



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES



DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO
GENERADOR DE AGUA CON CELDAS
PELTIER PARA USO DOMESTICO
EN EL DISTRITO DE JULIACA

TESIS PRESENTADA POR:
Bach. ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO Y DE TELECOMUNICACIONES


JULIACA-PERÚ
2025




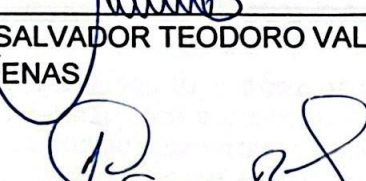
UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES

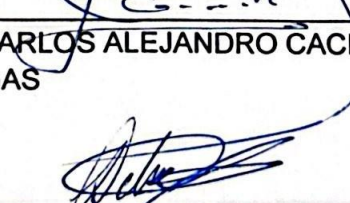
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO
GENERADOR DE AGUA CON CELDAS
PELTIER PARA USO DOMESTICO
EN EL DISTRITO DE JULIACA
TESIS PRESENTADA POR:
Bach. ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO Y DE TELECOMUNICACIONES
APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : 
M.Sc. ABELARDO LEON MIRANDA

PRIMER MIEMBRO : 
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA
CARDENAS

SEGUNDO MIEMBRO : 
Ing. CARLOS ALEJANDRO CÁCERES
VARGAS

ASESOR DE TESIS : 
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

LINEA DE INVESTIGACIÓN:
TECNOLOGÍA DE LA ELECTRÓNICA P80



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 638-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-6864 presentado por el (la) Bachiller: **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS FELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA ELECTRÓNICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : M.Sc. ABELARDO LEON MIRANDA
- * **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CÁCERES VARGAS

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS FELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Miercoles 16 de julio del 2025
- * **HORA** : 09:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 204 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 208-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de abril del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 001183 por el señor (a): **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 117 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 001- 2025 del integrante del comité de investigación EPIET de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Electronico y de Telecomunicaciones.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón de la Escuela Profesional de Ingeniería Electronica y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 001- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA ELECTRÓNICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Electronico y de Telecomunicaciones, con el Tema Titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA ELECTRÓNICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Electronica y Telecomunicaciones quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

[Signature]
Mtro. **WALTER J. LIZARRAGA ARMAZA**
DECANO (e)
CIP 70808



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

[Signature]
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RESOLUCIÓN DECANAL N° 713-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 01 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-05376, presentado el señor (a) **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 346 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 01 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIET** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Electronico y de Telecomunicaciones**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Electronica y Telecomunicaciones** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 01 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Electronico y de Telecomunicaciones**, con el Tema Titulado: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA ELECTRÓNICA**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Electronica y Telecomunicaciones** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

MULTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



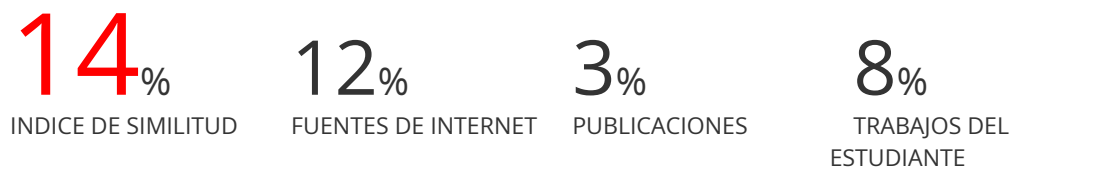
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Dr. Efraim Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



DISTRITO DE JULIACA

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS


1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	idoc.pub Fuente de Internet	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	laccei.org Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
10	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
11	bibliotecavirtualoducal.uc.cl	



Metadatos Complementarios UANCV

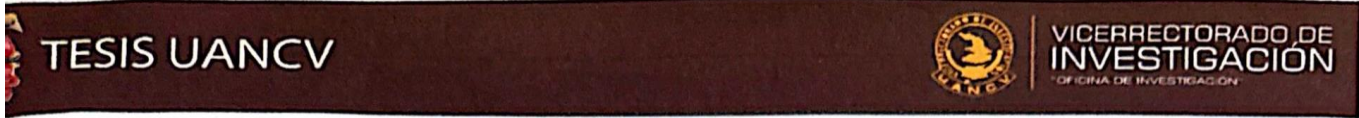


Título de la tesis	
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70838639
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-4170-7527
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	ABELARDO LEÓN MIRANDA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40198643
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Electrónica – P80
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca</p> <ul style="list-style-type: none"> - Latitud: S 15° 29' 58.88" - Longitud: O 70° 7' 46.75"  <p>https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1DIiKE7vltZ7BCy7kM68KwkQBzewgTaM&ll=-15.485226297887502%2C-70.0933472322806&z=12</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2024 – Junio 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Sistemas de automatización, Sistemas de control https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00</p> <p>Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL "NÉSTOR CÉSAR VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES, identificado con DNI Nro. 70838639 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

"DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 05 de SEPTIEMBRE del 2025


02064066


FIRMA (obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, con todo mi amor y gratitud. A mi madre, que, aunque ya no está en este mundo, vive en mi corazón y en cada uno de mis logros; su ejemplo, amor y fortaleza me han guiado siempre y su recuerdo ha sido mi mayor inspiración. Y a mi padre, por su apoyo constante, por estar a mi lado en los momentos más difíciles y por ser un pilar fundamental en este camino. Esta meta también les pertenece.

Esleyter Marco Mullisaca Torres.



AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres por ser el cimiento de mi vida. A mi madre, cuyo amor infinito, sacrificio y enseñanzas permanecen en mí como una guía constante; aunque ya no esté físicamente, su presencia vive en cada logro y en cada paso que doy. Y a mi padre, por su apoyo incondicional, su paciencia y por acompañarme con firmeza en todo este proceso. Gracias a ambos por darme las herramientas para seguir adelante y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

Esleyter Marco Mullisaca Torres



ÍNDICE

DEDICATORIA 4

AGRADECIMIENTO 10

RESUMEN 16

ABSTRACT 17

INTRODUCCIÓN 18

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 19

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 20

 1.2.1 Pregunta General 20

 1.2.2 Preguntas Específicas 20

1.3 JUSTIFICACIÓN 20

 1.3.1 Teórico 20

 1.3.2 Practico 20

 1.3.3 Metodológico 21

1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN 21

 1.4.1 Objetivo General 21

 1.4.2 Objetivos Específicos 21

1.5 IMPORTANCIA 22

1.6 LIMITACIONES 22

1.7 HIPOTESIS 23

 1.7.1 Hipótesis General 23

 1.7.2 Hipótesis Específicas 23

1.8 OPERACIONALIZACIÓN 23

 1.8.1 operacionalización de variables 24

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ANTECEDENTES 25

 2.1.1 Antecedentes internacionales 25

 2.1.2 Antecedentes nacionales 30



2.1.3 Antecedentes locales.....	12
2.1.3 Antecedentes locales.....	32
2.2 BASES TEÓRICAS	33
2.2.1 celdas peltier.....	33
2.2.2 control PID.....	34
2.2.3 disipadores de Calor	35
2.2.4 ventilador cooler	36
2.2.5 sensor de temperatura DS18B20	37
2.2.6 microcontrolador Arduino uno	38
2.2.7 pantalla LCD.....	39
2.2.8 sensor de humedad DHT11	40
2.2.9 Software Matlab.....	41
2.2.10 mosfet IRLZ44N.....	42
2.2.11 Fuente de Alimentación 220V/12V-10A.....	43
2.2.12 Regulador de Voltaje LM2596.....	44
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	45
2.3.1 Prototipo generador de agua con celdas Peltier	45
2.3.2 Principios de Psicrometría:	45
2.3.3 Control PID aplicado a Sistemas Térmicos.....	46
2.3.4 Producción de Agua Atmosférica	46
2.3.5 Simulación Computacional del Sistema.....	46
2.3.6 Eficiencia Energética del Sistema	47
2.3.7 punto de rocío.....	47

CAPITULO III METODOLÓGICOS

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	48
3.2 AMBITO DE INVESTIGACIÓN	48
3.3 POBLACION Y MUESTRA	49
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	50
3.4.1écnicas de recolección de datos	50
3.5. RECOGIDA DE DATOS	50
3.5.1. diagrama de flujo de la totalidad del proyecto.....	50
3.5.2 Estudio	52



	13
3.5.2.1 Ubicación	52
3.5.2.2 Climatología del distrito de Juliaca	52
3.5.2.3 Temperatura	53
3.5.2.4 Humedad Específica y Humedad Relativa.....	54
3.5.2.5. Punto de Rocío	54
3.5.2.6 Efecto Peltier	55
3.5.2.7 Efecto Joule.....	57
3.5.3 cálculo y diseño.....	58
3.5.3.1 Cálculo del promedio de temperatura anual	58
3.5.3.2 Cálculo del promedio anual de humedad relativa.....	60
3.5.3.3 Fórmula de la Respuesta a un Escalón Unitario.....	63
3.5.3.4 Respuesta al Escalón Unitario.....	64
3.5.3.5 Calcular τ	65
3.5.3.6 Modelo Térmico con Entrada de Corriente.....	66
3.5.3.7 Transformada de Laplace.....	67
3.5.3.8 Representación del Sistema con una Función de Transferencia	67
3.5.3.9 Implementación de un Controlador PID	69
3.5.3.10 parámetros PID ajustados usando las reglas de Ziegler-Nichols.....	70
3.5.3.11 Implementación en Simulación	71
3.5.3.12 simulación proteus	72
3.7. desarrollo práctico	74
3.7.1 Infraestructura de Circuitos Implementada	74
3.7.2 Ensamblaje de los Sensores y Módulos	75
3.7.3 Estructura del Prototipo y Flujo Operativo.....	76
3.7.4 Prototipo terminado.....	77
3.7.5 diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo terminado.....	78
CAPÍTULO IV	
4.1 PRESENTACIÓN	80
4.1.1 Producción de Agua.....	80
4.1.2 Comportamiento del Sistema en el Punto de Rocío	81
4.1.3 Mediciones Realizadas	82
4.1.4 Eficiencia Energética.....	83



	14
4.1.5 Producción de Agua y Eficiencia Energética.....	84
4.1.6 Control de Temperatura	85
4.2. DISCUSIÓN	85
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA:	91

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	94
INSTRUMENTOS.....	95
VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.....	96
CÓDIGO EN MATLAB.....	97
CÓDIGO EN ARDUINO.....	99
ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO.....	102

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. efecto Peltier.	14
Figura 2. Diagra de un control PID.	16
Figura 3. Disipador de calor.	16
Figura 4. Ventilador cooler	17
Figura 5. Patillaje sensor DS18B20.....	18
Figura 6: patillaje del Arduino	18
Figura 7: patillaje de pantalla LCD.....	19
Figura 8: sensor de humedad.....	19
Figura 9: Software Matlab.	20
Figura 10: patillaje Mosfet IRLZ44N.	20
Figura 11: Fuente de Alimentación.....	21
Figura 12: Regulador de Voltaje LM2596	22
Figura.13: Diagrama de flujo del proyecto.....	25
Figura 14: Ubicación del distrito de Juliaca.	26



	15
Figura 15: climatología del distrito de Juliaca durante el año.....	27
Figura 16: Efecto peltier.	28
Figura 17: respuesta del sistema de celdas peltier con y sin control PID.....	39
Figura 18: respuesta del sistema con PID y sin PID.....	39
Figura 19:simulación proteus	40
Figura 20: celdas peltier con sus respectivos disipadores de calor.....	40
Figura 21: implementación de los componentes electrónicos.....	41
Figura 22: implementación de sensores.....	42
Figura 23: prototipo terminado.	42
Figura 24: Diagrama de flujo del prototipo.....	43
Figura 25: lectura de temperatura punto de rocío.	44
Figura 26: lectura de temperatura 63% de la temperatura deseada.	45

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: características Celda de Peltier..	15
Tabla 2: tabla climática del distrito de Juliaca durante el año	26
Tabla 3: promedio mensual de la temperatura	30
Tabla 4: promedio mensual de humedad relativa	31
Tabla 5: diferencia entre respuesta escalón unitario y respuesta general (enfriamiento /calentamiento).....	34
Tabla 6: cálculo de valores para PID.....	38
Tabla 7: análisis comparativo.....	39



RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad diseñar y desarrollar un prototipo generador de agua atmosférica, empleando celdas Peltier para uso doméstico en el distrito de Juliaca, una zona afectada por la escasez de agua potable. Esta problemática, relacionada con limitaciones en la infraestructura de distribución, motivó la búsqueda de soluciones tecnológicas autónomas y sostenibles.

El estudio se enmarca en una investigación aplicada con diseño experimental y enfoque cuantitativo. Se analizaron variables térmicas y ambientales locales, como temperatura, humedad relativa y punto de rocío, que influyen en el rendimiento del sistema.

El prototipo emplea un sistema de enfriamiento termoeléctrico mediante celdas Peltier, reguladas por un controlador PID, lo que permitió alcanzar condiciones óptimas de condensación. La metodología incluyó simulaciones en MATLAB y Proteus, así como la implementación física del sistema y pruebas experimentales en condiciones reales.

Los resultados evidencian una producción diaria promedio de 980 mL de agua, con un consumo energético moderado. Se concluye que el uso de tecnología termoeléctrica con control PID representa una alternativa eficaz y replicable para enfrentar la crisis hídrica en contextos rurales como Juliaca.

Palabras clave: generación de agua atmosférica, celdas Peltier, Juliaca, eficiencia energética, control PID, punto de rocío.



ABSTRACT

This research aimed to design and develop a prototype for atmospheric water generation using Peltier cells for domestic use in Juliaca, a region affected by drinking water scarcity. The lack of adequate distribution infrastructure has driven the need for autonomous and sustainable technological solutions.

The study is categorized as applied research with an experimental design and a quantitative approach. It analyzed thermal and environmental variables such as temperature, relative humidity, and dew point, which directly affect system performance.

The prototype uses thermoelectric cooling through Peltier cells, regulated by a PID controller, to achieve optimal condensation conditions. The methodology included MATLAB and Proteus simulations, physical implementation, and experimental testing under real environmental conditions.

Results indicate an average daily production of 980 mL of water with moderate energy consumption. It is concluded that thermoelectric technology with PID control is an effective and replicable alternative to address water scarcity in rural areas like Juliaca.

Keywords: atmospheric water generation, Peltier cells, Juliaca, energy efficiency, PID control, dew point.



INTRODUCCIÓN

El distrito de Juliaca enfrenta una creciente problemática de acceso a agua potable debido a limitaciones en infraestructura y condiciones climáticas adversas, como bajas temperaturas y escasa humedad relativa. Esta realidad afecta especialmente a zonas periurbanas, donde muchas familias carecen de un suministro hídrico confiable y seguro.

Ante ello, esta investigación plantea el diseño y desarrollo de un prototipo generador de agua atmosférica, utilizando celdas Peltier y controladores PID para inducir la condensación del vapor presente en el aire. La propuesta se orienta a ofrecer una solución tecnológica viable, de bajo consumo energético, adaptable a entornos domésticos.

El interés por este proyecto surge de la necesidad urgente de alternativas sostenibles frente a la escasez hídrica, respaldada por datos oficiales del INEI y la ANA. La tecnología propuesta busca aprovechar los recursos ambientales disponibles para generar agua de forma autónoma.

La metodología adoptada responde a un enfoque cuantitativo, con investigación de tipo aplicada y diseño experimental. Se analizaron las condiciones climatológicas de Juliaca, se modeló el sistema térmico mediante simulación, y se implementó un prototipo funcional para evaluar su rendimiento en condiciones reales.

Esta tesis tiene como finalidad validar una alternativa tecnológica que contribuya al acceso descentralizado al agua potable, ofreciendo una solución replicable para otras regiones con características similares.



CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El distrito de Juliaca, ubicado a más de 3800 msnm, presenta una geografía y climatología que dificultan el acceso continuo y confiable al agua, especialmente en zonas periurbanas. La baja disponibilidad de agua y la limitada infraestructura de distribución obligan a muchas familias a depender de pozos o sistemas alternativos, los cuales no siempre resultan sostenibles ni eficientes. En este contexto, surge la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan obtener agua de forma autónoma, utilizando recursos disponibles en el ambiente.

Una de estas soluciones es la generación de agua atmosférica, que consiste en capturar la humedad del aire y condensarla a través de sistemas de enfriamiento. Sin embargo, Juliaca presenta condiciones climáticas desafiantes como baja humedad relativa y temperaturas frías, lo que complica la eficiencia de estos sistemas. Por ello, es fundamental analizar el comportamiento térmico del proceso de condensación y desarrollar un sistema capaz de adaptarse a estas condiciones mediante tecnologías eficientes como las celdas Peltier y el uso de controladores PID.

El presente proyecto propone diseñar y desarrollar un prototipo que, a partir del estudio térmico y el control de temperatura, permita optimizar la generación de agua en las condiciones reales de Juliaca, contribuyendo así a una posible alternativa frente a la escasez hídrica.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta General

¿Cómo diseñar un prototipo generador de agua con celdas peltier, para uso doméstico en el distrito de Juliaca?

1.2.2 Preguntas Específicas

- ¿Cuál sería la eficiencia de producción de agua?
- ¿Cómo influye el comportamiento térmico del sistema de celdas Peltier en la eficiencia de producción de agua en el distrito de Juliaca?
- ¿Qué tipo de control se usará?

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Teórico

El presente proyecto se fundamenta en teorías de transferencia de calor, psicrometría y control automático, aplicadas a condiciones climáticas extremas. La baja temperatura y humedad relativa del aire en Juliaca exigen tecnologías con alta eficiencia térmica. Las celdas Peltier ofrecen una solución basada en el efecto termoeléctrico, que permite alcanzar el punto de rocío necesario para la condensación de agua. El uso de un control PID optimiza el comportamiento térmico del sistema, garantizando estabilidad operacional y eficiencia energética.

