

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL
DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN
DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD
GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA.**

Autores:

Bach. Delgado Ruiz Henry Alexis

Bach. Rojas Cruz Karen Laney

Asesor: Mg. Pinedo Nava Henry Oswaldo




Línea de investigación: Eficiencia Energética

JAÉN – PERÚ

2025

Henry A. Delgado Ruiz Karen L. Rojas Cruz

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCI...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3446536940

126 páginas

Fecha de entrega

16 dic 2025, 12:48 p.m. GMT-5

23.722 palabras

130.035 caracteres

Fecha de descarga

16 dic 2025, 1:04 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Informe_final_V8-Henry_Karen.pdf

Tamaño del archivo

5.1 MB



Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
228 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día viernes 19 de diciembre del 2025, siendo las 18:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario : Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez
Vocal : M.Sc. Adán Díaz Ruiz

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
() Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA".

Presentado por los tesisistas bachiller (es): **Henry Alexis Delgado Ruiz y Karen Laney Rojas Cruz**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- () Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 19:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Mg. José Andrés Fernández Mera
Presidente Jurado Evaluador


Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez
Secretario Jurado Evaluador


M.Sc. Adán Díaz Ruiz
Vocal Jurado Evaluador

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS
(PREGRADO)**

Yo, **Henry Alexis Delgado Ruiz y Karen Laney Rojas Cruz**, egresados de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° 73756598 y 74288421 respectivamente.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Evaluación de la eficiencia energética y nivel de contaminación del proceso de combustión de cocinas GLP en función de la altitud geográfica en la región de Cajamarca”.


Asesorado por Henry Oswaldo Pinedo Nava.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

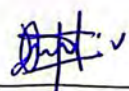

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén 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.

Fecha: Jaén, 30 de diciembre del 2025



Henry Alexis Delgado Ruiz



Karen Laney Rojas Cruz

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Antecedentes	12
1.2. Problemática	17
1.3. Justificación	19
1.4. Hipótesis	20
1.5. Objetivos	21
1.5.1. Objetivo General	21
1.5.2. Objetivos específicos	21
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.1. Instrumentos de recolección de datos	22
2.2. Software de Ingeniería	33
2.3. Ubicación del área de estudio	34
2.4. Población, Muestra y Muestreo	35
2.4.1. Población.....	35
2.4.2. Muestra.....	35
2.4.3. Muestreo.....	35
2.5. Métodos y Procedimientos Utilizados.	36
2.5.1. Métodos.....	36
2.5.2. Procedimiento	39
III. RESULTADOS	67

3.1.	Altitudes registradas en las ciudades de estudio	67
3.2.	Sistemas de control físico	68
3.3.	Sistema de control electrónico	70
3.4.	Verificación y Funcionamiento del sistema automatizado	72
3.5.	Realización de las pruebas experimentales en campo	73
3.5.1.	Pruebas realizadas en la ciudad de San Ignacio	73
3.5.2.	Pruebas realizadas en la ciudad de Jaén.....	74
3.5.3.	Pruebas realizadas en la ciudad de Chota	76
3.5.4.	Pruebas realizadas en la ciudad de Hualgayoc.....	77
3.5.5.	Pruebas realizadas en la ciudad de Cajamarca.....	78
3.6.	Análisis descriptivo de la eficiencia energética y nivel de las emisiones contaminantes.	80
3.6.1.	Análisis descriptivo de la Eficiencia Energética respecto a la altitud	80
3.6.2.	Análisis descriptivo del nivel de emisiones contaminantes respecto a la altitud.	81
3.6.3.	Tiempo de ebullición y su relación con la eficiencia energética ...	84
3.7.	Análisis inferencial mediante ANOVA	85
3.7.1.	ANOVA para las emisiones de monóxido de carbono (CO)	85
3.7.2.	ANOVA para las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂).....	89
3.7.3.	ANOVA para las emisiones de concentración de GLP	90
3.7.4.	ANOVA para la eficiencia energética	92

IV. DISCUSIÓN.....	94
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1. Conclusiones.....	100
5.2. Recomendaciones	101
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
DEDICATORIA.....	106
AGRADECIMIENTO	108
ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificaciones técnicas del Arduboard Uno R3</i>	22
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del Arduboard Nano CH340G mini - USB</i>	23
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas del Display OLED 1.3" I2C 128*64 SH1106</i>	24
Tabla 4 <i>Especificaciones técnicas del Módulo RTC DS3231</i>	25
Tabla 5 <i>Especificaciones técnicas del Módulo Lector de Memoria Micro SD</i>	26
Tabla 6 <i>Especificaciones técnicas del Convertidor voltaje DC – DC</i>	27
Tabla 7 <i>Especificaciones técnicas del Sensor de presión BMP280</i>	28
Tabla 8 <i>Especificaciones técnicas del Sensor MQ-2 Gas GLP/GNV</i>	29
Tabla 9 <i>Especificaciones técnicas del Sensor MQ-7 Gas CO Monóxido de Carbono</i> ...	30
Tabla 10 <i>Especificaciones técnicas del Sensor MQ-135 Gas Calidad de Aire</i>	31
Tabla 11 <i>Especificaciones técnicas del Bateria 12N7 – 3B SMF PLATINIUM</i>	32
Tabla 12 <i>Tipos de variables de estudio</i>	38
Tabla 13 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	38
Tabla 14 <i>Operacionalización de las variables dependientes</i>	38
Tabla 15 <i>Altitudes correspondientes a las provincias de la región Cajamarca</i>	40
Tabla 16 <i>Índice de alerta de seguridad para concentraciones de GLP</i>	62
Tabla 17 <i>Niveles permitidos de CO en el aire</i>	63
Tabla 18 <i>Niveles permitidos de CO₂ en el aire</i>	64
Tabla 19 <i>Ubicación geográfica de las 5 provincias</i>	67
Tabla 20 <i>Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de San Ignacio</i>	73
Tabla 21 <i>Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de San Ignacio</i>	74
Tabla 22 <i>Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de San Ignacio</i>	74
Tabla 23 <i>Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Jaén</i>	75
Tabla 24 <i>Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Jaén</i>	75

Tabla 25 <i>Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Jaén</i>	75
Tabla 26 <i>Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Chota</i>	76
Tabla 27 <i>Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Chota</i>	76
Tabla 28 <i>Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Chota</i>	77
Tabla 29 <i>Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Hualgayoc</i>	77
Tabla 30 <i>Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Hualgayoc</i>	78
Tabla 31 <i>Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Hualgayoc</i>	78
Tabla 32 <i>Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Cajamarca</i>	79
Tabla 33 <i>Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Cajamarca</i>	79
Tabla 34 <i>Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Cajamarca</i>	79
Tabla 35 <i>Clasificación de los niveles permitidos de CO₂ en el aire</i>	83
Tabla 36 <i>Clasificación de los niveles permitidos de CO en el aire</i>	83
Tabla 37 <i>Clasificación de la concentración de GLP según riesgo de absorción</i>	84
Tabla 38 <i>Emisiones promedio de CO por turno y ciudad</i>	85
Tabla 39 <i>Resumen de sumas, promedios y varianzas, por ciudad y turno</i>	86
Tabla 40 <i>ANOVA para emisiones de CO</i>	87
Tabla 41 <i>Emisiones promedio de CO₂ por turno y ciudad</i>	89
Tabla 42 <i>ANOVA para emisiones de CO₂</i>	89
Tabla 43 <i>Emisiones promedio de concentración de GLP por turno y ciudad</i>	90
Tabla 44 <i>ANOVA para concentraciones de GLP</i>	91
Tabla 45 <i>Valores promedios de eficiencia energética por ciudad y por turno</i>	92
Tabla 46 <i>ANOVA para la Eficiencia Energética</i>	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Arduboard Uno R3</i>	22
Figura 2 <i>Arduboard Nano CH340G mini – USB</i>	23
Figura 3 <i>Display OLED 1.3" I2C 128*64 SH1106</i>	24
Figura 4 <i>Módulo RTC DS3231</i>	25
Figura 5 <i>Módulo Lector de Memoria Micro SD CARD 74LVC125A</i>	26
Figura 6 <i>Convertidor voltaje DC – DC STEP – UP – DOWN 1.5A XL6009</i>	27
Figura 7 <i>Sensor de presión BMP280</i>	28
Figura 8 <i>Sensor MQ-2 Gas GLP/GNV</i>	29
Figura 9 <i>Sensor MQ-7 Gas CO Monóxido de Carbono</i>	30
Figura 10 <i>Sensor MQ-135 Gas Calidad de Aire</i>	31
Figura 11 <i>Bateria 12N7 – 3B SMF PLATINIUM</i>	32
Figura 12 <i>Ubicación geográfica de Cajamarca</i>	34
Figura 13 <i>Diagrama de flujo del procedimiento realizado en la investigación</i>	39
Figura 14 <i>Diseño de estructura para aislamiento y conducción de los gases</i>	44
Figura 15 <i>Diseño estructural para el soporte de la cocina a GLP</i>	45
Figura 16 <i>Diseño de la estructura para alojamiento de los sensores MQ y BMP280</i> ...	46
Figura 17 <i>Diseño de estructura para alojamiento de las termocuplas y OLED</i>	47
Figura 18 <i>Diagrama de bloques del sistema</i>	49
Figura 19 <i>Diagrama electrónico para el Arduino Nano</i>	51
Figura 20 <i>Diagrama electrónico para el Arduino Uno</i>	53
Figura 21 <i>Curva de calibración del sensor MQ2</i>	55
Figura 22 <i>Curva de calibración del sensor MQ7</i>	56
Figura 23 <i>Curva de calibración del sensor MQ135</i>	56
Figura 24 <i>Ecuaciones para los sensores MQ2, MQ7 y MQ135</i>	57

Figura 25 <i>Cronograma de las actividades a evaluar</i>	59
Figura 26 <i>Pasos para ejecutar un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores</i>	66
Figura 27 <i>Distribución altitudinal de las 5 ciudades en la región Cajamarca</i>	67
Figura 28 <i>Estructura final para el alojamiento de los sensores MQ y pantalla Oled</i> ...	68
Figura 29 <i>Estructura final para el montaje de las termocuplas y pantalla Oled</i>	69
Figura 30 <i>Estructura final de aislamiento y conducción de gases</i>	69
Figura 31 <i>Estructura final utilizada como base para la cocina GLP</i>	70
Figura 32 <i>Montaje del módulo de censado ambiental conectados al Arduino Nano</i>	71
Figura 33 <i>Montaje del módulo de censado térmico conectado al Arduino Uno</i>	71
Figura 34 <i>Visualización de los parámetros en las pantallas OLED</i>	72
Figura 35 <i>Sistema de medición final</i>	72
Figura 36 <i>Eficiencia energética respecto a la altitud</i>	80
Figura 37 <i>Distribución de emisiones de CO, CO₂ y GLP en función de la altitud</i>	81
Figura 38 <i>Variación del CO y concentración de GLP en función de la altitud</i>	82
Figura 39 <i>Variación del tiempo de ebullición en función de la altitud geográfica</i>	85
Figura 40 <i>Primera fase de pruebas en ambiente abierto</i>	98
Figura 41 <i>Segunda fase de pruebas con estructura de madera</i>	98
Figura 42 <i>Tercera fase de pruebas con estructura de succión con enfriamiento</i>	99

RESUMEN

El GLP es el principal combustible residencial en el Perú, pero su combustión se ve afectada por la altitud debido a la reducción de presión y disponibilidad de oxígeno. Por ello, el objetivo general de esta investigación fue evaluar la eficiencia energética y el nivel de contaminación generados por cocinas a GLP en cinco ciudades de la región Cajamarca (703–3323 m s. n. m.). Se desarrolló un sistema automatizado de medición utilizando sensores MQ-2, MQ-7, MQ-135, BMP280 y termocuplas tipo K, integrados a microcontroladores Arduino, registrándose datos cada 3 s durante las pruebas de campo. Los resultados mostraron que la eficiencia energética presentó variaciones asociadas a la altitud: Jaén alcanzó 22 %, mientras que Cajamarca y Hualgayoc registraron 25 % y 18 %, respectivamente. Las emisiones de CO aumentaron con la altitud (33.33 ppm en Jaén y 72.67 ppm en Hualgayoc), y el CO₂ presentó un patrón ascendente con valores máximos en Hualgayoc (2705.33 ppm). La concentración de GLP se mantuvo en rangos moderados (21–50.44 ppm). El análisis ANOVA confirmó diferencias significativas entre ciudades para CO, CO₂, GLP y eficiencia energética ($p < 0.05$), evidenciando la influencia directa de la altitud en la combustión.

Palabras clave: GLP, combustión, eficiencia energética, contaminación, altitud.

ABSTRACT

LPG is the main residential fuel in Peru; however, its combustion is affected by altitude due to reduced atmospheric pressure and lower oxygen availability. Therefore, the general objective of this research was to evaluate the energy efficiency and pollution levels generated by LPG stoves in five cities of the Cajamarca region (703–3323 m a.s.l.). An automated measurement system was developed using MQ-2, MQ-7, MQ-135 and BMP280 sensors, as well as type K thermocouples integrated into Arduino microcontrollers, recording data every 3 seconds during field tests. The results showed that energy efficiency varied according to altitude: Jaén reached 22%, while Cajamarca and Hualgayoc recorded 25% and 18%, respectively. CO emissions increased with altitude (33.33 ppm in Jaén and 72.67 ppm in Hualgayoc), and CO₂ displayed an ascending pattern, with maximum values in Hualgayoc (2705.33 ppm). LPG concentrations remained within moderate ranges (21–50.44 ppm). The ANOVA analysis confirmed significant differences between cities for CO, CO₂, LPG concentration, and energy efficiency ($p < 0.05$), demonstrating the direct influence of altitude on LPG combustion performance.

Keywords: LPG, combustion, energy efficiency, pollution, altitude.

I. INTRODUCCIÓN

El gas licuado de petróleo (GLP) constituye la principal fuente de energía para la cocción doméstica en el Perú, siendo ampliamente utilizado en zonas urbanas y rurales debido a su disponibilidad y costo accesible. Sin embargo, su proceso de combustión puede verse modificado por factores atmosféricos que varían según la altitud geográfica, como la presión barométrica, la densidad del aire y la temperatura ambiental. En regiones altoandinas, estas condiciones pueden alterar el desempeño térmico de las cocinas a GLP y modificar la formación de contaminantes producto de la combustión.

Ante esta ausencia de información técnica, se consideró necesario desarrollar una investigación que permita caracterizar de manera objetiva el comportamiento de la combustión del GLP en diferentes pisos altitudinales. En este contexto, el presente trabajo tuvo como propósito evaluar la eficiencia energética y el nivel de contaminación generados por cocinas a GLP en cinco ciudades de la región Cajamarca, seleccionadas por su variación altitudinal. Para ello, se diseñó e implementó un sistema automatizado capaz de registrar parámetros térmicos, ambientales y de calidad del aire durante ensayos controlados de ebullición de agua.

La investigación se sustenta en la necesidad de contar con datos experimentales confiables que aporten al entendimiento del desempeño energético del GLP en condiciones reales de uso y que sirvan como base para futuras investigaciones orientadas a la optimización de sistemas de combustión doméstica en zonas de altura.

1.1. Antecedentes

Ciña (2019), desarrolló un estudio orientado a establecer una línea base de rendimiento energético y emisiones generadas por cocinas domésticas a GLP y gas natural en diversas regiones del país. Su objetivo fue determinar cómo la altitud y el tipo de cocina influían en la eficiencia térmica y en la producción de contaminantes. Los resultados mostraron que el incremento de la altitud reduce la eficiencia y aumenta las emisiones de CO, debido a la menor disponibilidad de oxígeno para la combustión. Este estudio constituye un antecedente fundamental, porque demuestra el efecto directo de la altitud sobre la combustión del GLP y permite contextualizar las tendencias observadas en la presente investigación.

Bhutton (2024), llevó a cabo un estudio en Pakistán con el objetivo de analizar el efecto de la presión barométrica sobre el punto de ebullición del agua. La investigación se desarrolló mediante mediciones experimentales en distintas altitudes, observando el comportamiento del agua frente a variaciones en la presión atmosférica. Los resultados indicaron que existe una relación directamente proporcional entre la presión barométrica y el punto de ebullición: al disminuir la presión, como ocurre en zonas de mayor altitud, el agua alcanzó su punto de ebullición a temperaturas inferiores a 100 °C. Se concluyó que este comportamiento físico tiene un impacto directo en actividades cotidianas como la cocción de alimentos, especialmente en regiones montañosas. Este estudio contribuirá a la investigación, ya que proporciona una base científica sobre cómo la altitud modifica las condiciones físicas del entorno, en particular el punto de ebullición del agua.

Rojas et al. (2017), realizaron una evaluación del rendimiento térmico y las emisiones de cocinas GLP en cinco localidades entre 2200 y 4200 m s.n.m. El estudio comparó tres cocinas comerciales y un prototipo diseñado por los autores. Se encontró que la eficiencia disminuyó significativamente con la altitud y que las cocinas

comerciales presentaron mayores emisiones respecto al prototipo. Asimismo, se observó que la potencia, las emisiones y el rendimiento térmico de las cocinas comerciales variaron significativamente con la altitud, mientras que el prototipo demostró una eficiencia térmica superior al 50% y niveles de emisión de monóxido de carbono (CO) inferiores al 0.15%. Este estudio contribuirá a la investigación, ya que confirma que la altitud influye directamente en el rendimiento energético y las emisiones de cocinas GLP.

Rojas et al. (2019), desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue mejorar el rendimiento térmico de cocinas industriales que utilizan gas licuado de petróleo (GLP) en la ciudad de Lima. El estudio consistió en la evaluación experimental de un prototipo de cocina desarrollado por los autores, el cual fue comparado con cocinas industriales comerciales disponibles en el mercado. Los resultados mostraron que el prototipo alcanzó un rendimiento térmico del 59%, superando significativamente a las cocinas comerciales, que obtuvieron un rendimiento del 45%. Además, se destacó que el prototipo operó eficientemente con presiones de trabajo entre 28 y 60 mbar, a diferencia de las cocinas convencionales que requerían presiones más elevadas, entre 3 y 6 bar. Este estudio contribuirá con la investigación, ya que proporciona una referencia sobre la eficiencia térmica alcanzable en cocinas que utilizan GLP y destaca la importancia de optimizar parámetros como la presión de trabajo.

Guatapi y García (2022). Desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue diseñar un prototipo capaz de medir, analizar y purificar gases contaminantes presentes en el aire, utilizando tecnología de sensores electroquímicos y monitoreo en tiempo real. El sistema se integró con una pantalla HMI Nextion y la plataforma Ubidots para visualización local y remota. La metodología incluyó el uso de sensores para la detección de gases como CO₂, NO₂, NH₃, CO, O₃, así como partículas en suspensión (PM10 y PM2.5), además de variables ambientales como temperatura y humedad. Se incorporaron filtros HEPA, de

carbón activado, y una turbina que se activaba automáticamente al detectar concentraciones elevadas de contaminantes. Los resultados confirmaron que el prototipo funcionó adecuadamente como una herramienta accesible y eficiente para mejorar la calidad del aire en espacios interiores, siendo especialmente útil para personas con enfermedades respiratorias. El sistema también demostró eficacia al detectar dióxido de carbono mediante el sensor MQ-135, mostrando los niveles en la interfaz HMI. No obstante, este estudio contribuirá a la investigación, ya que demuestra el uso práctico y funcional de sensores para el análisis de contaminantes gaseosos en ambientes cerrados.

Shen et al. (2020). Desarrollaron un estudio orientado a evaluar el desempeño energético y las emisiones contaminantes generadas por cocinas domésticas que utilizan gas licuado de petróleo (GLP). El objetivo principal fue cuantificar la eficiencia térmica y los factores de emisión bajo diferentes condiciones de combustión, utilizando para ello 89 pruebas experimentales realizadas en laboratorio con cinco modelos comerciales de cocinas GLP. En su análisis, reportaron que la eficiencia térmica promedio alcanzó el 51 % (± 6 %), cumpliendo con los estándares del nivel más alto (Tier 4) establecidos por la International Organization for Standardization (IWA 11). Asimismo, se determinaron factores de emisión para CO₂, CO, hidrocarburos totales, metano y NO_x, evidenciando niveles bajos de contaminantes y mostrando que aproximadamente el 90 % de los datos de PM_{2.5} estuvieron por debajo del límite de detección. Sin embargo, al operar los quemadores con un flujo mínimo de aire, se observó una combustión menos completa caracterizada por una llama amarilla y un incremento de CO, PM_{2.5}, carbono elemental y carbono negro. Este estudio contribuirá a la presente investigación, ya que proporciona referencias experimentales sobre la eficiencia térmica y el comportamiento de las emisiones contaminantes en cocinas GLP, parámetros directamente relacionados con el proceso de combustión evaluado en diferentes altitudes de la región Cajamarca.

Islam et al. (2021). Desarrollaron un estudio orientado a evaluar las emisiones reales generadas por cocinas de biomasa y cocinas a GLP en condiciones de uso cotidiano en zonas rurales de la India. El objetivo principal fue cuantificar los factores de emisión y la variabilidad de contaminantes bajo situaciones no controladas, mediante una campaña de medición realizada durante un ensayo de intervención de varios años. En total, se efectuaron 253 pruebas de cocción sin control experimental durante tres periodos de aproximadamente tres meses en dos localidades distintas, midiendo contaminantes como material particulado fino ($PM_{2.5}$), carbono orgánico y elemental (OC y EC), carbono negro (BC) y monóxido de carbono (CO). Los resultados mostraron que las cocinas tradicionales de biomasa presentaron una alta variabilidad en los factores de emisión, influenciada por propiedades del combustible, humedad relativa y duración de la cocción. Las cocinas de tipo “rocket” lograron reducciones moderadas respecto a las tradicionales, mientras que las cocinas a GLP exhibieron los factores de emisión más bajos, con reducciones superiores al 90% en $PM_{2.5}$ y CO en comparación con estufas de biomasa. Sin embargo, se observó que las emisiones de GLP en condiciones reales fueron mayores que las medidas en laboratorio, debido a combustión no ideal y a la influencia de otras fuentes presentes en los hogares. Este estudio contribuirá a la presente investigación, proporcionando evidencia empírica sobre el comportamiento real de las emisiones de cocinas GLP, así como sobre los factores ambientales que pueden modificar la eficiencia y la calidad de la combustión en entornos domésticos.

Shkarovskiy et al. (2025). Desarrollaron un estudio orientado a analizar los problemas de contaminación del aire interior en departamentos equipados con cocinas a gas. El objetivo fue evaluar los niveles potenciales de contaminantes, principalmente los óxidos de nitrógeno (NO_x), generados durante la combustión del gas y su impacto en la salud humana. En su análisis, los autores revisaron la normativa internacional sobre

concentraciones máximas permisibles de NO_x e identificaron diferencias relevantes entre los estándares aplicados en distintos países. Asimismo, realizaron cálculos teóricos para estimar la concentración de NO_x que podría acumularse en cocinas domésticas, considerando factores como el tipo de quemador, diseño de la estufa y condiciones de ventilación. Complementariamente, llevaron a cabo estudios experimentales en apartamentos equipados con cocinas a gas, midiendo directamente las concentraciones de NO_x bajo diversas configuraciones de uso. Los resultados mostraron que ciertas combinaciones de diseño del quemador y ventilación reducida pueden generar acumulaciones de NO_x potencialmente peligrosas para la salud. Este estudio contribuirá a la presente investigación, ya que evidencia cómo los procesos de combustión en entornos domésticos pueden modificar la calidad del aire interior y resalta la necesidad de evaluar parámetros contaminantes —como CO, CO₂ y GLP— en condiciones reales de operación, tal como se realiza en el presente trabajo.

Kephart et al. (2020). Desarrollaron un estudio orientado a caracterizar las exposiciones a dióxido de nitrógeno (NO₂) generadas por cocinas a GLP en el contexto de una intervención de cocción limpia en comunidades de los Andes peruanos. El objetivo fue cuantificar las concentraciones de NO₂ tanto en las cocinas como en la exposición personal de los usuarios, comparando hogares que adoptaron cocinas a GLP con hogares que continuaron utilizando cocinas a biomasa. En su metodología, realizaron mediciones continuas durante 48 horas en 100 viviendas y registraron simultáneamente el uso real de las cocinas mediante monitores electrónicos. Los resultados evidenciaron que, tras la intervención, las concentraciones horarias más altas de NO₂ fueron significativamente menores en los hogares equipados con cocinas a GLP (media geométrica de 138 ppb) en comparación con los hogares que seguían utilizando biomasa (450 ppb). Asimismo, las concentraciones medias de 24 horas y las exposiciones personales fueron notablemente

más bajas en el grupo GLP, aunque en promedio las cocinas a GLP superaron temporalmente la guía horaria de calidad del aire de la OMS durante aproximadamente 1.3 horas al día. Este estudio contribuirá a la presente investigación, ya que demuestra que, si bien el GLP reduce de manera importante la exposición a contaminantes en comparación con la biomasa, persisten emisiones relevantes dentro del ambiente doméstico, lo que respalda la importancia de monitorear gases como CO, CO₂ y NO₂ en la evaluación del rendimiento ambiental de las cocinas GLP.

1.2. Problemática

Según la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH), el GLP es el hidrocarburo más consumido a nivel residencial en el Perú, con una estadística de que 8 de cada 10 hogares lo utilizan para la preparación de alimentos u otros. Por otra parte, la Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía (ERCUE) también confirmó que el GLP es el principal combustible en las cocinas peruanas, con una presencia en el 74% de los hogares.

Velasco y Velasco (2014), la altitud afecta de manera directa las propiedades termodinámicas del aire. A medida que se asciende sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye debido a la reducción del peso de la columna de aire que se encuentra por encima del punto de observación. Esta disminución de presión provoca que las moléculas de aire se encuentren más separadas entre sí, lo que reduce su densidad. En otras palabras, el aire contiene menos cantidad de oxígeno por unidad de volumen, aun cuando su composición porcentual permanece aproximadamente constante.

Esta menor densidad tiene implicancias relevantes en procesos de combustión: al haber menos oxígeno disponible, la mezcla aire-combustible se vuelve menos eficiente, retardando la ignición, disminuyendo la temperatura de la llama y generando una combustión incompleta. Como consecuencia, los equipos diseñados para operar a nivel

del mar experimentan pérdidas de rendimiento en zonas de gran altitud y tienden a producir mayores emisiones contaminantes, especialmente monóxido de carbono (CO), producto típico de combustiones deficientes.

La problemática se intensifica cuando el GLP se quema de manera incompleta, ya que este proceso favorece la formación de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales se acumulan con mayor facilidad en espacios reducidos o con ventilación limitada. El CO es altamente tóxico incluso a bajas concentraciones, mientras que los NOx generan irritación respiratoria y contribuyen a la formación de smog fotoquímico.

Aunque el dióxido de carbono (CO₂) no es tóxico en concentraciones típicas de ambientes domésticos, su incremento es un indicador directo de una combustión menos eficiente y puede contribuir al deterioro de la calidad del aire interior. Además, tanto el CO₂ como los NOx participan en procesos que afectan el equilibrio atmosférico y la degradación de la capa de ozono.

Frente a la problemática descrita, surgió la necesidad de desarrollar un sistema automatizado capaz de registrar de manera continua los parámetros requeridos para el cálculo de la eficiencia energética y la evaluación del nivel de contaminación generado durante la combustión de GLP. Este sistema se implementó con el propósito de analizar el comportamiento del proceso de combustión en función de la altitud, considerando un gradiente geográfico que abarcó desde la ciudad ubicada a menor elevación hasta aquella situada a mayor altura dentro de la región Cajamarca.

