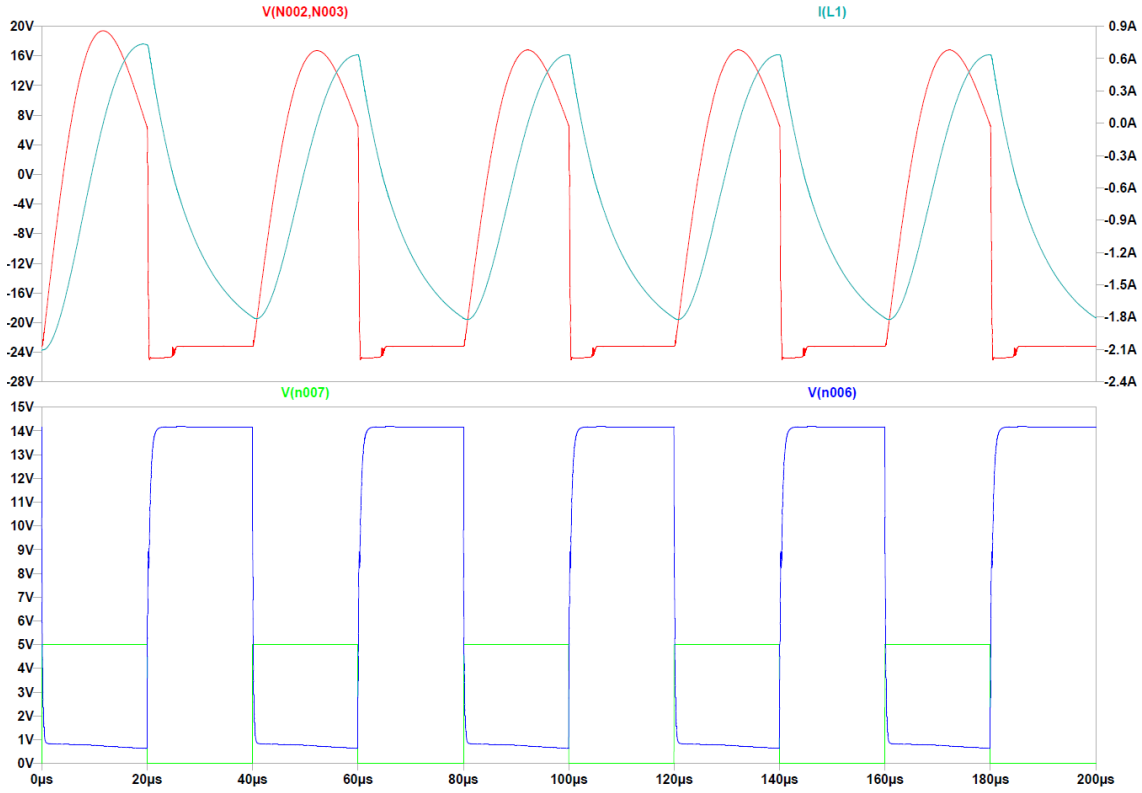


Fig. 11 Señales de la simulación.

Rojo: Voltaje en colector de IGBT, Verde oscuro: Corriente en inductor, Azul: Señal de disparo del IGBT, Verde claro: Señal del microcontrolador.

3.4. Programación del PIC

```
/*
 * File:   newmain.c
 * Author: André Q
 *
 * Created on 8 de febrero de 2024, 05:09 PM
 */

// PIC12F508 Configuration Bit Settings

// 'C' source line config statements

// CONFIG
#pragma config OSC = XT         // Oscillator Selection bits (XT oscillator)
#pragma config WDT = OFF        // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled)
#pragma config CP = OFF         // Code Protection bit (Code protection off)
```

```
#pragma config MCLRE = OFF        // GP3/MCLR Pin Function Select bit (GP3/MCLR pin function is digital input, MCLR internally tied to VDD)

// #pragma config statements should precede project file includes.
// Use project enums instead of #define for ON and OFF.

#define _XTAL_FREQ 4000000
#include <xc.h>

void main(void)
{
   TRISGPIO = 0b000000;
   //GP0 = OSCILACIÓN 25kHz
   GP0 = 0;
   while(1)
   {
      GP0 = 1;
      __delay_us(20);
      GP0 = 0;
      __delay_us(18);
   }
}
```

3.5. Pruebas en laboratorio



Fig. 12 Implementación de prototipo para pruebas.



Fig. 13 Señales registradas en el osciloscopio y corriente consumida por el sistema a 24 VDC.

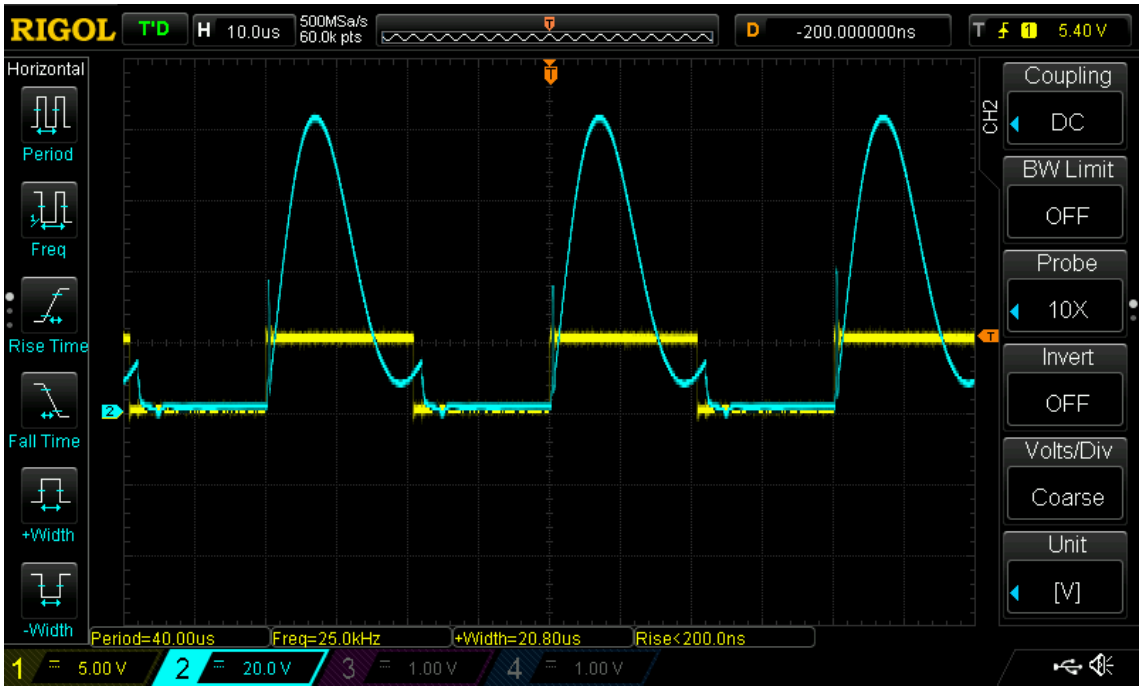


Fig. 14 Señales del microcontrolador e IGBT con osciloscopio.