1.3.2 Practico

El desarrollo del prototipo se concretará a través de la construcción de un sistema físico basado en celdas Peltier, acompañado por sensores y controladores que permitan regular la temperatura y monitorear el



comportamiento del proceso de condensación. Las pruebas se realizarán bajo condiciones reales del distrito de Juliaca, caracterizadas por baja humedad y temperatura variable, para analizar el desempeño térmico y la eficiencia del sistema. Asimismo, se prioriza el uso de materiales accesibles y una estructura de fácil mantenimiento, con miras a una futura implementación doméstica.

1.3.3 Metodológico

La propuesta se sustenta en un análisis previo de las condiciones climatológicas del distrito de Juliaca, particularmente en lo que respecta a temperatura promedio, humedad relativa y punto de rocío, parámetros esenciales para el diseño térmico del sistema. Se adopta una metodología de desarrollo iterativo, que comprende fases de diseño, simulación, implementación y validación del prototipo. Este enfoque permite realizar ajustes progresivos, optimizando el control térmico mediante PID y mejorando la eficiencia de condensación en escenarios reales.

1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar un prototipo generador de agua, para ayudar a las familias del distrito de Juliaca.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Generar suficiente agua para ayudar al abastecimiento de una familia promedio.



- Analizar el comportamiento térmico del sistema de condensación mediante celdas Peltier para optimizar la producción de agua en condiciones reales del distrito de Juliaca.
- Utilizar control PID para el diseño de nuestro proyecto.

1.5 IMPORTANCIA

La presente investigación reviste importancia tanto tecnológica como social. En el plano tecnológico, propone una solución innovadora para la generación de agua mediante condensación atmosférica, integrando celdas Peltier y control PID, elementos que permiten optimizar el proceso de enfriamiento con bajo consumo energético. Este enfoque contribuye al desarrollo de sistemas sustentables y eficientes en contextos con recursos hídricos limitados.

Desde una perspectiva social, el estudio busca mejorar la calidad de vida de poblaciones vulnerables, como las del distrito de Juliaca, donde el acceso a agua potable es limitado. La implementación del prototipo diseñado podría representar una alternativa viable para el abastecimiento hídrico doméstico en zonas rurales o periurbanas, promoviendo así el derecho básico al agua y fortaleciendo la resiliencia frente a la crisis hídrica.

1.6 LIMITACIONES

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la variabilidad climática del distrito de Juliaca, especialmente en lo que respecta a la humedad relativa y temperatura ambiente, factores que condicionan la eficiencia del sistema de condensación.

Asimismo, el prototipo fue evaluado en condiciones experimentales controladas, por lo que su rendimiento podría variar en aplicaciones prolongadas o



escenarios diferentes a los contemplados inicialmente. También se restringió el uso de tecnologías más avanzadas por limitaciones presupuestarias, optando por componentes accesibles para garantizar la replicabilidad del diseño

1.7 HIPOTESIS

1.7.1 Hipótesis General

El prototipo genera al menos 1 litro de agua atmosférica por día, contribuyendo de manera directa al abastecimiento doméstico básico de agua en viviendas del distrito de Juliaca bajo condiciones ambientales reales.

1.7.2 Hipótesis Específicas

- El prototipo logra condensar vapor de agua del aire en volúmenes suficientes para contribuir al abastecimiento básico en condiciones reales del distrito de Juliaca.
- Un adecuado control del comportamiento térmico del sistema de celdas Peltier mejora significativamente la eficiencia en la producción de agua bajo las condiciones climáticas del distrito de Juliaca.
- El diseño del prototipo y su control PID pueden ser realizados eficazmente en función del estudio climático del distrito de Juliaca.

1.8 OPERACIONALIZACIÓN



1.8.1 operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Prototipo generador de agua con celdas Peltier (variable independiente)	- Diseño térmico - Control PID - Condiciones climáticas de prueba	- Temperatura alcanzada - Tiempo al punto de rocío - Estabilidad térmica	Sensor DS18B20 Arduino Software MATLAB
Producción de agua atmosférica (variable dependiente)	- Volumen de condensación - Eficiencia energética	- Litros/mL de agua/día - Watts/Litro	Recipiente de recolección Multímetro Registro manual



CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Pajarón (2020) desarrolló *Diseño y cálculo de un dispositivo para la obtención de agua potable por condensación*, en la tesis se desarrolló un diseño teórico de un sistema generador de agua potable utilizando el principio de condensación térmica, alimentado por energía solar térmica y eléctrica. El objetivo de su propuesta fue cubrir la demanda diaria de agua para una familia promedio en zonas rurales, mediante un sistema que operara de forma autónoma y sostenible. La tecnología base empleada fue un ciclo de absorción que utilizaba bromuro de litio como fluido de trabajo, una solución común en sistemas de refrigeración química que se activan por fuentes de calor externas. Para el dimensionamiento, también se realizó una serie de cálculos termodinámicos, seleccionando una combinación de paneles solares térmicos y una fuente secundaria de combustión para alcanzar la potencia frigorífica necesaria. En condiciones óptimas, el sistema fue capaz de producir entre 20 y 24 litros de agua en 12 horas, superando en un 9.12% la meta estimada de producción. Si bien el prototipo no fue fabricado físicamente, los resultados de simulación validaron la viabilidad del diseño desde el punto de vista energético y operativo. Aunque la tecnología propuesta difiere de la planteada en esta tesis (ya que esta investigación se utiliza el efecto Peltier y sistemas de control PID para inducir la condensación) el trabajo de Pajarón resulta relevante como



antecedente temático, ya que respalda la posibilidad de extraer agua atmosférica mediante procesos de enfriamiento controlado. Su enfoque contribuye al cuerpo de conocimientos en torno a soluciones alternativas de abastecimiento hídrico, particularmente en contextos donde las fuentes tradicionales son insuficientes o contaminadas. (Pajarón, 2020)

AirOWater (2021) es una empresa social que ofrece una solución innovadora para la escasez de agua potable. La empresa *ha* desarrollado un generador de agua atmosférica que puede producir agua potable del aire, incluso en zonas áridas. Tecnología: El generador de agua atmosférica de AirOWater utiliza un proceso de tres etapas para producir agua potable: Captación de aire: El aire se aspira al generador mediante un ventilador. Enfriamiento: El aire se enfría a una temperatura por debajo del punto de rocío. Condensación: El vapor de agua del aire se condensa en agua líquida. Sostenibilidad: El generador de agua atmosférica de AirOWater no requiere agua dulce ni energía de la red eléctrica. Funciona con energía solar, lo que la convierte en una solución sostenible a la escasez de agua. Accesibilidad: El generador de agua atmosférica de AirOWater es una solución modular y escalable que se puede adaptar a las necesidades de diferentes comunidades. (Syariah & Ilmu, 2021)

Según Moreno Ortiz & García Romero (2022) desarrollaron *prototipo generador de agua con celdas de peltier*, este proyecto consistió en el diseño de un sistema generador de agua atmosférica que empleaba



celdas Peltier alimentadas por energía solar fotovoltaica. El objetivo fue evaluar la eficiencia del sistema en condiciones de humedad moderada, especialmente en zonas semisecas. Las celdas Peltier eran controladas mediante sensores para activar la condensación cuando se alcanzaban las condiciones adecuadas (baja temperatura y humedad relativa alta). Se construyó un prototipo funcional que logró condensar pequeñas cantidades de agua, demostrando que es posible aplicar tecnologías termoeléctricas a la captación de agua del aire. Este trabajo se relaciona directamente con la presente tesis, ya que también explora el uso de Peltier, aunque no incorpora controladores PID ni modelado térmico detallado como el que se plantea en este estudio (Moreno Ortiz & García Romero, 2022).

La Organización mundial de la salud (2021) Según reportes recientes, más de 2000 millones de personas en el mundo vivían en países afectados por escasez de agua, una problemática que se ha visto intensificada por el cambio climático, el crecimiento poblacional y la urbanización acelerada. Además, al menos 1700 millones de personas consumían agua contaminada con materia fecal, lo que representa un alto riesgo para la salud pública por la presencia de patógenos microbianos y contaminantes químicos como arsénico, fluoruros, nitratos, pesticidas, microplásticos y residuos farmacéuticos. Esta crisis hídrica global contribuye significativamente a la propagación de enfermedades infecciosas como la cólera, fiebre tifoidea, disentería y poliomielitis, y provoca alrededor de 505,000 muertes anuales por enfermedades



diarreicas. En contraste, la OMS también informó que para el año 2022, aproximadamente el 73% de la población mundial (alrededor de 6000 millones de personas) tenía acceso a un servicio de agua potable gestionado de manera segura, es decir, disponible en el lugar de uso, en el momento necesario y sin contaminantes. Este antecedente internacional es altamente relevante para la presente investigación, ya que sustenta la urgencia de desarrollar tecnologías descentralizadas, accesibles y sostenibles para la generación autónoma de agua potable, como el prototipo basado en celdas Peltier que se propone en este proyecto, especialmente dirigido a zonas rurales como el distrito de Juliaca, donde los problemas de calidad y disponibilidad del agua son críticos (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Bernal (2021) desarrollo un *estudio de factibilidad de un sistema de generación atmosférico de agua potable para los habitantes de la vereda paramo en el municipio de pulí, departamento de Cundinamarca del país de Colombia*, en esta tesis se desarrolló un estudio de factibilidad enfocado en implementar un sistema de generación de agua potable atmosférica en la vereda Paramón, ubicada en Pulí, Cundinamarca (Colombia). Su trabajo respondió a la necesidad urgente de abastecimiento hídrico en comunidades rurales, proponiendo un sistema adaptativo que capta la humedad del aire. El proyecto fue estructurado en seis etapas, desde el análisis climático hasta la instalación de una unidad de generación tipo "aquator" dentro de un depósito, donde el agua recolectada podía almacenarse. Aunque no se centró en tecnologías



electrónicas ni automatizadas, esta tesis es relevante para la presente investigación porque demuestra la viabilidad práctica de generar agua en contextos rurales mediante la captación atmosférica (Bernal, 2021).

Eduardo (2021) propuso el diseño de un generador de agua atmosférica utilizando un ciclo de compresión mecánica, con el objetivo de extraer humedad del aire para convertirla en agua potable, especialmente en zonas remotas con escasez de recursos. El sistema funcionaba enfriando una corriente de aire hasta alcanzar el punto de rocío, facilitando así la condensación del vapor de agua en una superficie metálica colectora. Para garantizar la autonomía del dispositivo, se incorporó un sistema de suministro energético autosuficiente, lo que le otorgaba viabilidad en regiones sin acceso a energía eléctrica convencional. El diseño incluyó cálculos térmicos y estructurales orientados a optimizar el ciclo de refrigeración y su integración en un entorno físico real. Aunque no utilizó tecnología termoeléctrica como en esta tesis, su enfoque ofrece una alternativa técnica importante dentro del campo de soluciones para el acceso descentralizado al agua potable. La presente investigación comparte la meta de producir agua desde la atmósfera, pero con un enfoque más eficiente en consumo energético al emplear celdas Peltier y control PID para gestionar dinámicamente la temperatura y mejorar el proceso de condensación. (Eduardo, 2021)

Olivas (2021) desarrolló *Aprovechamiento de la humedad atmosférica como fuente no convencional de agua para uso doméstico*, desarrolló un prototipo funcional de generación de agua atmosférica mediante un



sistema pasivo construido con materiales como poliestireno expandido y tubos capilares de cobre, soldados con aleación de plata. Su estructura estaba diseñada para modificar las propiedades del aire en su interior (temperatura y humedad relativa) con el fin de inducir la condensación del vapor de agua. El prototipo contaba con un ventilador interno y sensores electrónicos que monitoreaban las variables clave del entorno. Los datos se analizaban en una consola de control para estudiar la dinámica del sistema. La metodología fue predominantemente experimental y mecánica, basada en pruebas físicas que validaron el principio de operación. Si bien el enfoque fue principalmente pasivo y no incorporó sistemas avanzados de control o automatización, el estudio representa una base sólida en el aprovechamiento de la humedad ambiental como fuente alternativa de agua. Comparado con el presente proyecto, el trabajo de Olivas ofrece una visión preliminar, que aquí se extiende al integrar automatización mediante controladores PID y una gestión térmica optimizada con celdas Peltier. (Olivas, 2021)

2.1.2 Antecedentes nacionales

Gonzales (2020) diseñó *Sistema de refrigeración con efecto Peltier y superficies extendidas para enfriamiento sensible de aire*, una tesis centrada en el diseño de un sistema de refrigeración mediante el uso de celdas Peltier y superficies extendidas para el enfriamiento de aire. Su objetivo fue dimensionar un sistema capaz de manejar una carga térmica de 100 W, utilizando como componente principal una celda Peltier comercial (TEC1-24126), fabricada con termopares de telururo de



bismuto. El diseño contempló el análisis detallado de las resistencias térmicas presentes en el sistema: de contacto, de propagación y en la superficie extendida. Utilizando el software Engineering Equation Solver (EES), determinó que la resistencia térmica predominante correspondía a la superficie extendida (83%). Este estudio es particularmente relevante para el presente trabajo, ya que proporciona información clave sobre cómo optimizar la disipación de calor en sistemas termoeléctricos. Aunque el enfoque de Gonzales se centró en la refrigeración de aire, su metodología y resultados son aplicables al diseño del sistema de condensación de agua propuesto en esta tesis, especialmente en lo referente a la eficiencia térmica y selección de materiales. (Gonzales, 2020)

Isidro y Cisneros Tejeira (2022) desarrollaron *Sistema de generación de agua potable mediante condensación del aire atmosférico*, diseñaron, implementaron y evaluaron un prototipo funcional de generación de agua potable mediante la condensación de humedad atmosférica, usando como base tecnológica celdas Peltier. El proyecto se desarrolló en la ciudad de Huacho, adaptado a las condiciones climáticas locales, caracterizadas por una temperatura promedio moderada y alta humedad relativa. El sistema fue concebido para operar de forma autónoma, utilizando un controlador basado en Arduino Mega, que gestionaba el encendido y apagado de las celdas en función de las condiciones ambientales y requerimientos energéticos del dispositivo. El prototipo fue sometido a una fase experimental de un mes, durante la cual se



recolectaron datos de rendimiento térmico, producción de agua y consumo energético. Los resultados indicaron una producción total acumulada de 7,148.90 mL de agua, con una tasa de recolección diaria variable según las condiciones del entorno. Las mediciones ambientales arrojaron una temperatura media de 16.32 °C, una humedad relativa promedio del 81.97% y un punto de rocío de 13.22 °C, condiciones favorables para la operación del sistema. El equipo operó con una corriente ideal de 3 amperios, lo que garantizó un rendimiento térmico adecuado sin sobrecargar el módulo Peltier. Esta tesis constituye un antecedente altamente relevante para la presente investigación, ya que demuestra empíricamente la viabilidad de generar agua atmosférica mediante módulos termoeléctricos en zonas costeras del Perú. Además, integra componentes de automatización y control electrónico similares a los planteados en esta tesis, aunque adaptados a condiciones geográficas distintas. El enfoque metodológico, centrado en la adaptación climática del sistema y la optimización energética, proporciona una base técnica útil para el desarrollo de sistemas más avanzados y eficientes como el que se propone para el distrito de Juliaca. (Isidro & Cisneros Tejeira, 2022)

2.1.3 Antecedentes locales

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020), reporto que el 17.4% de la población de Juliaca no tiene acceso a agua potable segura. La tecnología que ayuda a solucionar este problema debe ser eficiente en el consumo de energía para ser sostenible. En base a este



antecedente, se puede concluir que existe una necesidad de desarrollar un prototipo generador de agua con celdas Peltier que sea eficiente, accesible y sostenible para la población de Juliaca (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2020).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2024) informó que en Perú cerca del 40% de la población nacional no tiene acceso a agua potable segura. Esta situación se agrava en la región Puno, donde el 52% de los habitantes enfrenta dificultades de acceso al recurso hídrico, especialmente en zonas periurbanas como Juliaca. Estos datos reflejan una problemática estructural de infraestructura y distribución del agua que no ha sido resuelta, pese a los esfuerzos institucionales. Este antecedente respalda directamente la justificación del presente estudio, que propone una solución tecnológica descentralizada y sostenible basada en el uso de celdas Peltier para generar agua atmosférica en condiciones climáticas adversas. El desarrollo de este tipo de tecnologías cobra especial importancia para atender la demanda en comunidades que aún carecen de servicios básicos seguros (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2024).