1.3. Justificación

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) constituye el principal combustible empleado en los hogares peruanos para la preparación de alimentos, y su uso está especialmente extendido en la región Cajamarca debido a su disponibilidad, accesibilidad y facilidad de transporte. Sin embargo, esta región presenta una marcada heterogeneidad altitudinal, con ciudades ubicadas entre los 748 y más de 3500 m s. n. m., lo que introduce una variable físico-ambiental capaz de modificar el desempeño térmico y las emisiones de las cocinas que utilizan GLP: la altitud geográfica.

La disminución de la presión atmosférica y de la disponibilidad de oxígeno a mayores elevaciones afecta directamente el proceso de combustión, reduciendo la temperatura de la llama y generando mezclas aire-combustible menos estables. Esto produce una combustión menos eficiente, un mayor consumo de GLP para lograr el mismo nivel de cocción y, en consecuencia, un incremento en los costos energéticos de los hogares, especialmente en aquellos con recursos económicos limitados.

A nivel ambiental y sanitario, las condiciones de combustión incompleta asociadas a las zonas de mayor altitud favorecen la liberación de contaminantes como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y gases residuales del GLP. En ambientes domésticos con ventilación deficiente, estos contaminantes pueden acumularse y constituir un riesgo para la salud, contribuyendo a problemas respiratorios, cardiovasculares y neurológicos, particularmente en poblaciones vulnerables como niños y adultos mayores.

A pesar de la importancia de este problema, la región Cajamarca carece de estudios experimentales que cuantifiquen cómo la altitud influye simultáneamente en la eficiencia energética y en los niveles de contaminación generados durante la combustión

del GLP. Esta ausencia de información limita la posibilidad de optimizar prácticas de uso, orientar políticas públicas o promover mejoras tecnológicas adaptadas a las condiciones altoandinas.

La presente investigación busca cubrir esta brecha mediante la implementación de un sistema automatizado de medición que permita registrar con precisión variables térmicas, ambientales y de calidad del aire durante el proceso de ebullición del agua con cocinas GLP en distintas altitudes de la región. Desde una perspectiva científica, los resultados ofrecerán evidencia empírica sobre el comportamiento de la combustión del GLP en condiciones atmosféricas no estándar. En el ámbito tecnológico, permitirá identificar oportunidades de mejora en la calibración, el diseño y la selección de cocinas adecuadas para zonas de altura. Socialmente, los hallazgos podrían contribuir a reducir los costos energéticos y mejorar la seguridad doméstica. Finalmente, desde la perspectiva ambiental, el uso eficiente del GLP contribuye a disminuir las emisiones contaminantes y a promover prácticas energéticas más sostenibles.

Por tanto, esta investigación justifica su pertinencia al abordar una problemática real que afecta simultáneamente la economía familiar, la salud pública, el desempeño energético y el medio ambiente en la región Cajamarca, generando conocimientos aplicables y necesarios para contextos altoandinos del país.

1.4. Hipótesis

La altitud geográfica en la región Cajamarca, disminuye la eficiencia energética de las cocinas a GLP y produce un aumento en las emisiones contaminantes.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia energética y nivel de contaminación del proceso de combustión de cocinas GLP en relación con la altitud geográfica en la región de Cajamarca.

1.5.2. Objetivos específicos

- **OE1.** Seleccionar cinco lugares para realizar el estudio considerando sus altitudes en la región Cajamarca.
- **OE2.** Desarrollar un sistema automatizado de medición, de eficiencia energética y contaminación de la combustión.
- **OE3.** Evaluar la relación de la altitud geográfica con la eficiencia energética y contaminación ambiental de las cocinas GLP.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Instrumentos de recolección de datos

- **Arduboard Uno R3**

El Arduboard Uno R3 se utilizó como controlador principal debido a su capacidad suficiente para gestionar las termocuplas tipo K, la pantalla OLED, el módulo SD y el RTC sin requerir hardware más complejo. Su arquitectura sencilla, estabilidad y amplia disponibilidad de librerías permitieron integrar estos componentes de forma rápida y confiable, razón por la cual fue preferido frente a otras placas de mayor consumo o complejidad innecesaria. En la Figura 1 se muestra el Arduboard Uno R3, mientras que sus características técnicas más relevantes se presentan en la Tabla 1.

Figura 1

Arduboard Uno R3



Nota. Recuperada de la página web [Naylamp Mechatronics](#)

Tabla 1

Especificaciones técnicas del Arduboard Uno R3

Arduboard Uno R3	
Microcontrolador	ATmega328P
Chip USB–Serial	ATmega16U2
Voltaje de operación	5 V DC
Voltaje de alimentación	6–20 V DC (7–12 V recomendado)
Entradas/salidas digitales	14 (6 con función PWM)
Entradas analógicas	6 (ADC de 10 bits)
Corriente por pin	40 mA máx.
Memoria Flash	32 KB (2 KB usados por Bootloader)
Frecuencia de reloj	16 MHz

Nota. Adaptado de [Naylamp Mechatronics](#)

- **Arduboard Nano CH340G Mini – USB**

El Arduboard Nano CH340G Mini-USB se empleó como microcontrolador principal debido a que ofrece la capacidad necesaria para gestionar simultáneamente los sensores MQ2, MQ7, MQ135, el BMP280, la pantalla OLED, el módulo SD y el RTC, sin requerir hardware más robusto. Su tamaño compacto, bajo consumo y compatibilidad con el ATmega328P facilitaron la integración del sistema de medición en un prototipo portátil, motivo por el cual fue preferido frente a placas de mayor dimensión o complejidad. En la Figura 2 se muestra el módulo utilizado y sus especificaciones principales se presentan en la Tabla 2.

Figura 2

Arduboard Nano CH340G mini – USB



Nota. Recuperada de la página web [Naylamp Mechatronics](#)

Tabla 2

Especificaciones técnicas del Arduboard Nano CH340G mini - USB

Arduboard Nano CH340G mini - USB	
Microcontrolador	ATmega328P (8-bit)
Chip USB–Serial	CH340G
Conector USB	mini-USB tipo B
Voltaje de alimentación	7–12 V DC
Voltaje lógico I/O	5 V DC
Pines digitales	14 (6 PWM)
Entradas analógicas	8 (6 configurables como I/O digital)
Corriente máxima por pin	40 mA
Memoria Flash	32 KB (2 KB reservados para Bootloader)

Nota. Adaptado de [Naylamp Mechatronics](#)

- **Display OLED 1.3" I2C 128*64 SH1106**

El display OLED de 1.3" con controlador SH1106 se utilizó para mostrar en tiempo real los valores obtenidos por los sensores, ofreciendo alto contraste, buena legibilidad y bajo consumo energético, ventajas que lo hacen más eficiente que los LCD tradicionales. Su interfaz I2C y tamaño compacto facilitaron la integración con el microcontrolador y el sistema automatizado sin requerir hardware adicional. En la Figura 3 se presenta el módulo empleado, mientras que sus principales características técnicas se resumen en la Tabla 3.

Figura 3

*Display OLED 1.3" I2C 128*64 SH1106*



Nota. Recuperado de la página Web [Naylamp Mechatronics](#)

Tabla 3

*Especificaciones técnicas del Display OLED 1.3" I2C 128*64 SH1106*

Display OLED 1.3" I2C 128*64 SH1106	
Tecnología	OLED monocromático
Controlador	SH1106
Interfaz de comunicación	I2C (dirección 0x3C)
Resolución	128 × 64 píxeles
Voltaje de operación	3 V – 5.5 V DC
Consumo	0.04 W (con todos los píxeles encendidos)
Área visible	30 × 15 mm
Ángulo de visión	160°
Temperatura de trabajo	–30 °C a 70 °C
Dimensiones	35 × 33 × 4 mm
Peso	7 g

Nota. Adaptado de [Naylamp Mechatronics](#)

- **Módulo RTC DS3231**

El módulo RTC DS3231 se empleó para registrar con precisión la fecha y hora de cada medición, asegurando una sincronización estable del sistema. Fue seleccionado porque ofrece mayor exactitud que los temporizadores internos del microcontrolador, gracias a su oscilador compensado en temperatura, lo que evita desviaciones en ambientes con variaciones térmicas. En la Figura 4 se muestra el módulo utilizado y sus principales especificaciones se presentan en la Tabla 4.

Figura 4
Módulo RTC DS3231



Nota. Recuperado de la página Web [Naylamp Mechatronics](#)

Tabla 4
Especificaciones técnicas del Módulo RTC DS3231

Módulo RTC DS3231	
Voltaje de alimentación	3.3 – 5 V DC
Tipo de reloj	RTC DS3231 (alta precisión)
Exactitud	±2 ppm
Interfaz de comunicación	I2C
Dirección I2C	0x68 (RTC) / 0x57 (EEPROM)
Memoria adicional	AT24C32 (32 kbit / 4 kB)
Oscilador	Interno, compensado en temperatura
Función adicional	Generación de onda cuadrada
Dimensiones	38 × 22 mm
Peso	5 g

Nota. Adaptado de [Naylamp Mechatronics](#)

- Módulo Lector de Memoria Micro SD CARD 74LVC125A

El módulo lector de memoria Micro SD con conversor lógico 74LVC125A se utilizó para almacenar digitalmente los datos generados por el sistema. Fue seleccionado porque permite una comunicación estable y rápida mediante SPI, garantizando el registro continuo de las mediciones sin pérdida de información. Su compatibilidad con tarjetas micro SD y micro SDHC facilita manejar grandes volúmenes de datos en campo. En la Figura 5 se presenta el módulo empleado y en la Tabla 5 se resumen sus características principales.

Figura 5

Módulo Lector de Memoria Micro SD CARD 74LVC125A



Nota. Recuperado de la página Web Naylamp Mechatronics

Tabla 5

Especificaciones técnicas del Módulo Lector de Memoria Micro SD

Módulo Lector de Memoria Micro SD CARD 74LVC125A	
Voltaje de operación	3.3 – 5 V DC
Interfaz de comunicación	SPI
Pines disponibles	MOSI, MISO, SCK, CS
Conversor lógico	MC74VHCT125A / 74LVC125A
Compatibilidad	Tarjetas micro SD y micro SDHC
Dimensiones	42 × 24 mm

Nota. Adaptado de Naylamp Mechatronics

- Convertidor voltaje DC – DC STEP – UP – DOWN 1.5A XL6009

El convertidor DC-DC Step-Up/Down basado en el regulador XL6009 se utilizó para asegurar un suministro eléctrico estable a los sensores y microcontroladores del sistema. Fue seleccionado porque puede mantener un voltaje constante aun con variaciones en la fuente de alimentación, operando tanto en modo elevador como reductor, lo que garantiza estabilidad durante las mediciones en campo. Su amplio rango de entrada y salida facilitó adaptar la alimentación a los requerimientos de cada módulo. En la Figura 6 se muestra el convertidor empleado y sus características principales se resumen en la Tabla 6.

Figura 6

Convertidor voltaje DC – DC STEP – UP – DOWN 1.5A XL6009



Nota. Recuperado de la página Web [Naylamp Mechatronics](#)

Tabla 6

Especificaciones técnicas del Convertidor voltaje DC – DC

Convertidor voltaje DC – DC STEP – UP – DOWN 1.5A XL6009	
Modelo	DSN6000AUD
Tipo de regulador	DC-DC conmutado Step-Up/Down (Buck-Boost)
Voltaje de entrada	3.5 V – 32 V DC
Voltaje de salida	1.25 V – 35 V DC (ajustable)
Corriente de salida	1.5 A máx.
Potencia máxima	7 W
Eficiencia	Hasta 94 %
Protección térmica	Sí
Protección contra corto circuito	No
Inversión de polaridad	No

Nota. Adaptado de [Naylamp Mechatronics](#)

- **Sensor de presión BMP280**

El sensor barométrico BMP280 se empleó para medir la presión atmosférica y la temperatura ambiente, variables necesarias para estimar la altitud y analizar su efecto en la combustión del GLP. Fue seleccionado por su alta precisión y bajo consumo, lo que permite integrar estas mediciones en tiempo real dentro del sistema automatizado sin hardware adicional. En la Figura 7 se presenta el módulo utilizado y sus características principales se detallan en la Tabla 7.

Figura 7
Sensor de presión BMP280



Nota. Recuperado de la página Web [Naylamp Mechatronics](#)

Tabla 7
Especificaciones técnicas del Sensor de presión BMP280

Sensor de presión BMP280	
Voltaje de alimentación	3.3 V DC
Voltaje de operación	1.8 – 3.3 V DC
Interfaz	I2C o SPI
Rango de presión	300 – 1100 hPa
Resolución de presión	0.16 Pa
Precisión absoluta	±1 hPa
Sensor de temperatura	Integrado
Resolución de temperatura	0.01 °C
Precisión de temperatura	±1 °C
Frecuencia máxima de muestreo	157 Hz
Rango de altitud	0 – 9100 m
Consumo de energía	Ultra bajo
Regulador en placa	No incluye (requerido 3.3 V)
Dimensiones	15 × 12 mm
Peso	1.3 g

Nota. Adaptado de [Naylamp Mechatronics](#)

- **Sensor MQ-2 Gas GLP/GNV**

El sensor MQ-2 se utilizó para detectar la concentración de GLP durante la combustión, permitiendo monitorear aumentos de gas en tiempo real. Fue seleccionado por su alta sensibilidad a gases combustibles y su fácil integración con el microcontrolador, lo que lo convierte en una opción adecuada frente a sensores más costosos o de mayor complejidad. En la Figura 8 se muestra el sensor utilizado y sus principales características se resumen en la Tabla 8.

Figura 8

Sensor MQ-2 Gas GLP/GNV



Nota. Recuperado de la página Web Naylamp Mechatronics

Tabla 8

Especificaciones técnicas del Sensor MQ-2 Gas GLP/GNV

Sensor MQ-2 Gas GLP/GNV	
Voltaje de operación	5 V DC
Rango de detección	300 – 10 000 ppm
Gas característico	1000 ppm (isobutano)
Resistencia de sensado	1 k Ω (50 ppm tolueno) – 20 k Ω
Tiempo de respuesta	\leq 10 s
Tiempo de recuperación	\leq 30 s
Temperatura de trabajo	-20 °C a +55 °C
Humedad relativa admisible	\leq 95 %
Requerimiento de oxígeno	21 % O ₂ ambiente
Consumo de corriente	< 150 mA a 5 V

Nota. Adaptado de Naylamp Mechatronics

- **Sensor MQ-7 Gas CO Monóxido de Carbono**

El sensor MQ-7 se empleó para medir la concentración de monóxido de carbono (CO) producido durante la combustión del GLP. Fue seleccionado por su alta sensibilidad a gases reductores y su capacidad para detectar niveles de CO relevantes para la evaluación de la calidad del aire, integrándose fácilmente al sistema automatizado. En la Figura 9 se muestra el módulo utilizado y sus principales características se detallan en la Tabla 9.

Figura 9
Sensor MQ-7 Gas CO Monóxido de Carbono



Nota. Recuperado de la página Web Naylamp Mechatronics

Tabla 9
Especificaciones técnicas del Sensor MQ-7 Gas CO Monóxido de Carbono

Sensor MQ-7 Gas CO Monóxido de Carbono	
Voltaje de operación	5 V DC
Voltaje de calentamiento	5 V (alto), 1.4 V (bajo)
Resistencia de carga	Ajustable
Resistencia del calentador	33 Ω
Tiempo de calentamiento	60 s (alto), 90 s (bajo)
Consumo del calentador	~350 mW
Rango de detección	20 – 2000 ppm
Requerimiento de oxígeno	21 % O ₂ ambiente

Nota. Adaptado de Naylamp Mechatronics

- **Sensor MQ-135 Gas Calidad de Aire**

El sensor MQ-135 se utilizó para estimar la concentración de CO₂ y otros gases relacionados con la calidad del aire durante la combustión del GLP. Fue elegido por su sensibilidad a compuestos resultantes de combustiones incompletas y por su fácil integración con el microcontrolador, lo que permitió registrar variaciones relevantes en tiempo real. En la Figura 10 se muestra el módulo utilizado y sus características principales se presentan en la Tabla 10.

Figura 10

Sensor MQ-135 Gas Calidad de Aire



Nota. Recuperado de la página Web TESLAELECTRONIC

Tabla 10

Especificaciones técnicas del Sensor MQ-135 Gas Calidad de Aire

Sensor MQ-135 Gas Calidad de Aire	
Voltaje de operación	5 V DC
Corriente de operación	150 mA
Potencia de consumo	800 mW
Tiempo de precalentamiento	~20 s
Resistencia de carga	Ajustable (potenciómetro)
Rango de detección	10 – 1000 ppm
Gases detectables	CO ₂ , amoníaco, NO _x , sulfuro, benceno, humo
Requerimiento de oxígeno	2 % – 21 % O ₂
Humedad de operación	< 95 % RH
Temperatura de operación	–20 °C a 70 °C

Nota. Adaptado de TESLAELECTRONIC

- **Bateria 12N7 – 3B SMF PLATINIUM**

La batería 12N7-3B SMF se utilizó como fuente de alimentación autónoma para garantizar un suministro eléctrico estable al sistema automatizado durante las mediciones en campo. Fue seleccionada por su capacidad para mantener voltajes constantes y evitar interrupciones que pudieran afectar el funcionamiento de los sensores, el microcontrolador, el módulo SD y la pantalla OLED. En la Figura 11 se muestra la batería empleada y en la Tabla 11 se presentan sus principales especificaciones técnicas.

Figura 11

Bateria 12N7 – 3B SMF PLATINIUM



Nota. Recuperado de la página Web [AB MOTORS Moto Repuestos & AB SAC](#)

Tabla 11

Especificaciones técnicas del Bateria 12N7 – 3B SMF PLATINIUM

Bateria 12N7 – 3B SMF PLATINIUM	
Marca	Platinum
Modelo	12N7-3B SMF
Tipo	Batería sellada libre de mantenimiento (SMF)
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal	7 Ah (aprox.)
Tipo de electrolito	Sellado, libre de mantenimiento
Aplicación típica	Sistemas eléctricos auxiliares, motocicletas, equipos portátiles
Tecnología	Plomo-ácido sellada
Orientación de operación	Cualquier posición sin riesgo de derrame

Nota. Adaptado de [AB MOTORS Moto Repuestos & AB SAC](#)

2.2. Software de Ingeniería

Los paquetes de software de ingeniería que se han utilizado son de versión estudiantil y de prueba. Son los siguientes:

Arduino

Arduino se empleó como entorno de programación y plataforma de automatización para el desarrollo del sistema de adquisición de datos. Su uso permitió programar la lectura continua de los sensores encargados de medir la temperatura de ebullición, el tiempo de calentamiento, las concentraciones de CO y CO₂, así como los parámetros ambientales de presión atmosférica, altitud y temperatura ambiente. Este software facilitó la integración de los módulos electrónicos y el registro confiable de las variables necesarias para el estudio. (Banzi y otros, 2021).

SolidWorks

SolidWorks se utilizó como software de diseño asistido por computadora (CAD), permitiendo modelar y dimensionar las estructuras físicas requeridas para el montaje del sistema experimental. A través de esta herramienta fue posible generar planos, visualizar ensamblajes y validar dimensiones antes de la construcción física de los componentes estructurales. (Dassault Systèmes, s.f.).

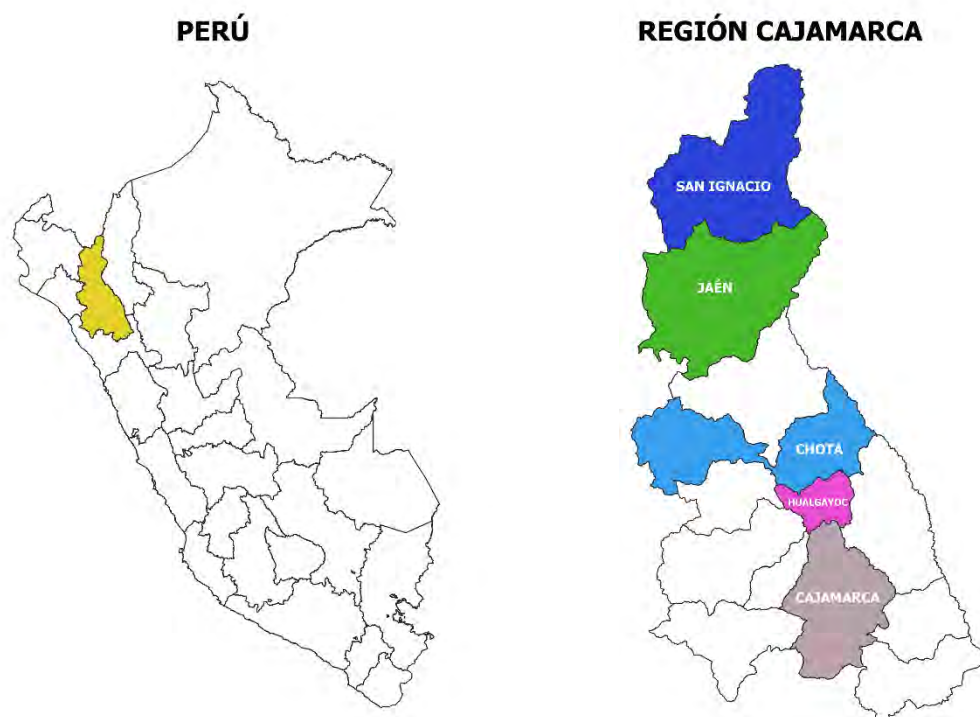
Circuit Design

Circuit Design se empleó para el diseño virtual de los circuitos electrónicos involucrados en el sistema de medición. Esta herramienta permitió organizar los componentes, verificar conexiones y realizar simulaciones previas, reduciendo el riesgo de fallos, cortocircuitos o daños en los módulos físicos durante el montaje real. Zen y Austin (2021).

2.3.Ubicación del área de estudio

El desarrollo del proyecto se realizó en la región de Cajamarca, ubicada en la zona norte del Perú. Este territorio posee una extensión aproximada de 33,318 km², equivalente al 2.6 % del área nacional. La región limita al norte con Ecuador, al este con el departamento de Amazonas, al sur con La Libertad y al oeste con Lambayeque y Piura. Desde el ámbito político-administrativo, Cajamarca está conformada por 13 provincias y 127 distritos, siendo la ciudad de Cajamarca su capital. La distribución territorial descrita se representa en la Figura 12.

Figura 12
Ubicación geográfica de Cajamarca



Nota. Ubicación geográfica de los distritos de San Ignacio, Jaén, Chota, Hualgayoc y Cajamarca.

2.4. Población, Muestra y Muestreo

2.4.1. Población

La población estuvo conformada por todos los procesos de combustión de cocinas GLP utilizados en la región Cajamarca, cuyos niveles de eficiencia energética y emisiones pueden variar según la altitud geográfica.

2.4.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por los procesos de combustión registrados experimentalmente en cinco ciudades de la región Cajamarca, seleccionadas por representar distintos niveles altitudinales entre 703 y 3323 m s. n. m. Cada unidad experimental incluyó el proceso de combustión de una cocina GLP y los parámetros medidos: presión atmosférica, altitud, CO, CO₂, concentración de GLP, masa de GLP, temperatura y tiempo de ebullición.

2.4.3. Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico por criterio técnico, seleccionando intencionalmente ciudades ubicadas en diferentes altitudes con el propósito de evaluar el efecto del gradiente altitudinal sobre la eficiencia energética y las emisiones de la combustión del GLP. Las mediciones se obtuvieron mediante un sistema automatizado que registró datos cada 3 segundos durante tres turnos diarios y por tres días consecutivos en cada ciudad.

2.5. Métodos y Procedimientos Utilizados.

2.5.1. *Métodos*

2.5.1.1. **Método de Investigación**

La investigación se desarrolló bajo el enfoque cuantitativo, de acuerdo con la clasificación propuesta por Hernández et al. (2014). Este enfoque se caracteriza por la medición numérica de variables, el control de las condiciones de observación, el análisis estadístico y la búsqueda de relaciones entre variables. En este estudio, todos los parámetros evaluados siendo la eficiencia energética, concentración de CO, CO₂, GLP y altitud; fueron cuantificados mediante sensores electrónicos y analizados estadísticamente, lo que corresponde plenamente a un enfoque cuantitativo.

2.5.1.2. **Tipo de investigación**

El estudio corresponde a una investigación de tipo descriptivo-explicativo, de acuerdo con la clasificación establecida por Hernández et al. (2014). Es descriptiva porque caracteriza cuantitativamente el comportamiento de las variables eficiencia energética y nivel de contaminación ambiental en diferentes altitudes geográficas, identificando sus valores, tendencias y variaciones. Asimismo, adopta un carácter explicativo porque analiza la relación causal entre la altitud y los parámetros de combustión del GLP, buscando comprender por qué ocurren los cambios observados en la eficiencia y en los niveles de emisiones.

2.5.1.3. **Diseño de investigación**

El estudio empleó un diseño no experimental, transversal y correlacional-causal, conforme a la clasificación propuesta por Hernández et al. (2014). El diseño es no experimental debido a que no se manipularon deliberadamente las variables de estudio; las mediciones se realizaron tal como los fenómenos ocurren en su contexto natural,

registrando la eficiencia energética y la contaminación ambiental sin intervenir en la altitud geográfica ni en las condiciones climáticas.

Es transversal porque la recolección de datos se efectuó en un periodo determinado, midiendo cada variable en un único momento dentro de cada ciudad evaluada. Asimismo, el diseño es correlacional-causal porque busca establecer la relación estadística entre la altitud (variable independiente) y la eficiencia energética y contaminación ambiental (variables dependientes), evaluando el grado en que la altitud explica las variaciones observadas en los parámetros de combustión del GLP.

2.5.1.4. Diseño Metodológico

En concordancia con los objetivos de la investigación y siguiendo las recomendaciones metodológicas para estudios cuantitativos de tipo descriptivo-correlacional, fue necesario definir con precisión las variables involucradas y los procedimientos empleados para su medición. La identificación de las variables permitió estructurar la forma en que se recogieron, procesaron e interpretaron los datos obtenidos en las cinco ciudades evaluadas.

En este estudio, la altitud geográfica constituye la variable independiente, dado que representa la condición física que varía naturalmente entre las localidades y cuya influencia se busca analizar. Por su parte, las variables dependientes, eficiencia energética y contaminación ambiental corresponden a los efectos observables durante el proceso de combustión del GLP bajo distintas condiciones altitudinales.

A continuación, se presenta la clasificación de variables en la Tabla 12 y sus respectivas matrices de operacionalización en la Tabla 13 y Tabla 14, desarrolladas con el propósito de garantizar consistencia metodológica y permitir la replicabilidad del estudio.