CH1: Señal del microcontrolador, CH2: Voltaje en colector IGBT.



Fig. 15 Voltajes de la batería, colector IGBT y bobina de inducción.

CH1: Señal de la batería, CH2: Voltaje en colector IGBT, Morado: Voltaje en la bobina de inducción.



Fig. 16 Toma de temperatura de prototipo.

Izquierda: Medición de la temperatura alcanzada desde 20ºC, 1 litro de agua. Derecha: Uso de termocupla tipo K para realizar la medición de temperatura del agua.

3.6. Dimensionamiento de celdas solares y baterías

Habitación	
Largo (m)	5
Ancho (m)	3.9
Alto (m)	2.2

Temperaturas	
Ti (°C)	18
To (°C)	0

	Material
Techo	Madera de eucalipto
Paredes	Adobe

Constantes	
αi (W/m2K)	25
αo (W/m2K)	7.5
1/αi	0.04
1/αo	0.1333

Área de techo (m2)	19.5
Área de paredes (m2)	39.16

Q techo (W)	437.5566
Q paredes (W)	1677.4734

Qtr (W)	2115.03

Fig. 17 Cálculo de potencia requerida haciendo uso de Excel.

Según cálculos teóricos para calentar una habitación de 5 x 4 x 2.2 metros desde 0 grados hasta 18 grados Celsius (temperatura de confort térmico), se necesitan unos 2200 Watts de potencia.

Estos cálculos se hicieron de acuerdo a las mediciones obtenidas de una habitación típica en la zona.

Para el dimensionamiento haremos el cálculo con 2500 W de calor necesario. Por lo tanto, el radiador debe ser de 2500 W de potencia.

3.6.1. Dimensionamiento de sistema solar fotovoltaico off-grid

TABLA VI
POTENCIA INSTALADA Y ENERGÍA REQUERIDA DEL SISTEMA.

Item	Valor
Potencia instalada	2500 W
Energía requerida por día (8 horas)	2500 W x 8 h = 20000 Wh = 20 kWh/día

Fuente: Elaboración propia.

$$P_S = \frac{E_R}{HSP} \tag{17}$$

$$P_S = \frac{20000\,Wh}{4.70h} = 4255.32\,W$$

Donde: HSP = 4.7 (dato de la nasa)

De la ecuación 17 obtenemos la potencia requerida para la selección del panel solar.

$$C = \frac{E_R}{V.n} \tag{18}$$

$$C = \frac{20000\ Wh}{48V\ x\ 0.9} = 462.96\ Ah$$

De la ecuación 18 obtenemos la carga requerida para la selección de la batería.

3.7. Selección de Equipos

3.7.1. Paneles solares para 4 kW de potencia

Para la selección de los paneles solares se realizó un cuadro comparativo:

TABLA VII
ALTERNATIVAS DE PANELES SOLARES

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Marca	Longi	Jinxysolar	ERA Solar
Modelo	LR5-72HBD-555M	JXY-E500M	ESPMC340
Tipo	Silicio monocristalino bifacial PERC	Silicio monocristalino flexible	Silicio policristalino
Potencia	555W	500W	340W
Eficiencia	21.5%	23%	17.5%
Dimensiones	2278 x 1134 x 35 mm	2310 x 1130 x 2.5 mm	1956 x 992 x 40 mm
Peso	32.6kg	8.4kg	20.9kg
Costo en USD	138.33 $	260 $	167.10 $
Costo en PEN	528.56 S/.	993.46 S/.	638.32S/.
Proveedor	Aliexpress	Alibaba	AutoSolar

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en el cuadro comparativo que el panel que ofrece mejor rendimiento y costo es el panel de silicio monocristalino bifacial PERC de la marca Longi.



Fig. 18 Panel solar de 555 W de la marca Longi.

De estos paneles solares se necesitarían 8 unidades para cubrir la demanda de 4255 W.

Las características principales de este panel solar están listadas en la siguiente tabla:

TABLA VIII
PARÁMETROS IMPORTANTES DEL PANEL SOLAR MARCA LONGI.

Ítem	Valor
Modelo	LR5-72HBD-555M
Máxima potencia	555 W (STC)
Voltaje de circuito abierto (V_{OC})	49.95 V (STC)
Corriente de cortocircuito (I_{SC})	14.05 A (STC)
Eficiencia del panel	21.5 %
Dimensiones	2278 x 1134 x 35 mm

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Baterías para 400 Ah

Para la selección de los paneles solares se realizó un cuadro comparativo:

TABLA IX
ALTERNATIVAS PARA BATERÍAS

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Marca	Cerrnss	Wulills	Tensite
Modelo	48V 100Ah	48V LIFEPO4	GEL DC 12-100
Voltaje	48V	48V	12V
Amperios hora	100Ah	70Ah	100Ah
Tipo	LiFePO4	LiFePO4	Gel
Dimensiones	480 x 440 x 160 mm	520 x 269 x 220 mm	329 x 172 x 225 mm
Características	BMS incorporado, Bus CAN, RS485, RS232, Pantalla LCD.	Pantalla LCD	Ideado para instalaciones fotovoltaicas.
Consideraciones	Posible daño a bajas temperaturas y riesgo de explosión.	Posible daño a bajas temperaturas y riesgo de explosión.	Debe ser colocado siempre en vertical. Menos ciclo de vida
Peso	49kg	29kg	26.2kg
Costo en USD	1078.02 $	719.50 $	157.44 $
Costo en PEN	4139.60 S/.	2762.88S/.	604.58S/.
Proveedor	Aliexpress	Aliexpress	AutoSolar

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar del cuadro comparativo que la batería que ofrece un mejor desempeño sería la batería de tipo litio polímero de la marca Wulills, esto debido a que la batería de la marca Cerrnss tiene un costo elevado y la batería de gel, que es bastante utilizado en instalaciones fotovoltaicas, solo se puede descargar hasta un 40 o 50% de su capacidad.



Fig. 19 Batería de ion litio de 70 Ah y 48 V.

Se necesitan 6 baterías de este tipo para sobrepasar los 400 Ah de energía necesarios.

3.7.3. Controlador de batería de ion litio

Se necesita un controlador de carga para las baterías de ion litio. Para la selección del controlador de batería se realizó un cuadro comparativo:

TABLA X
ALTERNATIVAS DE CONTROLADORES DE BATERÍA

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Marca	Must	Epever	Carspa
Modelo	PC1800	TRACER - 10420AN	MH-R4860
Voltaje Batería	12/24/36/48V	12/24/36/48V	12/24/36/48V
Voltaje Max PV	130V	180V	150V
Max Potencia PV	6250W	5000W	3200W
Tipo	MPPT	MPPT	MPPT

Dimensiones	315 x 160 x 135 mm	394 x 242 x 143 mm	285 x 205 x 93 mm
Características	RS485, USB, Pantalla LCD	RS485, RJ45, Pantalla LCD	RS485, RS232
Consideraciones	IP20	IP20	IP32
Peso	4.7kg	7.4kg	3.6kg
Costo en USD	125 $	686.53 $	144 $
Costo en PEN	482.50 S/.	2650S/.	552.96 S/.
Proveedor	Alibaba	Eco Solar Perú	Alibaba

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 20 Controlador de carga de batería de ion litio.