2.2 BASES TEÓRICAS

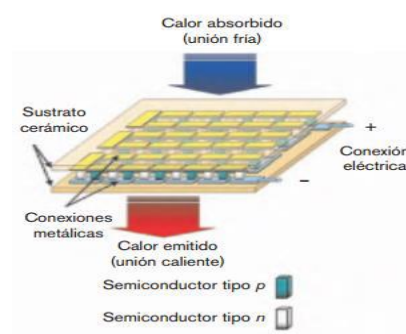
2.2.1 celdas peltier

Las celdas Peltier son dispositivos termoeléctricos de estado sólido que operan bajo el principio del efecto Peltier. Al aplicar corriente continua, se genera una transferencia de calor entre sus caras, lo cual permite enfriar una superficie mientras se calienta la otra. Estas celdas, generalmente

construidas con materiales semiconductores como el telururo de bismuto, son ampliamente utilizadas en sistemas de refrigeración compactos y de bajo consumo energético, representando una solución viable para aplicaciones de condensación atmosférica en contextos de recursos limitados.(Chávez et al., 2019)

Figura 1

Módulo Peltier utilizado en sistemas de refrigeración termoeléctrica



Nota. Tomado de *Peltier Thermoelectric Cooler Module User Guide*, por Adafruit Industries, 2022. <https://learn.adafruit.com/peltier-element-guide>

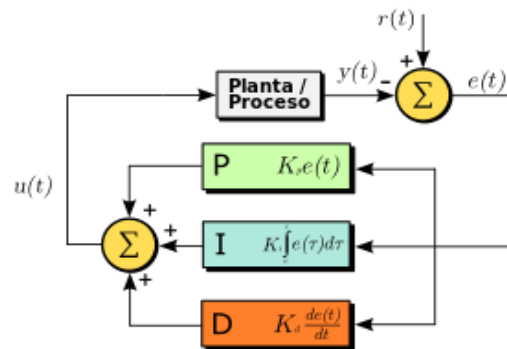
2.2.2 control PID

El controlador PID (Proporcional–Integral–Derivativo) es una técnica de control retroalimentado ampliamente utilizada en automatización industrial. Su función es minimizar el error entre una variable de referencia y el valor real del sistema mediante tres acciones correctivas:

proporcional (basada en el error actual), integral (basada en la acumulación histórica del error) y derivativa (proyectando la tendencia futura del error). Este tipo de control es clave para lograr estabilidad térmica en procesos dinámicos como el control de temperatura en sistemas de enfriamiento por celdas Peltier. Está compuesta por las siguientes partes:(Ogata et al., 2010)

Figura 2

Diagrama funcional de un sistema de control PID



Nota. Tomado de *Automatic Control Systems*, por Ogata, K., 2010.

<https://example.com/ogata-control>

2.2.3 disipadores de Calor

Los disipadores térmicos son componentes pasivos utilizados para mejorar la transferencia de calor desde superficies calientes hacia el entorno. Están fabricados principalmente en materiales con alta conductividad térmica como aluminio o cobre, y actúan aumentando el área superficial disponible para disipar calor, muchas veces complementados con ventiladores. En sistemas con celdas Peltier, son esenciales para mantener el lado caliente dentro de límites térmicos

seguros, favoreciendo así un gradiente térmico efectivo para la condensación..(Smith, 2021)

Figura 3

Disipador de calor utilizado para la transferencia térmica del módulo Peltier.



Nota. Tomado de *Peltier Thermoelectric Cooler Module User Guide*, por Adafruit Industries, 2022. <https://learn.adafruit.com/peltier-element-guide>

2.2.4 ventilador cooler

El ventilador cooler es un dispositivo electromecánico utilizado para forzar el flujo de aire sobre superficies calientes, mejorando así la disipación térmica por convección. Comúnmente incorporado en sistemas de enfriamiento electrónico, su funcionamiento se basa en un motor eléctrico que impulsa aspas para generar un flujo de aire continuo. En aplicaciones como el control térmico de celdas Peltier, estos ventiladores permiten mantener eficiente el intercambio de calor en el lado caliente, asegurando un rendimiento óptimo del sistema.(Li & Chen, 2020)

Características Técnicas de un Ventilador Cooler

- Voltaje de operación: 5V, 12V o 24V
- Flujo de aire: Medido en CFM (pies cúbicos por minuto)
- Nivel de ruido: Medido en dB (decibeles)

- Tipo de rodamientos: Cojinetes de bola o de buje

Figura 4

Ventilador cooler utilizado para la disipación activa del calor en sistemas termoeléctricos.



Nota. Tomado de *DC Brushless Fan Specifications*, por Adafruit Industries, 2022. <https://learn.adafruit.com>

2.2.5 sensor de temperatura DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura altamente preciso y ampliamente utilizado en sistemas de control embebidos. Su encapsulado TO-92 lo hace físicamente similar a un transistor, facilitando su instalación en entornos experimentales. Este sensor opera bajo el protocolo digital 1-Wire, lo que permite conectar múltiples sensores en un solo pin de datos del microcontrolador, simplificando el cableado.

El DS18B20 proporciona una resolución de hasta 12 bits y puede medir temperaturas en un rango de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, con una precisión típica de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en el intervalo de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$. A diferencia del LM35, que entrega una señal analógica proporcional a la temperatura, el DS18B20 envía directamente lecturas digitales, eliminando la necesidad de conversión analógica-digital y reduciendo el margen de error. (Texas Instruments [TI], 2023)

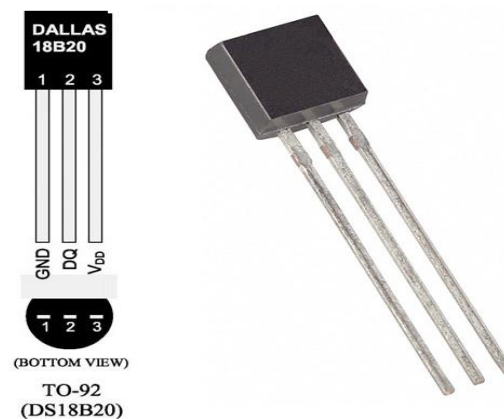
En este proyecto, el DS18B20 permite monitorear con alta precisión la temperatura del lado frío de las celdas Peltier, lo cual es fundamental para alcanzar el punto de rocío y maximizar la eficiencia del proceso de condensación. (Texas Instruments [TI], 2023)

Características Técnicas del LM35

- Rango de medición: -55°C a 150°C
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (a 25°C)
- Voltaje de operación: 4V a 30V
- Corriente de operación: $60\ \mu\text{A}$
- Salida lineal: $10\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$

Figura 5

Distribución de pines del sensor de temperatura DS18B20.



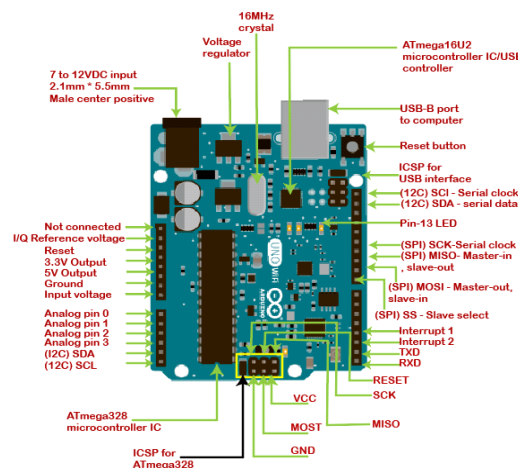
Nota. Tomado de *Medida de temperaturas con Arduino y DS18B20*, por Turibot, 2020. <https://www.turibot.es/blog/index.php/2020/02/16/medida-de-temperaturas-con-arduino-y-DS18B20/>

2.2.6 microcontrolador Arduino uno

El Arduino Uno es una plataforma de hardware libre basada en un microcontrolador ATmega328P. Su diseño abierto y entorno de programación intuitivo (IDE Arduino) lo convierten en una herramienta accesible para prototipado rápido y control de sistemas electrónicos. En este proyecto, actúa como el núcleo del sistema automatizado, coordinando la lectura de sensores, la visualización en pantalla y el accionamiento de dispositivos de potencia como el mosfet y las celdas Peltier. (Baeza & Pomares, 2020)

Figura 6

Diagrama de conexión de pines del microcontrolador Arduino.



Nota. Tomado de *Fundamentos de programación con Arduino*, por Baeza, F., & Pomares, R., 2020.

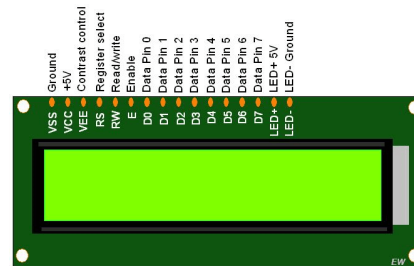
2.2.7 pantalla LCD

Las pantallas LCD (Liquid Crystal Display) permiten visualizar datos de manera alfanumérica en sistemas embebidos. Utilizadas comúnmente en entornos con microcontroladores, estas pantallas de bajo consumo muestran parámetros como temperatura, humedad o estado del sistema

en tiempo real. En este trabajo se emplea una pantalla LCD de tipo 16x2, adecuada para mostrar información crítica del funcionamiento del prototipo sin requerir interfaces gráficas complejas. (De Oliveira, 2018)

Figura 7

Distribución de pines de conexión para pantalla LCD de 16x2.



Nota. Tomado de *Projeto de um sistema de resfriamento termoelétrico utilizando módulo Peltier*, por De Oliveira, M. R., 2018.

<https://hdl.handle.net/1884/6263>

2.2.8 sensor de humedad DHT11

El DHT11 es un sensor digital que mide temperatura y humedad relativa del aire. Utiliza un termistor y un sensor capacitivo para generar lecturas precisas, enviadas mediante una señal digital de un solo hilo, lo que simplifica su integración. En este proyecto, se emplea para monitorear el nivel de humedad ambiental, un parámetro crucial en la eficiencia de los sistemas de condensación atmosférica basados en el punto de rocío. (Industries, 2022)

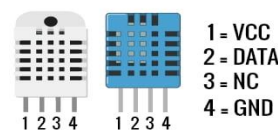
Características Técnicas del DHT11

- Rango de medición de humedad: 20% – 90% HR (Humedad Relativa).
- Precisión de humedad: $\pm 5\%$.

- Rango de medición de temperatura: $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$.
- Precisión de temperatura: $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Voltaje de operación: $3\text{V} - 5.5\text{V}$.
- Frecuencia de muestreo: 1 vez por segundo (1 Hz).

Figura 8

Sensor de humedad utilizado para el monitoreo ambiental del sistema.



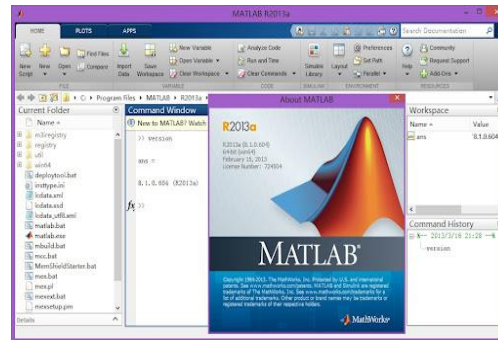
Nota. Tomado de *Peltier Thermoelectric Cooler Module User Guide*, por Adafruit Industries, 2022. <https://learn.adafruit.com/peltier-element-guide>

2.2.9 Software Matlab

MATLAB es un entorno de programación y cálculo numérico ampliamente utilizado en ingeniería para modelar y simular sistemas dinámicos. En esta tesis, se emplea para desarrollar y analizar el comportamiento térmico del sistema de condensación controlado mediante PID, permitiendo visualizar su respuesta temporal, ajustar parámetros de control y validar el diseño antes de la implementación física. (Ogata et al., 2010)

Figura 9

Interfaz del software MATLAB utilizada para el procesamiento de datos del sistema.



Nota. Tomado de *MATLAB R2023a*, por MathWorks, 2023.

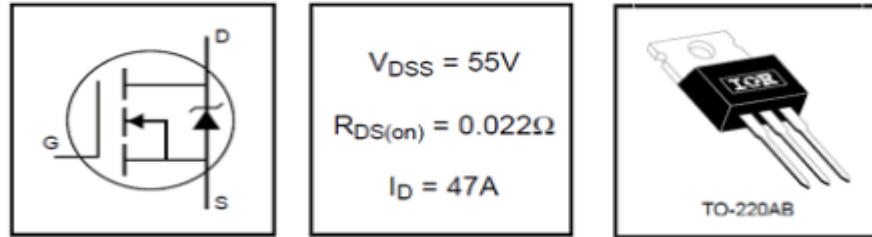
<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

2.2.10 mosfet IRLZ44N

El IRLZ44N es un transistor de efecto de campo de tipo MOSFET canal N diseñado específicamente para aplicaciones de conmutación y control de potencia. Este componente es parte de la familia de MOSFETs de potencia de tecnología de baja tensión de umbral (logic-level), lo que permite que sea controlado directamente por circuitos lógicos como microcontroladores, operando con tensiones de compuerta tan bajas como 5V. (Electronics, 2023)

Figura 10

Patillaje del transistor MOSFET IRLZ44N utilizado para el control de potencia en el sistema.



Nota. Tomado de *IRLZ44N MOSFET Datasheet*, por Vishay Siliconix, 2022. <https://www.vishay.com/docs/91328/sihfz44n.pdf>

2.2.11 Fuente de Alimentación 220V/12V-10A

Una fuente de alimentación de 220V a 12V con capacidad de 10A es fundamental para proveer corriente continua estable a todos los componentes del sistema. Esta fuente convierte la tensión alterna de red en una señal continua regulada, capaz de alimentar celdas Peltier, ventiladores, sensores y microcontroladores, garantizando una operación segura y eficiente. (González, 2022)

Características Técnicas:

- Voltaje de entrada: 220V AC
- Voltaje de salida: 12V DC
- Corriente máxima de salida: 10A
- Protección: Contra cortocircuito, sobrecorriente y sobretensión.
- Eficiencia: 85% – 90%

Figura 11

Fuente de alimentación de 12V-10A utilizada en el sistema de control.



Nota. Tomado de *Fuente de alimentación 12V 10A*, DimaxTech, 2022.

<https://dimaxtech.com/index.php/producto/fuente-de-alimentacion-12v-10a/>

2.2.12 Regulador de Voltaje LM2596

El LM2596 es un regulador de voltaje tipo “buck” (reductor), que ajusta una señal de entrada continua a un nivel de salida más bajo y estable. Gracias a su alta eficiencia energética y capacidad de corriente de hasta 3A, se utiliza para alimentar dispositivos sensibles como sensores y módulos electrónicos, protegiéndolos frente a variaciones en el suministro.(Instruments, 2023b)

Características Técnicas:

- Voltaje de entrada: 4V – 35V DC
- Voltaje de salida: 1.25V – 30V DC (ajustable)
- Corriente máxima de salida: 3A
- Frecuencia de conmutación: 150 kHz
- Eficiencia: Hasta 92%
- Protección: Contra sobrecorriente y sobrecalentamiento

Figura 12

Módulo regulador de voltaje ajustable LM2596 DC-DC Step Down.



Nota. Tomado de *Módulo regulador ajustable LM2596 DC-DC*, Uelectronics, 2022. <https://uelectronics.com/producto/modulo-regulador-ajustable-lm2596-dc-dc-step-down-3a-1-25-30v/>

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Prototipo generador de agua con celdas Peltier

Se refiere a un sistema físico-electrónico diseñado para condensar la humedad del aire y transformarla en agua líquida, utilizando el efecto Peltier como mecanismo de enfriamiento. Este prototipo está compuesto por módulos termoelectrónicos, sensores ambientales, controladores electrónicos y sistemas de disipación de calor. Su finalidad es reproducir condiciones de temperatura que permitan alcanzar el punto de rocío necesario para la condensación del vapor atmosférico.

2.3.2 Principios de Psicrometría:

La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades del aire húmedo y sus interacciones térmicas. Es fundamental para calcular el punto de rocío, es decir, la temperatura a la que el vapor de agua presente en el aire comienza a condensarse. Este valor depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. En el presente proyecto, la psicrometría permite determinar cuándo activar las celdas Peltier y cuándo el sistema



puede generar agua atmosférica de manera eficiente, especialmente bajo las condiciones climáticas específicas del distrito de Juliaca.

2.3.3 Control PID aplicado a Sistemas Térmicos

El control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es un algoritmo de control automático que permite regular una variable de proceso (en este caso, la temperatura del sistema de condensación). Su implementación permite mantener estable la temperatura de las celdas Peltier en torno al punto de rocío, corrigiendo errores con base en su magnitud, historial y tendencia. Esta estabilidad térmica es crucial para maximizar la eficiencia del sistema y reducir el consumo energético. En este proyecto, el PID se programó en un microcontrolador para controlar la activación de las celdas Peltier y ventiladores.

2.3.4 Producción de Agua Atmosférica

La producción de agua atmosférica se refiere a la obtención de agua a partir del vapor presente en el aire, mediante procesos de condensación. Este método representa una alternativa sostenible frente a la escasez hídrica en zonas con acceso limitado a fuentes tradicionales de agua. A través de un sistema de enfriamiento controlado, como el desarrollado en este proyecto, es posible capturar la humedad ambiental y convertirla en agua líquida utilizable para fines domésticos no potables.

2.3.5 Simulación Computacional del Sistema

El uso de herramientas de simulación, como MATLAB y Proteus, permite modelar y validar el comportamiento térmico del sistema antes de su



implementación física. Mediante estas plataformas, fue posible ajustar los parámetros del controlador PID, simular la respuesta temporal del sistema ante cambios de temperatura y predecir su eficiencia. Estas simulaciones facilitaron la optimización del diseño y minimizaron errores en el desarrollo físico del prototipo.

2.3.6 Eficiencia Energética del Sistema

La eficiencia energética en sistemas de condensación se refiere a la cantidad de energía consumida por unidad de agua generada. Es un parámetro esencial para determinar la viabilidad técnica y económica del dispositivo, especialmente en contextos donde los recursos son limitados. En este trabajo, se evalúa la eficiencia en función del consumo eléctrico, la cantidad de agua condensada y el tiempo requerido para alcanzar condiciones óptimas, buscando un equilibrio entre rendimiento y sostenibilidad.

2.3.7 punto de roció

Es la temperatura a la que el aire debe enfriarse para que el vapor de agua comience a condensarse. Este valor es fundamental en el diseño del prototipo, ya que el objetivo térmico del sistema es alcanzar dicha temperatura en el menor tiempo posible, garantizando así una producción eficiente de agua.