Tabla 12*Tipos de variables de estudio*

Tipo	Variable
Variable Independiente	Altitud Geográfica
Variable Dependiente	Eficiencia Energética Contaminación Ambiental

Tabla 13*Operacionalización de la variable independiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
Altitud geográfica	Distancia vertical de un punto de la superficie terrestre respecto al nivel del mar.	Medición de la altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm) mediante GPS o herramientas de cartografía digital para cada zona de evaluación.	Física	Altura registrada en msnm y presión atmosférica	GPS, datos topográficos y Sensor BMP 280

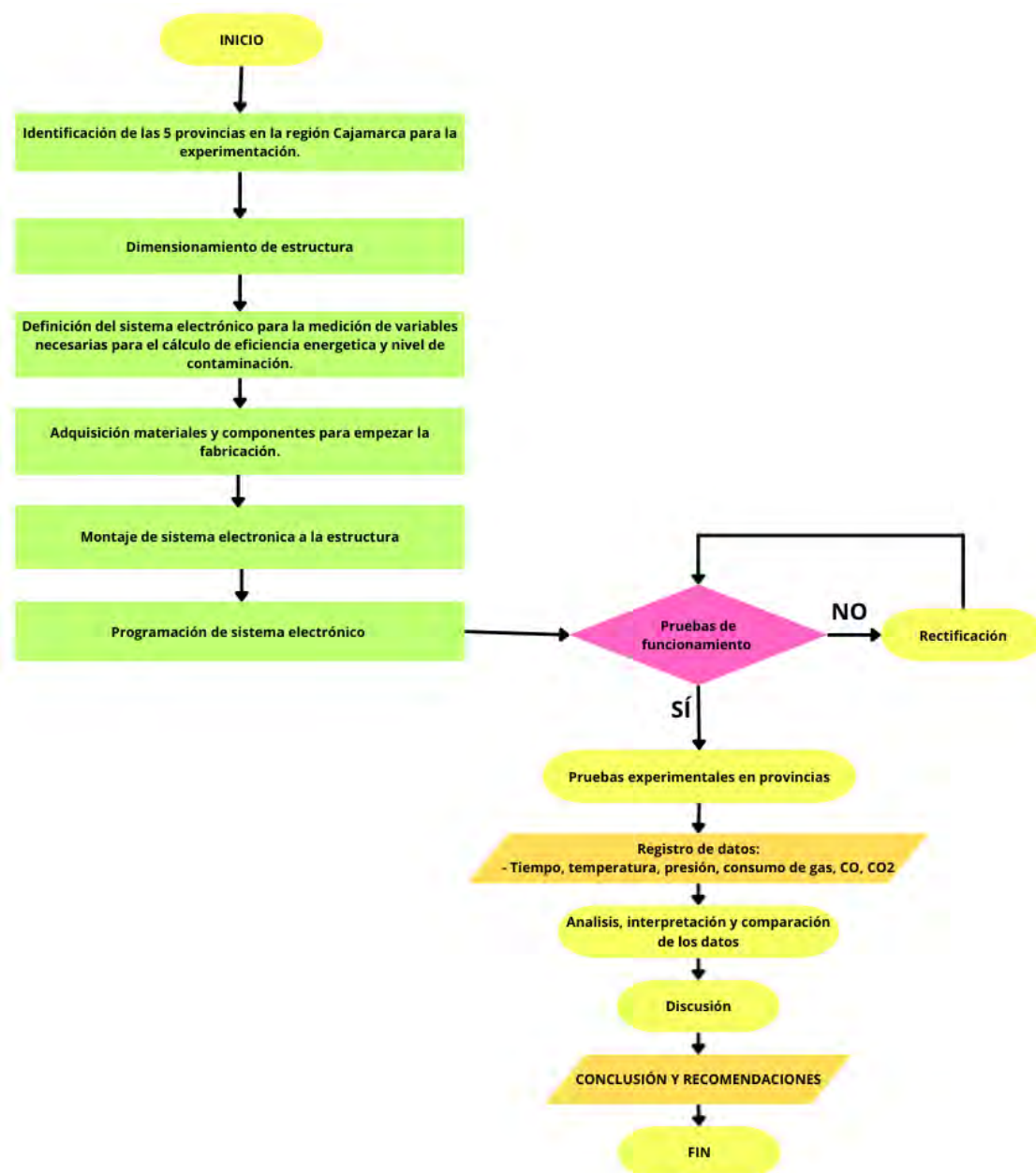
Tabla 14*Operacionalización de las variables dependientes*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
Eficiencia energética	Relación entre la energía consumida y la energía útil transmitida al calentamiento del agua durante la cocción.	Cálculo basado en el consumo de GLP (Kg) y el tiempo requerido para llevar una cantidad estándar de agua a ebullición.	Fisicoquímico	Tiempo de ebullición del agua (Min), Masa de GLP consumida (Kg) y Temperatura del agua.	Cronómetro, Termocupla Tipo K y Balanza electrónica digital.
Contaminación ambiental	Presencia de gases contaminantes generados por la combustión incompleta del GLP.	Medición de la concentración de gases, principalmente monóxido de carbono (CO), expresada en partes por millón (ppm).	Parámetro físico de concentración de gases	Concentración de CO, CO ₂ y GLP (ppm).	Sensor MQ2, MQ7 y MQ135.

2.5.2. Procedimiento

Los procedimientos utilizados para implementar el prototipo de sistema automatizado se presentan de forma resumida en el siguiente diagrama de flujo que se muestra en la Figura 13:

Figura 13
Diagrama de flujo del procedimiento realizado en la investigación



OE1. Selección de cinco lugares para realizar el estudio considerando sus altitudes en la región Cajamarca

2.5.2.1. Selección de ubicaciones geográficas

a) Identificación de las provincias y sus altitudes

Para seleccionar las cinco localidades donde se desarrolló las mediciones experimentales, se utilizó directamente la información presentada en el *Mapa de pisos altitudinales de la región Cajamarca*, elaborado por el Ing. Alfonso Sánchez Rojas y el Ing. Segundo Sánchez Tello. En este documento, específicamente en la página 12, se encuentra la tabla que reúne las trece provincias de la región junto con sus altitudes oficiales. Esta recopilación permitió establecer con precisión el rango altitudinal de la región, desde 748 m s. n. m. hasta 3523 m s. n. m., información que se sintetiza en la Tabla 15.

Tabla 15

Altitudes correspondientes a las provincias de la región Cajamarca

Nombre	Altitud (m.s.n.m)	Posición Geográfica	Pisos altitudinales
Cajabamba	2674	0826218 – 9156584	Quechua baja
San marcos	2259	0812641 – 9188508	Yunga fluvial
Contumazá	2700	0742329 – 9185204	Quechua alta
Cajamarca	2636	0774198 – 9208170	Quechua alta
Celendín	2620	0815774 – 9240546	Quechua
San Pablo	2392	0740691 – 9212976	Quechua baja
San Miguel	2628	0737626 – 9226034	Quechua
Hualgayoc	3523	0764395 – 9251482	Jalca
Chota	2401	0760125 – 9274506	Quechua baja
Santa Cruz	2037	0727893 – 9267504	Yunga marítima
Cutervo	2659	0741334 – 9294566	Quechua alta
Jaén	748	0742806 – 9368530	Yunga fluvial
San Ignacio	1276	0721708 - 9431200	Yunga fluvial

Nota. Adaptado mapa de pisos altitudinales (p.12), por Sánchez y Sánchez,

(2010).

b) Criterios de selección de ciudades

Con las altitudes de las trece provincias ya registradas, se aplicaron los criterios necesarios para definir las cinco localidades del estudio.

- En primer lugar, se eligieron las provincias ubicadas en los extremos altitudinales de la región, con el objetivo de incluir condiciones atmosféricas claramente contrastadas.
- Luego, se revisaron las características climáticas generales de cada provincia para asegurar la presencia de ambientes diferenciados como son selva alta, zonas templadas y sierra fría, de modo que la variación conjunta de altitud y clima pudiera observarse en el análisis.
- Finalmente, se incorporaron provincias situadas en niveles altitudinales intermedios para completar un gradiente continuo. Este paso permitió distribuir las localidades de manera equilibrada y evitar concentrar las mediciones en rangos similares.

La aplicación de estos criterios permitió seleccionar cinco ciudades con condiciones altitudinales y atmosféricas suficientemente distintas para evaluar el efecto de la altitud en la combustión del GLP.

OE2. Desarrollo de un sistema automatizado de medición, de eficiencia energética y contaminación de la combustión.

2.5.2.2. Dimensionamiento y diseño del sistema estructural

El sistema de control físico fue diseñado a partir de cuatro estructuras independientes, cada una con una función específica dentro del proceso de medición y conducción de gases. Para ello, se realizó un dimensionamiento basado en las medidas reales de los componentes principales del sistema de cocina GLP de dos hornillas, olla metálica, sensores electrónicos y pantallas OLED, como se muestra (Ver Anexo 1).

Para el desarrollo del sistema estructural se definió, en primer lugar, la necesidad de contar con un conjunto de estructuras que permitieran:

- Conducir los gases de combustión hacia los sensores
- Sostener la cocina a GLP
- Alojarse los sensores de medición de gases
- Alojarse los sensores de temperatura

Con este propósito, se tomaron las medidas reales de los componentes principales del sistema: cocina GLP de dos hornillas, olla de aluminio, sensores electrónicos (MQ2, MQ7, MQ135, BMP280, termocuplas tipo K) y pantallas OLED. Estas dimensiones se registraron y se utilizaron como base para el diseño de cuatro estructuras independientes, cuyo listado de elementos se presenta en el (Ver Anexo 1).

A partir de estas medidas, se elaboraron bocetos preliminares internamente, definiéndose así las dimensiones finales de cada estructura, considerando el espacio necesario para el montaje de los componentes, la seguridad durante las pruebas y la facilidad de transporte del sistema completo. Con ello se procedió al diseño detallado de los cuatro módulos descritos a continuación.

a) Módulo de conducción y asilamiento de gases

En esta etapa se elaboró la estructura destinada a conducir y aislar los gases generados durante la combustión.

En primer lugar, se determinó la forma de la cámara de conducción, estableciendo una geometría que envolviera la zona de la llama y permitiera concentrar los gases en un volumen delimitado. Con base en las medidas reales de la cocina GLP y en la ubicación de los quemadores, se fijaron las dimensiones internas necesarias para que el flujo de gases se desplazara hacia la salida prevista sin interferir con el funcionamiento del equipo.

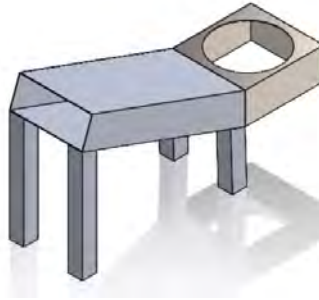
Posteriormente, se incorporó un ducto de salida orientado hacia el módulo de sensores, considerando el espacio requerido para su acoplamiento y la estabilidad mecánica del conjunto. En esta fase también se definieron los puntos de apoyo de la estructura, por lo que se emplearon varillas metálicas en forma de "L" como soporte, las cuales permitieron mantener el conducto en posición inclinada y aseguraron su rigidez durante las pruebas.

Para la fabricación del cuerpo principal se seleccionó plancha de acero laminado en frío recubierto con aleación aluminio-zinc (aluzinc) de 0.35 mm de espesor. Este material fue elegido debido a su elevada resistencia a la corrosión y oxidación, lo que prolongó la vida útil del módulo y garantizó su estabilidad durante el uso en campo. Con la selección de materiales completada, se elaboraron los planos de corte y los detalles constructivos empleados para su manufactura.

El diseño final de esta estructura se presenta en la Figura 14.

Figura 14

Diseño de estructura para aislamiento y conducción de los gases



Nota. Vista del módulo diseñado para canalizar los gases generados durante la combustión.

b) Módulo de soporte para la cocina GLP

En esta etapa se construyó la estructura destinada a sostener la cocina GLP durante las pruebas.

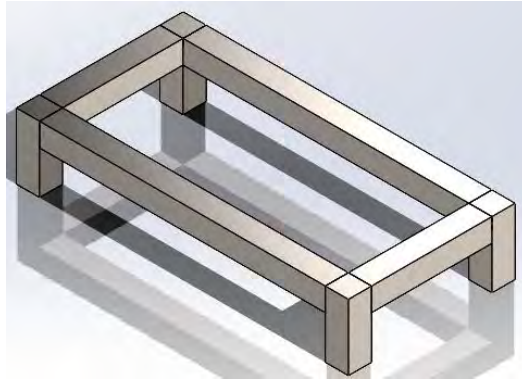
En primer lugar, se midieron las dimensiones de la base de la cocina. Con estas medidas se determinó la altura de elevación necesaria para permitir el ingreso de aire por la parte inferior y mantener una posición adecuada para la operación en campo.

Posteriormente, se diseñó una estructura rígida conformada por perfiles metálicos, en la cual se distribuyeron los puntos de apoyo de manera simétrica para evitar inclinaciones o desplazamientos durante el uso. Para su fabricación se seleccionó tubo galvanizado cuadrado ASTM A500, debido a su resistencia mecánica, durabilidad y capacidad para soportar las cargas asociadas al peso de la cocina y la olla. Una vez elegido el material, se elaboraron los planos de corte, ensamble y soldadura correspondientes.

El diseño final de este módulo se presenta en la Figura 15.

Figura 15

Diseño estructural para el soporte de la cocina a GLP



Nota. Vista del módulo estructural destinado a sostener la cocina GLP.

c) Módulo de alojamiento de sensores de gases

El tercer módulo se construyó para alojar los sensores de gases y el sensor barométrico, garantizando su correcta disposición dentro del sistema.

En primer lugar, se identificaron los elementos que debían integrarse en esta estructura: los sensores MQ2, MQ7 y MQ135, el sensor barométrico BMP280 y una pantalla OLED para la visualización de datos. A partir de estos componentes se definió el espacio mínimo necesario para su montaje, considerando la orientación de cada sensor y la trayectoria del flujo de gases procedente del módulo de conducción.

Posteriormente, se decidió fabricar la estructura en madera, debido a su carácter aislante frente a la conducción eléctrica y al bajo riesgo de interferencias con las señales emitidas por los sensores electrónicos. Además, este material permitió reducir los costos de construcción y evitó el uso de soportes metálicos, los cuales no resultaban adecuados para módulos que alojan dispositivos sensibles a corrientes o descargas no deseadas.

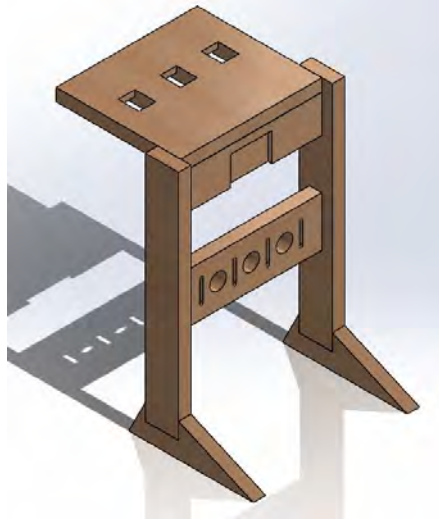
Con el material definido, se diseñó una estructura elevada que permitiera ubicar los sensores en una posición estable dentro del flujo de gases, manteniendo al mismo tiempo accesibilidad para mantenimiento y reemplazo. Se incorporó un panel frontal para

la instalación de la pantalla OLED. Finalmente, se elaboraron los planos de corte y armado utilizados para su construcción.

La configuración final se presenta en la Figura 16.

Figura 16

Diseño de la estructura para alojamiento de los sensores MQ y BMP280



Nota. Vista del módulo estructural destinado al montaje de los sensores MQ y del sensor barométrico BMP280.

d) Módulo para instalación de termocuplas

El cuarto módulo se construyó para alojar las termocuplas tipo K y una pantalla OLED destinada a la visualización de las mediciones térmicas.

En primer lugar, se definieron las dos posiciones de medición:

- Una termocupla debía ubicarse sobre la olla, con el fin de permitir el acceso al interior y registrar la temperatura del agua.
- La segunda termocupla debía instalarse por debajo de la olla, en la trayectoria de la llama de combustión, para registrar la temperatura máxima generada por el GLP.

Con estas posiciones establecidas, se determinó la longitud útil de las termocuplas y el recorrido necesario para evitar tensiones en los cables durante las pruebas de campo. A partir de estas dimensiones, se diseñó una estructura de soporte fabricada en madera, material seleccionado debido a su carácter no conductor, lo cual evita interferencias eléctricas con los módulos electrónicos, y a su facilidad de conformado para la fijación de los sensores.

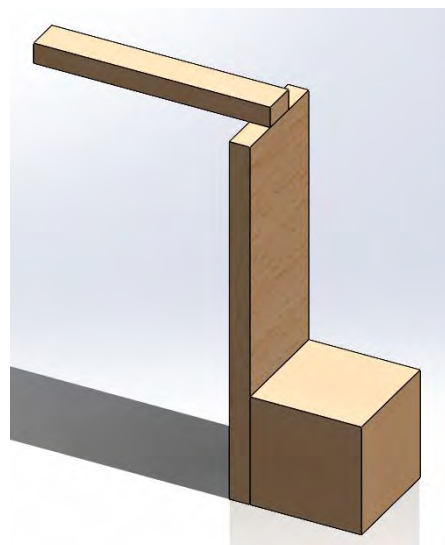
Posteriormente, se definió la geometría del módulo, incorporando un panel superior destinado a la instalación de la pantalla OLED, asegurando su visibilidad durante las mediciones.

Finalmente, se elaboraron los planos de corte y armado necesarios para su fabricación, especificando las uniones y dimensiones requeridas para el montaje del módulo.

El diseño final se presenta en la Figura 17.

Figura 17

Diseño de estructura para alojamiento de las termocuplas y OLED



Nota. Vista del módulo estructural destinado a la instalación de las termocuplas tipo K y la pantalla OLED.

2.5.2.3. Integración electrónica del sistema automatizado

Para la integración electrónica se organizaron los componentes en tres subsistemas:

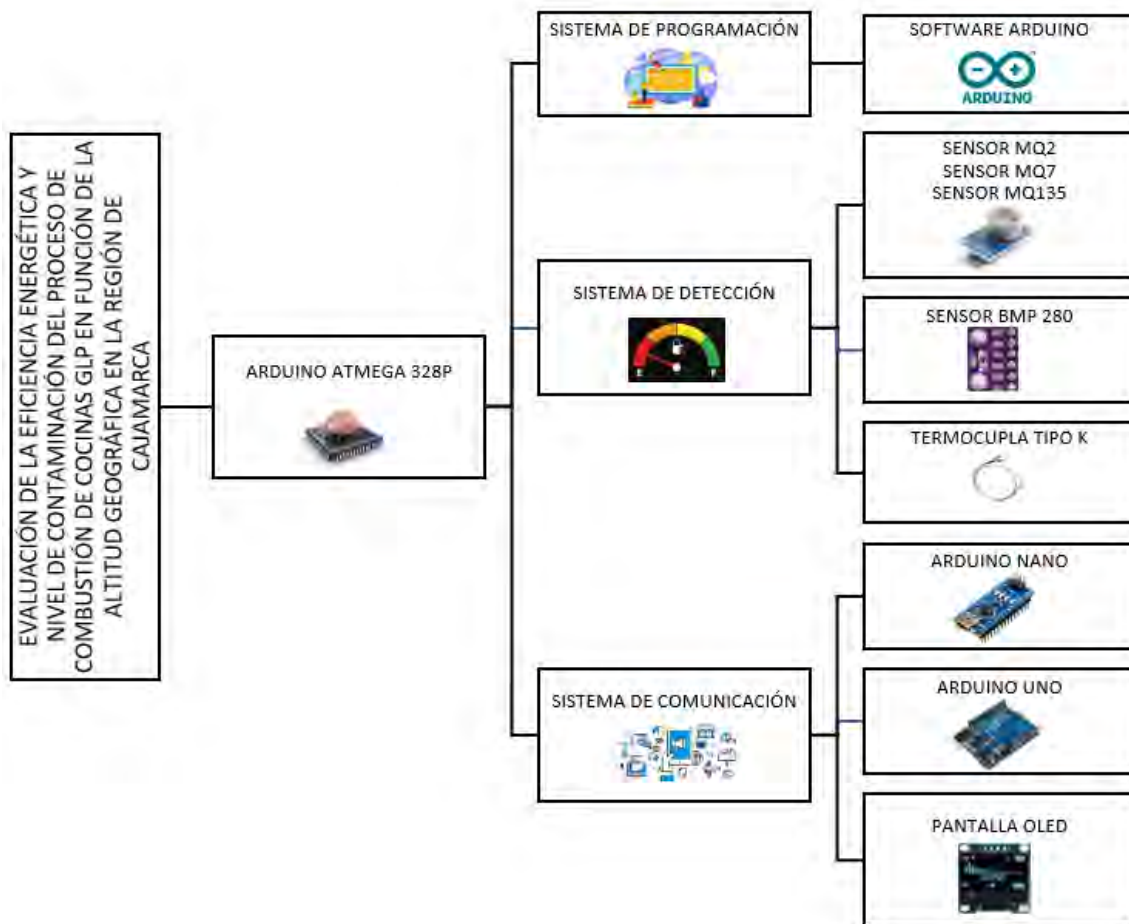
Sistema de programación: Este sistema se hace referencia a todos los softwares de diseño que se utilizan para el desarrollo de los códigos de programación e interfaces de monitoreo.

Sistema de detección: En este sistema se realiza la adquisición de datos de los sensores, además estos datos son enviados a la placa Arduino para su debido procesamiento.

Sistema de Comunicación: Este sistema se hace referencia a los diferentes tipos que se comunican utilizando el envío de data procesada por la tarjeta Arduino.

A partir de esta organización, se elaboró el diagrama de bloques global del sistema, mostrado en la Figura 18.

Figura 18
Digrama de bloques del sistema



a) Sistema de monitoreo de gases con Arduino Nano

El sistema de monitoreo de gases se implementó a partir de la selección de los sensores MQ2, MQ7 y MQ135, destinados a la medición de GLP, monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂), respectivamente. Además, se incorporó el sensor barométrico BMP280 para registrar la temperatura ambiente, la presión atmosférica y la altitud, variables necesarias para contextualizar los datos obtenidos en cada localidad de estudio.

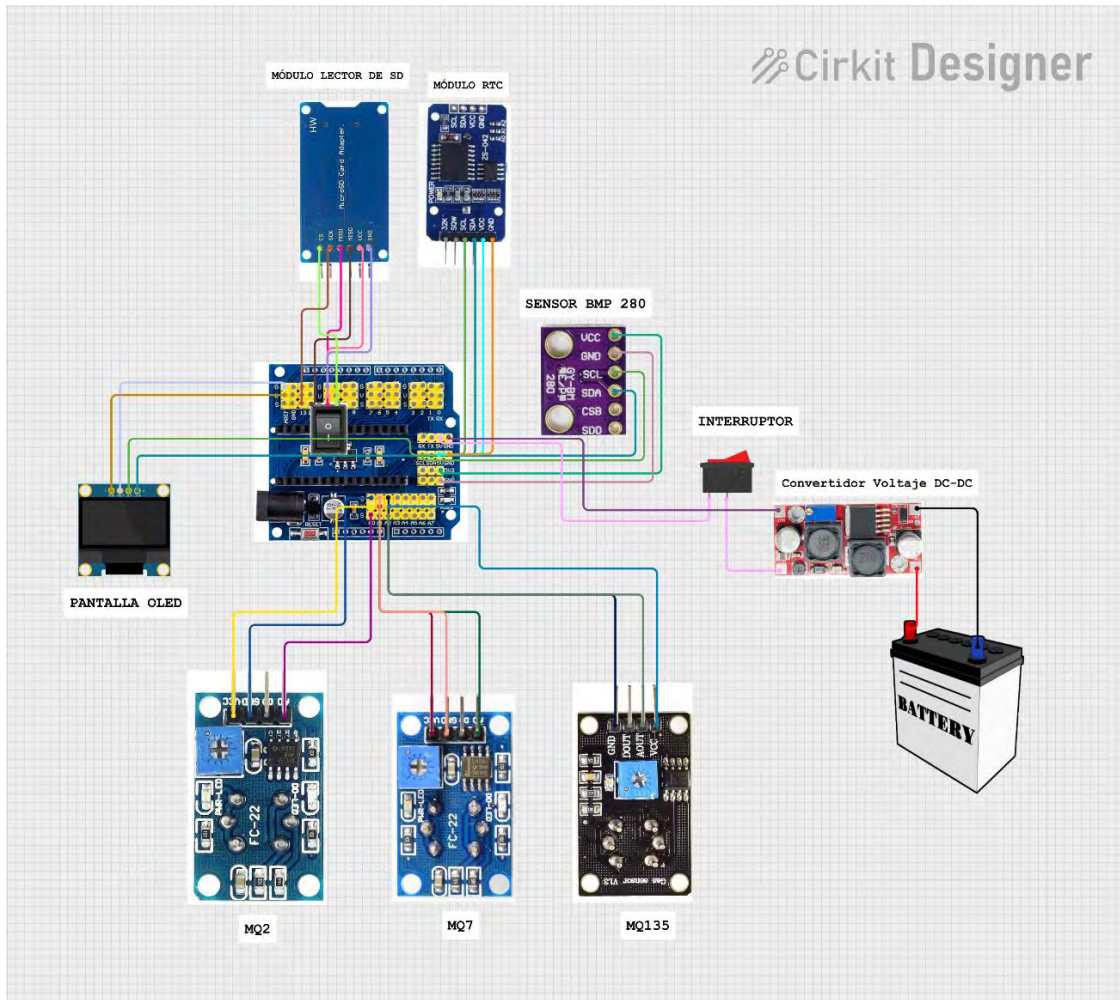
Una vez definidos los sensores, se elaboró el esquema de conexiones correspondiente. En este paso se asignaron las entradas analógicas y digitales del Arduino Nano a cada uno de los sensores y a la pantalla OLED, determinando la distribución final

del cableado. Posteriormente, se agregó un lector de tarjeta SD mediante comunicación SPI y se integró un módulo RTC, encargado de proporcionar la fecha y hora a cada registro generado por el sistema.

Con la estructura electrónica definida, se programó el Arduino Nano para ejecutar las tareas principales del monitoreo. El código permitió leer las señales provenientes de los sensores, almacenar los datos procesados en la tarjeta SD y mostrar los valores instantáneos en la pantalla OLED instalada en el módulo. Finalmente, se estableció el uso de una batería de 12 V en conjunto con un convertidor DC–DC, con el fin de garantizar un suministro energético estable durante la operación en campo.

El diagrama electrónico del sistema se presenta en la Figura 19.