Se puede observar del cuadro comparativo que el más óptimo sería el controlador de carga de la marca MUST, debido al bajo costo y buen rendimiento para los 4000W de los paneles solares.

El modelo puede recibir hasta 130 V desde los paneles fotovoltaicos, es del tipo MPPT y la potencia máxima es de 6250 W.

3.7.4. Inversor de 3000 W

Para la selección del inversor se realizó un cuadro comparativo:

TABLA XI
ALTERNATIVAS DE INVERSORES

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Marca	Jyins	HKFZ	Victron Energy

Modelo	JYP-3000W	5000W Pure Sine Wave	Phoenix Smart 48/3000
Voltaje Entrada	48V	48V	48V
Voltaje Salida	220VAC	220VAC	220VAC
Potencia	3000W	2500W	3000VA
Tipo	Sinusoidal pura	Sinusoidal pura	Sinusoidal pura
Dimensiones	390 x 180 x 78 mm	285 x 180 x 80 mm	485 x 285 x 150 mm
Peso	4.5kg	3.3kg	19kg
Costo en USD	258 $	220.40 $	1499.88 $
Costo en PEN	990.72 S/.	846.34S/.	5759.52 S/.
Proveedor	Alibaba	Aliexpress	AutoSolar

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 21 Inversor que recibe 48 VDC y entrega 220 VAC con 3000 W de potencia.

De la tabla se puede observar que el inversor más adecuado es el de la marca Jyins, debido a que tiene una potencia de 3000W y un precio no muy elevado.

3.7.5. Costo de sistema fotovoltaico y calefactor por inducción

TABLA XII
COSTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Equipo	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo Total (S/.)
Panel solar	528.56	8	4228.48
Batería ion litio	2762.88	6	16577.28
Controlador de carga	482.50	1	482.50

Inversor	990.72	1	990.72
Calefactor por inducción	600.00	1	600.00
Cables e interruptores	300.00	1	300.00
		Total	23178.98 (6247.70$)

Fuente: Elaboración propia.

3.7.6. Esquema de sistema fotovoltaico

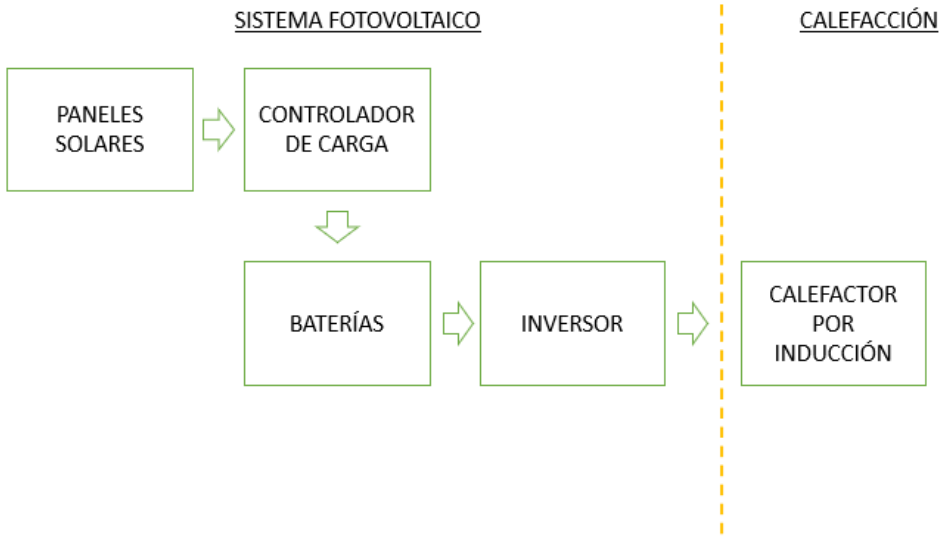


Fig. 22 Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico.

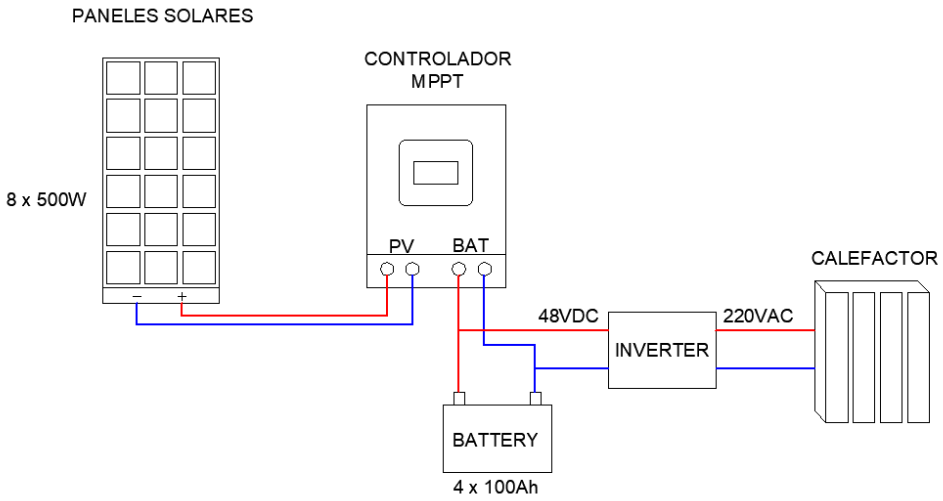


Fig. 23 Diagrama de conexionado de sistema fotovoltaico.

3.7.7. Ficha técnica del sistema de calefacción

SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA			
PARTES	**PARÁMETROS**	**VALOR**	**UNIDADES**
PANELES SOLARES	VOLTAJE DC NOMINAL	48	V
	POTENCIA	4440	W
	MARCA	Longi	-
	MODELO	LR5-72HBD-555M	-
CONTROLADOR DE CARGA	VOLTAJE DE ENTRADA	48	V
	VOLTAJE DE SALIDA	48	V
	POTENCIA	6250W	W
	MARCA	Must	-
	MODELO	PC1800	-
BATERÍAS	VOLTAJE DC NOMINAL	48	V
	AMPERIOS HORA	400	AH
	WATTS HORA	19200	WH
	AUTONOMÍA	8	H
INVERSOR	VOLTAJE DE ENTRADA	48	VDC
	VOLTAJE DE SALIDA	220	VAC
	POTENCIA	3000	W
	MARCA	Jyins	-
	MODELO	JYP-3000W	-
CALEFACTOR RADIADOR DE ACEITE	VOLTAJE DE ENTRADA	220	VAC
	POTENCIA CON RESISTENCIA ELÉCTRICA	2500	W
	POTENCIA CON INDUCCIÓN	2250	W
	AMBIENTE EN M3	42.9	M3
	TEMPERATURA TEÓRICA	18	ºC
	MARCA	Imaco	-
	MODELO	OFR11AO	-
NOTAS			
FECHA:	09/02/2024		

IV. DISCUSIÓN

- Acosta (2019) indica en sus resultados que el calentamiento por inducción es más conveniente frente al uso de una resistencia. Encontró los parámetros de operación óptimos, diseñó el circuito de control usando Mosfets y llegó a la conclusión de que estos sistemas de inducción son más eficientes a altas potencias, versátiles y de menor tamaño. Estos resultados están de acuerdo con los de esta presente tesis, debido a que el prototipo de calefactor por inducción es de tamaño reducido. La tarjeta electrónica puede soportar altas potencias, aunque en el diseño se hizo con IGBTs, dado que existen diversos diseños en las cocinas de inducción que usan IGBTs en vez de Mosfets.

