



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE
HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE
EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO
ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO
COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO
ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO
ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE	:	 Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
PRIMER MIEMBRO	:	 Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDMA CÁRDENAS
SEGUNDO MIEMBRO	:	 Ing. CARLOS ALEJANDRO CÁCERES VARGAS
ASESOR DE TESIS	:	 Ing. ADWAR RANÚLFO SANCHEZ CARREON
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	:	TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA - P18



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1084-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 16 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU-8273 presentado por el (la) Bachiller: **JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

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

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

RESUELVE:

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

- * **Presidente** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
- * **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

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

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.** de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 25 de septiembre del 2025
- * **HORA** : 14:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 204 - EPIME

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo



RESOLUCIÓN DECANAL N° 648-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 4708 por el señor (a): JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 463- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 009- 2025 del integrante del comité de investigación EPIME de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 009- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

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

DR. COSAR Y VIANORTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIAS PURAS

Dr. P. Willy Momeni Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1711-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 13086, presentado el señor (a) JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 1186-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 033 -2024 del integrante del comité de investigación EPIME de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE ha presentado su propuesta de investigación Titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Benjamin Chuquimamani Quinto de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 033 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES.

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

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

RESUELVE:

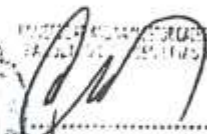
ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el señor (a): JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA.


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

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.


JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE
C.I. 42790


ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN
C.I. 42790

cc:
Archivo 2024
Interesado (a)



16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.



Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73301660
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-7421-5135
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CÁCERES VARGAS



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología e Ingeniería Mecánica - P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"  https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1fWk5PKW-TWceEJMqFfwx92YsfNgU1aY&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2024 – Setiembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Mecánica Eléctrica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00 Tecnología e Ingeniería Mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01


 SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
 Dr. Frida Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE, identificado con DNI Nro. 73301660, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

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

IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 17 de octubre del 2025


Firma del Asesor (obligatoria)


Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A DIOS Por haberme permitido llegar a este punto de mis estudios, haberme dado la salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A MIS PADRES por ser el pilar fundamental en toda mi educación y por haberme apoyado de manera incondicional durante mi permanencia en la universidad



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por haberme guiado en el buen camino hasta ahora, en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia, a mi padre Gerardo Tonconi QEPD, a mi madre Daniela Almendre por haberme apoyado de manera incondicional, asimismo a mi novia Delia por su apoyo constante hasta lograr mis metas y objetivos.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	xi
AGRADECIMIENTOS.....	xii
ÍNDICE GENERAL	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCCIÓN.....	xiii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Análisis de la situación problemática	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Justificación del estudio.....	2
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Delimitación del estudio.....	3
1.5.1. Geográfica.....	3
1.5.2. Temporal	4
1.5.3. Tecnológica	4
1.6. Hipótesis de la investigación.....	4
1.6.1. Hipótesis general.....	4
1.6.2. Hipótesis específicas	4
1.7. Variables	5



1.7.1. Operacionalización de las variables de estudio 6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedes del estudio 7
2.1.1. Antecedentes Internacionales..... 7
2.1.2. Antecedentes Nacionales 8
2.2. Bases Teóricas..... 9
2.2.1. Hidrógeno..... 9
2.2.1.1. Propiedades físicas..... 12
2.2.2. Generador de Hidrógeno 16
2.2.3. Alternativas de Combustible 18
2.2.4. Grupo Electrónico 23
2.2.5. Abastecimiento Eléctrico 26
2.2.6. Generador eléctrico de combustión interna de 4 tiempos 28
2.3. Definición de términos 30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de Investigación..... 33
3.2. Tipo de Investigación 33
3.3. Nivel de Investigación 33
3.4. Diseño de Investigación..... 33
3.5. Método de Investigación 34
3.6. Descripción del ámbito de la Investigación 34
3.7. Ubicación geográfica de la investigación 34
3.8. Población y muestra 34
3.8.1. Población..... 34
3.8.2. Muestra 35
3.9. Técnicas e instrumentos..... 35



3.9.1. Técnicas	35
3.9.2. Instrumentos.....	35
3.10. Recolección y procesamiento de la información.....	36

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Configuración técnica del generador de hidrogeno	37
4.1.1. Materiales para la construcción del tanque antirretorno.....	42
4.1.2. Materiales para la construcción del arrestallamas	47
4.2. Construcción del generador de hidrogeno	52
4.3. Rendimiento energético del generador de 950W y 4T con hidrógeno.....	57
4.4. Impacto económico y ambiental.....	60
4.4.1. Impacto económico.....	60
4.4.2. Impacto ambiental	61
4.4.3. Comparativa del presente estudio con respecto al hidrogeno verde	63
4.4.4. Consideraciones de almacenamiento	64
4.5. Discusión de resultados.....	64
RECOMENDACIONES.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXOS.....	74