Figura 19
Diagrama electrónico para el Arduino Nano



Nota. Configuración electrónica asociada al uso del Arduino Nano en el sistema.

b) Sistema de monitoreo térmico con Arduino Uno

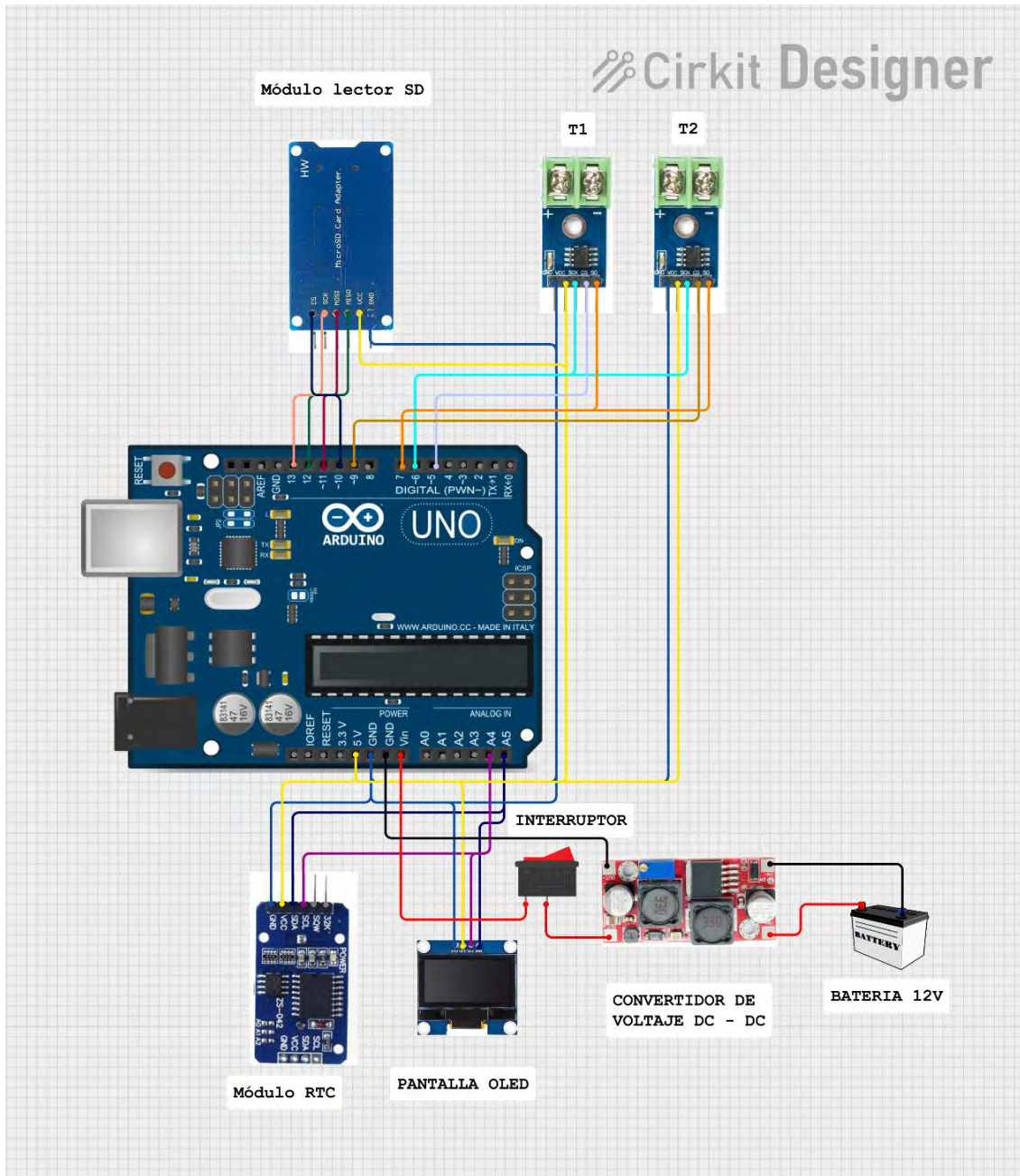
El sistema de monitoreo térmico se implementó a partir de la definición de dos puntos de medición: la temperatura del agua contenida en la olla (T1) y la temperatura generada por la llama de combustión del GLP (T2). Para registrar estas variables se seleccionaron termocuplas tipo K y sus módulos acondicionadores de señal, los cuales permitieron convertir las variaciones térmicas en señales compatibles con el microcontrolador.

Una vez establecidos los sensores, se diseñó el esquema de conexión entre las termocupas, los módulos acondicionadores y las entradas del Arduino Uno, definiendo la distribución del cableado. Posteriormente, se integró un módulo lector de tarjeta SD mediante comunicación SPI, junto con un módulo RTC encargado de asignar fecha y hora a cada registro obtenido durante las pruebas.

Con la estructura electrónica definida, se programó el Arduino Uno para ejecutar la lectura continua de las señales térmicas, almacenar los valores registrados en la tarjeta SD y mostrar en tiempo real las temperaturas medidas a través de una pantalla OLED. Finalmente, se estableció la alimentación mediante una batería de 12 V y un convertidor DC-DC, garantizando un suministro eléctrico estable durante el funcionamiento en campo.

El diagrama electrónico correspondiente se presenta en la Figura 20.

Figura 20
Diagrama electrónico para el Arduino Uno



Nota. Esquema eléctrico del módulo implementado con Arduino Uno.

c) Integración funcional del sistema completo

Una vez implementados los subsistemas de monitoreo de gases y de medición térmica, se procedió a integrarlos para que funcionaran como un solo sistema. En primer lugar, se evaluó por separado el desempeño de cada módulo, verificando que los sensores enviaran lecturas correctas y que los datos fueran registrados sin errores en las tarjetas SD. Esta revisión inicial permitió confirmar que ambos subsistemas operaban de manera estable.

Después de esta verificación individual, se sincronizaron los módulos RTC de los dos sistemas, de modo que las mediciones generadas por cada Arduino compartieran la misma referencia de tiempo. Con la sincronización completada, se realizaron pruebas de funcionamiento conjunto: se encendió la cocina y se registraron simultáneamente las variables de gases y de temperatura, observando el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de uso.

Durante estas pruebas también se comprobó la estabilidad del suministro eléctrico proporcionado por la batería de 12 V y los convertidores DC-DC, asegurando que ambos subsistemas mantuvieran un funcionamiento continuo durante periodos equivalentes a los ensayos que posteriormente se ejecutarían en campo.

La calibración de los sensores y la verificación de la exactitud de las mediciones se detallan en el apartado siguiente.

2.5.2.4. Calibración y validación funcional

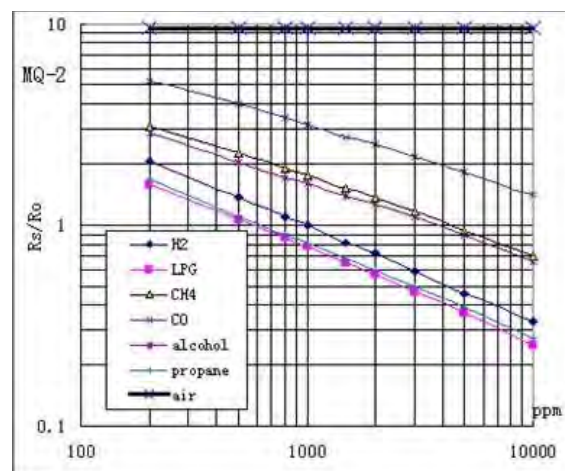
a) Calibración de los sensores MQ2, MQ7 y MQ135

La calibración de los sensores MQ2, MQ7 y MQ135 se realizó en dos etapas.

Etapa 1: Se revisaron las hojas de datos de cada sensor para identificar las curvas de sensibilidad que relacionan la razón $\frac{R_s}{R_0}$ con la concentración del gas objetivo expresada en partes por millón. A partir de estas curvas como se muestra en la Figuras 21, 22 y 23. Se obtuvieron las ecuaciones aproximadas que permiten estimar la concentración de GLP, CO y CO₂ en función de la resistencia eléctrica del elemento sensor, y se muestran en la Figura 24. Dichas ecuaciones fueron incorporadas posteriormente en el código de programación.

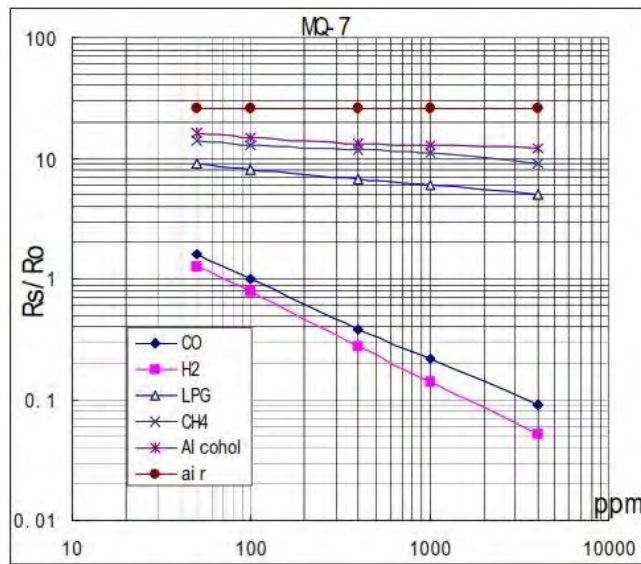
Figura 21

Curva de calibración del sensor MQ2



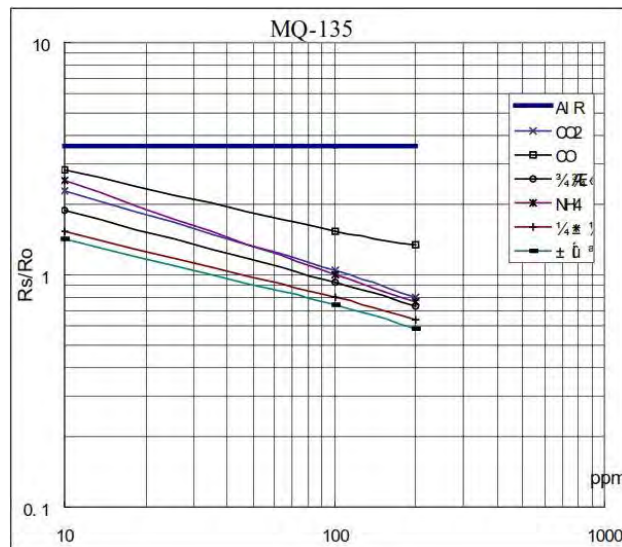
Nota. Comportamiento del sensor MQ2 según su curva característica.

Figura 22
Curva de calibración del sensor MQ7



Nota. Comportamiento del sensor MQ7 según su curva característica..

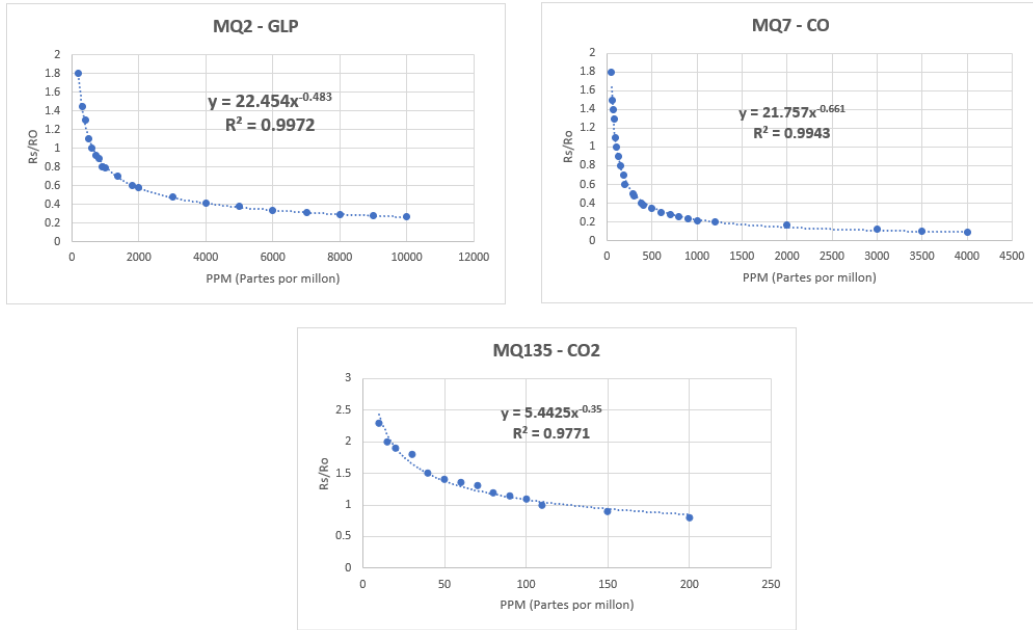
Figura 23
Curva de calibración del sensor MQ135



Nota. Comportamiento del sensor MQ135 según su curva característica.

Figura 24

Ecuaciones para los sensores MQ2, MQ7 y MQ135



Nota. Ecuaciones empleadas para los sensores MQ2, MQ7 y MQ135.

Etapa 2: Se llevó a cabo el proceso de precalentamiento inicial. Para el primer uso, los tres sensores se mantuvieron energizados en aire limpio durante un periodo continuo de entre 24 y 48 horas, con el fin de estabilizar el valor de la resistencia base $\frac{R_s}{R_o}$. Durante este intervalo se monitoreó la variación de la señal hasta confirmar que el comportamiento eléctrico del sensor alcanzara un estado estable. En aplicaciones posteriores, el tiempo de acondicionamiento se redujo a unos 5 a 10 minutos máximo, manteniendo los sensores encendidos hasta observar valores próximos a la línea base de 0 ppm.

b) Verificación de termocuplas tipo K

La verificación de las termocuplas tipo K se realizó en dos etapas.

Etapa 1: Se evaluó la respuesta de cada sensor ante cambios bruscos de temperatura. Para ello, las termocuplas se expusieron de manera controlada a la llama de un encendedor, observándose un incremento inmediato en la lectura registrada. Esta prueba permitió confirmar que los sensores reaccionaban adecuadamente frente a variaciones térmicas rápidas.

Etapa 2: Se verificó la consistencia de las mediciones en ambientes con diferentes condiciones climáticas. Para ello, se registraron temperaturas ambientes en dos localidades representativas: Jaén, con valores cercanos a 26 °C, y Chota, con aproximadamente 16 °C. Las lecturas obtenidas se compararon con valores de referencia, comprobándose que las diferencias se mantenían dentro de un margen aceptable de ± 3 °C. Esta evaluación permitió validar la confiabilidad de las termocuplas para su uso en los ensayos experimentales.

OE3. Evaluación de la relación de la altitud geográfica con la eficiencia energética y contaminación ambiental de las cocinas GLP.

2.5.2.5. Estandarización para las mediciones en cada ciudad

Para asegurar la comparabilidad entre las localidades, se definió un protocolo experimental uniforme:

- Se utilizó la misma cocina doméstica, el mismo balón de GLP, el mismo volumen de agua (1 litro) por prueba, se mantuvo constante la apertura del flujo de GLP y se trabajó en un ambiente con dimensiones equivalentes a una cocina típica peruana.

Estas condiciones garantizaron que cualquier variación observada fuese atribuible principalmente a la altitud geográfica.

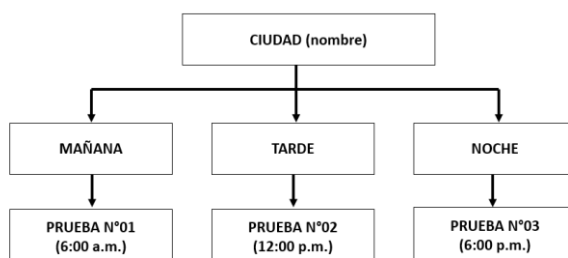
2.5.2.6. Organización de las mediciones en campo

Para representar los horarios habituales de cocción en los hogares peruanos, se realizaron tres mediciones diarias (mañana, tarde y noche) durante tres días consecutivos en cada ciudad.

Este procedimiento se ilustra en la Figura 25, donde se detalla la estructura del cronograma experimental.

Figura 25

Cronograma de las actividades a evaluar



Nota. Cronograma de las actividades programadas para la evaluación.

2.5.2.7. Eficiencia energética en función de la altitud

Para conocer la eficiencia energética, en el contexto de las cocinas GLP lo representamos como la eficiencia térmica, calculándolo con el siguiente principio:

$$n = \frac{\text{salida deseada}}{\text{entrada requerida}} * 100\% = \frac{Q_{\text{agua}}}{Q_{\text{GLP}}} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

n: Eficiencia energética (%)

Q_{agua} : Energía transferida al agua (KJ)

Q_{GLP} : Energía total proporcionada por el GLP consumido (KJ)

- **Energía útil trasferida al agua es:**

$$Q_{\text{agua}} = m * c * \Delta T = m * c * (T_F - T_I) \quad (2)$$

Donde:

m: Masa del agua (Kg)

ΔT : Variación de temperatura del agua (°C), esto se calculará con la termocupla I donde obtendremos la temperatura inicial y final del agua.

c: Calor específico del agua (4.18 KJ/Kg. °C), se tuvo en cuenta la siguiente tabla (Ver Anexo 4).

- **Energía total proporcionada por el GLP consumido es:**

$$Q_{\text{GLP}} = m_{\text{GLP}} * PCI \quad (3)$$

Donde:

m_{GLP} : Masa del GLP consumido (Kg), para este cálculo se utilizó una balanza electrónica con el cual se calculará el peso de GLP consumido en cada prueba.

PCI: Poder calorífico inferior del GLP (46000 KJ/KG), se seleccionó de la siguiente tabla (Ver anexo 5), y se optó por el menor valor.

2.5.2.8. Nivel de contaminación en función de la altitud

La evaluación del nivel de contaminación atmosférica generada durante el uso de cocinas domésticas a GLP se realizó mediante el registro continuo de gases emitidos durante el proceso de ebullición de un litro de agua. Para ello, se emplearon los sensores MQ2, MQ7 y MQ135, los cuales permitieron cuantificar, en partes por millón (ppm), la concentración máxima alcanzada por el gas GLP, el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂), respectivamente.

Los datos obtenidos durante cada prueba fueron almacenados digitalmente en tiempo real, organizados posteriormente en tablas y representados gráficamente para facilitar la interpretación por ciudad, turno de medición (mañana, tarde y noche) y día de experimentación.

- **Determinación de la concentración de GLP**

El sensor MQ2 se utilizó para medir la concentración de gas licuado de petróleo (GLP) presente en el ambiente durante la combustión. La clasificación de riesgo se evaluó utilizando los rangos establecidos en la Tabla 16, lo cual permitió identificar si las concentraciones detectadas constituían un nivel moderado, peligroso o crítico para la salud humana.

Tabla 16*Índice de alerta de seguridad para concentraciones de GLP*

GLP (ppm)	Clasificación de Absorción
0 – 800	Moderado
800 – 1000	Peligroso
1000	Riesgo

Nota. Índice de alerta de seguridad para concentraciones de GLP, Fuente. Pajares y Alcantar (2020).

- **Determinación de monóxido de carbono (CO)**

La concentración de monóxido de carbono generada durante la combustión del GLP fue evaluada mediante el sensor MQ-7, el cual permite detectar variaciones en ppm asociadas al grado de completitud de la combustión. Dado que el CO es uno de los principales indicadores de combustión deficiente, su cuantificación resultó esencial para valorar como influye en el medio ambiente respecto a la altitud.

Los valores registrados en cada ensayo fueron posteriormente contrastados con los niveles de referencia establecidos en la Tabla 17, que clasifican la calidad del aire en las categorías Bueno, Regular, Malo y Muy Malo, en función del rango de concentración de CO detectado. Esta comparación permitió interpretar el riesgo potencial para la salud y la eficiencia del proceso de combustión bajo las distintas condiciones altitudinales evaluadas.

Tabla 17*Niveles permitidos de CO en el aire*

Niveles Permitidos de CO	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 400
Regular	401 a 500
Malo	501 a 1000
Muy Malo	1001 a 2000

Nota. Niveles permitidos de CO en el aire, Fuente. Guatapi y García (2022).

- **Determinación de dióxido de carbono (CO₂) por el sensor MQ135.**

La concentración de dióxido de carbono generada durante la combustión del GLP fue registrada mediante el sensor MQ-135, el cual permite medir variaciones en ppm asociadas tanto al proceso de combustión como a la calidad del aire circundante. Aunque el CO₂ no es tóxico en bajas concentraciones, su incremento constituye un indicador relevante del comportamiento del proceso, pues refleja la eficiencia de la combustión y el grado de renovación del aire en el ambiente de prueba.

Los valores obtenidos fueron comparados con los rangos de referencia establecidos en la Tabla 18, que clasifica la calidad del aire en las categorías Bueno, Regular, Malo y Muy Malo, en función de la concentración de CO₂. Esta clasificación permitió interpretar si las emisiones se mantuvieron dentro de niveles aceptables y evaluar la influencia de la altitud sobre el comportamiento de la combustión en cada localidad estudiada.

Tabla 18
Niveles permitidos de CO₂ en el aire

Niveles Permitidos de CO₂	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 400
Regular	401 a 600
Malo	601 a 800
Muy Malo	801 a 1000

Nota. Niveles permitidos de CO₂ en el aire, Fuente. Guatapi y García (2022).

2.5.2.9. Procedimiento experimental para la medición de Eficiencia y Nivel de Contaminación

El procedimiento experimental se ejecutó empleando una balanza Digital de marca OPALUX para determinar el consumo de GLP y el sistema automatizado encargado de registrar en tiempo real las variables atmosféricas, térmicas y de calidad del aire asociadas al proceso de combustión. Durante cada ensayo se monitorearon de manera continua las variables necesarias para el cálculo de la eficiencia energética y del nivel de contaminación generado, quedando todas las mediciones almacenadas y sincronizadas mediante los módulos SD y RTC.

Para cada prueba se consideraron las siguientes variables instrumentales:

- La temperatura inicial y final del agua, utilizadas para calcular la energía transferida al sistema.
- La temperatura de la llama, registrada mediante termocuplas tipo K.
- El tiempo de ebullición, determinado con el celular y sensor RTC.
- El consumo de GLP, obtenido a partir de la diferencia de peso medida antes y después de cada ensayo.

- Concentraciones de CO, CO₂ y GLP, registradas mediante los sensores MQ7, MQ135 y MQ2, respectivamente.
- Presión atmosférica, temperatura ambiente y altitud geográfica, registrada con el sensor BMP280

Este procedimiento permitió obtener un conjunto de datos continuo, comparable y coherente bajo condiciones controladas, asegurando la reproducibilidad de las mediciones realizadas en las distintas ciudades evaluadas.

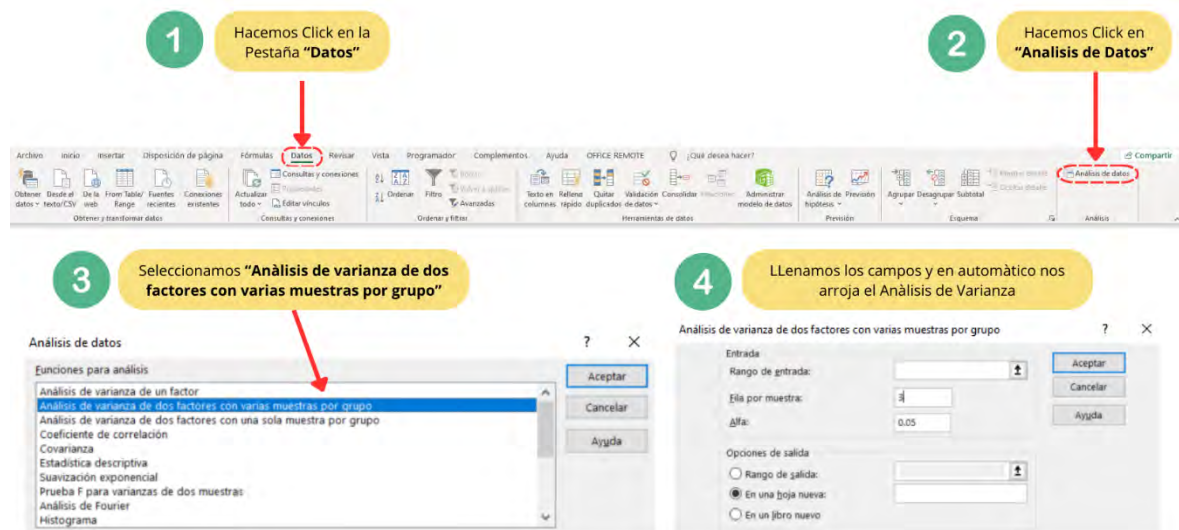
2.5.2.10. Análisis inferencial mediante ANOVA

El análisis estadístico ANOVA se realizó con el propósito de determinar si las variaciones observadas en la eficiencia energética y en las concentraciones de contaminantes fueron significativamente diferentes entre las ciudades evaluadas y entre los distintos turnos de medición. El nivel de significancia adoptado fue $\alpha = 0.05$, criterio convencional para estudios experimentales en ingeniería y ciencias aplicadas.

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado para ejecutar el análisis de varianza de dos factores con replicación mediante Microsoft Excel. Este proceso permitió automatizar el cálculo de los componentes estadísticos necesarios para evaluar la significancia de los factores “turno” y “ciudad” sobre las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), concentración de GLP y Eficiencia energética. En la Figura 26 se ilustran los pasos realizados: selección de la pestaña *Datos*, apertura de la herramienta *Análisis de datos*, elección del módulo *ANOVA de dos factores con varias muestras por grupo* y configuración del rango de entrada y número de réplicas. Una vez completados los campos, Excel generó automáticamente el informe estadístico con los valores requeridos para la interpretación del análisis.

Figura 26

Pasos para ejecutar un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores



Nota. Pasos empleados para la ejecución del análisis de varianza (ANOVA) de dos factores.

III. RESULTADOS

OE1. Selección de cinco lugares para realizar el estudio considerando sus altitudes en la región Cajamarca

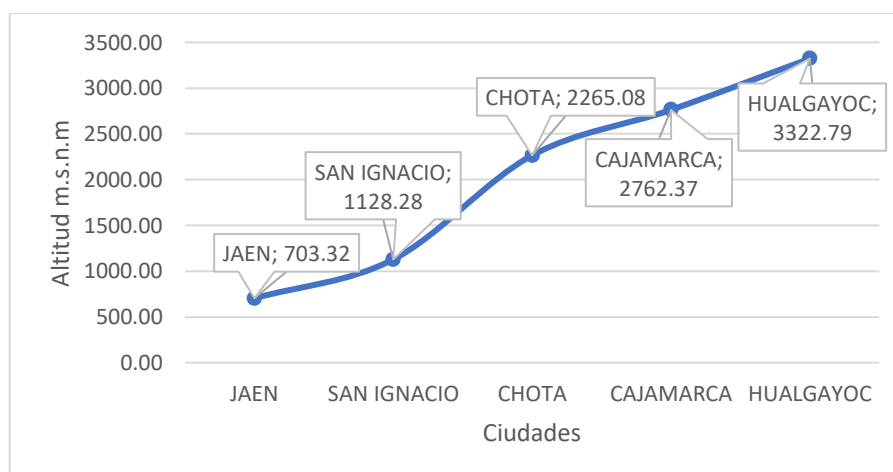
3.1. Altitudes registradas en las ciudades de estudio

Las altitudes correspondientes a las cinco ciudades seleccionadas se registraron a partir de la información oficial disponible. En la Tabla 19 se presentan los valores obtenidos para cada localidad, mientras que en la Figura 27 se muestra su distribución geográfica dentro de la región Cajamarca.

Tabla 19
Ubicación geográfica de las 5 provincias

Ciudad	Ubicación (Av, Jr, Cl, urb)	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m)	Presión Atmosférica (hPa)
		Este	Norte		
Jaén	Calle Marañón #581	742901	9367671	703.32	931.58
San Ignacio	Urb Barrio Chililique	722216	9429971	1128.28	884.871
Chota	Av. Fray José Arana #520	760596	9273886	2205.08	769.172
Cajamarca	Jr. Los andes N°115	775812	9206743	2762.37	722.58
Hualgayoc	Pueblo de Hualgayoc	764192	9251216	3322.79	672.851

Figura 27
Distribución altitudinal de las 5 ciudades en la región Cajamarca



Nota. Altitudes geográficas de las ciudades de Jaén, San Ignacio, Chota, Cajamarca y Hualgayoc.

OE2. Desarrollo de un sistema automatizado de medición, de eficiencia energética y contaminación de la combustión.

3.2. Sistemas de control físico

Los módulos que conforman el sistema automatizado de medición fueron contruidos siguiendo los diseños establecidos en la etapa metodológica. Las estructuras destinadas al alojamiento de los sensores y componentes electrónicos se fabricaron en madera, tal como se observa en las Figuras 28 y 29.

Asimismo, los elementos expuestos al flujo térmico y a los gases generados por la combustión del GLP, incluidos la cámara de aislamiento y conducción de gases y la base estructural para la cocina, se construyeron en materiales metálicos, como se muestra en las Figuras 30 y 31. Estos componentes conformaron el sistema estructural empleado durante los ensayos realizados en las distintas ciudades evaluadas.