CAPITULO III

METODOLÓGICOS

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se enmarca en el tipo aplicado, ya que busca ofrecer una solución práctica y funcional frente a la problemática del acceso limitado al agua potable en el distrito de Juliaca, mediante el diseño y desarrollo de un prototipo generador de agua atmosférica. Su diseño es preexperimental, puesto que se validó el rendimiento de un sistema térmico en un solo grupo sin grupo de control, evaluando la eficiencia del prototipo bajo condiciones reales. El enfoque es cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos, como temperatura, humedad, tiempo de condensación, consumo energético y volumen de agua producido, lo cual permite medir de manera objetiva el comportamiento del sistema. Finalmente, el método de investigación es experimental, dado que se manipula la variable independiente (el prototipo) para observar sus efectos sobre la variable dependiente (producción de agua atmosférica), permitiendo validar la hipótesis planteada mediante pruebas sistemáticas y mediciones repetibles.

3.2 AMBITO DE INVESTIGACIÓN

El ámbito de la presente investigación es tecnológico y geográfico. En el plano tecnológico, se orienta al diseño, construcción y validación de un prototipo generador de agua atmosférica mediante celdas Peltier y controladores PID, integrando conocimientos de ingeniería electrónica, termodinámica y control automático. En el plano geográfico, el estudio se desarrolló en el distrito de



Juliaca, provincia de San Román, región Puno, Perú, una zona caracterizada por su altitud, clima frío y baja humedad relativa, condiciones que influyen directamente en el comportamiento del sistema. El entorno climático de Juliaca representa un escenario desafiante para la producción de agua atmosférica, por lo que el desarrollo del prototipo se orientó específicamente a operar bajo estas condiciones adversas. La elección de este contexto responde a la necesidad local de alternativas de abastecimiento hídrico y permite evaluar la aplicabilidad real del sistema en comunidades que enfrentan escasez de agua potable.

3.3 POBLACION Y MUESTRA

Dado que la presente investigación corresponde a un diseño preexperimental y está centrada en la validación de un prototipo tecnológico, no se trabajó con una población humana en sentido tradicional. En su lugar, la "población" se entiende como el conjunto de condiciones ambientales relevantes para el funcionamiento del sistema, tales como temperatura, humedad relativa y altitud atmosférica. La "muestra" corresponde a los datos registrados durante las pruebas experimentales realizadas en el distrito de Juliaca, en escenarios controlados y naturales, donde se evaluó el desempeño del prototipo en diferentes momentos del día y bajo distintas condiciones climáticas. Estas mediciones permitieron determinar la cantidad de agua producida, la eficiencia energética y la estabilidad térmica del sistema, constituyendo la base empírica para validar los objetivos planteados.



3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

3.4.1 técnicas de recolección de datos

- Análisis documental
- Simulación computacional
- Diseño experimental y calculo matemático
- Observación estructurada

3.4.2 instrumentos de recolección de datos

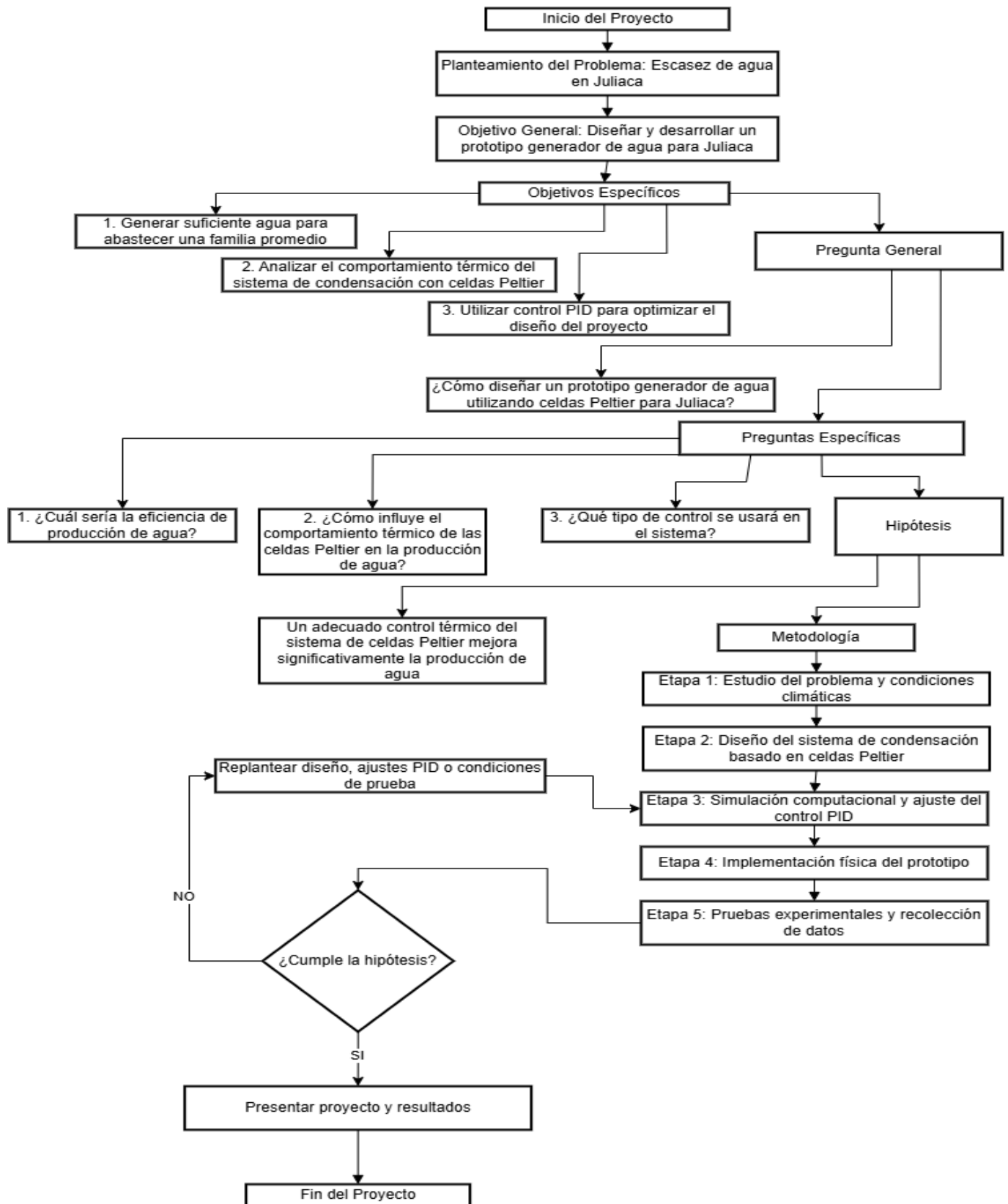
- Sensor de humedad DHT22: para medir la humedad relativa del entorno.
- Sensor de temperatura DS18B20: para registrar la temperatura ambiental y del sistema durante las pruebas.
- Cronómetro digital: para controlar el tiempo operativo del prototipo.
- Vaso medidor graduado: para cuantificar el volumen de agua producida.
- Bitácora de observación: para registrar manualmente los datos de cada prueba.
- termómetro industrial: para xcomparar la temp'eratura medida en el sistema con la del termometro y también saber la temperatura de la celdas peltier.

3.5. RECOGIDA DE DATOS

3.5.1. diagrama de flujo de la totalidad del proyecto

Figura 13

Diagrama de flujo general del desarrollo del proyecto.



Nota. Elaboración propia.

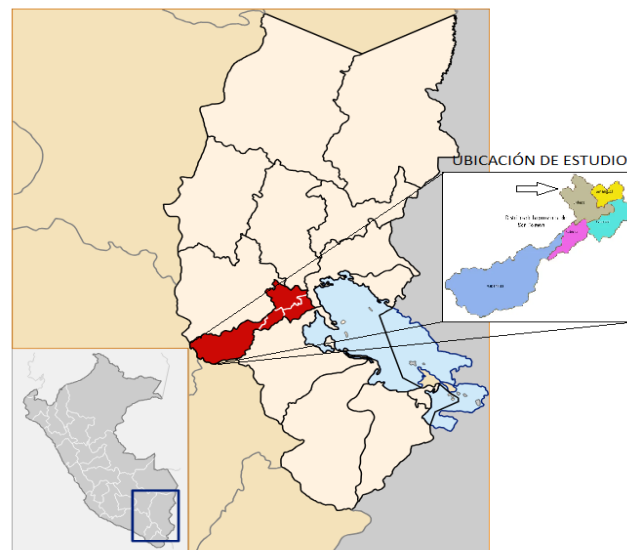
3.5.2 Estudio

3.5.2.1 Ubicación

El proyecto se desarrolla en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, en el departamento de Puno, Perú. Juliaca se sitúa a una altitud aproximada de 3,824 metros sobre el nivel del mar, característica geográfica que influye notablemente en sus condiciones climáticas, especialmente en la temperatura ambiente y la humedad relativa, factores esenciales para el diseño del sistema de condensación atmosférica.

Figura 14

Ubicación geográfica del distrito de Juliaca, Perú.



Nota. Elaboración propia.

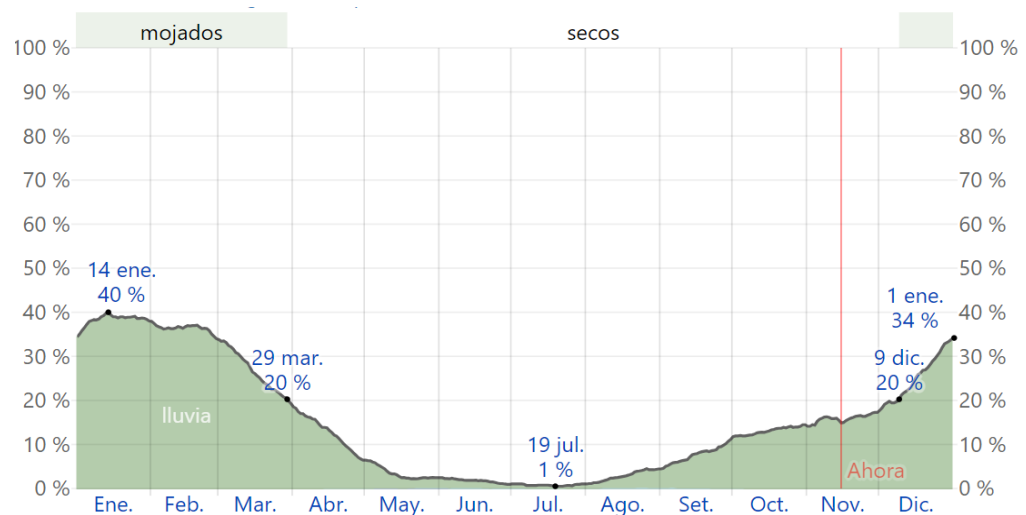
3.5.2.2 Climatología del distrito de Juliaca

El clima de Juliaca se caracteriza por temperaturas bajas durante gran parte del año, con valores que oscilan entre 2°C y 14°C en promedio. La humedad relativa varía entre el 30% y 70%, siendo un factor clave para la eficiencia del proceso de condensación.

Estas condiciones climáticas fueron consideradas en el diseño del prototipo, ya que afectan directamente el punto de rocío, el cual determina la viabilidad de la generación de agua atmosférica.

Figura 15

Distribución mensual de precipitaciones en el distrito de Juliaca durante el año.



Nota. Tomado de *Clima promedio en Juliaca, Perú durante todo el año*, WeatherSpark, 2024. <https://es.weatherspark.com/y/26601/Clima-promedio-en-Juliaca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

3.5.2.3 Temperatura

El análisis de las temperaturas históricas mostró que los valores más bajos se registran durante las noches y madrugadas, lo que representa una oportunidad para optimizar el proceso de condensación. El sistema está diseñado para operar eficazmente en estas condiciones, utilizando celdas Peltier controladas



mediante un algoritmo PID para alcanzar rápidamente el punto de rocío.

3.5.2.4 Humedad Específica y Humedad Relativa

La humedad relativa promedio de Juliaca influye en la cantidad potencial de agua que puede ser capturada del aire. A pesar de tratarse de un clima seco en algunos periodos del año, la estrategia del prototipo se basa en aprovechar las horas de mayor humedad relativa para maximizar la eficiencia del sistema.(Eduardo & Alfredo, 2021)

La humedad absoluta o específica se puede determinar por la masa de vapor de agua presente en una unidad de aire seco expresada en W:

Humedad Relativa = (densidad de vapor actual / densidad de vapor saturación) × 100%

3.5.2.5. Punto de Rocío

Es el valor al que debe bajar la temperatura del aire para que el vapor comience a condensarse, ya que la temperatura de la masa de aire disminuye, su capacidad de vapor de agua disminuye, es decir, su humedad relativa. disminución. Si esta masa de aire continúa enfriándose, llegará un momento en que el aire alcanzará su punto de saturación, y desde allí puede producirse la condensación. La temperatura a la que la masa de aire alcanza la saturación es el punto de rocío. La fórmula que nos permite llegar al punto de rocío es:(Eduardo & Alfredo, 2021)

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

Donde:

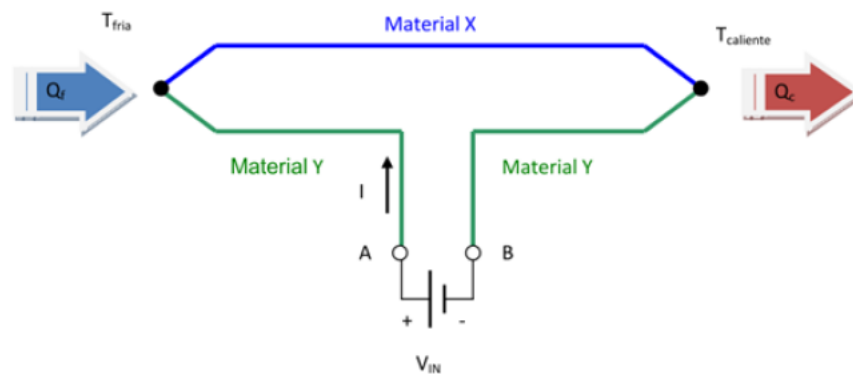
- T_p : Temperatura del punto de rocío (°C).
- T: Temperatura actual del aire (°C).
- RH: Humedad relativa (%).
- a y b: Constantes específicas, por ejemplo, a = 17.27 y b = 237.7.
- $\gamma(T, RH) = (a \cdot T)/(b+T) + \ln(RH/100)$.

3.5.2.6 Efecto Peltier

El Efecto Peltier fue descubierto en 1843 por el físico francés Jean Charles Athanase Peltier. Este fenómeno termoeléctrico implica que, al hacer pasar una corriente continua a través de dos conductores diferentes conectados entre sí, una unión absorbe calor (enfriándose) mientras que la otra lo libera (calentándose). Este efecto es la base del funcionamiento de las celdas Peltier utilizadas en el prototipo, donde se aprovecha la transferencia de calor para producir superficies frías capaces de condensar la humedad atmosférica.(Díaz Bernal et al., 2018)

Figura 16

Representación esquemática del efecto Peltier en módulos termoeléctricos.



Nota. Adaptado de *Implementación de un sistema de refrigeración utilizando módulos Peltier*, por Chávez, A., Gómez, L., & Rivas, J., 2019.

Si se aplica un voltaje en los terminales A y B (V_{IN}), circulará una corriente (I) a través del circuito, esta corriente eléctrica provoca que la unión correspondiente al terminal A absorba calor, y que por ende se enfríe, por otro lado, la unión correspondiente al terminal B genera calor y como consecuencia esta unión se calienta. Matemáticamente se expresa así:

$$Q_p = \pi_{xy} \cdot I$$

Dónde:

Q_p : Es la potencia calorífica generada o absorbida por el efecto Peltier.

π_{xy} : Es el coeficiente Peltier entre los dos materiales, X y Y, en voltios.

I : Es la corriente que circula por la unión expresada en amperios.

3.5.2.7 Efecto Joule

El Efecto Joule describe la producción de calor cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor con resistencia. En un sistema como el de las celdas Peltier, aunque un lado se enfría debido al Efecto Peltier, parte de la energía suministrada se disipa en forma de calor en los materiales conductores debido al Efecto Joule, aumentando la temperatura en el otro lado del dispositivo. Esta disipación de calor se calcula aplicando la ley de Ohm y relacionando la corriente, el voltaje y la resistencia. (Moreno Ortiz & García Romero, 2017)

La ecuación en la que se basa este fenómeno es:

$$P = V_{in} \cdot I \text{ (W)}$$

Expresando una función del voltaje al que está sometido el material y la magnitud a través del mismo, obtenemos:

$$Q = I \cdot V_{in} \cdot t$$

$$Q = P \cdot t$$

Si añadimos la Ley de Ohm tendremos:

$$I = \frac{V_{in}}{R} \text{ (V}/\Omega)$$

Por tanto, el calor generado se expresará como una fórmula que relaciona la pérdida por efecto Joule con la intensidad y la resistencia eléctrica:

$$Q_{joule} = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (Julios)}$$

Dónde:

- **Q:** Energía calorífica producida por la corriente (Julios)

- **I**: Intensidad de la corriente que circula (A)
- **Vin**: Diferencia de potencial entre los extremos (V)
- **R**: Resistencia eléctrica del conductor (Ω)

3.5.3 cálculo y diseño

3.5.3.1 Cálculo del promedio de temperatura anual

Para cada mes, vamos a calcular la temperatura promedio mensual tomando el promedio entre la temperatura máxima y la temperatura mínima, el cálculo se realizará para cada mes así tener un promedio general de la temperatura durante todo un año del distrito de Juliaca utilizando la siguiente formula:

$$T_{\text{promedio del mes}} = \frac{T_{\text{máxima}} + T_{\text{mínima}}}{2}$$

Tabla 3

Promedio mensual de la temperatura en el distrito de Juliaca, 2023.