- Giraldo (2020) en su artículo concluye que el muro trombe es el ideal para el clima de alta montaña en bajas latitudes, este tipo de tecnología utiliza la energía solar para mantener caliente un determinado ambiente, este se puede complementar con el sistema de calefacción por inducción y energía solar propuesto en la presente tesis.

- Almanza (2022) [8] en su tesis propone como objetivo el diseño de un sistema híbrido fotovoltaico con celdas Peltier para suministrar de calefacción a una vivienda rural en el distrito de Angasmarca, La Libertad. El requerimiento calculado de la vivienda fue de 3900 W. Se concluye que se utilizaron 95 módulos Peltier junto a 8 paneles solares llegando a una potencia de 1592 W. El costo básico del diseño fue de 20355 soles. Este costo es similar al costo de los equipos seleccionados en esta presente tesis, donde se tiene además la ventaja de que el cálculo se hizo en el peor escenario posible, de tal manera que se garantiza el que el sistema llegue a 18ºC por 8 horas. Además, se tiene la ventaja de que el controlador de carga puede alimentar a otras cargas a parte del calefactor, y también que con la implementación del calefactor de inducción en vez del de resistencia se puede ahorrar más consumo aumentando la autonomía del sistema.

V. CONCLUSIONES

- Cumpliendo con el objetivo de la viabilidad económica y el diseño del sistema de calefacción por inducción en base a un sistema fotovoltaico *off-grid*, se puede concluir que el diseño del sistema de calefacción propuesto mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos, por lo tanto, es adecuado.

- El diseño propuesto del sistema de calefacción con energía solar resulta adecuado para las dimensiones de una casa típica de la zona de estudio dando como resultado un aumento en la temperatura desde 0 a 18 grados Celsius, logrando así el confort térmico de las personas que habitan el ambiente. Para ello se ha tomado en consideración las temperaturas interior y exterior, y con ello se pudo seleccionar los equipos tales como paneles fotovoltaicos, baterías, inversores y controladores de carga para que el sistema opere fuera de la red.

- El costo de la solución propuesta está cerca a los 6000 dólares, dentro de los 6000 dólares se tiene cubierto el costo del sistema fotovoltaico, que consta de los paneles solares, controlador de carga solar, baterías e inversor; y el costo del sistema de calefacción que consta del radiador de aceite diatérmico y la placa electrónica que adapta el radiador a uno del tipo por inducción electromagnética.

- Se comprueba la teoría del calentamiento por inducción a través del prototipo desarrollado, se elevó una temperatura de 1 litro de agua desde 20 grados hasta 50 grados en 30 minutos, con 100 Watts de potencia.

VI. RECOMENDACIONES

- El diseño puede ayudar a mejorar el confort térmico de los pobladores de zonas altoandinas, se recomienda, por lo tanto, seguir realizando más estudios sobre la viabilidad del diseño, tomando en cuenta que los cálculos se llevaron a cabo en condiciones ideales, es recomendable que para que exista una buena transferencia de calor, la casa se encuentre previamente sin aberturas, es decir, garantizar que no existen fugas de calor, de manera que se trate de un sistema cerrado. De igual forma, de mejorarse el aislamiento de la casa se alcanzarían mejores resultados.
- El diseño del sistema fotovoltaico para generar energía, abastece correctamente al sistema de calefacción por lo tanto dicho sistema puede brindar calor durante las horas más frías del día que generalmente es en la madrugada. Por esta razón se recomienda utilizar los equipos seleccionados a fin de obtener la mayor potencia de diseño. Para realizar los cálculos de energía requerida que emplea el sistema, se hizo en base a una casa de dimensiones típicas ubicada en la localidad de Ortigal en Yauyos y se tomó como dato las temperaturas de la zona; por lo tanto, el costo de la solución vararía de acuerdo a cada realidad. Este sistema puede ser replicado en todas las casas de la zona de estudio. Se recomienda utilizar el costo de este sistema como una guía para determinar posibles costos de la implementación del mismo sistema en otras zonas.
- Se recomienda que el costo sea financiado por alguna ONG o programa social promovido por el gobierno a fin de que toda la población de la zona de estudio que se encuentra afectada por el friaje y heladas, pueda tener un confort térmico mejorando su calidad de vida. Se considera que la solución es viable económicamente si tomamos en cuenta otros sistemas más costosos considerados en estudios anteriores descritos en el párrafo de antecedentes nacionales.
- Es recomendable construir un calefactor a la potencia de diseño de 2500 W, el cual debe contar con un radiador de aceite diatérmico, reemplazando la resistencia calefactora por

una bobina que caliente por inducción, tomando como base el prototipo diseñado en el presente estudio. Mejorando así la eficiencia al aumentar la superficie en contacto con el aceite dentro del radiador.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] G. Acosta, Diseño y construcción de un prototipo de calefacción para piletas de agua mediante inducción magnética, Quito: Universidad Tecnológica Israel, 2019.

[2] J. Giraldo y J. Arango, «Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo,» *Energía,* nº 16, pp. 100-110, 2020.

[3] S. Bonilla, J. Acosta y J. Moreno, «Sistema de calefacción por suelo radiante en procesos agrícolas en invernaderos,» *Polo del Conocimiento,* vol. 5, nº 1, pp. 413-431, 2020.

[4] J. Bucarey y R. Cortés, Estudio comparativo entre un temple por inducción y un temple convencional, Arica: Universidad de Tarapacá, 2020.

[5] C. Castro y S. Rojas, Desarrollo de un sistema prototipo de calentamiento eficiente de agua potable por inducción electromagnética, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.

[6] A. Gutiérrez y O. Quispe, Evaluación del potencial geotérmico de baja temperatura para aplicaciones de calefacción con bombas de calor, Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2018.

[7] A. Irigoin, Diseño de un sistema de calefacción solar para la posta de salud del poblado de Bella Andina, Chota - Cajamarca., Lambayeque: Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", 2018.

[8] C. Almanza y M. Utus, Sistema híbrido fotovoltaico - celdas Peltier para suministro de calefacción en una vivienda rural del distrito de Angasmarca - La Libertad, Trujillo: Universidad César Vallejo, 2022.

[9] R. Huamán y M. Monja, Diseño de un pasteurizador de leche utilizando corrientes de Foucault para la empresa Derivados Lacteos Barreto S.R.L., Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2019.