Figura 28

Estructura final para el alojamiento de los sensores MQ y pantalla Oled



Nota. Vista del módulo construido para el montaje de los sensores MQ y la pantalla OLED..

Figura 29

Estructura final para el montaje de las termocuplas y pantalla Oled



Nota. Vista del módulo construido para la instalación de las termocuplas y la pantalla OLED.

Figura 30

Estructura final de aislamiento y conducción de gases



Nota. Vista del módulo construido para contener y canalizar los gases emitidos durante la combustión.

Figura 31

Estructura final utilizada como base para la cocina GLP



Nota. Vista del módulo construido para sostener la cocina GLP durante los ensayos.

3.3.Sistema de control electrónico

Una vez definidos los diagramas de conexión electrónica, se implementó físicamente el sistema de sensado y registro. Esta implementación consistió en el ensamblaje de los componentes electrónicos y en la verificación del funcionamiento inicial de cada módulo, tal como se observa en las Figuras 32 y 33.

El sistema quedó configurado con los microcontroladores programados en lenguaje Arduino (Ver Anexo 2 y 3), lo que permitió registrar las señales generadas por los sensores y almacenarlas en una tarjeta SD. Además, las pantallas OLED instaladas en cada módulo mostraron en tiempo real las lecturas obtenidas durante los ensayos, como se aprecia en la Figura 34.

Figura 32

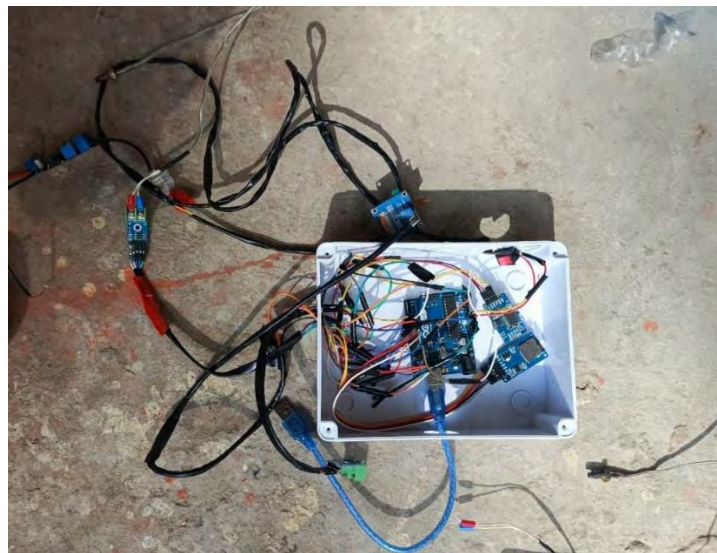
Montaje del módulo de sensado ambiental conectados al Arduino Nano



Nota. Vista del módulo de sensado ambiental en su configuración final con Arduino Nano.

Figura 33

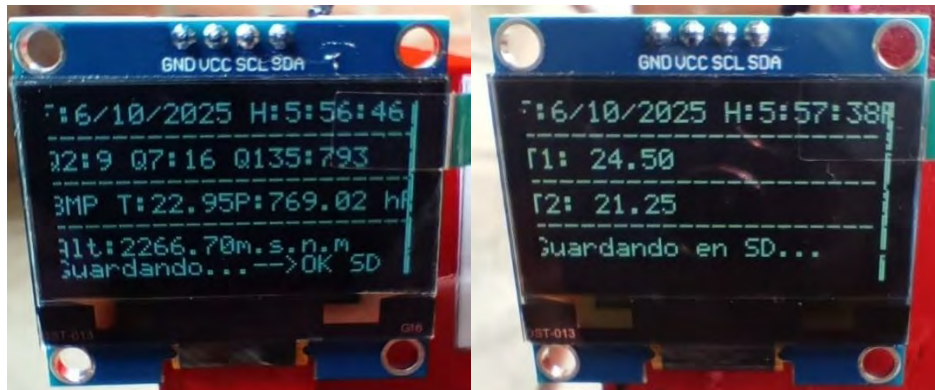
Montaje del módulo de sensado térmico conectado al Arduino Uno



Nota. Vista del módulo térmico ensamblado en su configuración final con Arduino Uno.

Figura 34

Visualización de los parámetros en las pantallas OLED



Nota. Lecturas mostradas por las pantallas OLED durante los ensayos.

3.4. Verificación y Funcionamiento del sistema automatizado

Una vez construidos ambos sistemas, estructural y electrónico se integró todo, obteniéndose la versión final del equipo de medición como se muestra en la Figura 35.

Figura 35

Sistema de medición final



Nota. Vista general del sistema de medición final ensamblado.

OE3. Evaluar la relación de la altitud geográfica con la eficiencia energética y contaminación ambiental de las cocinas GLP.

3.5. Realización de las pruebas experimentales en campo

3.5.1. Pruebas realizadas en la ciudad de San Ignacio

Las pruebas experimentales se realizaron en la ciudad de San Ignacio, ubicada a una altitud aproximada de 1 128.28 m s. n. m. Durante los ensayos se registró una temperatura ambiente promedio de 30.08 °C y una humedad relativa de 65.5 %.

En esta localidad se obtuvieron concentraciones de CO₂ comprendidas entre 381 y 3 148 ppm, valores de CO entre 16 y 32 ppm y concentraciones de GLP en el rango de 27 a 73 ppm. Los datos obtenidos para San Ignacio se presentan en las Tablas 20, 21 y 22, correspondientes a los valores promedios calculados a partir de las tres mediciones realizadas por turno.

Tabla 20

Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de San Ignacio

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE SAN IGNACIO (DÍA 1)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tarda para ebullición H ₂ O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO ₂ (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.025	14	23.5	89.75	509.25	18	1467	44	885.314	28.90	1124.16
Tarde	1	0.02	15	23.75	91	391	27	2862	63	885.510	26.72	1122.35
Noche	1	0.03	15	25.5	92.75	542.5	32	3148	63	883.33	30.26	1142.63

Nota. Valores promedios registrados durante el día 1 en la ciudad de San Ignacio.

Tabla 21*Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de San Ignacio*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE SAN IGNACIO (DÍA 2)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.03	14	23.75	92.5	457	16	968	51	885.651	29.058	1121.035
Tarde	1	0.025	14	24	92	450	21	2565	73	884.948	29.318	1127.553
Noche	1	0.03	17	26.5	91.5	568.75	24	514	35	883.938	31.419	1136.950

Nota. Valores promedios registrados durante el día 2 en la ciudad de San Ignacio.**Tabla 22***Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de San Ignacio*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE SAN IGNACIO (DÍA 3)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.045	28	23.5	87.25	417	17	381	27	886.231	34.940	1115.641
Tarde	1	0.03	14	24.25	92	496.75	21	2130	63	884.068	29.820	1135.731
Noche	1	0.02	14	25.75	88	536.25	19	827	35	884.849	30.276	1128.473

Nota. Valores promedios registrados durante el día 3 en la ciudad de San Ignacio.

3.5.2. Pruebas realizadas en la ciudad de Jaén

Las pruebas experimentales se realizaron en la ciudad de Jaén, situada a una altitud aproximada de 703.32 m s. n. m. Durante los ensayos se registró una temperatura ambiente promedio de 32.44 °C y una humedad relativa de 72 %.

En esta localidad se obtuvieron concentraciones de CO₂ en el rango de 772 a 3561 ppm, valores de CO entre 11 y 52 ppm, y concentraciones de GLP comprendidas entre 17 y 49 ppm. Los valores obtenidos para Jaén se presentan en las Tablas 23, 24 y 25, las cuales muestran los parámetros registrados a partir de las tres mediciones realizadas por turno.

Tabla 23*Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Jaén*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN (DÍA 1)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tarda para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.03	17	26.25	96	528.75	37	772	17	934.99	31.71	672.98
Tarde	1	0.04	18	26.25	93	472.75	11	807	38	930.05	32.53	716.89
Noche	1	0.03	14	31	94.75	447.75	26	846	29	930.94	32.64	708.98

Nota. Valores promedios registrados durante el día 1 en la ciudad de Jaén.**Tabla 24***Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Jaén*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN (DÍA 2)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tarda para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.02	12	26.25	92	453.75	19	1388	27	933.07	31.17	690.06
Tarde	1	0.025	14	27.5	91	482.75	37	1914	36	931.17	33.24	706.90
Noche	1	0.025	13	28	93	451.5	33	2520	49	929.58	32.47	721.17

Nota. Valores promedios registrados durante el día 2 en la ciudad de Jaén.**Tabla 25***Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Jaén*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN (DÍA 3)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tarda para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.025	13	27.25	93	457	37	2159	37	933.11	30.62	689.70
Tarde	1	0.025	16	28	91.75	453	52	1478	39	931.16	33.90	707.06
Noche	1	0.03	14	28	94.5	462	48	3561	35	930.15	33.65	716.08

Nota. Valores promedios registrados durante el día 3 en la ciudad de Jaén.

3.5.3. Pruebas realizadas en la ciudad de Chota

Las actividades experimentales en la ciudad de Chota se desarrollaron a una altitud aproximada de 2 265.08 m s. n. m. Durante los días de medición se registró una temperatura ambiente promedio de 21.64 °C y una humedad relativa de 65 %.

En esta localidad se obtuvieron concentraciones de CO₂ en el rango de 274 a 884 ppm, valores de CO entre 6 y 28 ppm y concentraciones de GLP comprendidas entre 12 y 30 ppm. Los datos obtenidos para Chota se presentan en las Tablas 26, 27 y 28, que reúnen los valores registrados en cada turno a partir de las tres mediciones diarias realizadas.

Tabla 26

Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Chota

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE CHOTA (DÍA 1)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tarda para ebullición H ₂ O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO ₂ (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.02	11	20.5	81.25	325.5	9	450	26	770.446	21.700	2251.826
Tarde	1	0.025	13	22.25	92.5	493.25	7	569	26	768.564	24.230	2271.401
Noche	1	0.015	14	19	86.25	461.5	8	499	20	768.440	20.550	2272.706

Nota. Valores promedios registrados durante el día 1 en la ciudad de Chota.

Tabla 27

Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Chota

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE CHOTA (DÍA 2)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tarda para ebullición H ₂ O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO ₂ (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.04	18	18.5	81.5	489.25	7	364	18	769.552	18.950	2261.117
Tarde	1	0.03	15	18.5	86	481.75	7	884	18	769.448	19.620	2262.206
Noche	1	0.02	13	18.25	95.75	495.75	28	338	25	768.243	22.62	2274.755

Nota. Valores promedios registrados durante el día 2 en la ciudad de Chota.

Tabla 28*Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Chota*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE CHOTA (DÍA 3)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H ₂ O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO ₂ (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.015	16	19.25	86	478.75	6	274	14	770.376	20.57	2252.555
Tarde	1	0.02	15	18.75	85.25	532.5	6	655	12	768.859	22.4	2268.329
Noche	1	0.02	14	19.25	86.25	454	27	717	30	768.622	24.1	2270.797

Nota. Valores promedios registrados durante el día 3 en la ciudad de Chota.

3.5.4. Pruebas realizadas en la ciudad de Hualgayoc

Las mediciones en la ciudad de Hualgayoc se realizaron en una zona de alta montaña, situada a una altitud aproximada de 3 322.79 m s. n. m. Durante los días de trabajo experimental se registró una temperatura ambiente promedio de 13.16 °C y una humedad relativa de 76 %.

En esta localidad se obtuvieron concentraciones de CO₂ en el rango de 1 196 a 5 246 ppm, valores de CO entre 55 y 90 ppm y concentraciones de GLP comprendidas entre 37 y 44 ppm. Los valores obtenidos para Hualgayoc se presentan en las Tablas 29, 30 y 31, las cuales reúnen los parámetros registrados en cada turno a partir de las tres mediciones diarias realizadas.

Tabla 29*Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Hualgayoc*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE HUALGAYOC (DÍA 1)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H ₂ O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO ₂ (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.03	17	13	91.25	227	55	1196	36	673.525	12.54	3314.735
Tarde	1	0.06	37	12.75	89.25	318.25	63	1787	43	673.7	12.73	3312.706
Noche	1	0.055	34	13	79.75	326.5	82	2497	41	671.739	12.98	3335.458

Nota. Valores promedios registrados durante el día 1 en la ciudad de Hualgayoc.

Tabla 30*Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Hualgayoc*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE HUALGAYOC (DÍA 2)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.045	27	14	86.75	296.5	61	1295	43	673.870	14.3	3310.731
Tarde	1	0.045	31	12.75	89.75	333.75	84	2378	37	672.775	15.62	3323.426
Noche	1	0.045	30	13.75	88	283.75	80	2589	43	671.988	13.45	3332.558

Nota. Valores promedios registrados durante el día 2 en la ciudad de Hualgayoc.

Tabla 31*Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Hualgayoc*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE HUALGAYOC (DÍA 3)												
Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.035	24	12.5	95	95	90	5246	44	673.458	10.92	3317.66
Tarde	1	0.03	22	11.75	94.25	94.25	79	5068	44	672.959	12.84	3321.289
Noche	1	0.025	20	13.25	90.25	90.25	60	2292	43	671.644	13.07	3336.558

Nota. Valores promedios registrados durante el día 3 en la ciudad de Hualgayoc.

3.5.5. Pruebas realizadas en la ciudad de Cajamarca

Las evaluaciones experimentales en la ciudad de Cajamarca se llevaron a cabo a una altitud aproximada de 2 762.37 m s. n. m. Durante los días de medición se registró una temperatura ambiente promedio de 15.92 °C y una humedad relativa de 82 %.

En esta localidad se obtuvieron concentraciones de CO₂ en el rango de 417 a 4 115 ppm, valores de CO entre 14 y 67 ppm y concentraciones de GLP comprendidas entre 19 y 47 ppm. Los parámetros registrados para Cajamarca se presentan en las Tablas 32, 33 y 34.

Tabla 32*Resumen de los parámetros en el día 1 de la ciudad de Cajamarca*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA (DÍA 1)

Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.025	15	13.75	86.25	505.25	17	437	21	723.08	13.68	2756.86
Tarde	1	0.03	18	14.25	115.25	548	19	534	19	722.91	15.32	2758.71
Noche	1	0.025	18	15.25	87.75	552.75	47	2589	36	721.60	15.45	2773.02

Nota. Valores promedios registrados durante el día 1 en la ciudad de Cajamarca.**Tabla 33***Resumen de los parámetros en el día 2 de la ciudad de Cajamarca*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA (DÍA 2)

Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.02	13	13.75	83	83	17	550	19	723.41	14.81	2753.26
Tarde	1	0.025	18	16	77	522.25	31	1347	32	722.18	16.4	2766.70
Noche	1	0.04	25	17	84.75	318.25	67	4115	47	722.07	16.98	2767.89

Nota. Valores promedios registrados durante el día 2 en la ciudad de Cajamarca.**Tabla 34***Resumen de los parámetros en el día 3 de la ciudad de Cajamarca*

PARÁMETROS CÁLCULADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA (DÍA 3)

Pruebas	Masa de Agua utilizada (Kg)	Masa de GLP consumido (kg)	Tiempo que tardo para ebullición H2O (min)	Temperatura Inicial del agua (°C)	Temperatura Final del agua (°C)	Temperatura de llama máxima (°C)	CO (ppm)	CO2 (PPM)	Concentración de gas GLP (ppm)	Presión Atmosférica	Temperatura ambiente (°C)	Altitud Geográfica (m.s.n.m)
Mañana	1	0.02	16	13.75	79.5	546.25	14	417	21	723.70	14.63	2750.12
Tarde	1	0.03	16	18.75	74.75	523	50	2921	49	721.84	18.03	2770.46
Noche	1	0.025	16	15.75	88	468.75	22	542	20	722.40	17.94	2764.29

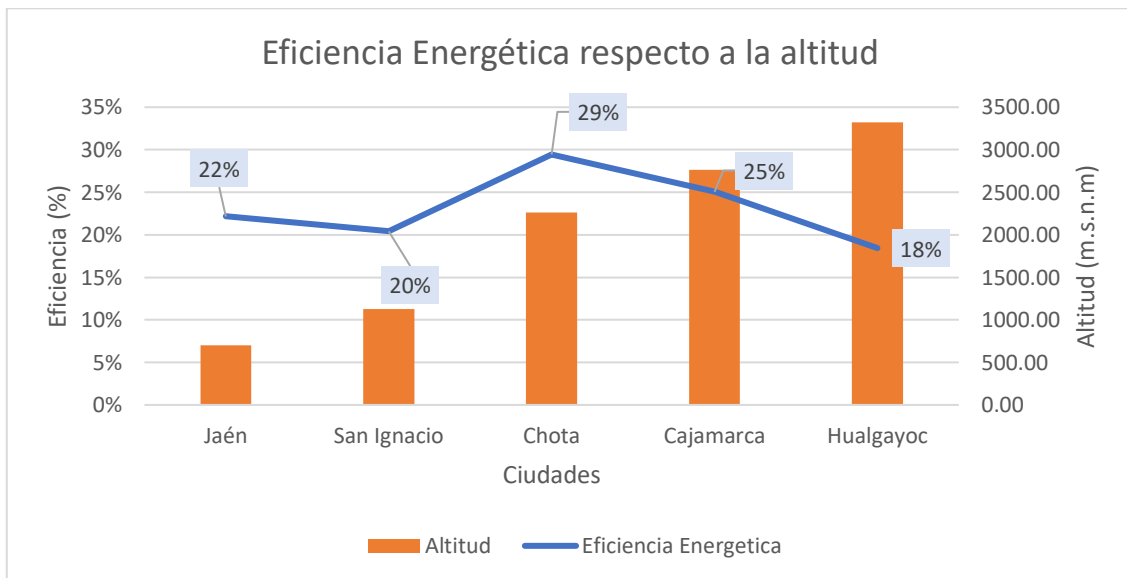
Nota. Valores promedios registrados durante el día 3 en la ciudad de Cajamarca.

3.6. Análisis descriptivo de la eficiencia energética y nivel de las emisiones contaminantes.

3.6.1. Análisis descriptivo de la Eficiencia Energética respecto a la altitud

La Figura 36 presenta la variación de la eficiencia energética registrada en cada una de las ciudades evaluadas. En Jaén y San Ignacio, ambas ubicadas en zonas de menor altitud, los valores obtenidos fueron cercanos al 22 %. En Chota, situada a 2 265 m s. n. m., la eficiencia alcanzó un valor de 29 %. En Cajamarca se registró una eficiencia de 25 %, mientras que en Hualgayoc, la localidad de mayor altitud evaluada, se obtuvo un valor de 18 %.

Figura 36
Eficiencia energética respecto a la altitud



Nota. Variación de la eficiencia energética registrada en las ciudades evaluadas.

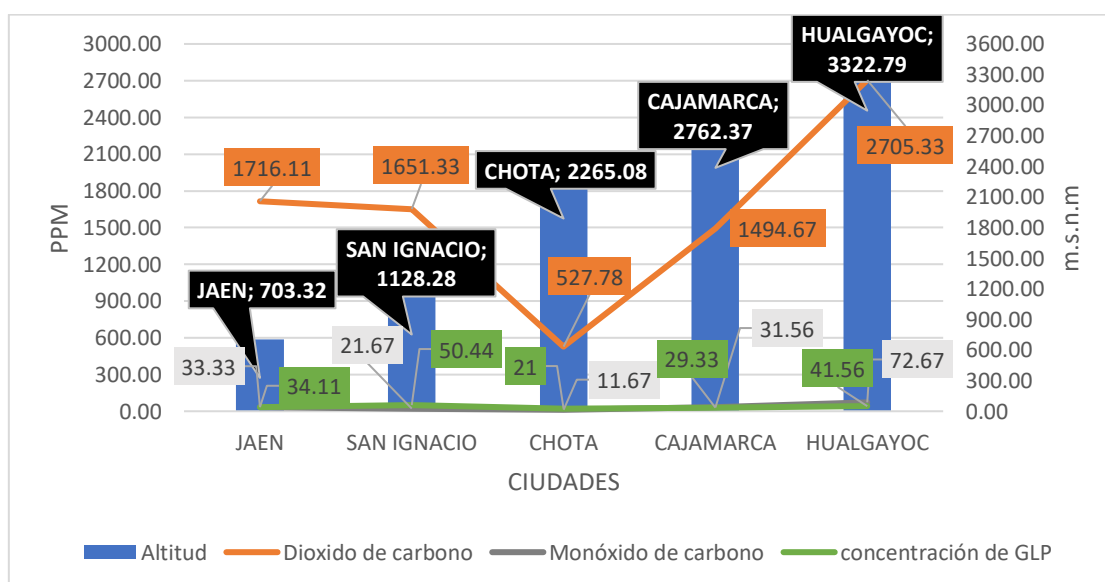
3.6.2. *Análisis descriptivo del nivel de emisiones contaminantes respecto a la altitud.*

Durante el ciclo experimental se registraron variaciones en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y GLP residual en las cinco ciudades evaluadas. Las Figuras 37 y 38 presentan la distribución de estos valores en función de la altitud de cada localidad.

En la Figura 37 se muestran las concentraciones promedio de CO₂, CO y GLP registradas en cada ciudad. Los valores obtenidos para CO₂ variaron entre 274 ppm y 5 246 ppm, mientras que las concentraciones de CO se encontraron entre 6 ppm y 90 ppm. Las mediciones de GLP residual oscilaron entre 12 ppm y 73 ppm.

La Figura 38 presenta la relación entre las concentraciones de CO y GLP con la altitud. En esta figura se observan los valores obtenidos en cada localidad para ambas variables, los cuales corresponden a los promedios registrados durante las mediciones de campo.

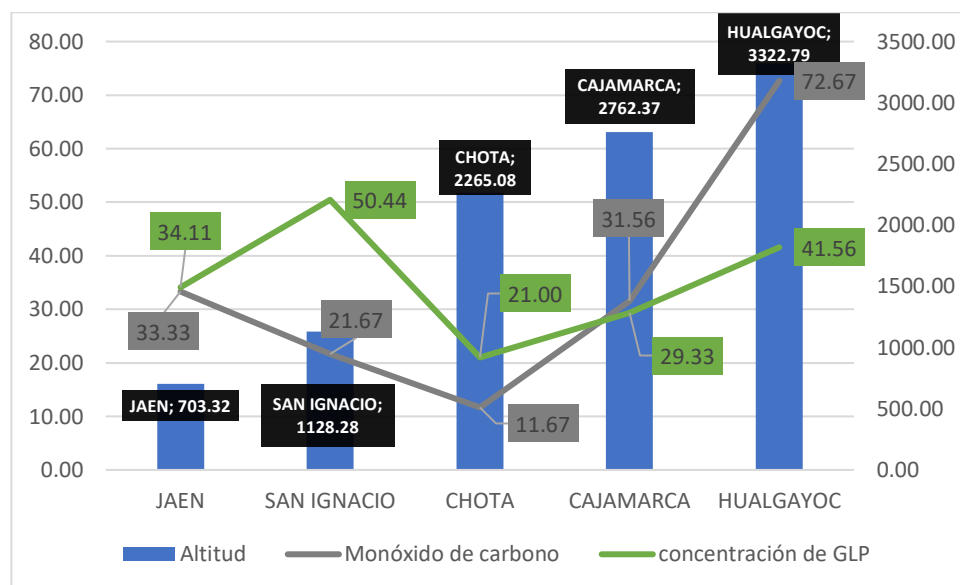
Figura 37
Distribución de emisiones de CO, CO₂ y GLP en función de la altitud



Nota. Valores promedio de CO, CO₂ y GLP registrados en las ciudades evaluadas.

Figura 38

Variación del CO y concentración de GLP en función de la altitud



Nota. Valores promedio de CO y GLP registrados en las ciudades evaluadas.

- **Comportamiento del dióxido de carbono**

Tal como se muestra en la Figura 37, las concentraciones de CO₂ presentaron variaciones asociadas al gradiente altitudinal de las ciudades evaluadas. En las localidades de menor altitud se registraron valores relativamente elevados, como en Jaén (1 716.11 ppm) y San Ignacio (1 651.33 ppm). En Chota (527.78 ppm) se observó el valor más bajo del conjunto, evidenciando una disminución considerable respecto a las ciudades de la zona norte. A partir de esta localidad, las concentraciones volvieron a incrementarse, alcanzando 1 494.67 ppm en Cajamarca y su valor máximo en Hualgayoc (2 705.33 ppm).

Para contextualizar estos resultados, se emplearon los rangos toxicológicos de referencia presentados en la Tabla 35, los cuales permiten interpretar el nivel de acumulación del CO₂ en función de los límites establecidos para ambientes interiores y valorar la magnitud de las emisiones registradas en cada ciudad.

Tabla 35*Clasificación de los niveles permitidos de CO₂ en el aire*

Niveles Permitidos de CO ₂						
Estado calidad del aire	PPM	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
Bueno	0 a 400					
Regular	401 a 600			527.78		
Malo	601 a 800					
Muy Malo	801 a 1000	1716.11	1651.33		1494.67	2705.33

Nota. Rangos de concentración de CO₂ establecidos como referencia para la clasificación de la calidad del aire, Fuente. Adaptado de Guatapi y García (2022).

- **Comportamiento del monóxido de carbono (CO)**

En las cinco ciudades evaluadas, las concentraciones de monóxido de carbono (CO) registradas oscilaron entre 11.67 ppm y 72.67 ppm, tal como se muestra en la Figura 37. Los valores obtenidos fueron 11.67 ppm en Chota, 31.56 ppm en Cajamarca y 72.67 ppm en Hualgayoc, mientras que en Jaén y San Ignacio se registraron concentraciones comprendidas dentro de los mismos rangos.

Al comparar los valores registrados con los rangos de referencia presentados en la Tabla 36, todas las concentraciones se ubicaron dentro del intervalo correspondiente a la categoría “Bueno” (0–400 ppm).

Tabla 36*Clasificación de los niveles permitidos de CO en el aire*

Niveles Permitidos de CO						
Estado calidad del aire	PPM	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
Bueno	0 a 400	33.33	21.67	11.67	31.56	72.67
Regular	401 a 500					
Malo	501 a 1000					
Muy Malo	1001 a 2000					

Nota. Rangos de CO utilizados como referencia para la clasificación de la calidad del aire.