Mes	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	Temp. Promedio Mensual (°C)
Enero	16.6	3.2	9.9
Febrero	16.5	3.4	9.95
Marzo	16.3	2.8	9.55
Abril	16.7	-0.2	8.25
Mayo	16.3	-4.2	6.05
Junio	15.9	-7.6	4.15
Julio	15.8	-7.8	4.0
Agosto	16.7	-6.1	5.3
Setiembre	17.4	-1.9	7.75
Octubre	18.6	-0.4	9.1
Noviembre	18.8	1.0	9.9
Diciembre	17.5	2.6	10.05



Nota. Tomado de *Datos meteorológicos de Juliaca – 2023*, SENAMHI, Estación Meteorológica Juliaca. <https://www.senamhi.gob.pe/>

Promedio Anual de la Temperatura Ambiente para calcular el promedio anual, simplemente calculamos el promedio de todos los valores mensuales con la siguiente fórmula:

$$T_{\text{anual}} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} T_{\text{promedio del mes}}(i)$$

$$T_{\text{anual}} = \frac{9.9 + 9.95 + 9.55 + 8.25 + 6.05 + 4.15 + 4.0 + 5.3 + 7.75 + 9.1 + 9.9 + 10.05}{12}$$
$$T_{\text{anual}} = \frac{94.95}{12} = 7.9125^{\circ}\text{C}$$

El promedio anual de la temperatura ambiente de Juliaca, calculado a partir de los datos de temperaturas máximas y mínimas mensuales, es aproximadamente 7.91°C. hallamos la Humedad Relativa Mensual. De acuerdo a los datos obtenidos de la página climatología del Perú pudimos obtener los siguientes datos, la humedad relativa mensual en el distrito Juliaca, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4

Promedio mensual de humedad relativa en el distrito de Juliaca, 2023.

Mes	Humedad Relativa (%)
Enero	69
Febrero	73
Marzo	71
Abril	67
Mayo	53
Junio	49
Julio	49
Agosto	47



Septiembre	53
Octubre	54
Noviembre	54
Diciembre	63

Nota. Tomado de *Datos meteorológicos de Juliaca – 2023*, SENAMHI, Estación Meteorológica Juliaca. <https://www.senamhi.gob.pe/>

3.5.3.2 Cálculo del promedio anual de humedad relativa

Para calcular el promedio anual de la humedad relativa, simplemente sumamos todos los valores mensuales y los dividimos por el número total de meses:

$$RH_{\text{anual}} = \frac{69 + 73 + 71 + 67 + 53 + 49 + 49 + 47 + 53 + 54 + 54 + 63}{12} = \frac{702}{12} = 58.5\%$$

La humedad relativa promedio anual para Juliaca, utilizando los datos aproximados, es 58.5%.

determinar el punto de rocío promedio anual de Juliaca usando la fórmula de Magnus-Tetens.

Datos Utilizados

- Temperatura Promedio Anual (T): 7.91°C
- Humedad Relativa Promedio Anual (RH): 58.5%

Fórmula de Magnus-Tetens

Valores de los Coeficientes

- a=17.27



- $b=237.7$ en grados Celsius

Estos valores son constantes empíricas que aproximan la relación entre la temperatura del aire, la humedad relativa y el punto de rocío. Son parte de una serie de ajustes para que la ecuación represente con precisión el comportamiento de la condensación del vapor de agua a diferentes temperaturas y niveles de humedad.

La fórmula para calcular el punto de rocío (T_d) es:

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$$

Donde:

- $a=17.27$
- $b=237.7$
- TTT es la temperatura
- RHRHRH es la humedad relativa

Cálculo del primer término:

$$\frac{a \cdot T}{b + T}$$

Sustituimos los valores conocidos:

- $a=17.27$



- $T=7.91$
- $b=237.7$

$$\frac{a \cdot T}{b + T} = \frac{17.27 \cdot 7.91}{237.7 + 7.91}$$

Primero, calculamos el numerador ($a \cdot T$):

$$17.27 \cdot 7.91 = 136.6357$$

Luego, calculamos el denominador ($b + T$):

$$237.7 + 7.91 = 245.61$$

Ahora, dividimos el numerador entre el denominador:

$$\frac{136.6357}{245.61} = 0.5564$$

Cálculo del Segundo Término: Logaritmo

El segundo término es el logaritmo natural de la humedad relativa dividida por 100:

$$\ln\left(\frac{RH}{100}\right) = \ln\left(\frac{58.5}{100}\right) = \ln(0.585)$$

Calculamos el logaritmo natural de 0.585:

$$\ln(0.585) = -0.5351$$

Suma de Ambos Términos

Ahora sumamos los dos términos para obtener $\alpha(T, RH)$:

$$\alpha(T, RH) = 0.5564 + (-0.5351) = 0.0213$$

Cálculo del Punto de Rocío (T_d)

Ahora que tenemos el valor de $\alpha(T, RH)$, podemos calcular el punto de rocío (T_d) usando la fórmula:

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

$$b = 237.7$$



$$\alpha(T, RH) = 0.0213$$

$$a = 17.27$$

$$T_d = \frac{237.7 - 0.0213}{17.27 - 0.0213}$$

Cálculo del Numerador

$$237.7 - 0.0213 = 5.0630$$

Cálculo del Denominador

$$17.27 - 0.0213 = 17.2487$$

División para obtener el punto de rocío y finalmente, dividimos el numerador entre el denominador:

$$T_d = \frac{5.0630}{17.2487} = 0.2935^{\circ}C$$

El punto de rocío promedio anual de Juliaca es aproximadamente $0.29^{\circ}C$. Este valor indica que, en promedio, la temperatura del aire en Juliaca debe bajar hasta $0.29^{\circ}C$ para que el vapor de agua presente en el aire comience a condensarse en forma de agua líquida.

3.5.3.3 Fórmula de la Respuesta a un Escalón Unitario

Antes de analizar la respuesta del sistema térmico ante un cambio de entrada, se considera que el comportamiento dinámico del sistema basado en celdas Peltier puede ser aproximado como un sistema de primer orden.

Esta decisión se fundamenta en la naturaleza física de la transferencia de calor en los sistemas termoeléctricos, donde la



variable de interés (temperatura del lado frío) responde de manera exponencial a un estímulo de corriente de entrada. La respuesta alcanza progresivamente un nuevo estado estacionario, típico de un sistema de primer orden.

Esta aproximación permite representar el sistema mediante una función de transferencia de la forma:

$$y(t) = K(1 - e^{-t/\tau})$$

- Condición Inicial: $y(0)=0$
- Estado Final: $y(\infty)=K$
- Interpretación Física: Representa un sistema que empieza desde cero y crece exponencialmente hasta alcanzar un valor final de K.
- Aplicaciones: Circuito RC, llenado de un tanque, etc.

Ajuste de Modelo con la Ecuación de Primer Orden

Otra forma de determinar τ (taut) es ajustando la respuesta del sistema a un modelo teórico de primer orden utilizando los datos experimentales.

Si consideramos que:

- $K=T_0-T_\infty$
- T_∞ es el valor final en estado estacionario,

$$T(t) = T_\infty + (T(0) - T_\infty)e^{-t/\tau}$$

3.5.3.4 Respuesta al Escalón Unitario

Describe cómo el sistema responde cuando se aplica una entrada



constante (un escalón unitario, $u(t)=1u$). La ecuación para un sistema de primer orden en respuesta a un escalón unitario es:

$$T(t) = T_{\infty} + (T(0) - T_{\infty})e^{-t/\tau}$$

Datos del Problema

- Temperatura Inicial $T(0):7.91^{\circ}C$
- Temperatura Final de Equilibrio (T_{∞}): $0.29^{\circ}C$
- Diferencia de Temperatura (ΔT):

$$\Delta T = T(0) - T_{\infty} = 7.91 - 0.29 = 7.62^{\circ}C$$

Esta ecuación describe cómo cambia la temperatura con respecto al tiempo (t) hasta alcanzar la temperatura de equilibrio (T_{∞}).

3.5.3.5 Calcular τ

Determinar el 63% de la transición de temperatura, en un sistema de primer orden, la constante de tiempo (τ) se define como el tiempo necesario para que la temperatura alcance el 63% de la transición entre la temperatura inicial y la temperatura final de equilibrio.

Calculamos el 63% de la diferencia de temperatura:

$$0.63 \times \Delta T = 0.63 \times 7.62 = 4.8^{\circ}C$$

Esto significa que para determinar el valor de τ , necesitamos calcular el tiempo en el que la temperatura del sistema ha disminuido en $4.8^{\circ}C$ desde la temperatura inicial ($T(0)$).

Determinamos la Temperatura en el Tiempo τ de forma física, con un sensor de temperatura y un cronometro medimos cuanto tiempo tarde la celda en llegar a 4.8 grados, según los datos obtenidos de forma física, nos da 20segundos. La ecuación de la respuesta de temperatura es:

ecuación final escalón unitario

$$T(t) = 0.29^{\circ}C + 7.62^{\circ}C \times e^{-\frac{t}{20s}}$$

La constante de tiempo (τ) del sistema es 20 segundos. Esto significa que el sistema tarda aproximadamente 20 segundos en alcanzar el 63% de la transición de temperatura desde la temperatura inicial ($7.91^{\circ}C$) hasta la temperatura final de equilibrio ($0.29^{\circ}C$).

3.5.3.6 Modelo Térmico con Entrada de Corriente

La relación entre la corriente aplicada a una celda Peltier y la temperatura del lado frío puede representarse mediante una ecuación diferencial de primer orden:

$$\tau \frac{dT_c(t)}{dt} + T_c(t) = KI(t)$$

Donde:

- $T_c(t)$: Temperatura en el lado frío de la celda Peltier ($^{\circ}C$).
- $I(t)$: Corriente aplicada a la celda (A).
- K : Ganancia térmica ($^{\circ}C/A$).
- τ : Constante de tiempo térmica (s).
- t : Tiempo (s).

3.5.3.7 Transformada de Laplace

Aplicando la Transformada de Laplace a ambos lados de la ecuación, y suponiendo condiciones iniciales nulas ($T_c(0)=0$):

$$\tau s T_c(s) + T_c(s) = KI(s)$$

Factorizamos:

$$T_c(s)(\tau s + 1) = KI(s)$$

Despejamos la función de transferencia:

$$G(s) = \frac{T_c(s)}{I(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Parámetros de la Función de Transferencia

- Entrada $I(s)$: Corriente eléctrica (A).
- Salida $T_c(s)$: Temperatura del lado frío ($^{\circ}\text{C}$).
- K (Ganancia Térmica): Representa cuántos grados Celsius disminuye la temperatura por cada amperio aplicado.
- τ (Constante de Tiempo): Representa qué tan rápido el sistema alcanza la temperatura de equilibrio después de un cambio en la corriente.

3.5.3.8 Representación del Sistema con una Función de Transferencia

La función de transferencia para un sistema de primer orden es generalmente de la forma:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Donde:



- $G(s)$: Función de transferencia del sistema en el dominio de Laplace.
- K : Ganancia estática del sistema. Indica la magnitud del cambio en la salida con respecto a un cambio en la entrada.
- τ : Constante de tiempo del sistema. Determina la rapidez con la que el sistema alcanza el estado estacionario.
- s : Variable en el dominio de Laplace.

En este sistema, la corriente eléctrica aplicada a las celdas Peltier (I) actúa como la variable de entrada, mientras que la temperatura del lado frío (T_c) es la variable de salida. Por lo tanto, la ganancia térmica (K) se define como la relación entre el cambio de temperatura ($T_0 - T_\infty$) y la corriente (I) aplicada. Esta relación permite predecir la temperatura alcanzada en función de la corriente suministrada al sistema. La fórmula adecuada para calcular la ganancia es:

$$K = \frac{T_0 - T_\infty}{I}$$

Donde:

- T_0 : Temperatura inicial (7.91°C)
- T_∞ : Temperatura final de equilibrio (0.29°C)
- I : Corriente aplicada (5 A)

$$K = \frac{7.91 - 0.29}{5}$$

$$K = \frac{7.62}{5}$$

$$K = 1.524 \text{ } ^\circ\text{C/A}$$



Esto significa que, por cada amperio de corriente aplicada, la temperatura de la superficie disminuye en 1.524 °C. Con el valor de la constante de tiempo ($\tau=20$ segundos) y la ganancia ($K=1.524$ °C/A), la función de transferencia del sistema en el dominio de Laplace es:

$$G(s) = \frac{1.524}{20s + 1}$$

3.5.3.9 Implementación de un Controlador PID

Un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es una herramienta poderosa que te permitirá alcanzar y mantener la temperatura objetivo (punto de rocío) de forma más rápida y precisa en el sistema de celdas Peltier. La implementación del controlador PID permite reducir el error y mejorar la estabilidad de la temperatura. La acción de control de un controlador PID está dada por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $u(t)$: Señal de control (en este caso, corriente aplicada a la celda Peltier).
- $e(t)=T_{set}-T(t)$: Error entre la temperatura objetivo (T_{set} , en este caso el punto de rocío) y la temperatura actual ($T(t)$).
- K_p : Ganancia proporcional, que ajusta la respuesta en función del error actual.
- K_i : Ganancia integral, que corrige el error acumulado en el tiempo.



- Kd: Ganancia derivativa, que anticipa los cambios futuros del error.

3.5.3.10 parámetros PID ajustados usando las reglas de Ziegler-Nichols

Tabla 6

Cálculo de los parámetros del controlador PID del sistema.

Controlador	Kp	Ki	Kd
P	$K_p = 1 / K$	—	—
PI	$K_p = 0.9 / K$	$K_i = K_p / \tau$	—
PID	$K_p = 1.2 / K$	$K_i = 2K_p / \tau$	$K_d = 0.5K_p\tau$

Nota. Elaboración propia.

Cálculo de los Parámetros PID

Ya conocemos:

$$K = 1.524$$

$$\tau = 20$$

Vamos a calcular los valores usando las fórmulas de Ziegler-Nichols para un controlador PID:

Nichols para un controlador PID:

$$K_p = \frac{1.2}{K}$$

$$K_i = \frac{2K_p}{\tau}$$

$$K_d = 0.5K_p\tau$$

(K_p) (Ganancia Proporcional): 0.787

(K_i) (Ganancia Integral): 0.0787

(K_d) (Ganancia Derivativa): 7.874

Kp (Proporcional): Ajusta la intensidad de la corrección con base en el error actual.

Ki (Integral): Elimina el error estacionario acumulado con el tiempo.

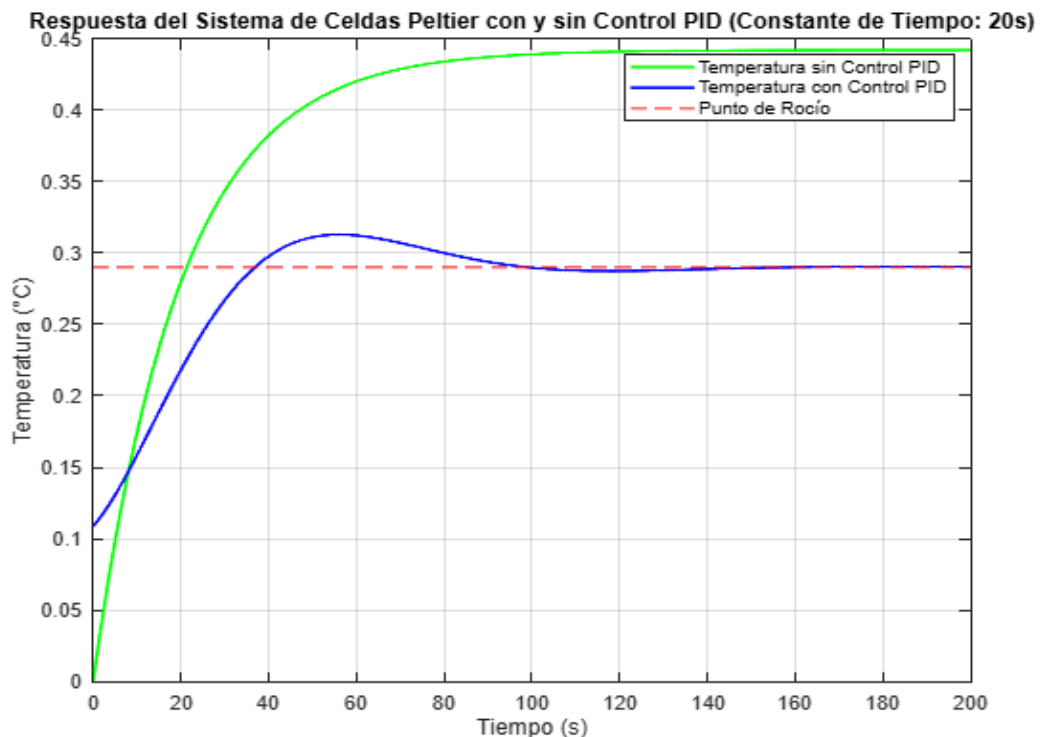
Kd (Derivativo): Reduce las oscilaciones al anticipar cambios rápidos en el error.