[10] D. Acuña, Sistema de calefacción doméstico rural basado en energía solar para la localidad de Acobambilla, Huancavelica, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018.

[11] F. Chávez, Zona variable de confort térmico, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2002.

[12] D. García Lasanta, Arquitectura Bioclimática: Viviendas bioclimáticas en Galicia, 2da Edición en PDF ed., A. Coruña: Asociación Touda, 2004.

[13] J. N. Hincapié, A. Trejos, M. E. Moncada y A. Escobar, «Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte,» Medellín, 2013.

[14] J. P. Holman, Transferencia de Calor, Mexico: McGraw Hill, 1999.

[15] R. A. Serway y R. J. Beichner, Física para Ciencias e Ingeniería Tomo II, Quinta ed., Mexico: McGraw-Hill, 2001.

[16] A. Fouillé, Compendio de Electrotécnia, España: Marcombo, 1979.

[17] V. Rudnev, D. Loveless y R. L. Cook, Handbook of Induction Heating, 2002.

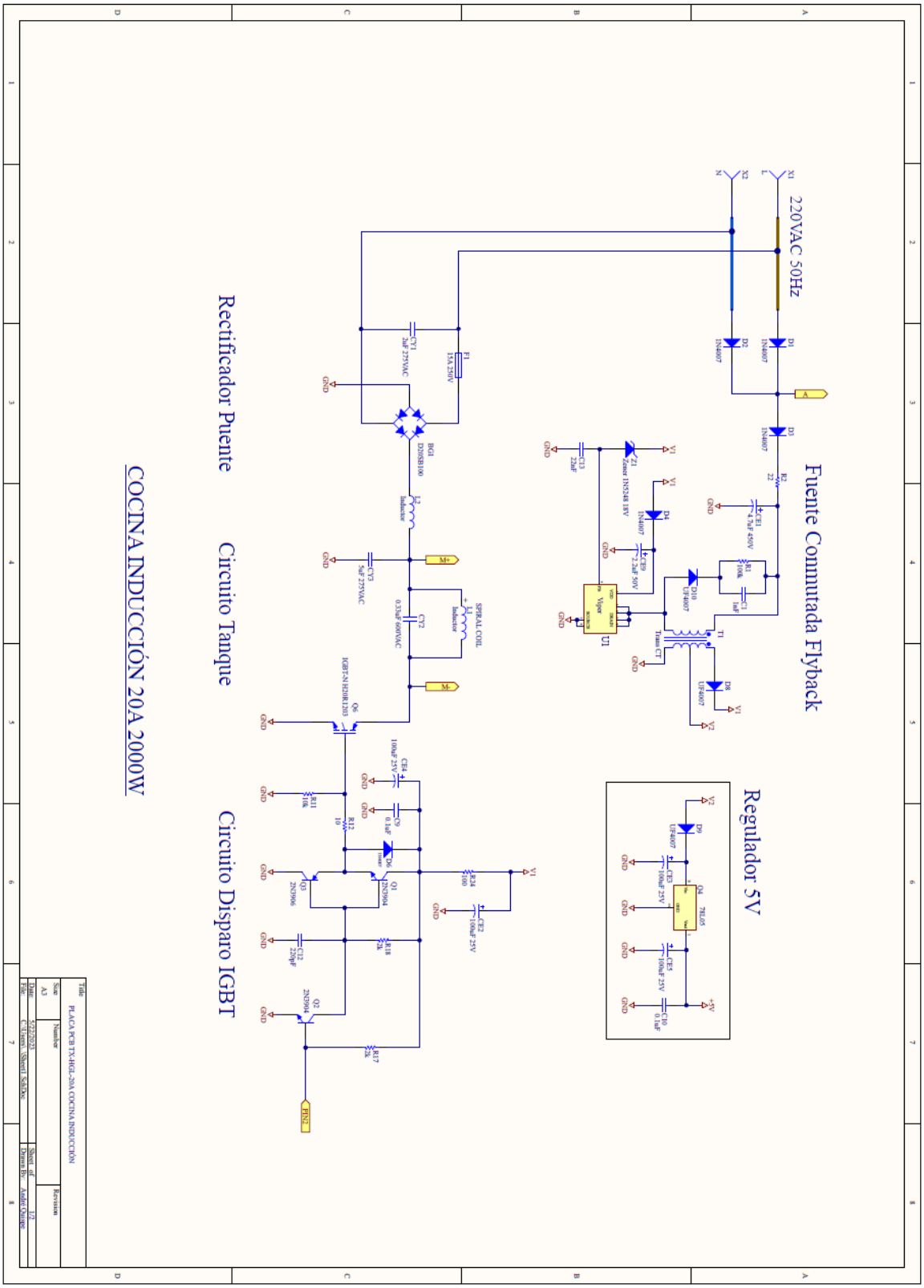
[18] M. Rashid, Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, Edo. de México: Prentice Hall, 1995.

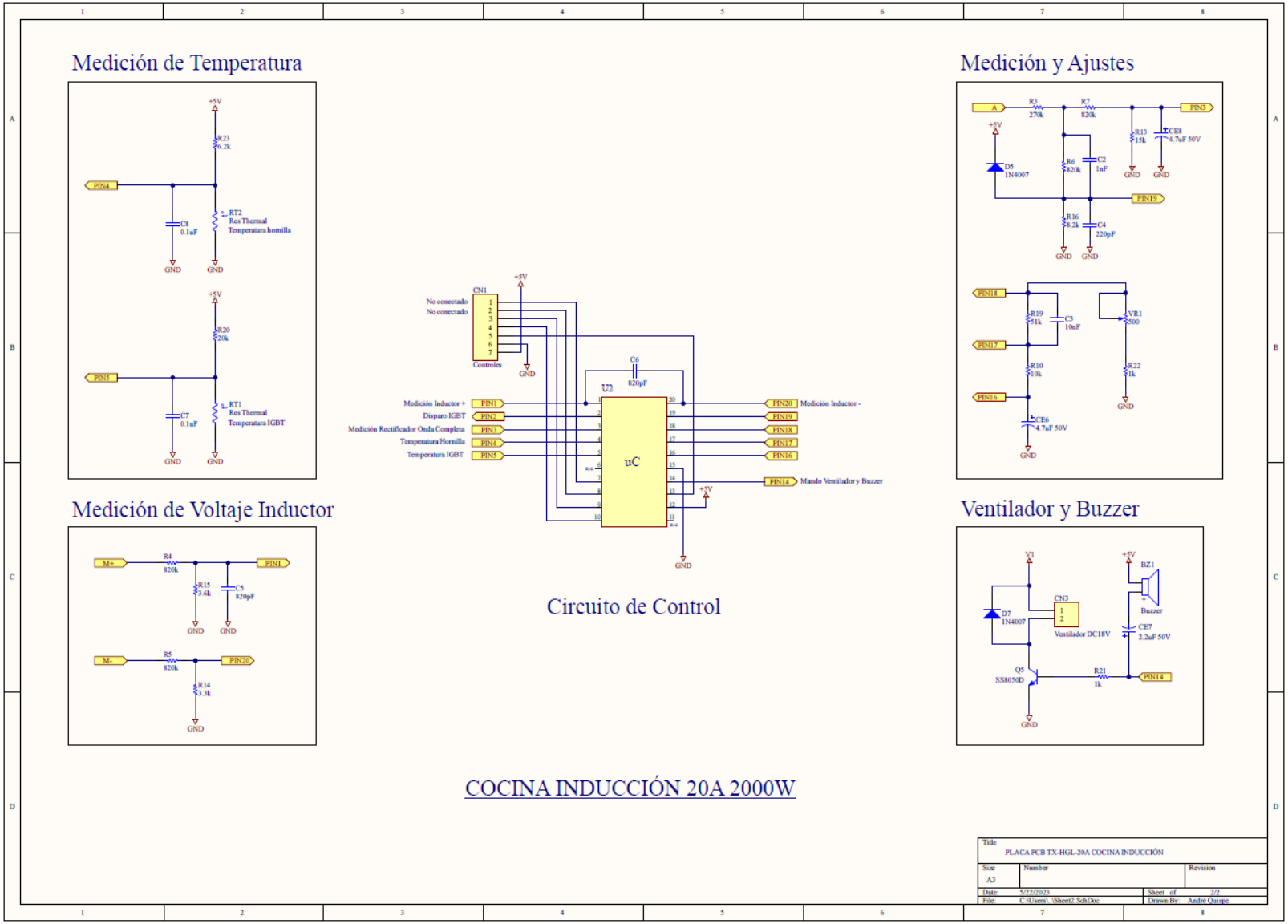
[19] ON Semiconductor, «Induction Cooking: Everything you need to know,» ON Semiconductor, 2014.