- **Concentración de GLP**

Las concentraciones de GLP registradas en las cinco ciudades evaluadas se encontraron en el rango de 21 ppm a 50.44 ppm, tal como se observa en la Figura 37. Los valores obtenidos para cada localidad se ubicaron dentro del intervalo clasificado como “Moderado” en la Tabla 37 (0–800 ppm). Las concentraciones específicas fueron 50.44 ppm en San Ignacio, 41.56 ppm en Hualgayoc, 21 ppm en Chota y 29.33 ppm en Cajamarca, mientras que en Jaén se registraron valores dentro del mismo rango

Tabla 37

Clasificación de la concentración de GLP según riesgo de absorción

CONCENTRACIÓN DE GLP						
GLP (ppm)	Clasificación de Absorción	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
0 – 800	Moderado	34.11	50.44	21	29.33	41.56
800 – 1000	Peligroso					
1000	Riesgo					

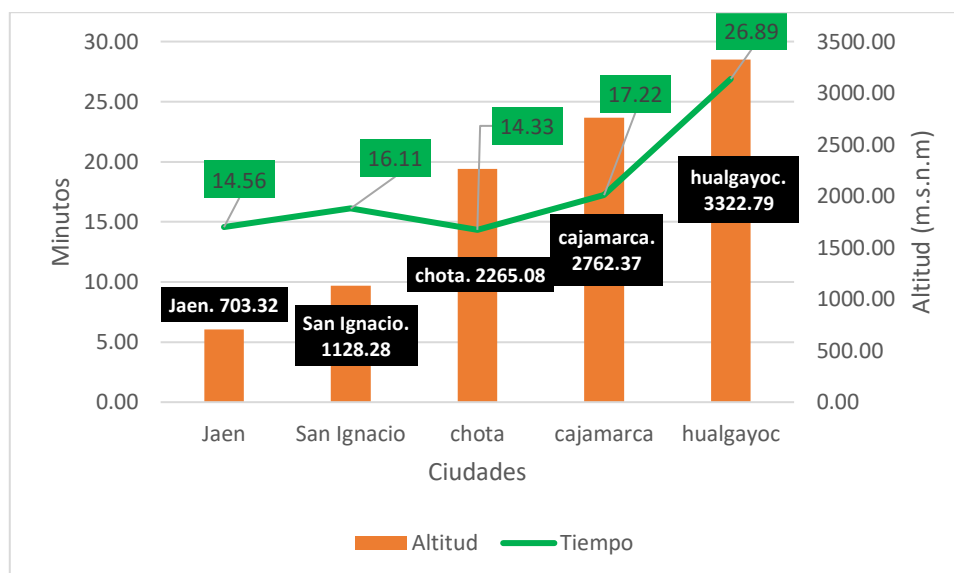
Nota. Valores de referencia empleados para clasificar la concentración de GLP según el nivel de riesgo.

3.6.3. *Tiempo de ebullición y su relación con la eficiencia energética*

La Figura 39 muestra el tiempo registrado para llevar a ebullición un litro de agua en cada una de las ciudades evaluadas. En Jaén el tiempo obtenido fue de 14.56 min y en San Ignacio de 16.11 min. En Chota se registró un tiempo de 14.33 min, mientras que en Cajamarca el valor obtenido fue de 17.22 min. En Hualgayoc se registró el mayor tiempo de ebullición, alcanzando 26.89 min.

Figura 39

Variación del tiempo de ebullición en función de la altitud geográfica



Nota. Tiempos de ebullición registrados en cada una de las ciudades evaluadas.

3.7. Análisis inferencial mediante ANOVA

3.7.1. ANOVA para las emisiones de monóxido de carbono (CO)

Los valores promedio de CO utilizados como entrada para el ANOVA se muestran en la Tabla 38, donde se resumen las emisiones registradas por turno (mañana, tarde y noche) en cada ciudad.

Tabla 38

Emisiones promedio de CO por turno y ciudad

		MÓNOXIDO DE CARBONO CO				
		JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
MAÑANA		37.00	18.00	9.00	17.00	55.00
		19.00	16	7	17.00	61.00
		37	17.00	6.00	14.00	90.00
TARDE		11.00	27	7.00	19.00	63
		37.00	21.00	7.00	31.00	84.00
		52.00	19.00	6.00	50.00	79.00
NOCHE		26.00	32.00	8	47.00	82.00
		33.00	24.00	28	67.00	80
		48.00	19	27	22.00	60

Nota. Emisiones promedio de CO por turno en cada una de las ciudades evaluadas.

Previo al análisis de varianza, se calcularon las sumas, promedios y varianzas por ciudad y turno. Estos resultados permiten visualizar las diferencias preliminares entre grupos antes de evaluar su significancia estadística, y se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39

Resumen de sumas, promedios y varianzas, por ciudad y turno

RESUMEN	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC	Total
<i>MAÑANA</i>						
Cuenta	3	3	3	3	3	15
Suma	93	51	22	48	206	420
Promedio	31	17	7	16	69	28
Varianza	108	1	2	3	350	571
<i>TARDE</i>						
Cuenta	3	3	3	3	3	15
Suma	100	67	20	100	226	513
Promedio	33	22	7	33	75	34
Varianza	430	17	0	244	120	672
<i>NOCHE</i>						
Cuenta	3	3	3	3	3	15
Suma	107	75	63	136	222	603
Promedio	36	25	21	45	74	40
Varianza	126	43	127	508	148	519
<i>Total</i>						
Cuenta	9	9	9	9	9	
Suma	300	193	105	284	654	
Promedio	33	21	12	32	73	
Varianza	170	28	82	352	164	

Los resultados del ANOVA que incluye la suma de cuadrados, grados de libertad, promedios de cuadrados, estadístico F, probabilidad (p-valor) y valor crítico de F, se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40
ANOVA para emisiones de CO

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Turnos	1116.4	2	558.2	3.75470852	0.035052105	3.315829501
Ciudades	19420.75556	4	4855.188889	32.65822123	1.54821E-10	2.689627574
Interacción Dentro del grupo	788.0444444	8	98.50555556	0.662593423	0.719557624	2.266163274
Total	4460	30	148.6666667			
	25785.2	44				

Nota. Resultados del análisis de varianza ANOVA aplicado a las emisiones de CO

considerando los factores turno, ciudad e interacción

Para el análisis se emplearon los siguientes criterios estadísticos:

- Si $F > F$ crítico, se rechazó la hipótesis nula (H_0).
- Si $p < 0.05$, se consideró que existía evidencia estadística suficiente para detectar diferencias significativas.

Efecto del turno (mañana, tarde y noche)

Hipótesis

- H_0 : No existen diferencias significativas en los niveles de CO según el turno del día.
- H_1 : Existen diferencias significativas en los niveles de CO según el turno del día.

Resultados

El análisis mostró un valor $F = 3.75$, superior al F crítico = 3.315, por lo que se rechazó H_0 . Asimismo, el valor de $p = 0.035 < 0.05$ indicó la presencia de diferencias significativas entre los turnos evaluados.

Efecto de la ciudad (altitud)

Hipótesis

- H_0 : No existen diferencias significativas en los niveles de CO entre ciudades.
- H_1 : Existen diferencias significativas en los niveles de CO entre ciudades.

Resultados

Se obtuvo un valor $F = 32.658$, mayor que F crítico = 2.689, lo que permitió rechazar H_0 . El valor $p = 1.548 \times 10^{-10} < 0.05$ confirmó la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre ciudades.

Interacción turno \times ciudad

Hipótesis

- H_0 : No existe interacción significativa entre turno y ciudad.
- H_1 : Existe interacción significativa entre turno y ciudad.

Resultados

El valor $F = 0.66$ fue menor que F crítico = 2.266, por lo que no se rechazó H_0 . El valor $p = 0.719 > 0.05$ indicó ausencia de evidencia estadística que sugiera interacción entre los factores.

3.7.2. ANOVA para las emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

Los valores experimentales del CO₂ medidos en los tres horarios para las cinco ciudades se presentan en la Tabla 41.

Tabla 41
Emisiones promedio de CO₂ por turno y ciudad

DIÓXIDO DE CARBONO CO ₂					
	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
MAÑANA	772	1467	450	437	1196
	1388	968	364	550	1295
	2159	381	274	417	5246
TARDE	807	2862	569	534	1787
	1914	2565	884	1347	2378
	1478	2130	655	2921	5068
NOCHE	846	3148	499	2589	2497
	2520	514	338	4115	2589
	3561	827	717	542	2292

Los resultados del ANOVA que incluyen la suma de cuadrados, grados de libertad, promedios de cuadrados, estadístico F, probabilidad (p-valor) y valor crítico de F, se presentan en la Tabla 42.

Tabla 42
ANOVA para emisiones de CO₂

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Horarios	4794047.778	2	2397023.889	1.959126969	0.158604867	3.315829501
Ciudades	21571387.47	4	5392846.867	4.407662261	0.006381389	2.689627574
Interacción	7202350	8	900293.75	0.735824859	0.659455042	2.266163274
Dentro del grupo	36705490.67	30	1223516.356			
Total	70273275.91	44				

Nota. Resultados del análisis de varianza ANOVA aplicado a las emisiones de CO₂ considerando los factores turno, ciudad e interacción.

El análisis ANOVA mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas en las emisiones de CO₂ según el horario de medición ($p = 0.1586$), por lo que este factor no influyó de manera relevante en la cantidad de CO₂ generada. En contraste, sí se encontraron diferencias significativas entre ciudades ($p = 0.00638$), lo que confirma que la altitud influyó directamente en la producción de CO₂ durante la combustión del GLP. Finalmente, no se identificó interacción significativa entre horario y ciudad ($p = 0.6595$), lo que indica que el efecto del horario fue independiente de la altitud. En conjunto, los resultados evidencian que solo la altitud ejerció un efecto significativo sobre las emisiones de CO₂, mientras que el horario y la interacción no tuvieron influencia estadística.

3.7.3. ANOVA para las emisiones de concentración de GLP

Los valores experimentales de concentración de GLP medidos en los tres horarios para las cinco ciudades se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43

Emisiones promedio de concentración de GLP por turno y ciudad

CONCENTRACIÓN DE GLP					
	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
MAÑANA	17.00	44.00	26.00	21.00	36.00
	27.00	51.00	18.00	19.00	43.00
	37.00	27.00	14.00	21.00	44.00
TARDE	38.00	63.00	26.00	19.00	43.00
	36.00	73.00	18.00	32.00	37.00
	39.00	63.00	12.00	49.00	44.00
NOCHE	29.00	63.00	20.00	36.00	41.00
	49.00	35.00	25.00	47.00	43
	30.00	35.00	30	20.00	43.00

Los resultados del ANOVA que incluyen la suma de cuadrados, grados de libertad, promedios de cuadrados, estadístico F, probabilidad (p-valor) y valor crítico de F, se presentan en la Tabla 44.

Tabla 44
ANOVA para concentraciones de GLP

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Horarios	753.9111111	2	376.9555556	4.579643629	0.018377953	3.315829501
Ciudades	4603.911111	4	1150.977778	13.98326134	1.50094E-06	2.689627574
Interacción Dentro del grupo	1041.422222	8	130.1777778	1.581533477	0.17221409	2.266163274
	2469.333333	30	82.31111111			
Total	8868.577778	44				

Nota. Resultados del análisis de varianza ANOVA aplicado a las concentraciones de GLP considerando los factores turno, ciudad e interacción

El análisis ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de GLP según el horario de medición ($p = 0.018$), indicando que la cantidad de gas no quemado varió entre los tres turnos evaluados. Asimismo, se identificaron diferencias altamente significativas entre ciudades ($p = 1.50 \times 10^{-6}$), lo que demuestra que la altitud influyó directamente en la acumulación de GLP residual durante la combustión. Por el contrario, no se encontró interacción significativa entre horario y ciudad ($p = 0.172$), lo que indica que el efecto del turno fue independiente de la altitud. En conjunto, estos resultados evidencian que tanto el horario como la altitud afectan las concentraciones de GLP, mientras que la interacción entre ambos factores no ejerció un efecto estadístico relevante.

3.7.4. ANOVA para la eficiencia energética

Los valores experimentales de eficiencia energética medidos en los tres horarios para las cinco ciudades se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45

Valores promedios de eficiencia energética por ciudad y por turno

	EFICIENCIA ENERGETICA				
	JAÉN	SAN IGNACIO	CHOTA	CAJAMARCA	HUALGAYOC
MAÑANA	21%	24%	28%	26%	24%
	30%	21%	14%	31%	15%
	24%	13%	40%	30%	21%
TARDE	15%	31%	26%	31%	12%
	23%	25%	20%	22%	16%
	23%	21%	30%	17%	25%
NOCHE	19%	20%	41%	26%	11%
	24%	20%	35%	15%	15%
	20%	28%	30%	26%	28%

Los resultados del ANOVA que incluyen la suma de cuadrados, grados de libertad, promedios de cuadrados, estadístico F, probabilidad (p-valor) y valor crítico de F, se presentan en la Tabla 46.

Tabla 46

ANOVA para la Eficiencia Energética

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Horarios	0.0030111	2	0.00150555	0.38223529	0.685609985	3.315829501
Ciudades	0.059590194	4	0.014897548	3.782250992	0.01318858	2.689627574
Interacción	0.03202504	8	0.00400313	1.016331138	0.445129136	2.266163274
Dentro del grupo	0.118164145	30	0.003938805			
Total	0.212790479	44				

Nota. Resultados del análisis de varianza ANOVA aplicado a la eficiencia energética considerando los factores turno, ciudad e interacción

El análisis ANOVA mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia energética según el horario de medición ($p = 0.6856$), por lo que el turno no influyó en el rendimiento térmico del sistema. En contraste, sí se identificaron diferencias significativas entre ciudades ($p = 0.0131$), lo que demuestra que la altitud afectó de manera directa la eficiencia con la que se transfirió energía durante la combustión del GLP. Finalmente, no se encontró interacción significativa entre horario y ciudad ($p = 0.4451$), indicando que el efecto de la altitud sobre la eficiencia energética fue independiente del turno evaluado. En conjunto, los resultados evidencian que solo la altitud ejerció un efecto significativo sobre la eficiencia energética, mientras que el horario y la interacción no mostraron influencia estadística relevante.

IV. DISCUSIÓN

La interpretación de los resultados obtenidos permitió comprender de manera integral el efecto de la altitud sobre el desempeño térmico y ambiental de las cocinas domésticas a GLP en la región Cajamarca. En las cinco ciudades evaluadas se observó un patrón general consistente con los fundamentos físico-químicos de la combustión: a medida que la altitud aumentó, la eficiencia energética tendió a disminuir y las emisiones de CO y CO₂ mostraron incrementos progresivos. Esta tendencia coincide con el comportamiento esperado en atmósferas de menor presión barométrica, donde la disponibilidad de oxígeno para la oxidación del gas es limitada y la llama pierde estabilidad térmica.

Los hallazgos guardan relación directa con lo reportado por Ciña (2019), quien determinó que la altitud reduce la eficiencia y aumenta las emisiones de CO en cocinas GLP debido a la disminución del oxígeno disponible. De modo similar, los resultados obtenidos en Chota, Cajamarca y Hualgayoc confirman este patrón al registrar eficiencias menores y concentraciones superiores de CO respecto a Jaén y San Ignacio. Esta coincidencia fortalece la validez de los resultados y demuestra que el fenómeno observado no es exclusivo de la región, sino que responde a principios universales del proceso de combustión.

La disminución del punto de ebullición del agua con la altitud, observada en el presente estudio, refuerza los resultados de Bhutton (2024), quien demostró que la reducción de la presión atmosférica provoca que el agua hierva a temperaturas más bajas. En Hualgayoc, donde la altitud supera los 3300 m s. n. m., el tiempo de ebullición fue significativamente mayor, lo cual coincide con la literatura y evidencia la afectación de los procesos de transferencia de calor en ambientes de alta montaña. El menor punto de

ebullición implica una menor diferencia de temperatura entre la llama y el agua, reduciendo la eficiencia térmica global.

Asimismo, los resultados concuerdan con los estudios de Rojas et al. (2017), quienes demostraron que la altitud influye de forma significativa sobre el rendimiento térmico y las emisiones de cocinas GLP comerciales. En las ciudades ubicadas por encima de los 2200 m s. n. m., la eficiencia registrada en esta investigación disminuyó y las emisiones aumentaron, siguiendo el mismo comportamiento reportado en localidades entre 2200 y 4200 m s. n. m. evaluadas por los autores. Si bien Rojas encontró que un prototipo optimizado podía superar el rendimiento de las cocinas comerciales, el presente estudio utilizó una cocina doméstica convencional, lo cual explica la obtención de eficiencias inferiores al 50 %.

Por otro lado, la comparación con Rojas et al. (2019) permite contextualizar la eficiencia térmica observada. Los autores reportaron que un prototipo industrial alcanzó un rendimiento del 59 %, muy por encima de las cocinas comerciales. En el presente estudio, las eficiencias fueron menores, lo cual sugiere que el diseño del quemador, la presión de trabajo y las condiciones geométricas son variables determinantes que deben optimizarse para mejorar el desempeño en zonas altoandinas.

En relación con la medición de contaminantes gaseosos, los resultados coinciden con Guatapi y García (2022) en demostrar la utilidad de sensores semiconductores para el monitoreo ambiental. La variación registrada en CO y CO₂ en función de la altitud confirma que estos sensores permiten captar diferencias significativas aun en condiciones cambiantes de campo. Si bien el estudio de Guatapi y García se centró en ambientes interiores, ambos trabajos resaltan la importancia del registro continuo en tiempo real como herramienta para evaluar riesgos ambientales.

Los resultados también se relacionan con los hallazgos de Shen et al. (2020), quienes mostraron que las emisiones de CO y partículas aumentan cuando la combustión es incompleta. En las ciudades de mayor altitud evaluadas, el incremento del CO observado se ajusta a este comportamiento, indicando una menor eficiencia oxidativa. Aunque el presente estudio no midió PM_{2.5}, el patrón del CO confirma el deterioro de la calidad de la combustión en condiciones de baja presión.

La comparación con Islam et al. (2021) permite contrastar las emisiones registradas en condiciones reales de campo. Aunque el estudio indio se centró en biomasa y GLP, ambos trabajos coinciden en que las emisiones del GLP pueden aumentar cuando la ventilación no es ideal o cuando las condiciones ambientales modifican la mezcla aire-combustible. Las variaciones encontradas entre ciudades de la región Cajamarca refuerzan esta conclusión.

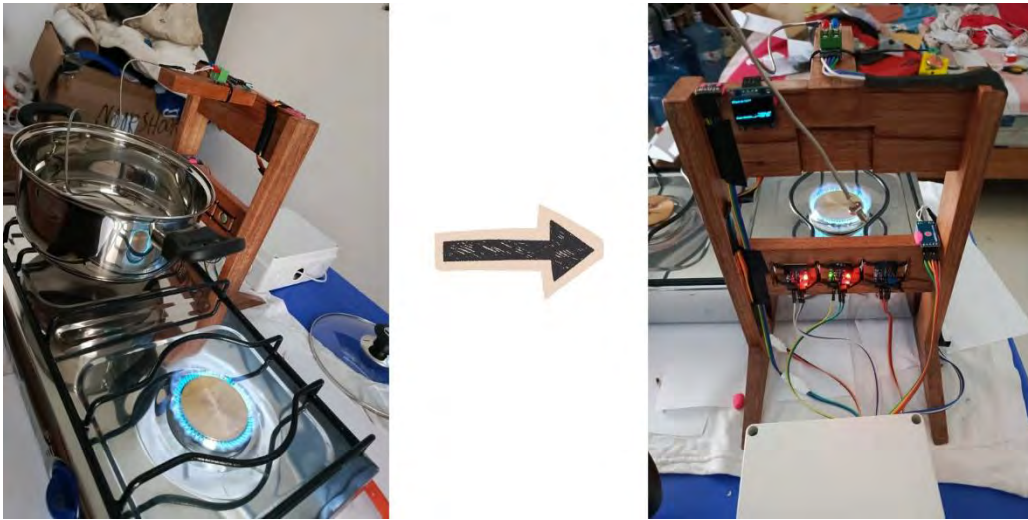
Por último, los resultados se relacionan con el análisis teórico-experimental de Shkarovskiy et al. (2025), quien enfatizó la necesidad de evaluar contaminantes como NO_x, CO y CO₂ en espacios donde se operan cocinas a gas. En el presente estudio, la medición de CO y CO₂ permitió identificar escenarios que podrían generar acumulaciones peligrosas en condiciones de ventilación limitada, especialmente en ciudades de mayor altitud.

Desde una perspectiva estadística, el análisis ANOVA confirmó que la altitud fue el único factor que ejerció un efecto significativo sobre las emisiones de CO y CO₂, mientras que el turno de medición no mostró influencia relevante. Este resultado es congruente con investigaciones previas que indican que los efectos de la altitud son independientes del horario cuando las condiciones experimentales se mantienen controladas. La ausencia de interacción entre factores sugiere que el comportamiento de la combustión a diferentes altitudes es estable y reproducible.

Durante la ejecución del proyecto se presentaron limitaciones asociadas principalmente al diseño del sistema de captura de gases. Los ensayos iniciales realizados en espacio abierto como se muestra en la Figura 40, no permitieron registrar concentraciones representativas debido a la rápida dispersión de contaminantes. Posteriormente, el uso de estructuras de madera como se muestra en la Figura 41, provocó carbonización por la alta temperatura, afectando las mediciones. Un tercer intento con succión forzada como se muestra en la Figura 42, no logró caudales suficientes. Solo la implementación final de una cámara metálica ofreció estabilidad térmica y permitió obtener datos reproducibles. Estas limitaciones no comprometieron los resultados finales, pero evidencian la necesidad de sistemas de muestreo más robustos, especialmente al trabajar en condiciones térmicas severas.

Los resultados obtenidos permiten generalizar que la altitud influye directamente en el rendimiento energético y en las emisiones de cocinas GLP. Este conocimiento puede ser aplicado a programas de mejora tecnológica, etiquetado energético y políticas de uso limpio de combustibles en regiones altoandinas. Futuros estudios deberían incorporar la medición de NO_x, PM_{2.5} y otros contaminantes asociados al deterioro de la combustión, así como evaluar diferentes diseños de quemadores, materiales refractarios y sistemas activos de muestreo que permitan mejorar la precisión y la seguridad en la medición.

Figura 40
Primera fase de pruebas en ambiente abierto



Nota. Registro visual de la primera fase de pruebas realizada en espacio abierto.

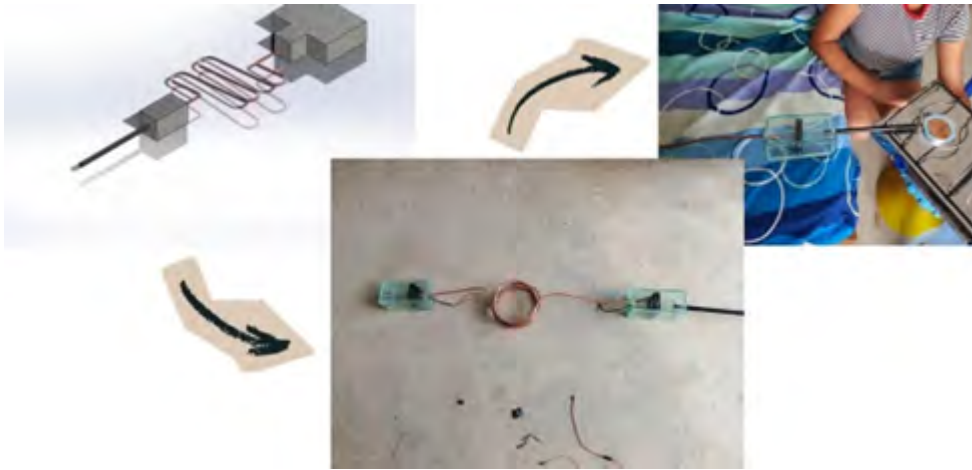
Figura 41
Segunda fase de pruebas con estructura de madera



Nota. Vista de la segunda fase de pruebas empleando una estructura construida en madera.

Figura 42

Tercera fase de pruebas con estructura de succión con enfriamiento



Nota. Vista de la tercera fase de pruebas realizada con una estructura de succión y enfriamiento.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La selección de Jaén, San Ignacio, Chota, Cajamarca y Hualgayoc permitió representar adecuadamente el gradiente altitudinal de la región Cajamarca (703–3323 m s. n. m.). Los resultados mostraron que la altitud de la población estudiada influyó directamente en las condiciones atmosféricas registradas y en el comportamiento térmico durante la operación de la cocina a GLP.
- El sistema automatizado desarrollado funcionó correctamente en todas las localidades evaluadas, registrando de manera continua y estable las variables térmicas, ambientales y de calidad del aire. Su desempeño demostró ser adecuado para estudiar procesos de combustión doméstica en condiciones reales y a diferentes altitudes.
- Se determinó que la eficiencia energética disminuyó en las ciudades de mayor altitud, mientras que las emisiones de CO y CO₂ aumentaron conforme se incrementó la elevación geográfica. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas según ANOVA ($p < 0.05$), lo que confirma que la altitud ejerció un efecto directo sobre el rendimiento energético y las emisiones contaminantes generadas durante la combustión del GLP en la población estudiada.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda que la Escuela de Ingeniería mecánica eléctrica promueva investigaciones que analicen la combustión del GLP considerando no solo la altitud, sino también la latitud y otros factores atmosféricos propios de la región, tales como humedad, velocidad del viento y densidad del aire. Incorporar estas variables permitiría desarrollar modelos de predicción más completos sobre eficiencia térmica y emisiones, y aportar al diseño de tecnologías de cocción adaptadas a diferentes condiciones geográficas del país.
- Se sugiere a tesisistas de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica, que en futuros trabajos incorporen sensores de mayor selectividad y precisión, como sensores NDIR para CO₂ y sensores térmicos de alta capacidad (> 1300 °C), ya que la temperatura puede superar los 1900 °C en combustión completa. La adopción de estos instrumentos permitiría caracterizar con mayor exactitud los niveles de contaminación y la temperatura real de la llama, facilitando estudios orientados a la optimización del rendimiento energético y a la identificación precisa de combustión incompleta.
- Se recomienda a semilleros de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica explorar nuevos usos del sistema automatizado en estudios de calidad del aire interior y exterior, aprovechando la capacidad de los sensores MQ2, MQ7 y MQ135 para detectar múltiples contaminantes (CH₄, NH₃, alcoholes, H₂, propano). Ello permitiría desarrollar investigaciones sobre contaminación urbana, emisiones vehiculares, fugas de GLP en viviendas o evaluación de ambientes laborales expuestos a gases volátiles.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atencio Cornelio, S. J. (2023). Evaluación de CO₂ en los ambientes de estudio del nivel primario del Colegio Editum Huancayo, enfocado a la prevención y control de riesgo de exposición a SARS - COV - 2 en la actualidad 2023. *Evaluación de CO₂ en los ambientes de estudio del nivel primario del Colegio Editum Huancayo, enfocado a la prevención y control de riesgo de exposición a SARS - COV - 2 en la actualidad 2023*. Universidad Continental, Huancayo, Huancayo, Perú. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13781>

Banzi, M., Cuartiellas, D., Igoe, T., y Mellis, D. (2021, 09 15). *Arduino*. Retrieved 05 17, 2025, from Arduino: <https://www.arduino.cc/>

Bhutto, B. (2024). Correlation between Barometric Pressure and the Boiling Point of Water in Pakistan. *European Journal of physical Sciences*, 7(1), 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.47672/ejps.2059>

Ciña Gomez, W. M. (2019). Determinación de la línea base de desempeño energético y emisiones en cocinas domésticas a GN y GLP en tres regiones representativas de Bolivia. *Proyecto de grado para Optar el Título de Ingeniero Ambiental*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, La Paz, Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25934/T-2902.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gchem. (2025, 07 25). *Gchem*. Retrieved 07 25, 2025, from Gchem: https://gchem.cm.utexas.edu/data/section2.php?target=heat-capacities.php&utm_source

Guatapi Yachimba, A. M., y García Bravo, E. I. (2022). Diseño e implementación de un prototipo para un sistema de medición, análisis y purificador de gases

contaminantes en el aire utilizando arduino y Ubidots IoT. *Grado*. Universidad 'Politécnica Salesiana Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24088>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). (M. H. España, Ed.)
https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&orden=0&info=open_link_libro

Kephart, J., Fandiño del Rio, M., Williams, K., Malpartida, G., Lee, A., Steenland, K., Naeher, L., Gonzales, G., Chiang, M., Checkley, W., Koehler, K., y Investigators, C. (2020, Noviembre 04). Nitrogen dioxide exposures from LPG stoves in a cleaner-cooking intervention trial. *PubMed*.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106196>

Maksimul Islam, M., Wathore, R., Zerriffi, H., Marshall, J., Bailis, R., y Grieshop, A. (2021, Marzo 01). In-use emissions from biomass and LPG stoves measured during a large, multi-year cookstove intervention study in rural India. *ScienceDirect*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143698>

Pajares Acuña, M. D., y Alcantar Mallqui, L. A. (2020). Implementación de un sistema de vigilancia de Gas Licuado de Petróleo en estaciones de servicio de combustible utilizando una plataforma Adafruit.IO. *Universidad de Ciencias y Humanidades*, 7. <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/545>

Rojas, F. J., Jiménez, F. O., y Soto, J. (2019). Análisis Teórico y Experimental de la Potencia, Eficiencia Térmica y Emisiones de Cocinas Industriales que usan Gas Licuado de Petróleo. *Información Tecnológica*, 30(4), 10.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000400301>

- Rojas, F. J., Jiménez, F. O., Ramos, B. G., y Alván, R. (2017). Análisis Experimental del rendimiento Térmico, Potencia y Emisiones de Cocinas Anafe a Gas Licuado de Petróleo para Altitudes entre 2200 y 4200 metros. *Información Tecnológica*, 28(4), 12. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400020>
- Sánchez Rojas, A., y Sánchez Tello, S. (2010). *Mapas de Pisos Altitudinales*. Gobierno Regional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/Pisos%20Altitudinales.pdf>
- Shen, G., D Hays, M., R Smith, H., Williams, C., W Faircloth, J., y Jetter, J. (2020, Julio 15). Evaluating the Performance of Household Liquefied Petroleum Gas Cookstoves. *National Library of Medicine*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05155>
- Shkarovskiy, A., y Maliszewska, A. (2025, Marzo 14). Air Pollution Problems in Apartments Equipped with Gas Stoves. *MDPI*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en18061492>
- Vega Luna, J. I., Lagos Acosta, M. A., y Salgado Guzmán, G. (2017). Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long - Range. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(18), 17. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/ings.n18.2017.09>
- Velasco Hurtado, C., y Velasco Villaroel, J. (2014, Julio). Efectos de la altitud sobre la combustión. *Revista Metalúrgica UTO*(35), 10. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2078-55932014000100003&lng=es&nrm=iso.Acesso&tlng=es

World Nuclear Association. (2020, 11 18). *World Nuclear Association*. Retrieved 7 7, 2025, from World Nuclear Association: https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels?utm_source

Zen, y Austin. (2021, 03 12). *Cirkit Designer*. Retrieved 10 2, 2025, from Cirkit Designer: <https://app.cirkitdesigner.com/>

DEDICATORIA

A mis padres y a toda mi familia,
quienes han sido mi mayor fuente de fortaleza
y motivación. A mi madre, por su amor
incondicional, su ejemplo de perseverancia
y por enseñarme que todo logro requiere esfuerzo,
disciplina y dedicación. A mi padre,
por su apoyo constante y por creer
siempre en mis capacidades.