3.5.3.11 Implementación en Simulación

La gráfica presentada muestra la respuesta temporal del sistema de celdas Peltier bajo dos condiciones: con y sin control PID, con el objetivo de alcanzar el punto de rocío establecido en 0.29°C . A continuación, se analiza en detalle cada curva:

Figura 17

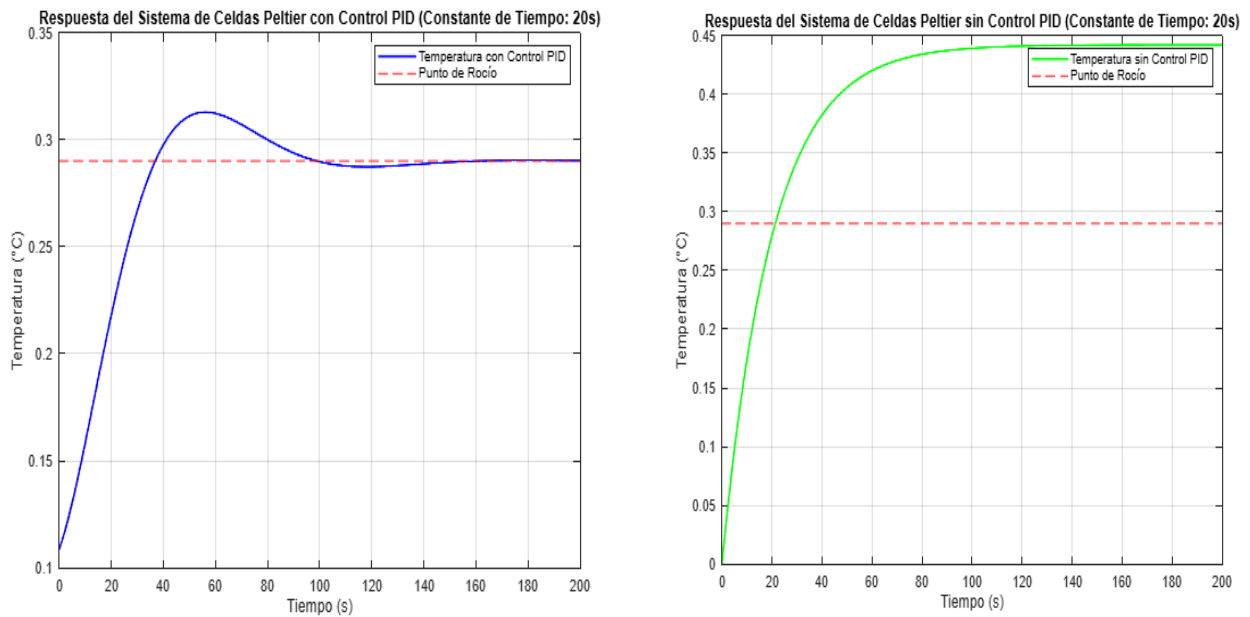
Comparación de la respuesta térmica del sistema con celdas Peltier con y sin control PID.



Nota. Elaboración propia.

Figura 18

Comparación gráfica de la respuesta del sistema con y sin control PID.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 7

Análisis comparativo del desempeño del sistema con control PID versus sin control.

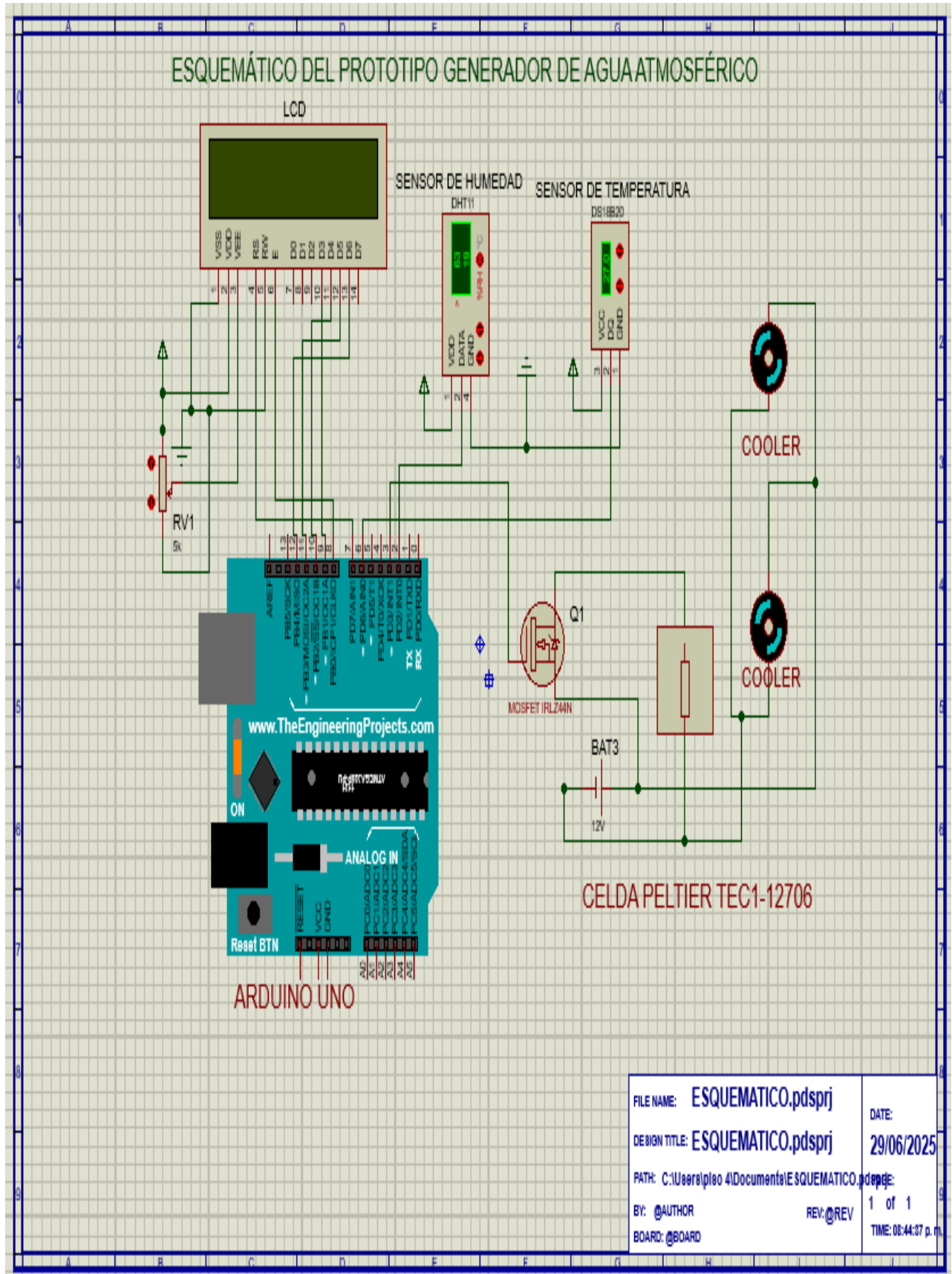
Aspecto	Sin Control PID	Con Control PID
Tiempo de respuesta	Lento, no estabiliza en el punto de rocío.	Rápido, estabiliza en el punto de rocío después de 100 s.
Sobreimpulso	No aplica.	Presente, leve (0.31 °C).
Error estacionario	Alto (+0.13 °C).	Prácticamente nulo.
Estabilidad	No se logra estabilidad adecuada.	Logra estabilidad cercana al punto de rocío.

Nota. Elaboración propia.

3.5.3.12 simulación proteus

Figura 19

Simulación del sistema de control en el entorno de Proteus.



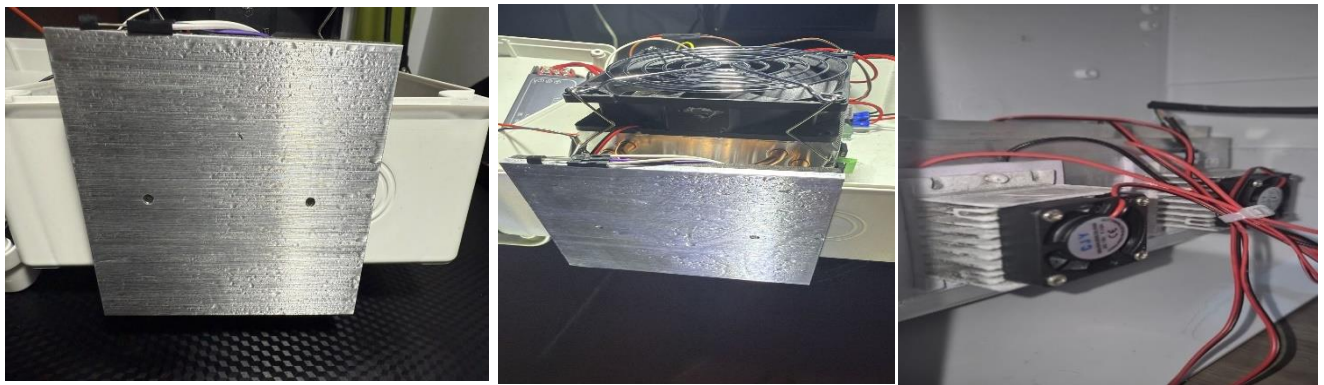
Nota. Elaboración propia.

3.7. desarrollo práctico

La implementación física del proyecto consistió en el ensamblaje de un sistema de generación de agua atmosférica basado en celdas Peltier, optimizado para operar bajo las condiciones climáticas del distrito de Juliaca. El objetivo de esta etapa fue validar el diseño conceptual mediante la construcción de un prototipo funcional que permita controlar la temperatura de condensación y evaluar la eficiencia del sistema en la recolección de agua.

Figura 20

Módulo Peltier acoplado con disipadores de calor para control térmico.



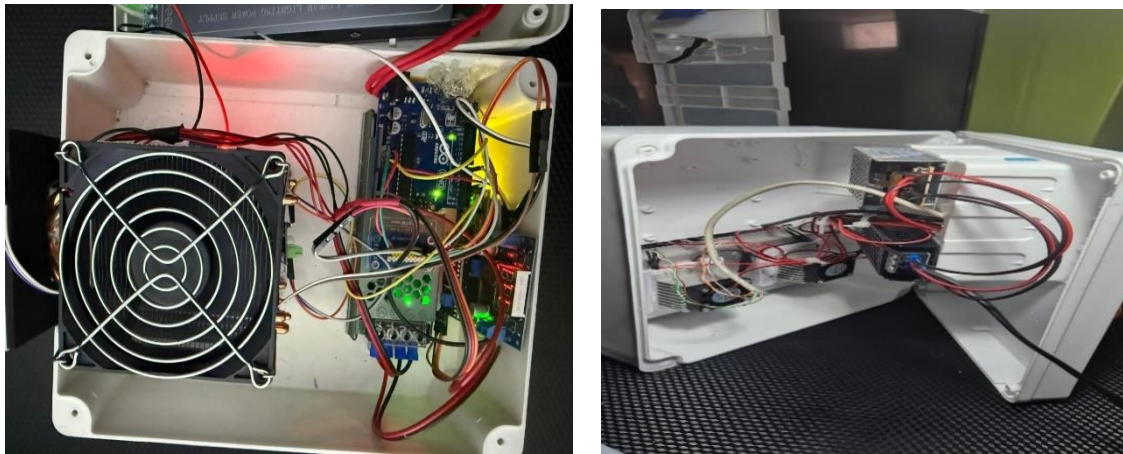
Nota. Elaboración propia.

3.7.1 Infraestructura de Circuitos Implementada

- El circuito fue diseñado para garantizar la operatividad del sistema bajo un esquema de control automatizado. Los principales componentes y su función dentro del sistema son:
- Arduino UNO: Microcontrolador principal, responsable del procesamiento de señales de los sensores y la ejecución del algoritmo PID para control térmico.
- Sensor DHT11: Encargado de medir la humedad relativa y la temperatura ambiente, insumo clave para estimar el punto de rocío.

- Sensor DS18B20 (TO-92): Sustituto del LM35, utilizado por su precisión digital para medir la temperatura en el lado frío de las celdas Peltier.
- Mosfet IRL44N: Controla la potencia de la celda peltier, según las instrucciones del microcontrolador.
- Regulador LM2596: Proporciona una salida de voltaje estable de 12V para alimentar de manera eficiente los componentes de potencia.
- Pantalla LCD 16x2: Visualiza en tiempo real las variables críticas: temperatura, humedad y estado del sistema.
- Fuente de alimentación de 12V/10A: Asegura un flujo energético suficiente y estable para todo el sistema.

Figura 21



Implementación física de los módulos y sensores electrónicos del sistema.

Nota. Elaboración propia.

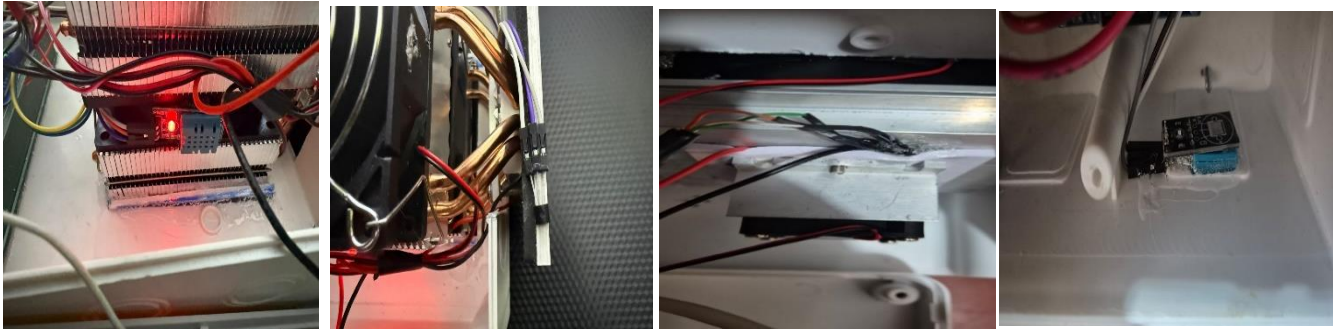
3.7.2 Ensamblaje de los Sensores y Módulos

El sensor DS18B20 fue instalado estratégicamente cerca del disipador del lado frío para garantizar la precisión térmica. Se utilizó silicona térmica como base conductora para estabilizar la señal. El sensor DHT11 fue

colocado en el área de entrada de aire, y su lectura condiciona el inicio del ciclo de condensación.

Figura 22

Disposición e integración física de los sensores en el sistema experimental.



Nota. Elaboración propia.

3.7.3 Estructura del Prototipo y Flujo Operativo

El ensamblaje se realizó sobre una base térmica aislada, con las celdas Peltier montadas entre disipadores de aluminio y ventiladores. En el lado caliente se utilizó disipación activa forzada para mantener la eficiencia del gradiente térmico. El agua generada por condensación en el lado frío fluye por gravedad hacia un contenedor hermético.

El sistema sigue el siguiente flujo lógico:

- Medición inicial de condiciones ambientales.
- Activación del sistema si el punto de rocío es alcanzable.
- Control de temperatura mediante PID para mantener condiciones óptimas de condensación.
- Recolección del agua y registro de variables operativas.



3.7.4 Prototipo terminado

Una vez ensamblado y calibrado el sistema, se procedió a realizar pruebas experimentales en condiciones ambientales reales correspondientes a la ciudad de Juliaca. Las pruebas se llevaron a cabo durante horarios con temperaturas mínimas (madrugada y amanecer), ya que estas condiciones favorecen el alcance del punto de rocío necesario para la condensación. Durante la operación, se constató que la combinación de humedad relativa y temperatura ambiente era suficiente para provocar la condensación del vapor de agua en el lado frío de las celdas Peltier. La superficie metálica donde se generó el fenómeno fue monitoreada mediante el sensor DS18B20, que reportó temperaturas inferiores a los 10 °C cuando el sistema alcanzaba su estado estable, bajo corriente controlada por el módulo de relés. El sistema logró recolectar volúmenes de agua variables, dependiendo de las condiciones ambientales del día. En general, se observó una producción promedio de entre 80 mL y 120 mL por ciclo de operación, con un consumo eléctrico moderado gracias a la optimización del controlador PID. Las variables medidas se registraron en la pantalla LCD, lo que permitió validar el funcionamiento del algoritmo de control y la estabilidad térmica del sistema. Este apartado práctico demuestra que el diseño implementado es funcional y adaptable a condiciones climáticas reales. Asimismo, valida el enfoque termoeléctrico como alternativa viable para zonas con alta vulnerabilidad hídrica como Juliaca, destacando la importancia de un control preciso de las variables térmicas para maximizar la eficiencia del proceso de condensación atmosférica.

Figura 23

Vista final del prototipo completo del sistema de control térmico.