[20] L. Itard y P. van den Brom, Energy demand in buildings [MOOC], Edx.

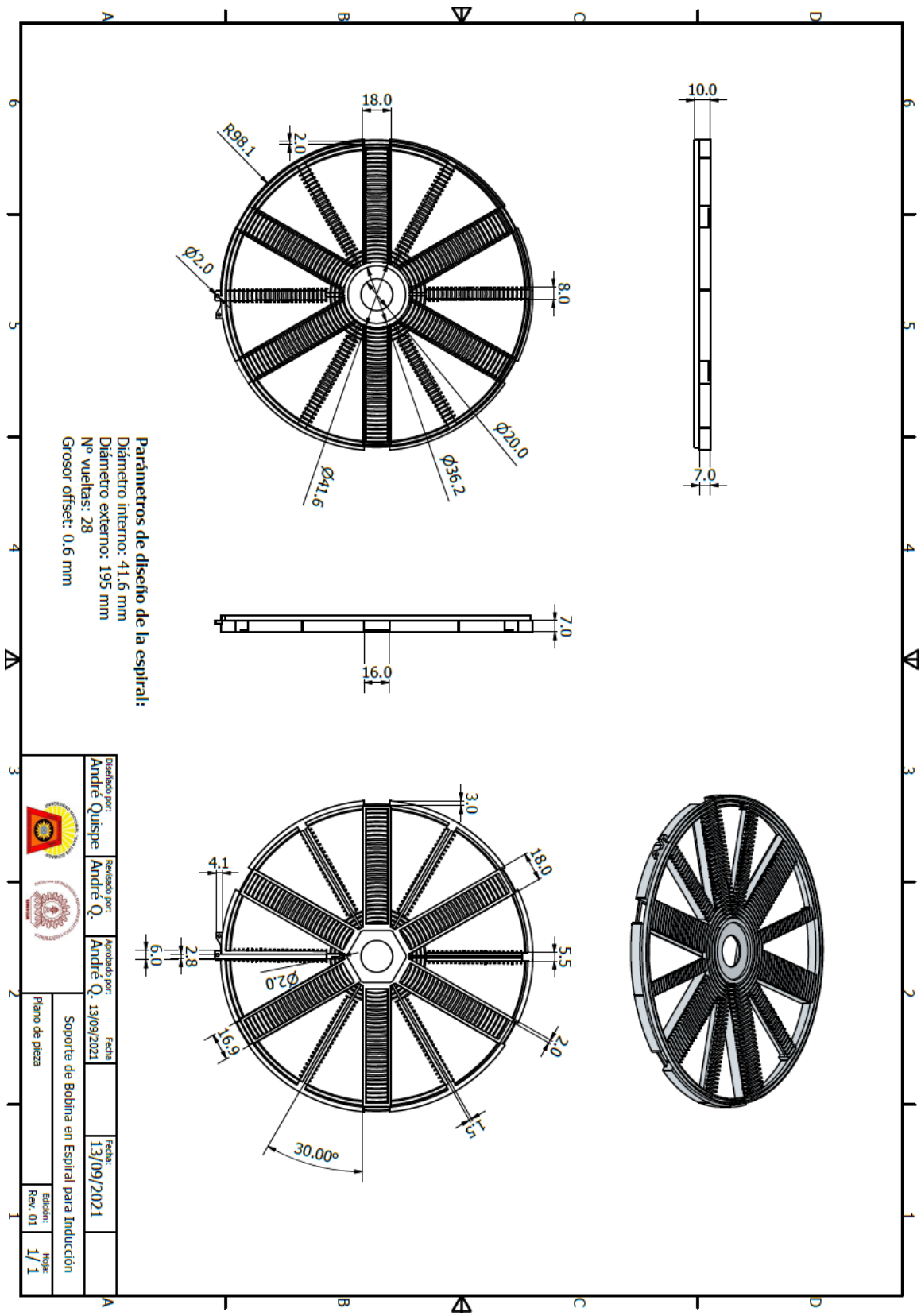
VIII. ANEXOS

Anexo 1. Circuito electrónico de una cocina de inducción de una hornilla.