A cada uno de ellos, gracias por acompañarme
en cada etapa, por sus palabras de aliento
y por formarme como una persona de bien.
Esta meta alcanzada también es suya.

Autor: Henry Alexis Delgado Ruiz

Dedico este importante logro en mi carrera a mi querida madre, mi valioso padre y mis queridos hermanos, quienes han sido mi roca y mi constante apoyo a lo largo de mi travesía en la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Su inquebrantable presencia y aliento han sido el motor que me impulsó a perseverar en este arduo camino, especialmente en la culminación de este trabajo de tesis, el cual representa un gran esfuerzo y sacrificio.

A ellos les debo este triunfo y les agradezco de todo corazón por su amor, confianza y apoyo incondicional.

Autor: Karen Laney Rojas Cruz

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos siempre por el camino correcto, fortalecer nuestro espíritu y darnos la salud y la perseverancia necesarias para cumplir cada meta trazada.

A nuestra familia, por ser el soporte más firme en nuestra vida personal y profesional. Su paciencia, sus valores, su compañía incondicional y cada uno de sus consejos han sido esenciales para avanzar con fortaleza y gratitud.

A nuestro asesor, Mg. Ing. Henry Oswaldo Pinedo Nava, por su dedicación, orientación constante y por compartir generosamente sus conocimientos, los cuales han enriquecido de manera significativa el desarrollo de este proyecto.

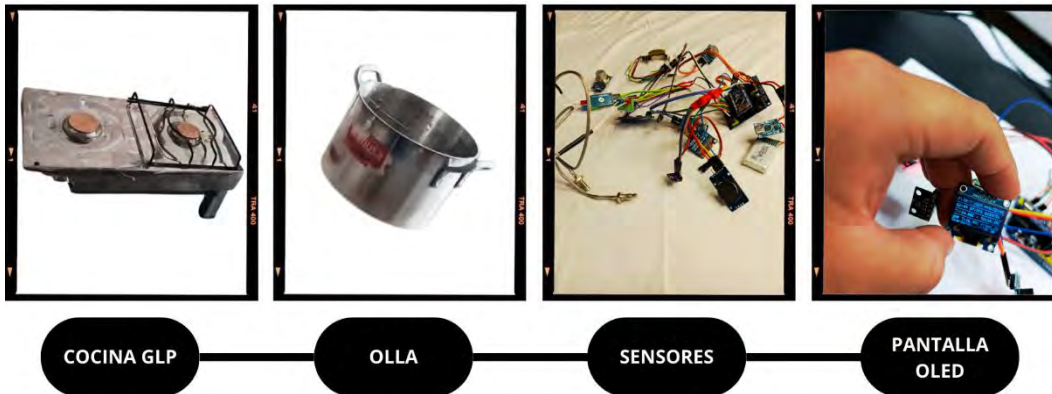
Al Instituto de Investigación de Energías Renovables (INRER), y a sus dependencias adscritas “Laboratorio de Diseño Mecánico, Fabricación y Manufactura (DFABLAB)” (RES. CCO. N° 200-2025-CCO-UNJ), y el “Laboratorio de Medición de Recursos Energéticos Renovables, Calidad y Eficiencia Eléctrica (MEDRER)” (RES . P. N° 444-2023-CO-UNJ), por brindar el apoyo técnico y científico necesario para la ejecución de esta investigación, así como por promover la formación y el impulso de nuevas propuestas en beneficio del desarrollo energético sostenible.

A la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, por la sólida formación académica y profesional que nos ha proporcionado, permitiéndonos crecer como ingenieros comprometidos con el avance de nuestra región y del país.

ANEXOS

Anexo 1

Materiales usados para el sistema de control electrónico



Nota. Materiales empleados en el sistema de control electrónico, incluyendo la cocina GLP, la olla, los sensores y la pantalla OLED.

Anexo 2

Código que integra los sensores MQ2, MQ7, MQ135, BMP 280, pantalla OLED, SD, RTC y Arduino Nano

```
int mq2;
int mq7;
int mq135;
float Lec_mq2;
float Lec_mq7;
float Lec_mq135;

#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <RTCLib.h>
#include <SSD1306Ascii.h>
#include <SSD1306AsciiWire.h>
#include <Thermocouple.h>
#include <MAX6675_Thermocouple.h>
#include <AverageThermocouple.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

#define OLED_ADDRESS 0x3C
SSD1306AsciiWire display;
#define MQ2_PIN A0
#define MQ7_PIN A1
#define MQ135_PIN A2
const byte MAX6675_SCK = 6;
const byte CS1_PIN = 5;
const byte CS2_PIN = 4;
const byte S0_PIN = 7;
const byte SD_CS = 10;

RTC_DS3231 rtc;
Thermocouple* termopar1;
Thermocouple* termopar2;
Adafruit_BMP280 bmp;
```

```

File archivo;

unsigned long ultimaEscritura = 0;
const unsigned long INTERVALO_MS = 3000;
bool guardando = false;

void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  delay(1000);

  display.begin(&Adafruit128x64, OLED_ADDRESS);
  display.setFont(System5x7);
  display.clear();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("Iniciando...OLED = OK");
  delay(1000);

  display.setCursor(0, 1);
  display.println("-----");

  display.setCursor(0, 2);
  if (!rtc.begin()) {
    display.println("Error RTC");
    while (true)
      ;
  }
  display.println("Iniciando...RTC = OK");
  delay(1000);

  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

  display.setCursor(0, 3);
  display.println("-----");

  display.setCursor(0, 4);
  display.println("Iniciando SD :) OK");
  if (!SD.begin(SD_CS)) {
    display.println("Fallo SD");
    while (true)
      ;
  }
  delay(1000);

  Thermocouple* raw1 = new MAX6675_Thermocouple(MAX6675_SCK, CS1_PIN, SO_PIN);
  Thermocouple* raw2 = new MAX6675_Thermocouple(MAX6675_SCK, CS2_PIN, SO_PIN);
  termopar1 = new AverageThermocouple(raw1, 10, 10);
  termopar2 = new AverageThermocouple(raw2, 10, 10);

  display.setCursor(0, 5);
  display.println("-----");

  if (!bmp.begin(0x76)) {
    display.println("BMP280 Error");
    while (true)
      ;
  }

  display.println("BMP280 OK TODO Listo");
  delay(3000);
}

void loop() {
  DateTime now = rtc.now();
  Lec_mq2 = analogRead(MQ2_PIN);
  float volt_mq2 = (5.0 * Lec_mq2) / 1023;
  float RS_GLP = (5.0 - volt_mq2) / volt_mq2;
  mq2 = pow(22.454 / (RS_GLP / 1.91), 2.07);

  Lec_mq7 = analogRead(MQ7_PIN);

```

```

float volt_mq7 = (5.0 * Lec_mq7) / 1023;
float RS_CO = 10 * (5.0 - volt_mq7) / volt_mq7;
mq7 = pow(21.757 / (RS_CO / 1.15), 1.513);

Lec_mq135 = analogRead(MQ135_PIN);
float volt_mq135 = (5.0 * Lec_mq135) / 1023;
float RS_CO2 = (5.0 - volt_mq135) / volt_mq135;
mq135 = pow(5.4428 / (RS_CO2 / 2.05), 2.857);

float t1 = termopar1->readCelsius();
float t2 = termopar2->readCelsius();
float tempBMP = bmp.readTemperature();
float presBMP = bmp.readPressure() / 100.0;
float altBMP = bmp.readAltitude(1013.25);

display.clear();
display.setCursor(0, 0);

display.print("F:");
display.print(now.day());
display.print("/");
display.print(now.month());
display.print("/");
display.print(now.year());
display.print(" H:");
int h = now.hour();
bool pm = false;
if (h >= 12) {
    pm = true;
    if (h > 12) h -= 12;
}
if (h == 0) h = 12;
display.print(h);
display.print(":");
if (now.minute() < 10) display.print("0");
display.print(now.minute());
display.print(":");
if (now.second() < 10) display.print("0");
display.print(now.second());
display.print(pm ? " PM" : " AM");

display.setCursor(0, 1);
display.println("-----");

display.setCursor(0, 2);
display.print("Q2:");
display.print(mq2);
display.print(" ");
display.print("Q7:");
display.print(mq7);
display.print(" ");
display.print("Q135:");
display.print(mq135);
display.println(" ");

display.setCursor(0, 3);
display.println("-----");

display.setCursor(0, 4);
display.print("BMP T:");
display.print(tempBMP);
display.print("°C ");
display.print("P:");
display.print(presBMP);
display.print(" hPa");

display.setCursor(0, 5);
display.println("-----");

display.setCursor(0, 6);

```

```

display.print("Alt:");
display.print(altBMP);
display.print("m.s.n.m");

display.setCursor(0, 7);
display.print("Guardando...-->OK SD");

if (millis() - ultimaEscritura >= INTERVALO_MS) {
  guardando = true;
  archivo = SD.open("09.csv", FILE_WRITE);
  if (archivo) {
    archivo.print("FECHA: ");
    archivo.print(now.day());
    archivo.print("/");
    archivo.print(now.month());
    archivo.print("/");
    archivo.print(now.year());
    archivo.print(" HORA: ");
    if (now.hour() < 10) archivo.print("0");
    archivo.print(now.hour());
    archivo.print(":");
    if (now.minute() < 10) archivo.print("0");
    archivo.print(now.minute());
    archivo.print(":");
    if (now.second() < 10) archivo.print("0");
    archivo.print(now.second());
    archivo.print(", ");
    archivo.print(" MQ2: ");
    archivo.print(mq2);
    archivo.print(", ");
    archivo.print("MQ7: ");
    archivo.print(mq7);
    archivo.print(", ");
    archivo.print("MQ135: ");
    archivo.print(mq135);
    archivo.print(", ");
    archivo.print("BMP Temperatura Ambiente: ");
    archivo.print(tempBMP);
    archivo.print(", ");
    archivo.print("Presion: ");
    archivo.print(presBMP);
    archivo.print(", ");
    archivo.print("Altura: ");
    archivo.println(altBMP);
    archivo.close();
    print("Dato guardado en SD");
  } else:
    print("Error al guardar datos.csv")
  guardando = False
  ultimaEscritura = millis()
}

delay(500);
}

```

Anexo 3

Código que integra las termocuplas, SD, RTC, pantalla Oled y Arduino Uno

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <RTClib.h>
#include <SSD1306Ascii.h>      // Texto en OLED
#include <SSD1306AsciiWire.h> // Adaptador I2C para SSD1306
#include <Thermocouple.h>
#include <AverageThermocouple.h> // Para suavizar la lectura de temperatura
#include <MAX6675_Thermocouple.h>

// ----- OLED 128x64 -----
#define OLED_ADDRESS 0x3C // Dirección I2C del OLED
SSD1306AsciiWire display; // Objeto de control de pantalla

// ----- SD (SPI) -----
const byte SD_CS = 10; // CS de la SD en Arduino UNO

// ----- RTC -----
RTC_DS3231 rtc;
Thermocouple* termopar1;
Thermocouple* termopar2;
File archivo;

// ----- Termocuplas -----
const byte MAX6675_SCK = 6; // SCK compartido
const byte SO_PIN = 7; // SO compartido
const byte CS1_PIN = 5; // CS primera termocupla
const byte CS2_PIN = 9; // CS segunda termocupla

unsigned long ultimaEscritura = 0;
const unsigned long INTERVALO_MS = 3000; // 3s
bool guardando = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  delay(1000);

  // --- OLED ---
  display.begin(&Adafruit128x64, OLED_ADDRESS);
  display.setFont(System5x7);
  display.clear();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("Iniciando OLED...");
  delay(1000);

  // --- RTC ---
  if (!rtc.begin()) {
    display.println("Error RTC!");
    while (true);
  }

  // --- Ajustar hora del RTC ---
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

  // --- SD ---
  if (!SD.begin(SD_CS)) {
    display.println("Fallo SD!");
    while (true);
  }
}
```

```

    }
    delay(1000);

    Thermocouple* raw1 = new MAX6675_Thermocouple(MAX6675_SCK, CS1_PIN, SO_PIN);
    Thermocouple* raw2 = new MAX6675_Thermocouple(MAX6675_SCK, CS2_PIN, SO_PIN);
    termopar1 = new AverageThermocouple(raw1, 10, 10);
    termopar2 = new AverageThermocouple(raw2, 10, 10);

    display.clear();
    display.println("Sistema Listo");
    delay(1500);
}

void loop() {
    DateTime now = rtc.now();

    float t1 = termopar1->readCelsius();
    float t2 = termopar2->readCelsius();

    display.clear();

    display.setCursor(0, 0);
    display.print("F:");
    display.print(now.day());
    display.print("/");
    display.print(now.month());
    display.print("/");
    display.print(now.year());
    display.print(" H:");
    int h = now.hour();
    bool pm = false;
    if (h >= 12) {
        pm = true;
        if (h > 12) h -= 12;
    }
    if (h == 0) h = 12;
    display.print(h);
    display.print(":");
    if (now.minute() < 10) display.print("0");
    display.print(now.minute());
    display.print(":");
    if (now.second() < 10) display.print("0");
    display.print(now.second());
    display.print(pm ? "PM" : "AM");

    display.setCursor(0, 1);
    display.println("-----");

    display.setCursor(0, 2);
    display.print("T1: ");
    display.print(t1);
    display.print(" °C");

    display.setCursor(0, 3);
    display.println("-----");

    display.setCursor(0, 4);
    display.print("T2: ");
    display.print(t2);
    display.print(" °C");

    display.setCursor(0, 5);
    display.println("-----");
}

```

```

display.setCursor(0, 6);
display.print("Guardando en SD...");

if (millis() - ultimaEscritura >= INTERVALO_MS) {
  guardando = true;
  archivo = SD.open("09.csv", FILE_WRITE);
  if (archivo) {
    archivo.print("FECHA: ");
    archivo.print(now.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_DATE));
    archivo.print(", ");
    archivo.print("HORA: ");
    archivo.print(now.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_TIME));
    archivo.print(", ");
    archivo.print("TERMOCUPLA1: ");
    archivo.print(t1);
    archivo.print(", ");
    archivo.print("TERMOCUPLA2: ");
    archivo.println(t2);
    archivo.close();
    Serial.println("Dato guardado en SD");
  } else {
    Serial.println("Error al guardar datos.csv");
  }
  ultimaEscritura = millis();
  guardando = false;
}