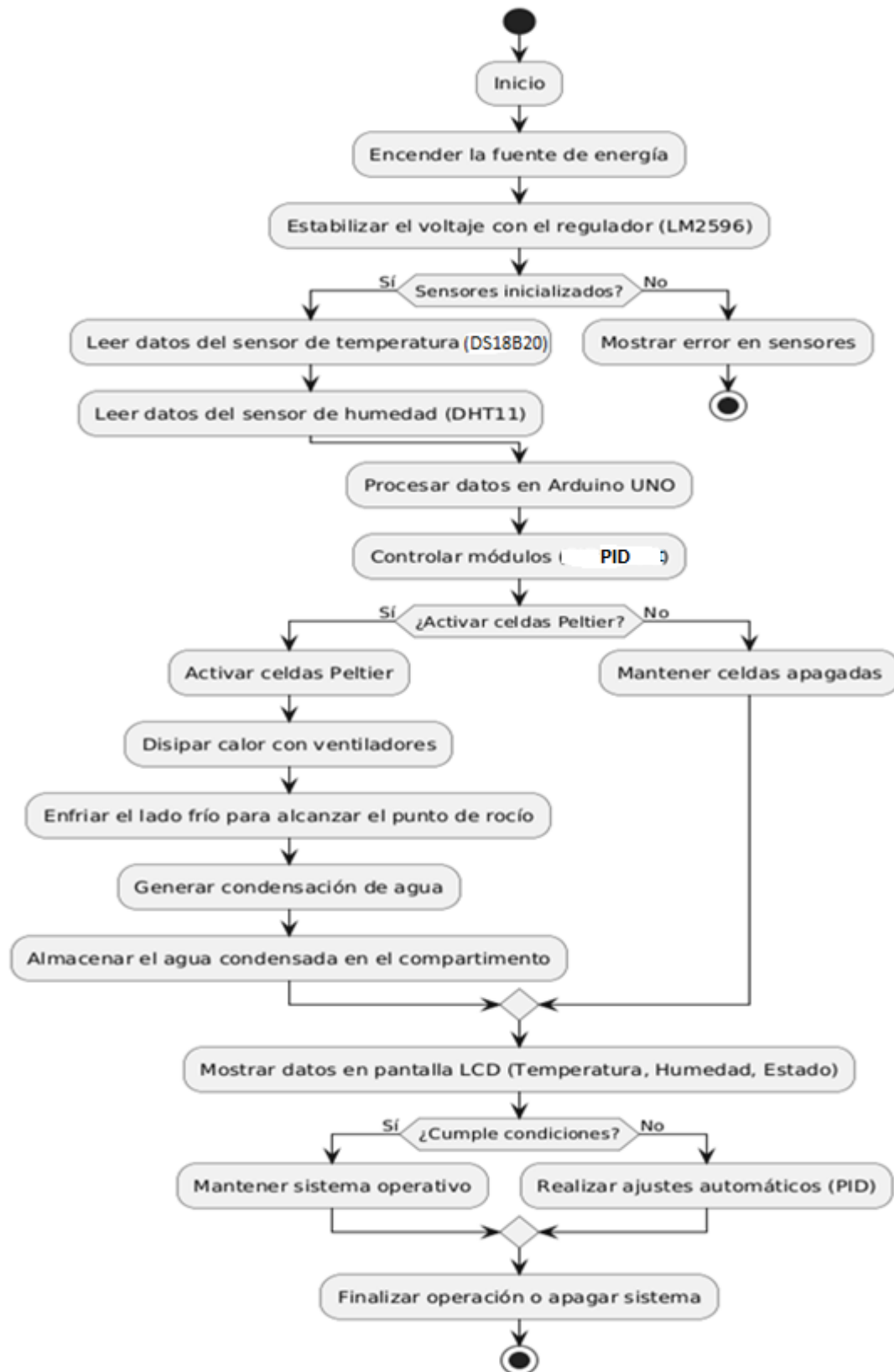


Nota. Elaboración propia.

3.7.5 diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo terminado

Figura 24

Diagrama de flujo del funcionamiento lógico del prototipo.



Nota. Elaboración propia.



CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRESENTACIÓN

4.1.1 Producción de Agua

Durante las pruebas experimentales realizadas en el distrito de Juliaca, el prototipo diseñado logró una producción diaria promedio de 980mL de agua atmosférica en un lapso de 12 horas de funcionamiento continuo durante la noche. Este rendimiento fue posible gracias a la integración efectiva de disipadores térmicos y un sistema de control PID, los cuales permitieron mantener estables las condiciones necesarias para la condensación. El volumen recolectado refleja la capacidad del sistema para operar bajo condiciones climáticas reales, confirmando su viabilidad funcional.

A partir de este resultado, se procedió a determinar la tasa de producción horaria del sistema, la cual se calcula mediante la siguiente relación:

$$Q_h = \frac{V_t}{t}$$

donde:

- Q_h = Producción de agua por hora (ml/h),
- V_t = Volumen total de agua recolectada (ml),
- t = Tiempo de operación (h).

Sustituyendo los valores experimentales:



$$Q_h = \frac{980 \text{ ml}}{12 \text{ h}} = 81.67 \text{ ml/h}$$

De esta manera, se determina que la celda Peltier de 4x4 cm produce en promedio 81.67 ml de agua por hora bajo las condiciones climáticas del distrito de Juliaca.

Adicionalmente, si se relaciona la producción con el área efectiva del módulo, se obtiene:

$$Q_{\text{especifica}} = \frac{81.67 \text{ ml/h}}{16 \text{ cm}^2} = 5.10 \text{ ml} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$$

Este valor representa la producción específica por unidad de área de celda, lo cual permite dimensionar de manera más precisa el rendimiento del sistema y proyectar el comportamiento en configuraciones con mayor número de módulo

4.1.2 Comportamiento del Sistema en el Punto de Rocío

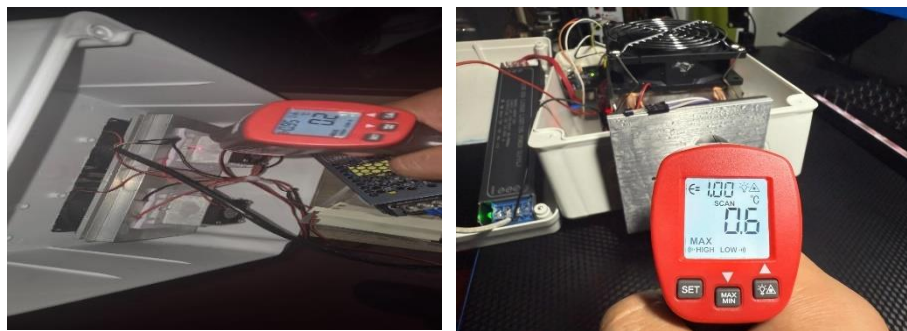
El prototipo alcanzó el punto de rocío promedio anual (0.29 °C) en aproximadamente 20 segundos tras su activación. Esta respuesta rápida valida el modelo de comportamiento térmico del sistema como un proceso de primer orden, alcanzando el 63% del cambio térmico total en el tiempo correspondiente a su constante de tiempo (τ). Esta propiedad fue fundamental para asegurar una condensación eficiente del vapor de agua presente en el aire.

4.1.3 Mediciones Realizadas

Durante las pruebas, se midieron dos momentos clave. Primero, la temperatura del sistema descendió hasta $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, alcanzando el punto de rocío, condición esencial para la condensación efectiva.

Figura 25

Lectura experimental del punto de rocío registrada por el sistema de sensores.

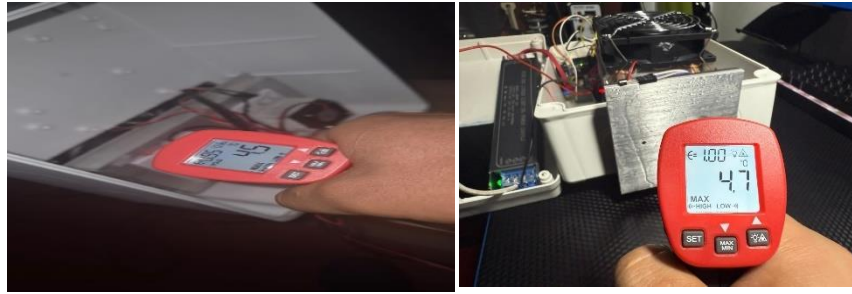


Nota. Elaboración propia.

Segundo, al llegar a $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, el sistema había alcanzado el 63% del cambio total, verificando la respuesta típica de un sistema térmico de primer orden. Estos resultados experimentales respaldan los cálculos previos realizados durante la etapa de simulación.

Figura 26

Lectura experimental de temperatura correspondiente al 63% de la temperatura de referencia.



Nota. Elaboración propia.

4.1.4 Eficiencia Energética

El consumo energético promedio del prototipo fue de 49.3 W, lo que lo posiciona como una solución funcional para la obtención de agua en zonas de baja humedad, aunque con una eficiencia energética limitada en comparación con métodos tradicionales de condensación.

Cálculo del Consumo Energético (49.3 W/h)

La celda TEC1-12706 tiene las siguientes especificaciones relevantes:

Voltaje nominal: 12 V

Corriente máxima: 6 A

Consumo máximo:

Potencia de Peltier= $V \cdot I = 12V \cdot 6A = 72W$ (por celda)

Sin embargo, las celdas rara vez operan a su consumo máximo debido al control PID y al diseño del sistema, por lo que usualmente operan al 60% y 50% de su capacidad. Si asumimos un factor de uso promedio del 60%, el consumo real es:

Potencia Real Peltier= $72W \cdot 0.6 = 43.2W$

- Consumo de Ventiladores

Cada ventilador consume entre 2 W y 3 W hay 2 ventiladores, cada uno consumiendo 2.5 W:



$$\text{Potencia_Ventiladores} = 2.5 \text{ W} \times 2 = 5 \text{ W}$$

- Consumo del Sistema de Control (Arduino + Sensores)

Arduino Uno: Consumo promedio: 0.5 W.

DHT11: 0.3W.

DS18B20: 0.3W.

$$\text{Potencia Sensores} = 0.3 \text{ W} + 0.3 \text{ W} = 0.6 \text{ W}$$

- Consumo Total del Sistema de Control:

$$\text{Potencia_Control} = 0.5 \text{ W (Arduino)} + 0.6 \text{ W (Sensores)} = 1.1 \text{ W}$$

- Sumamos todos los consumos calculados:

$$\text{Potencia_Total} = \text{Potencia_Real_Peltier} + \text{Potencia_Ventiladores} +$$

$$\text{Potencia_Control}$$

$$\text{Potencia Total} = 43.2 \text{ W} + 5 \text{ W} + 1.1 \text{ W} = 49.3 \text{ W}$$

- Consumo Diario (W/día)

Si el sistema opera durante 12.5 horas al día:

$$\text{Energía_Diario} = \text{Potencia_Total} \times \text{Horas de Operación}$$

$$\text{Energía Diario} = 49.3 \text{ W} \cdot 12.5 \text{ h} = \boxed{616.25 \text{ Wh/día}} \approx \boxed{0.62 \text{ kWh/día}}$$

4.1.5 Producción de Agua y Eficiencia Energética

Si el sistema produce 980 ml de agua por día, la eficiencia energética es:

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{616.25 \text{ Wh}}{0.98 \text{ L}} = \boxed{628.83 \text{ W/L}}$$

Eficiencia Energética

628.83W/L de agua producida, lo que está dentro del rango aceptable para sistemas de condensación con celdas Peltier.

Importancia del Consumo Energético



Con este consumo, se puede calcular el costo de operación del sistema según el precio por kWh en la región Puno, que es de 0.627 soles por kw.h lo que nos daría haciendo un cálculo rápido es:

$$\text{Costo por litro} = \left(\frac{628.83}{1000} \right) \cdot 0.627 = \boxed{S/0.39 \text{ por litro}}$$

4.1.6 Control de Temperatura

La implementación del controlador PID resultó esencial para la estabilidad térmica del sistema. Las gráficas obtenidas mostraron una convergencia rápida hacia el punto de rocío, con oscilaciones mínimas. Esto demuestra que el ajuste fino de los parámetros PID fue adecuado para las características dinámicas del sistema térmico, permitiendo una respuesta eficiente y segura para la condensación continua.

4.2. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el prototipo generador de agua atmosférica con celdas Peltier y control PID logró una producción diaria promedio de 980 mL, con un consumo energético moderado, lo que confirma en gran medida la hipótesis general planteada. Este comportamiento puede explicarse desde el marco teórico, considerando que el control PID permite estabilizar la temperatura de las celdas en torno al punto de rocío, optimizando así el proceso de condensación, tal como se sostiene en la teoría de control automático de Ogata (2010).

En comparación con investigaciones previas, los resultados son consistentes con lo reportado por Moreno Ortiz y García Romero (2022), quienes



evidenciaron la viabilidad del uso de celdas Peltier para la captación de agua atmosférica en zonas con humedad moderada, aunque en su caso sin incorporar control PID. La incorporación de este controlador en el presente trabajo mejoró la estabilidad térmica, lo que se tradujo en un aumento de la eficiencia del sistema, concordando con lo señalado por Gonzales (2020) sobre la importancia de optimizar la disipación de calor en sistemas termoeléctricos.

Asimismo, la influencia del clima de Juliaca —caracterizado por una temperatura promedio anual de 7,91 °C, humedad relativa media de 58,5 % y un punto de rocío de aproximadamente 0,29 °C— representó un desafío para la condensación atmosférica. A diferencia del estudio de Isidro y Cisneros Tejeira (2022) en Huacho, donde la alta humedad relativa favoreció la producción, en el presente trabajo se requirió aprovechar las horas de mayor humedad y aplicar control activo para alcanzar el punto de rocío. Este hecho confirma que la adaptabilidad climática del diseño es determinante para el rendimiento, tal como enfatizan Olivas (2021) y la Organización Mundial de la Salud (2021) en relación con las soluciones descentralizadas de agua potable en contextos adversos.

En cuanto a las limitaciones, al igual que lo identificó Bernal (2021) en contextos rurales de Colombia, el presente estudio se vio condicionado por las variaciones diarias y estacionales de humedad y temperatura, lo que influyó en la consistencia de la producción. Sin embargo, los resultados muestran que, incluso en condiciones menos favorables que las reportadas por Pajarón (2020) o AirOWater (2021), el sistema fue capaz de generar volúmenes significativos de agua para consumo doméstico básico, evidenciando su potencial como solución sostenible para zonas de escasez hídrica.



Finalmente, se destaca que el prototipo desarrollado no solo responde a las teorías de transferencia de calor y psicrometría aplicadas (Chávez et al., 2019; Ogata, 2010), sino que amplía el conocimiento disponible al demostrar la eficacia de integrar modelado térmico, simulación y control PID en sistemas de condensación atmosférica en altitudes elevadas y climas secos, aportando un precedente técnico replicable en otras regiones con problemáticas similares.



CONCLUSIONES

PRIMERO:

Se diseñó y desarrolló un prototipo generador de agua atmosférica utilizando celdas Peltier y control PID, capaz de operar en las condiciones climáticas del distrito de Juliaca. El sistema alcanzó una producción diaria promedio de 980 mL de agua con un consumo energético moderado, demostrando su viabilidad técnica como alternativa doméstica para mitigar la escasez hídrica en zonas rurales y periurbanas.

SEGUNDO:

Si bien la producción diaria promedio de 980 mL representa un aporte significativo frente a la falta de agua potable, aún no cubre la totalidad de los requerimientos de una familia promedio. Sin embargo, el resultado valida el potencial del sistema, que podría incrementarse mediante la optimización de la superficie de condensación, la mejora en la eficiencia de las celdas Peltier y el uso de fuentes energéticas renovables.

TERCERO:

El análisis térmico evidenció que la operación controlada mediante PID permitió alcanzar y mantener la temperatura del lado frío de las celdas cercana al punto de rocío (0,29 °C promedio anual para Juliaca), optimizando el tiempo de condensación y estabilizando el rendimiento del prototipo incluso en periodos de baja humedad relativa. Esto confirma que



un control térmico preciso es esencial para maximizar la eficiencia en condiciones climáticas adversas.

CUARTO:

La implementación del control PID mejoró significativamente la estabilidad térmica del sistema en comparación con un control manual o sin retroalimentación, reduciendo el tiempo para alcanzar el punto de rocío y aumentando la eficiencia energética. Este resultado respalda la pertinencia de integrar controladores automáticos en sistemas de condensación atmosférica, tal como se planteó en la hipótesis.



RECOMENDACIONES

PRIMERO:

Se recomienda evaluar la incorporación de múltiples módulos de celdas Peltier en paralelo para aumentar la capacidad de producción diaria de agua, especialmente si se busca atender las necesidades hídricas de más de una familia o ampliar su uso a pequeñas comunidades.

SEGUNDO:

Para reducir el costo operativo y aumentar la autonomía del sistema, es aconsejable integrar paneles solares fotovoltaicos. Esto permitiría que el prototipo funcione de manera independiente de la red eléctrica, incrementando su aplicabilidad en zonas rurales sin acceso a electricidad.

TERCERO:

A futuro, se sugiere implementar esquemas de control adaptativo o inteligente, como controladores tipo fuzzy logic o inteligencia artificial básica, que puedan ajustarse dinámicamente a las variaciones climáticas diarias, optimizando así aún más el rendimiento térmico del sistema.



BIBLIOGRAFÍA:

- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2024). *Informe sobre el acceso al agua potable en zonas periurbanas de la región Puno*. <https://www.ana.gob.pe/>
- Baeza, J. P., & Pomares, J. (2020). *Manual de arduino revision*. 345.
- Bernal, F. A. D., Paz, M., Moyano, L., & Ballesteros, F. (2021). *Estudio de factibilidad de un sistema de generación atmosférico de agua potable para los habitantes de la vereda Paramón en el municipio de Pulí, departamento de Cundinamarca [Trabajo de síntesis aplicada, Universidad Católica de Colombia]*.
- Chávez, J. M., Espejel-Blanco, D. F., Hernández-Aguirre, F. A., & Rascón-Barceló, L. E. (2019). *Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar*. *Revista de Ingeniería Innovativa*, October, 22–28. <https://doi.org/10.35429/joie.2019.11.3.22.28>
- De Oliveira, S. M. B. (2021). *Usando displays de texto LCD 16x2. 2*, 1–8.
- Dilernia, L. G., & Zecchin Chiaia, F. E. (2021). *Aplicación de ciclo de absorción a generador de agua atmosférico [Proyecto final, Universidad Argentina de la Empresa]. Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas*.
- Díaz Bernal, F. A., Paz, M., Moyano, L., & Ballesteros, F. (2018). *Estudio de factibilidad de un sistema de generación atmosférico de agua potable para los habitantes de la Vereda Paramón en el Municipio de Pulí, departamento de Cundinamarca*.
- Eduardo, A., & Alfredo, P. (2021). *PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA A GENERADOR DE AGUA ATMOSFERICO Dilernia , Luis Gabriel – LU : 1020506 Ingeniería Electromecánica Zecchin Chiaia , Franco Emiliano – LU : 1020633 Ingeniería Electromecánica Tutor :*



- Electronics, S. (2023). *MOSFET IRLZ44N Guide*. <https://www.sparkfun.com>
- Gonzales, E. (2020). *Sistema de refrigeración con efecto Peltier y superficies extendidas, para enfriamiento sensible de aire. Caso de estudio: dimensionamiento de una carga térmica de 100 W de refrigeración [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]*.
- González, L. (2022). *Fuentes de Alimentación y Regulación de Voltaje en Sistemas Electrónicos (Editorial)*.
- Industries, A. (2022). *DHT11 Temperature and Humidity Sensor*. <https://www.adafruit.com/product/386>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). *Acceso al agua potable en el Perú*. <https://www.inei.gob.pe/>
- Instruments, T. (2023a). *DS18B20 Precision Centigrade Temperature Sensors*. <https://www.ti.com/product/DS18B20>
- Instruments, T. (2023b). *LM2596 Simple Switcher Power Converter*. <https://www.ti.com/product/LM2596>
- Isidro, L. F., & Cisneros Tejeira, J. A. (2022). *Generación de agua con celdas Peltier a partir de la humedad del aire de la ciudad de Huacho [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]*.
- Moreno Ortiz, D. G., & García Romero, D. J. (2022). *Prototipo generador de agua con celdas de Peltier [Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]*.
- Ogata, K., Pinto Bermúdez, E., Matía, F., Pearson, E., Hall, P., Dorf, R. C., & Pearson, R. H. B. (2010). *Ingeniería de control moderna* www.elsolucionario.net.