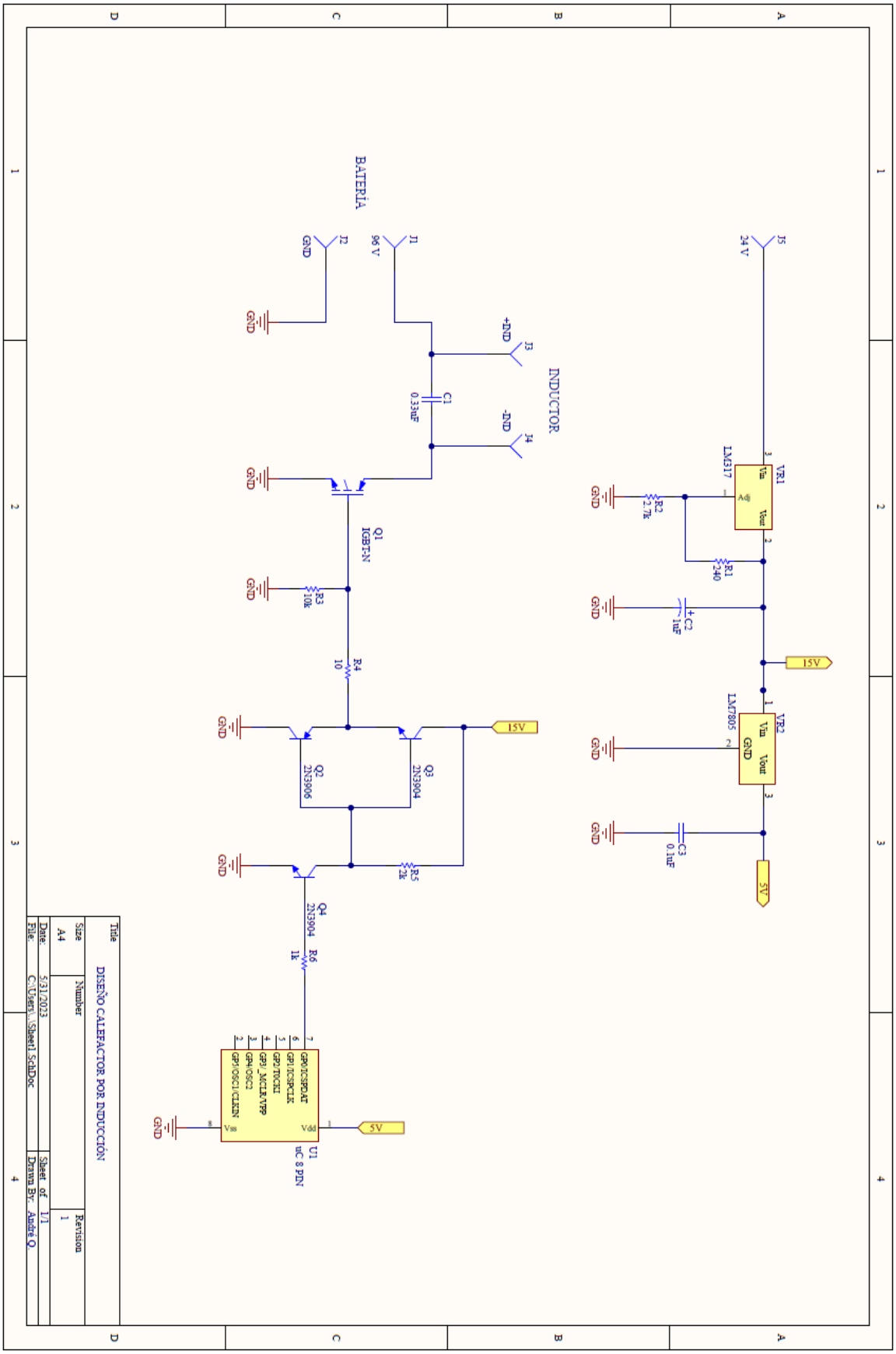

COCINA INDUCCIÓN 20A 2000W
Rectificador Puente
Circuito Tanque
Circuito Disparo IGBT
Fuente Conmutada Flyback
Regulador 5V
220VAC 50Hz


Medición de Temperatura
+5V
R23
6.2k
PIN4
C8
0.1uF
RT2
Res Thermal
Temperatura hornilla
GND
GND
+5V
R20
20k
PIN5
C7
0.1uF
RT1
Res Thermal
Temperatura IGBT
GND
GND
Medición de Voltaje Inductor
M+
R4
820k
PIN1
R15
3.6k
C5
820pF
GND
GND
M-
R5
820k
PIN20
R14
3.3k
GND
CN1
No conectado
No conectado
Controles
GND
+5V
C6
820pF
U2
uC
Medición Inductor +
Disparo IGBT
Medición Rectificador Onda Completa
Temperatura Hornilla
Temperatura IGBT
PIN1
PIN2
PIN3
PIN4
PIN5
PIN20
PIN19
PIN18
PIN17
PIN16
PIN14
Medición Inductor -
Mando Ventilador y Buzzer
+5V
GND
Circuito de Control
Medición y Ajustes
A
R3
270k
R7
820k
PIN3
+5V
R13
15k
CE8
4.7uF 50V
D5
1N4007
R6
820k
C2
1nF
GND
GND
PIN19
R16
8.2k
C4
220pF
GND
GND
PIN18
R19
51k
C3
10nF
VR1
500
PIN17
R10
10k
R22
1k
PIN16
CE6
4.7uF 50V
GND
GND
Ventilador y Buzzer
V1
+5V
BZ1
Buzzer
CN3
1
2
D7
1N4007
Ventilador DC18V
CE7
2.2uF 50V
Q5
SS8050D
R21
1k
PIN14
GND
COCINA INDUCCIÓN 20A 2000W
Title
PLACA PCB TX-HGL-20A COCINA INDUCCIÓN
Size
A3
Number
Revision
Date: 5/22/2025
Sheet of 2/2
File: C:\Users\...\Sheet2.SchDoc
Drawn By: André Quispe

Anexo 2. Dimensiones de la bobina en espiral de cocina de inducción.



Anexo 3. Diseño de prototipo de calefactor por inducción.



Anexo 4. Matriz de operacionalización de variables

TABLA VI
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	Índice
Variable independiente: Diseño del sistema de calefacción por inducción electromagnética.	Calor que se disipa debido al efecto de un campo magnético variable que actúa sobre una pieza o recipiente ferromagnético	Sistema de calefacción por inducción con energía solar	Selección de los paneles solares Selección de controlador de carga Selección de baterías Selección de inversor	Ficha técnica
		Viabilidad económica de la solución	Costo de los equipos	Soles (S/.)
Variable dependiente: Mejora del confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas.	Sensación térmica neutral del individuo dentro de un ambiente determinado.	Mejora del confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas.	Temperatura	Termómetro que indicará la temperatura en ºC

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Llegada a Ortigal.



Anexo 6. Plaza de Ortigal.



Anexo 7. Vivienda típica de la que se tomó medidas.