delay(500);
}

```

Anexo 4

Calor específico de varias sustancias

Sustancia	capacidad calorífica específica $C_{p,s}$ (J/g °C)	capacidad calorífica molar $C_{p,m}$ (J/mol °C)
aire	1.012	29.19
aluminio	0.89	24.2
argón	0.5203	20.786
cobre	0.385	24.47
granito	0.790	—
grafito	0.710	8.53
helio	5.1932	20.786
hierro	0.450	25.09
dióxido de carbono	0.129	26.4
litio	3.58	24.8
mercurio	0.14	27.58
metanol	2.14	68.62
sodio	1.228	28.23
acero	0.466	—
titanio	0.523	26.06
agua (hielo, 0°C)	2.09	37.66
agua	4.184	75.38
agua (vapor, 100°C)	2.03	36.57

Nota. Poder calorífico del agua usado es de 4.184 KJ/Kg°C. Fuente: Gchem (2025).

Anexo 5

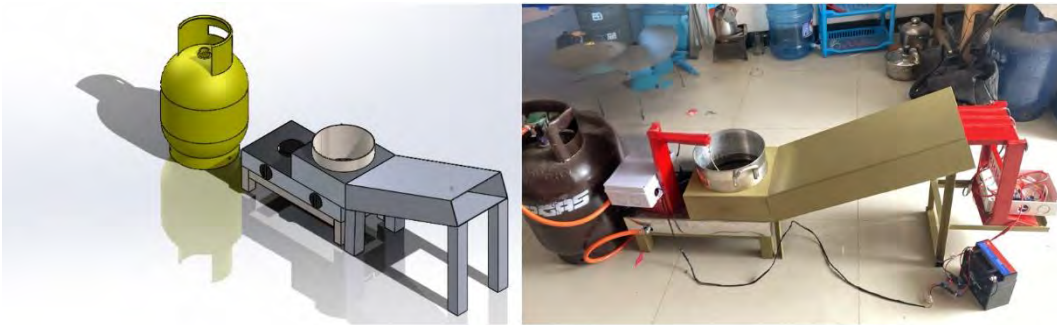
Valores del poder caloríficos de varios combustibles

	Valor calorífico
Hidrógeno (H ₂)	120-142 MJ/kg
Metano (CH ₄)	50.55 MJ/kg
Metanol (CH ₃ OH)	22.7 MJ/kg
Eter dimetilico - DME (C ₂ H ₆ O ₂)	29 MJ/kg
Gasolina	44-46 MJ/kg
Gasóleo	42-46 MJ/kg
Petróleo crudo	42-47 MJ/kg
Gas licuado de petróleo (GLP)	46-51 MJ/kg
Gas natural	42-55 MJ/kg
Carbón negro duro (definición de la AIE)	>23.9 MJ/kg
Carbón negro duro (Australia y Canadá)	c. 25 MJ/kg
Carbón subbituminoso (definición de la AIE)	17.4-23.9 MJ/kg
Carbón subbituminoso (Australia y Canadá)	c. 19 MJ/kg
Lignito/carbón pardo (definición de la AIE)	<17.4 MJ/kg
Lignito/carbón pardo (Australia, electricidad)	c. 10 MJ/kg
Leña (seca)	16 MJ/kg
Uranio natural, en LWR (reactor normal)	500 GJ/kg
Uranio natural, en LWR con reciclaje de U y Pu	650 GJ/kg
Uranio natural, en FNR	28.000 GJ/kg
Uranio enriquecido al 3.5%, en LWR	3900 GJ/kg

Nota. Poder calorífico de GLP usado es de 46 MJ/kg. Fuente: World Nuclear Association (2020).

Anexo 6

Sistema de medición final



Nota. Vista del sistema de medición final ensamblado.

Anexo 7

Balanza electrónica



Nota. La balanza con cual se peso el gas al inicio y final de cada prueba.

Anexo 8

Bidones de agua utilizados en las pruebas



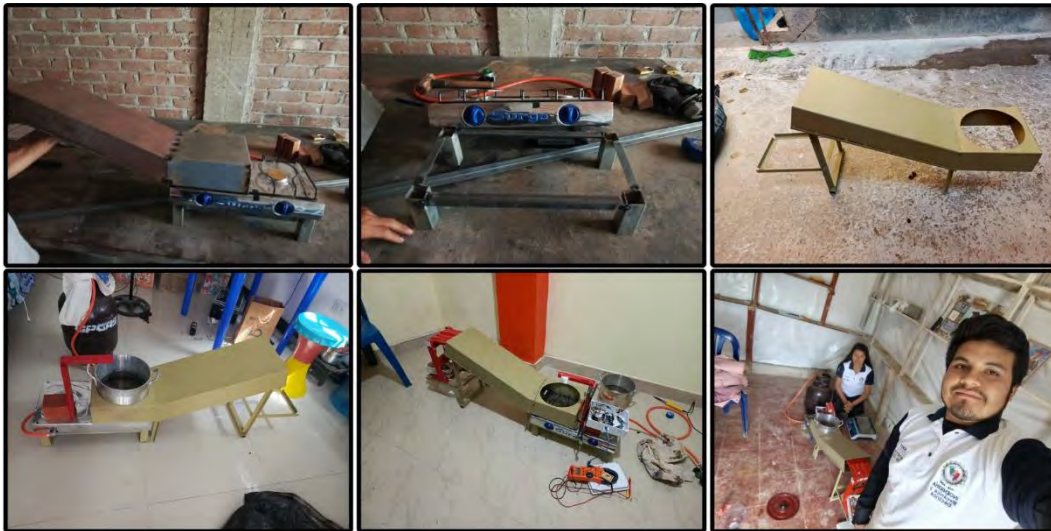
Nota. Bidones de agua utilizados durante las pruebas experimentales.

Anexo 9

Panel fotográfico de la construcción del equipo



Nota. Panel fotográfico del proceso de construcción y ensamblaje del equipo de medición de gases. Estas fotografías documentan la etapa de montaje, pruebas de funcionamiento y ajuste final del prototipo antes de su despliegue en las ciudades seleccionadas para la evaluación experimental.



Nota. Secuencia fotográfica del proceso de construcción del sistema de aislamiento de gases.

Anexo 10

*Panel Fotográfico de las mediciones realizadas en las 5 provincias de la región
Cajamarca*



Nota. Panel fotográfico de las mediciones realizadas en la ciudad de San Ignacio.
Esta fotografía evidencia la visita a la ciudad de San Ignacio.



Nota. Panel fotográfico de las mediciones realizadas en la ciudad de Jaén. Esta fotografía evidencia la visita a la ciudad de Jaén.



Nota. Panel fotográfico de las mediciones realizadas en la ciudad de Chota. Esta fotografía evidencia la visita a la ciudad de Chota.



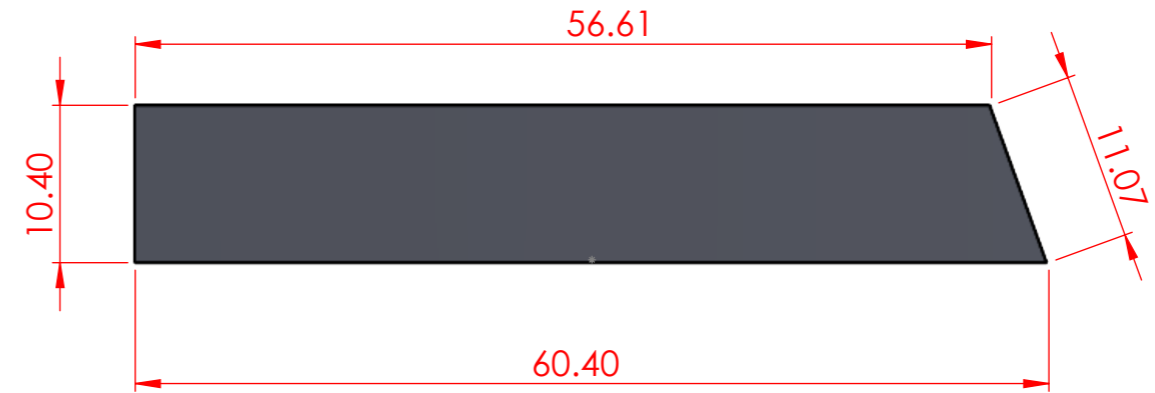
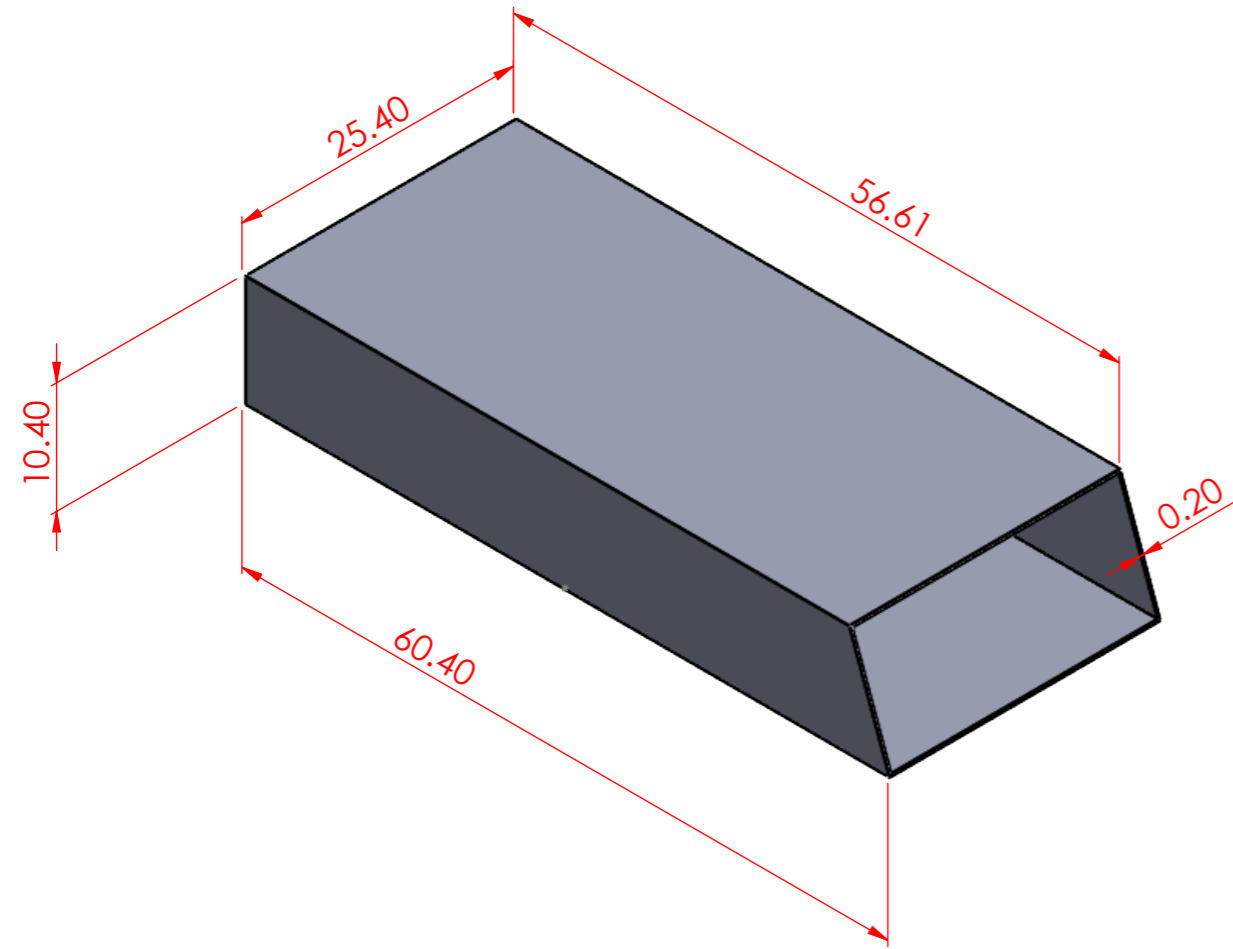
Nota. Panel fotográfico de las mediciones realizadas en la ciudad de Cajamarca.
 Esta fotografía evidencia la visita a la ciudad de Cajamarca.



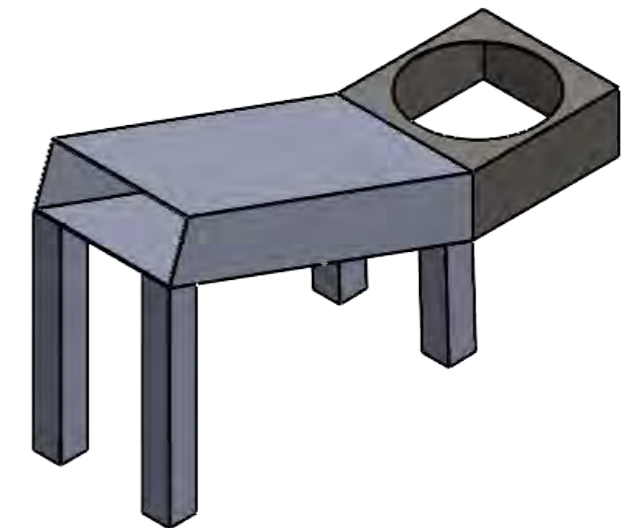
Nota. Panel fotográfico de las mediciones realizadas en la ciudad de Hualgayoc.
 Esta fotografía evidencia la visita a la ciudad de Hualgayoc.

Anexo 11

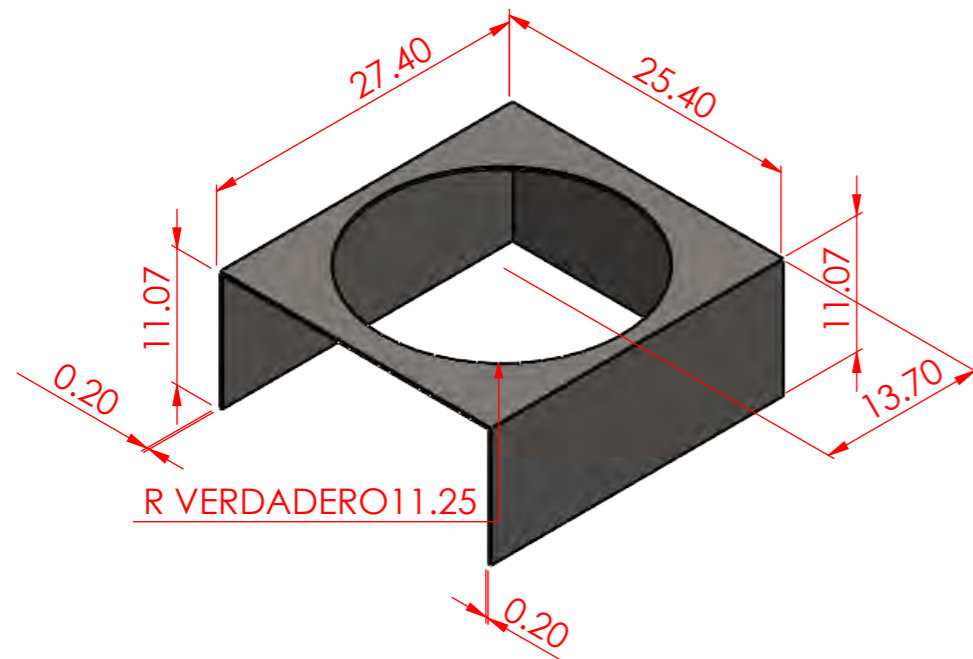
Planos



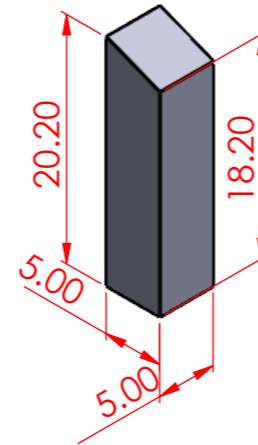
Estructura Final



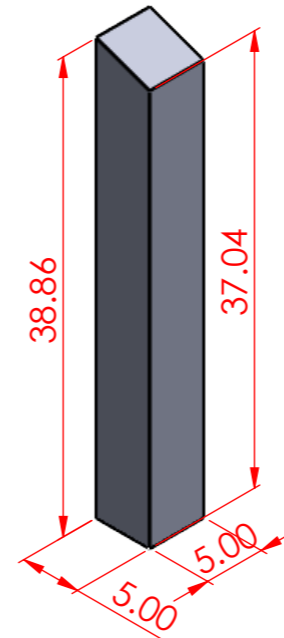
Nota: Van separado las dos piezas





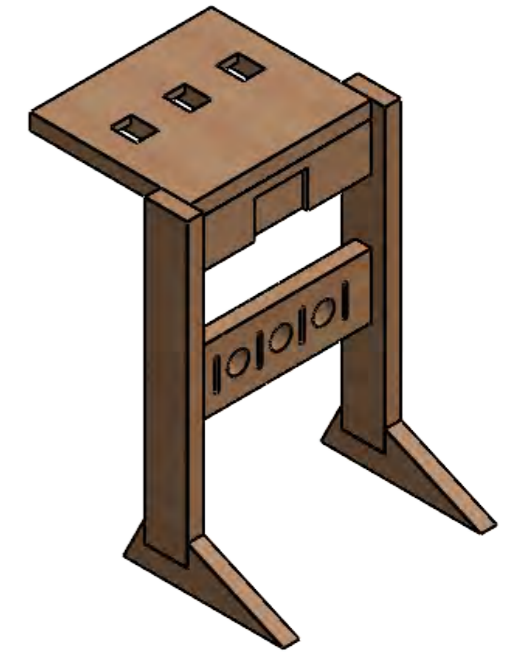
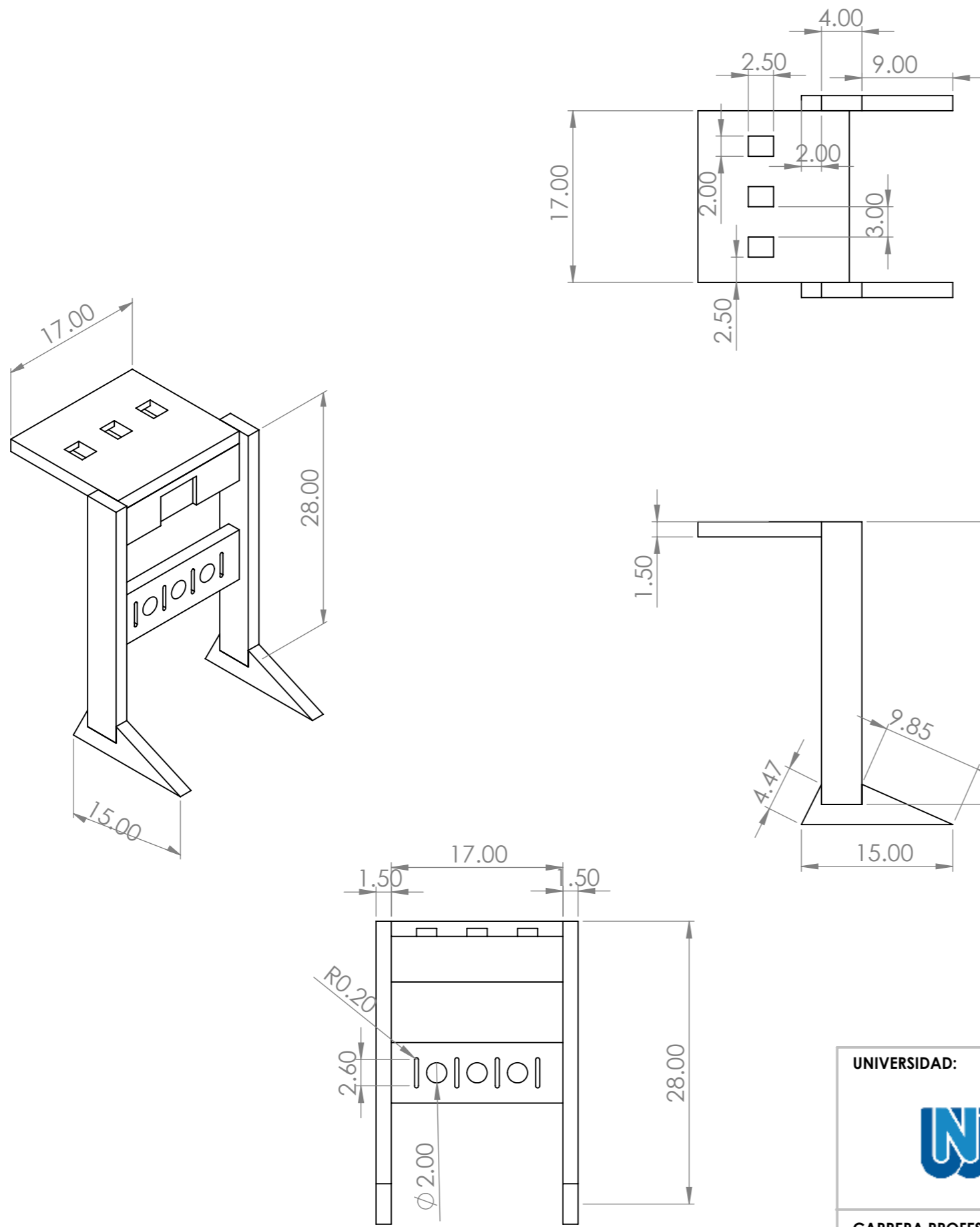
Patas pequeñas X2





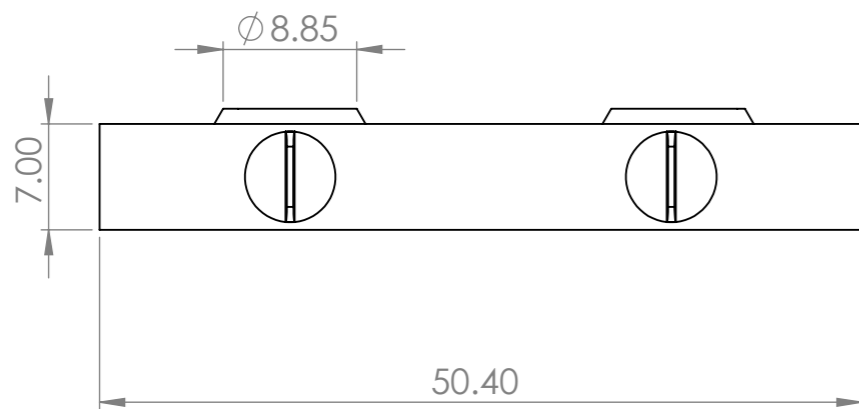
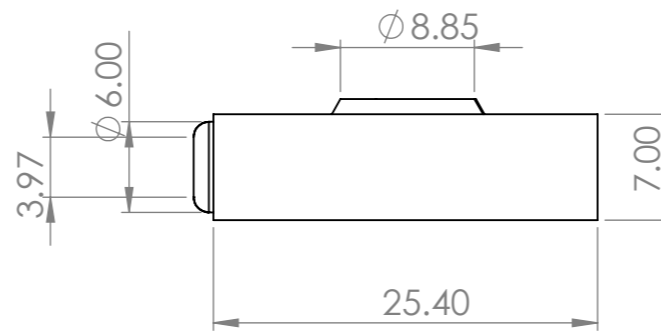
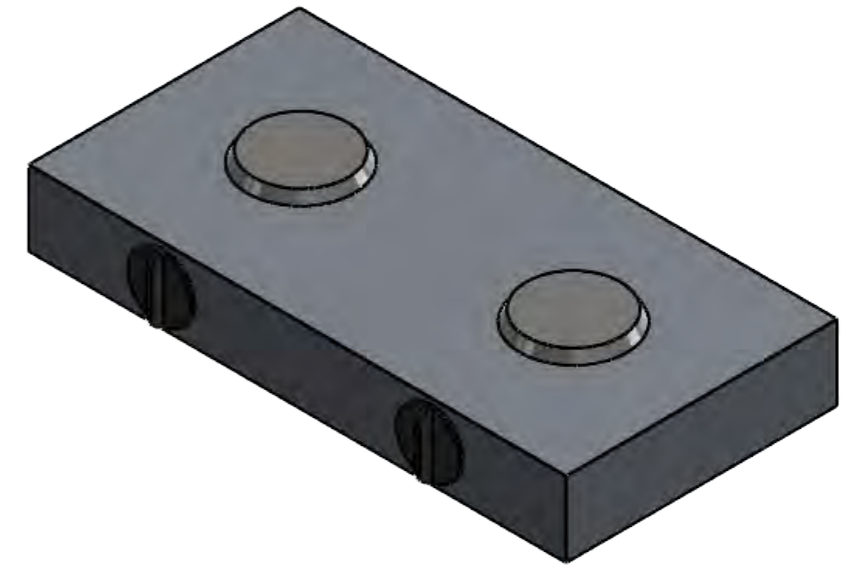
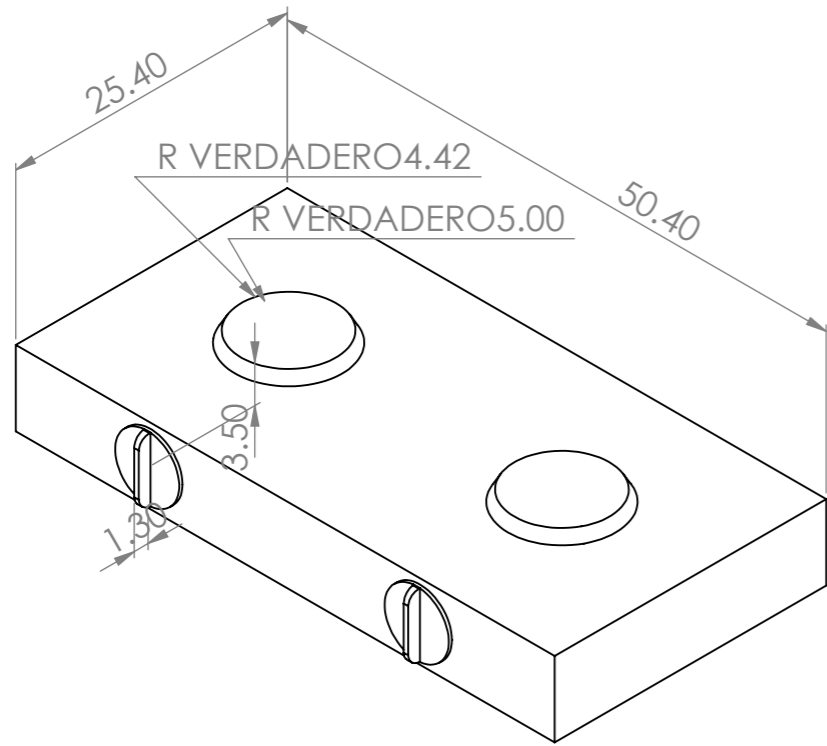
Patas Grandes X2





UNIVERSIDAD: 	DISTRITO: JAÉN	AUTORES:	BACH. HENRY ALEXIS DELGADO RUIZ	
	PROVINCIA: JAÉN		BACH. KAREN LANEY ROJAS CRUZ	
CARRERA PROFESIONAL: 	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA		
			PLANO N°: 1	HOJA: A3
			FECHA: 01/08/2025	ESCALA: 1:1



UNIVERSIDAD: 	DISTRITO: JAÉN	AUTORES:	BACH. HENRY ALEXIS DELGADO RUIZ	
	PROVINCIA: JAÉN		BACH. KAREN LANEY ROJAS CRUZ	
CARRERA PROFESIONAL: 	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA		
		PLANO N°: 2	HOJA: A3	
		FECHA: 01/08/2025	ESCALA: 1:1	

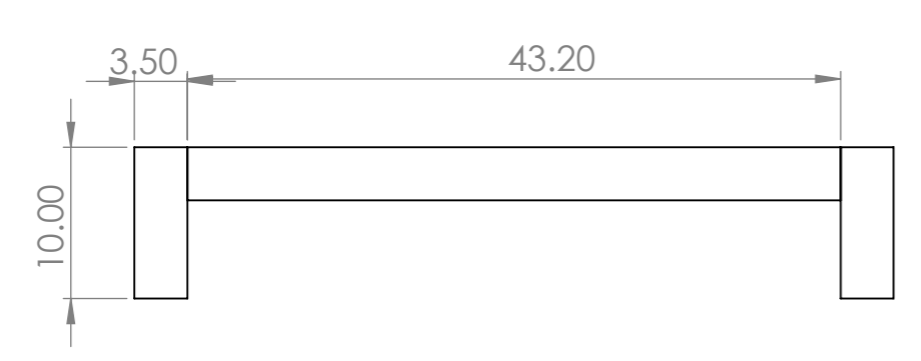
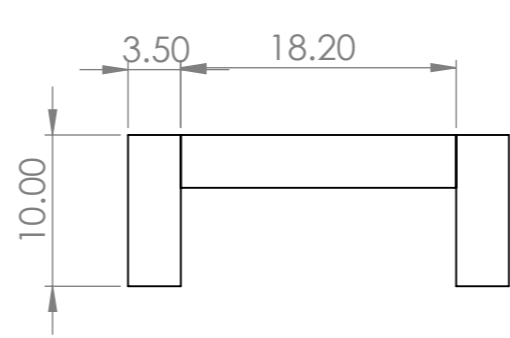
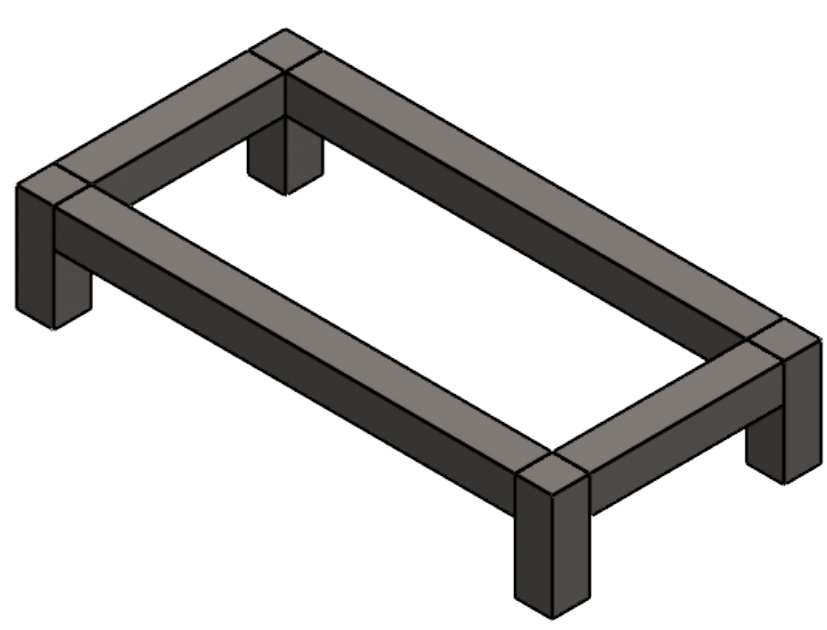
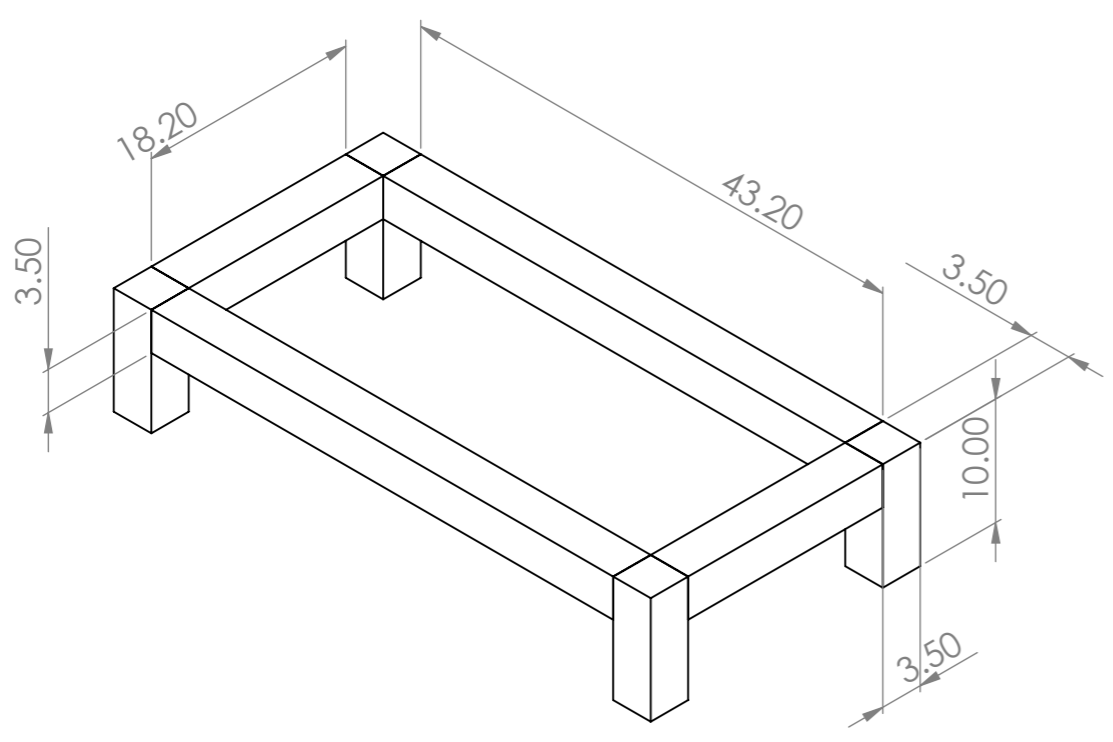


UNIVERSIDAD: 	DISTRITO: JAÉN	AUTORES:	BACH. HENRY ALEXIS DELGADO RUIZ	
	PROVINCIA: JAÉN		BACH. KAREN LANEY ROJAS CRUZ	
CARRERA PROFESIONAL: 	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA		
		PLANO N°: 3	HOJA: A3	
		FECHA: 01/08/2025	ESCALA: 1:1	



8 7 6 5 4 3 2 1

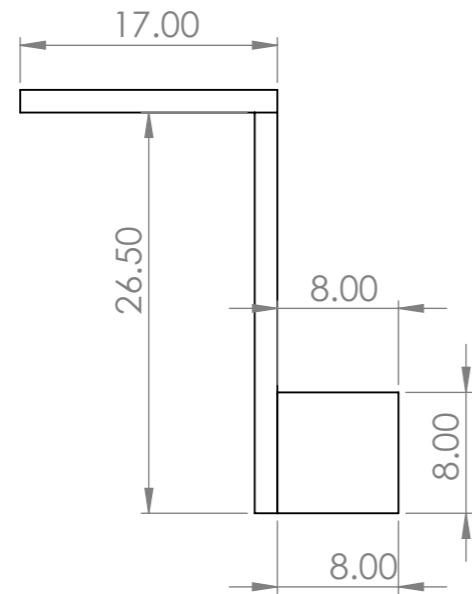
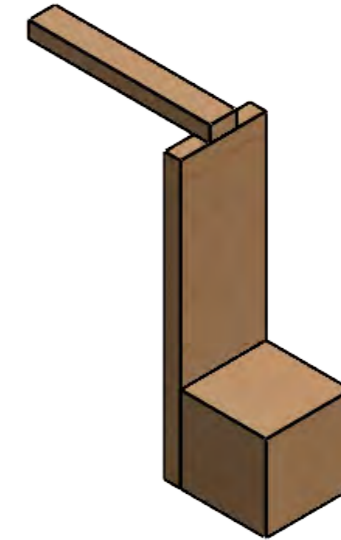
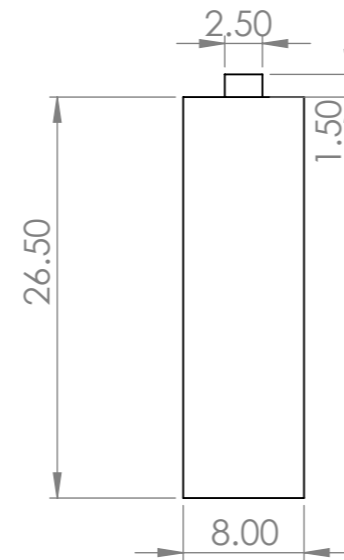
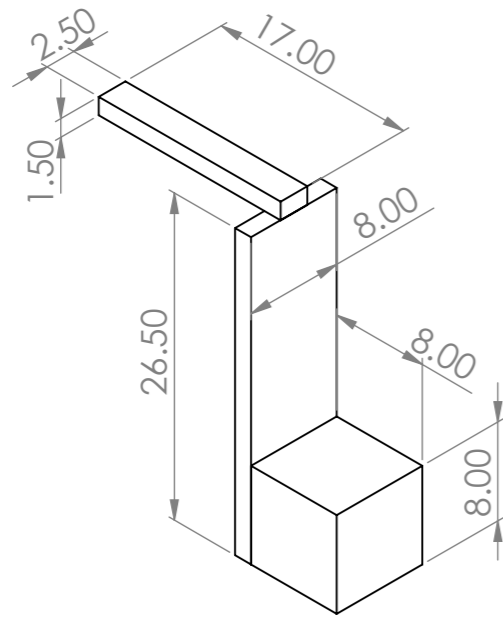
F
E
D
C
B
A



F
E
D
C
B
A



8 7 6 5 4 3 2 1

UNIVERSIDAD: 	DISTRITO: JAÉN	AUTORES:	BACH. HENRY ALEXIS DELGADO RUIZ	
	PROVINCIA: JAÉN		BACH. KAREN LANEY ROJAS CRUZ	
CARRERA PROFESIONAL: 	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA		
		PLANO N°: 4	HOJA: A3	
		FECHA: 01/08/2025	ESCALA: 1:1	



UNIVERSIDAD: 	DISTRITO: JAÉN	AUTORES:	BACH. HENRY ALEXIS DELGADO RUIZ	
	PROVINCIA: JAÉN		BACH. KAREN LANEY ROJAS CRUZ	
CARRERA PROFESIONAL: 	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	TÍTULO DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y NIVEL DE CONTAMINACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE COCINAS GLP EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD GEOGRÁFICA EN LA REGIÓN DE CAJAMARCA		
			PLANO N°: 5	HOJA: A3
			FECHA: 01/08/2025	ESCALA: 1:1