Olivas, J. (2021). *Aprovechamiento de la humedad atmosférica como fuente no convencional de agua para uso doméstico [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].*

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos: el valor del agua.*
<https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021>

Pajarón, P. R. (2020). *Diseño y cálculo de un dispositivo para la obtención de agua potable por condensación de la humedad del aire [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid].*
https://oa.upm.es/42784/1/TFG_PABLO_RODRIGUEZ_PAJARON.pdf

Smith, J. (2021). *Thermal Management in Electronics: Cooling Solutions and Best Practices (Springer).*

Syariah, N., & Ilmu, F. (2021). *AirOWater: solución sostenible para la escasez de agua.* <https://www.airowater.com/>



ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Pregunta principal: ¿Cómo diseñar un prototipo generador de agua con celdas peltier, para uso doméstico en el distrito de Juliaca?</p>	<p>Objetivo general: Diseñar y desarrollar un prototipo generador de agua, para ayudar a las familias del distrito de Juliaca.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generar suficiente agua para ayudar al abastecimiento de una familia promedio. 2. analizar el comportamiento térmico del sistema de condensación mediante celdas Peltier para optimizar la producción de agua en condiciones reales del distrito de Juliaca. 3. Utilizar control PID para el diseño de nuestro proyecto. 	<p>Hipótesis general: El prototipo genera al menos 1 litro de agua atmosférica por día, contribuyendo de manera directa al abastecimiento doméstico básico de agua en viviendas del distrito de Juliaca bajo condiciones ambientales reales.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El prototipo logra condensar vapor de agua del aire en volúmenes suficientes para contribuir al abastecimiento básico en condiciones reales del distrito de Juliaca. Un adecuado control 2. del comportamiento térmico del sistema de celdas Peltier mejora significativamente la eficiencia en la producción de agua bajo las condiciones climáticas del distrito de Juliaca. 3. El diseño del prototipo y su control PID pueden ser realizados eficazmente en función del estudio climático del distrito de Juliaca. 	<p>Variables de la investigación</p> <p>Variable independiente:</p> <p>Prototipo generador de agua con celdas Peltier</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Producción de agua atmosférica</p>	<p>Tipo y nivel de la investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo: Aplicada (resuelve un problema práctico) - Nivel: Experimental (analizas relaciones causa-efecto al modificar variables) <p>Diseño:</p> <p>Pre-experimental (tienes un solo grupo de prueba sin grupo control)</p> <p>Método:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Científico (sigues pasos sistemáticos para verificar hipótesis) <p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación directa - Medición instrumental <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arduino Uno, sensores DHT11 y DS18B20 - Multímetro, pantalla LCD, mosfet IRLZ44N, MATLAB, Proteus



INSTRUMENTOS

Instrumento	Función principal	Precisión
Sensor DS18B20	Mide temperatura en grados Celsius de forma digital	$\pm 0,5$ °C
Sensor DHT11	Registra humedad relativa y temperatura ambiental	± 5 % HR / ± 2 °C
Multímetro digital	Verifica niveles de voltaje, corriente y continuidad eléctrica	$\pm 0,5$ % de la lectura
Arduino Uno	Controla el sistema PID y gestiona las señales de entrada/salida	—
Pantalla LCD 16x2	Muestra valores críticos como temperatura y humedad en tiempo real	—
Software MATLAB	Simula el comportamiento térmico del sistema controlado con PID	—
Cronómetro digital	Mide el tiempo operativo del prototipo y fases de condensación	0,01 s
Vaso medidor graduado	Cuantifica el volumen de agua producida	Capacidad: 2 L, precisión 5 mL
Termómetro industrial	Compara y verifica temperaturas medidas en el sistema y celdas Peltier	± 1 °C



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Estrategia de validación	Descripción	Resultado
Pruebas comparativas	Sensor DS18B20 verificado frente a un termómetro digital calibrado bajo condiciones ambientales estables.	Desviación mínima registrada, dentro de tolerancia especificada.
Ensayos de estabilidad	Registros estables y consistentes del DS18B20 y DHT11 durante monitoreo térmico; valores próximos al punto de rocío ($\approx 0,29$ °C) bajo control PID.	Datos coherentes visualizados en pantalla LCD.
Simulación matemática	Modelación del comportamiento térmico en MATLAB aplicando teoría de sistemas de primer orden; $\tau = 20$ s.	Constante de tiempo coincidió con respuesta experimental.
Validación energética	Medición del consumo mediante multímetro y comparación con cálculos teóricos.	Consumo de $\approx 93,94$ W, coherente con eficiencia de 469,7 W/L de agua.
Contraste de volumen	Vaso medidor graduado contrastado con patrón volumétrico para verificar capacidad y exactitud.	Precisión de ± 5 mL confirmada.
Verificación de tiempo	Cronómetro digital comprobado frente a temporizador patrón para validar exactitud en mediciones de operación.	Error inferior a 0,01 s.



Comparación de temperatura	Termómetro industrial cotejado con referencia calibrada para asegurar lecturas confiables en mediciones directas de las celdas.	Variación máxima ± 1 °C.
----------------------------	---	------------------------------

CUADRO DE ACTIVIDADES

Actividades						
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Presentación de perfil	X	X				
Elaboración del prototipo		X	X	X		
Trabajo de campo, validación de				X	X	
Entregable final y conclusiones						X

CÓDIGO EN MATLAB

% Implementación de un Controlador PID en MATLAB para el Sistema de Celdas Peltier

% Parámetros del sistema

K = 1.524; % Ganancia del sistema (°C/A)

tau = 20; % Constante de tiempo del sistema ajustada (s)

% Función de transferencia del sistema

num = [K];

den = [tau, 1];

G = tf(num, den);

% Parámetros del controlador PID ajustados para mejorar la estabilidad

Kp = 0.787; % Ganancia Proporcional

Ki = 0.0787; % Ganancia Integral

Kd = 7.874; % Ganancia Derivativa

% Crear el controlador PID ajustado

C = pid(Kp, Ki, Kd);

% Función de transferencia del sistema en lazo cerrado

T_setpoint = 0.29; % Punto de rocío (°C)

% Lazo cerrado con el controlador PID

G_cl = feedback(C * G, 1);

% Simulación



```
T_sim = 0:0.1:200; % Tiempo de simulación ajustado para constante de tiempo
más rápida
T_initial = 7.91; % Temperatura inicial (°C)
% Simular la respuesta al escalón sin PID (sistema abierto)
[y_no_pid, t_no_pid] = step(T_setpoint * G, T_sim);
% Simular la respuesta al escalón con PID (lazo cerrado)
[y_pid, t_pid] = step(T_setpoint * G_cl, T_sim);
% Graficar la respuesta del sistema sin PID (gráfica separada)
figure;
plot(t_no_pid, y_no_pid, 'g', 'LineWidth', 1.5); % Respuesta sin PID
yline(T_setpoint, 'r--', 'LineWidth', 1.2); % Línea de referencia para el punto de
rocío
title('Respuesta del Sistema de Celdas Peltier sin Control PID (Constante de
Tiempo: 15s)');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Temperatura (°C)');
legend('Temperatura sin Control PID', 'Punto de Rocío');
grid on;
% Graficar la respuesta del sistema con PID (gráfica separada)
figure;
plot(t_pid, y_pid, 'b', 'LineWidth', 1.5); % Respuesta con PID
yline(T_setpoint, 'r--', 'LineWidth', 1.2); % Línea de referencia para el punto de
rocío
title('Respuesta del Sistema de Celdas Peltier con Control PID (Constante de
Tiempo: 15s)');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Temperatura (°C)');
legend('Temperatura con Control PID', 'Punto de Rocío');
grid on;
% Graficar la respuesta del sistema con y sin PID (gráfica sobrepuesta)
figure;
plot(t_no_pid, y_no_pid, 'g', 'LineWidth', 1.5); % Respuesta sin PID
hold on;
plot(t_pid, y_pid, 'b', 'LineWidth', 1.5); % Respuesta con PID
yline(T_setpoint, 'r--', 'LineWidth', 1.2); % Línea de referencia para el punto de
rocío
title('Respuesta del Sistema de Celdas Peltier con y sin Control PID (Constante
de Tiempo: 15s)');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Temperatura (°C)');
legend('Temperatura sin Control PID', 'Temperatura con Control PID', 'Punto de
Rocío');
```



CÓDIGO EN ARDUINO

```
// ----- LIBRERÍAS NECESARIAS -----
#include <PID_v1.h>           // Controlador PID
#include <DHT.h>              // Sensor de temperatura y humedad
#include <Wire.h>             // Comunicación I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Pantalla LCD I2C
#include <OneWire.h>          // Protocolo 1-Wire
#include <DallasTemperature.h> // Sensor DS18B20

// ----- CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE -----
#define DHTPIN 2             // Pin de datos del sensor DHT11
#define DHTTYPE DHT11       // Tipo de sensor DHT
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);   // Crear objeto DHT

#define ONE_WIRE_BUS 7       // Pin de datos del sensor DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Inicializa OneWire
DallasTemperature ds18b20(&oneWire); // Objeto para manejar el DS18B20
DeviceAddress tempDeviceAddress; // Dirección del sensor DS18B20

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // LCD I2C con dirección 0x27 y tamaño 16x2

#define PELTIER_PWM_PIN 3    // Pin PWM que controla el IRLZ44N

// ----- CONFIGURACIÓN DEL PID -----
double Setpoint = 0.29;     // Punto de rocío fijo (°C)
double Input, Output;       // Temperatura medida y señal de salida PWM

// Constantes del PID ajustadas (puedes modificar según resultados)
double Kp = 0.787;
double Ki = 0.0787;
double Kd = 7.874;

// Inicializa el PID
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

// ----- FUNCIÓN SETUP -----
void setup() {
  Serial.begin(9600);        // Comunicación serial
  dht.begin();               // Inicializa DHT11
  ds18b20.begin();          // Inicializa DS18B20

  // Verifica si se detecta el sensor DS18B20
```



```
if (!ds18b20.getAddress(tempDeviceAddress, 0)) {
  Serial.println(" ✘ DS18B20 no detectado. Verifica conexión.");
  while (true);          // Detiene el sistema
}

pinMode(PELTIER_PWM_PIN, OUTPUT); // Configura el pin como salida
PWM

lcd.init();              // Inicializa el LCD
lcd.backlight();        // Enciende retroiluminación
lcd.print("Inicializando...");
delay(2000);
lcd.clear();

myPID.SetMode(AUTOMATIC); // Modo automático del PID
myPID.SetOutputLimits(0, 255); // PWM entre 0 y 255
}

// ----- LOOP PRINCIPAL -----
void loop() {
  float humedad = dht.readHumidity();          // Lee humedad (opcional)
  ds18b20.requestTemperatures();              // Solicita temperatura al
  DS18B20
  float tempC = ds18b20.getTempC(tempDeviceAddress); // Lee temperatura
  en °C

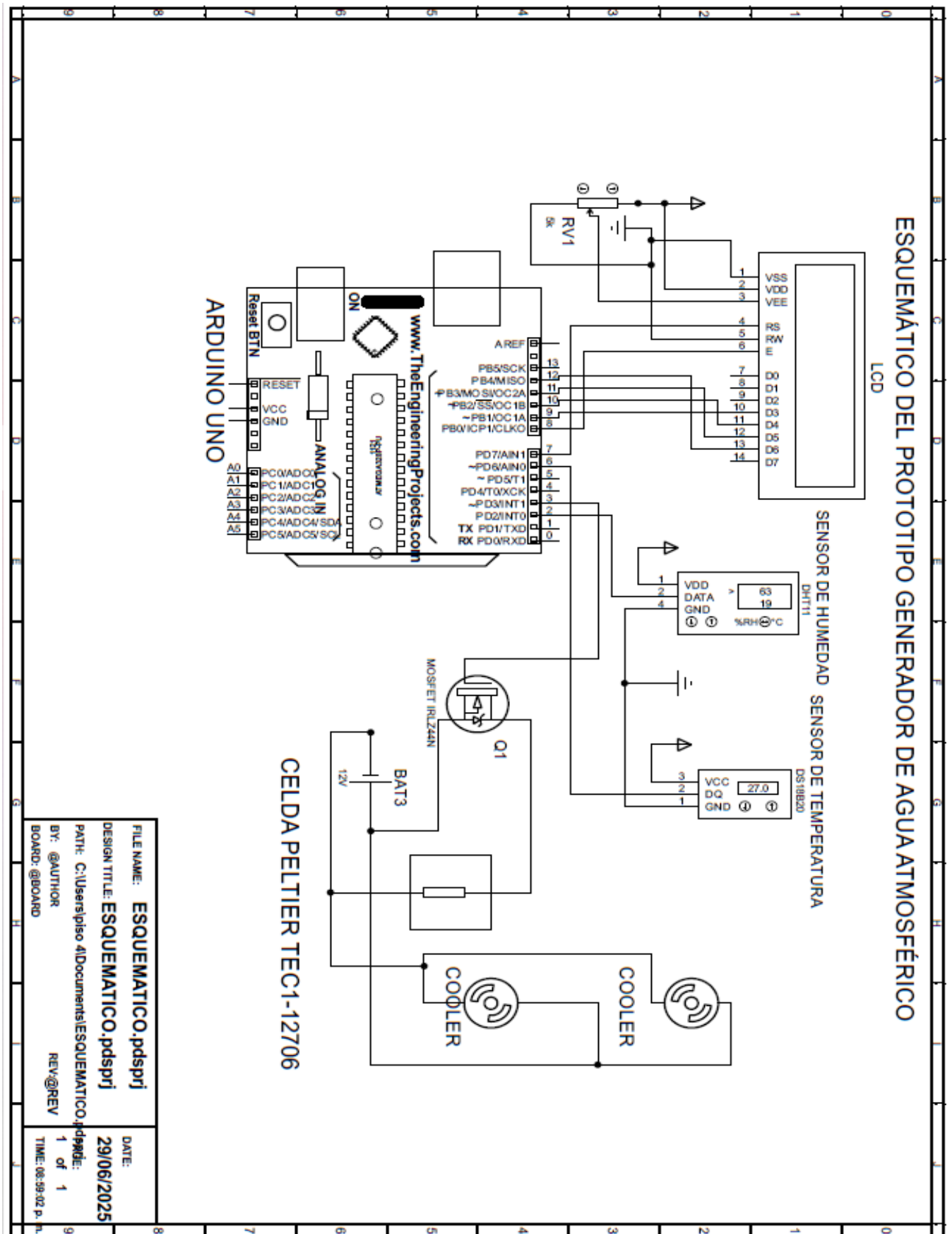
  // Verifica si el sensor está desconectado o da error
  if (tempC == DEVICE_DISCONNECTED_C || tempC == -127.0) {
    Serial.println(" ⚠ Error: DS18B20 desconectado.");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Error DS18B20");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Revisa conexión");
    delay(2000);
    return; // Salta esta iteración
  }

  Input = tempC;          // Entrada del PID
  myPID.Compute();       // Ejecuta el cálculo PID
  analogWrite(PELTIER_PWM_PIN, (int)Output); // Aplica señal PWM al
  IRLZ44N
}
```



```
// ----- LCD -----  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Temp: ");  
lcd.print(Input, 1);  
lcd.print("C");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Hum: ");  
lcd.print(humedad, 1);  
lcd.print("% P:");  
lcd.print(Output, 0);  
  
delay(1000); // Espera 1 segundo  
}
```

ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: _____

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: ESLEYTER MARCO MULLISACA TORRES

Dirección: JR. CALIXTO ARETEGUI 978

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70838639

Teléfono: 970900052 email: ESLEYTERO21@GMAIL.COM

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Escuela Profesional o Mención: INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO ELECTRÓNICO Y DE TELECOMUNICACIONES

Asesor: ING. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE AGUA CON CELDAS PELTIER PARA USO DOMESTICO EN EL DISTRITO DE JULIACA

Palabras claves, (3 a 5 términos): CELDS PELTIER, AGUA ATMOSFERICA, PID

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

NO

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Título
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGIA DE LA ELECTRÓNICA

Firma de Autor



huella digital

05 SEPTIEMBRE 2025

Fecha