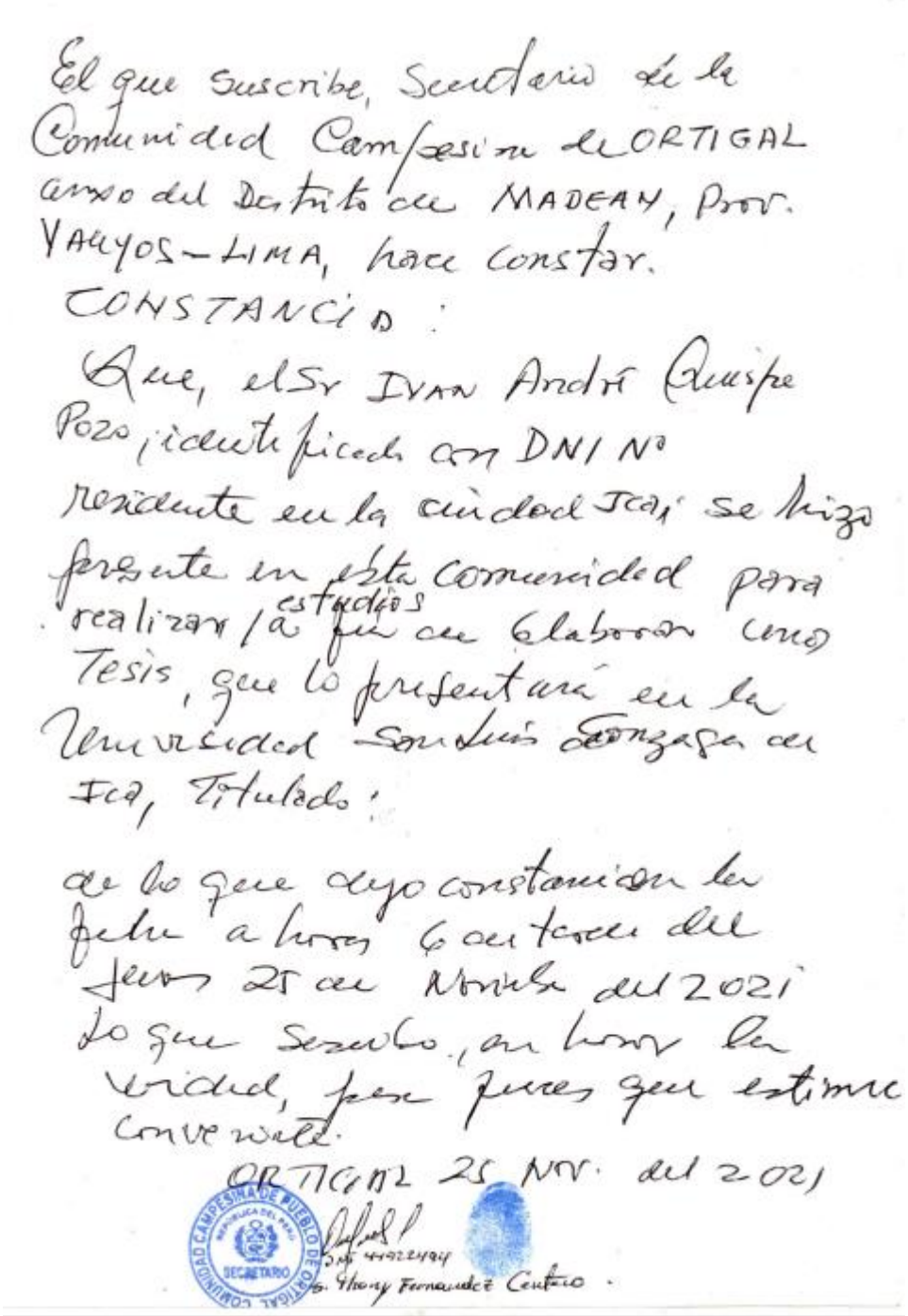
Anexo 8. Datos de temperatura del SENAMHI en Huangascar, cerca a Madeán.

Estación : HUANGASCAR

Departamento :	**LIMA**	**Provincia :**	**YAUYOS**	**Distrito :**	**HUANGASCAR**
Latitud :	**12°53'54.88"**	**Longitud :**	**75°50'1.14"**	**Altitud :**	**2500 msnm.**
Tipo :	**PE - Meteorológica**	**Código :**	**112134**		

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/06/2023	23.9	12	68	0
2/06/2023	24.5	11.8	67.7	0
3/06/2023	23	10.2	70.5	1
4/06/2023	24.2	11.2	66.6	0
5/06/2023	24.6	13.1	65.9	0
6/06/2023	22.9	11.4	74.5	0
7/06/2023	21.8	9.9	74.4	0
8/06/2023	22	10	75.2	0
9/06/2023	23.8	11	64	0
10/06/2023	24.6	12.8	66.3	0
11/06/2023	23.4	9.1	60.8	0
12/06/2023	25.6	8.8	67.7	0
13/06/2023	25.8	9.3	62.4	0
14/06/2023	25.5	10.3	58.3	0
15/06/2023	25.6	10	58.3	0
16/06/2023	24.2	11.1	60.9	0
17/06/2023	24.5	10.7	57.8	0
18/06/2023	24.2	10.2	58.9	0
19/06/2023	24.8	10.6	58.7	0
20/06/2023	23.8	9.9	65.3	0
21/06/2023	24.4	9.5	67	0
22/06/2023	24.5	10.1	64.8	0
23/06/2023	24.1	9.8	65.7	0
24/06/2023	23.3	9.6	64.6	0
25/06/2023	24.5	9.5	64.7	0
26/06/2023	24.2	10	65.6	0
27/06/2023	24.8	10.4	63.1	0
28/06/2023	25.1	9.7	65.4	0
29/06/2023	24.3	9.5	68.8	0
30/06/2023	23.6	9.3	68.3	0

Anexo 9. Constancia de visita de Ortigal para realizar estudios.



El que Suscribe, Secretario de la Comunidad Campesina de ORTIGAL anexo del Distrito de MADEAN, Prov. YAUYOS – LIMA, hace constar.

CONSTANCIA:

Que, el Sr IVAN André Quispe Pozo, identificado con DNI Nº residente en la ciudad Ica, se hizo presente en esta Comunidad para realizar / a estudios fin de elaborar una Tesis, que lo presentará en la Universidad San Luis Gonzaga de Ica, Titulado:

de lo que doy constancia en fe a horas 6 de la tarde del Jueves 25 de Noviembre del 2021 lo que suscribo, en honor de la verdad, para fines que estime conveniente.

ORTIGAL 25 NOV. del 2021

COMUNIDAD CAMPESINA DE PUEBLO DE ORTIGAL – REPÚBLICA DEL PERÚ – SECRETARIO

DNI 44922494

Sr. Henry Fernandez Centeno.

Anexo 10. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general	***Objetivo general***	***Hipótesis general***				
¿De qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad?	Determinar de qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.	El diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.	**Variable dependiente:** Mejora del confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas.	Mejora del confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas	Temperatura	**Tipo de investigación:** Investigación aplicada. **Nivel de investigación:** Descriptivo **Diseño de investigación:** Es de diseño no experimental, se hará una selección de equipos del sistema fotovoltaico y un análisis de sus principales parámetros. **Población de estudio:** Componentes del sistema de calefacción por inducción electromagnética. **Tamaño de la muestra:** Componentes del sistema de calefacción por inducción electromagnética.
Problemas específicos	***Objetivos específicos***	***Hipótesis específicas***				
¿De qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética con energía solar mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad?	Determinar de qué manera el diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética con energía solar mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.	El diseño de un sistema de calefacción por inducción electromagnética con energía solar mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.	**Variable independiente:** Diseño del sistema de calefacción por inducción electromagnética.	X1: Sistema de calefacción por inducción con energía solar	Selección de los paneles solares Selección de controlador de carga Selección de baterías Selección de inversor	
¿De qué manera la viabilidad económica de la solución mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad?	Determinar de qué manera la viabilidad económica de la solución mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.	La viabilidad económica de la solución mejora el confort térmico de los pobladores de las zonas altoandinas afectadas por el friaje y heladas en Yauyos en la actualidad.		X2: Viabilidad económica de la solución	Costo de los equipos	