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Cuadro de Operacionalización de Variables</i>	6
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del generador eléctrico de 4 tiempos Uyustools</i> ...	30
Tabla 3 <i>Prueba de funcionamiento sin agregar hidrogeno</i>	58
Tabla 4 <i>Primera prueba agregando gas hidrogeno</i>	58
Tabla 5 <i>Segunda prueba agregando gas hidrogeno</i>	59
Tabla 6 <i>Consumo de combustible y costo operativo en función del uso de hidrógeno</i>	61



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Modelo simple del átomo de hidrógeno*..... 10

Figura 2 *Propiedades atómicas y físicas del hidrógeno en condiciones normales*..... 11

Figura 3 *Estructura atómica de los isótopos del hidrógeno: protio, deuterio y tritio* 12

Figura 4 *Transformación de energía en la reacción de hidrógeno*..... 14

Figura 5 *Comparación de propiedades de inflamabilidad y combustión* 15

Figura 6 *Métodos de producción de hidrógeno según el tipo de energía utilizada*..... 16

Figura 7 *Generador de Hidrógeno*..... 17

Figura 8 *Representación del concepto de diésel neutro en emisiones de carbono* 19

Figura 9 *Suministro de gasolina* 20

Figura 10 *Gas natural* 21

Figura 11 *Ciclo de Biodiésel*..... 22

Figura 12 *Esquema de componentes principales de un grupo electrógeno*..... 24

Figura 13 *Grupo electrógeno diésel* 25

Figura 14 *Infraestructura de transmisión eléctrica para el abastecimiento* 27

Figura 15 *Vista del generador eléctrico de 4 tiempos con potencia nominal de 950W*29

Figura 16 *Diagrama del sistema de producción de hidrógeno*..... 37

Figura 17 *Botes de plástico*..... 43

Figura 18 *Manguera de alta presión*..... 43

Figura 19 *Abrazadera de alta presión* 44

Figura 20 *Unión de bronce de 1/2 para los tanques*..... 44

Figura 21 *Arandela de 1/2*..... 45

Figura 22 *Arandela de goma*..... 45

Figura 23 *Barras O viruta de Aluminio 6061*..... 46

Figura 24 *Soda caustica o hidróxido de sodio NaOH*..... 46

Figura 25 *Diagrama del arrestallamas* 47

Figura 26 *El arrestallamas* 49



Figura 27 Unión bronce de ½ para el arrestallamas.....	49
Figura 28 Niple ½ de polipropileno.....	50
Figura 29 Cinta teflón para gas 1/2".....	50
Figura 30 Esponja de metal	51
Figura 31 Vidrio molido	51
Figura 32 Arena gruesa	51
Figura 33 Bushing reductor de ½ a ¼	52
Figura 34 Diagrama del generador de hidrogeno.....	53
Figura 35 Perforación de tapa de recipiente para instalación de conexiones	54
Figura 36 Recipientes plásticos preparados para su uso como reactores.....	55
Figura 37 Conector espiga metálico.....	55
Figura 38 Sistema armado de doble reactor con conexiones y válvula arrestallamas	56
Figura 39 Prueba de funcionamiento del sistema generador de hidrógeno.....	57
Figura 40 Análisis de gases de escape del generador con hidrógeno (1 reactor activado).....	62
Figura 41 Análisis de gases de escape del generador sin hidrógeno (solo gasolina) .	63



RESUMEN

En el presente trabajo se implementó un generador de hidrógeno como alternativa sostenible para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca, donde el acceso a la red eléctrica es limitado o inexistente. La investigación se centró en la configuración técnica, construcción y evaluación de un sistema generador de hidrógeno acoplado a un generador eléctrico de 950W y motor de 4 tiempos (4T), utilizando materiales accesibles y de bajo costo. El hidrógeno fue producido mediante una reacción controlada entre aluminio y soda cáustica (NaOH), en un sistema de doble reactor equipado con dispositivos de seguridad como válvulas antirretorno y arrestallamas. Se realizaron pruebas experimentales para comparar el rendimiento energético del generador funcionando exclusivamente con gasolina y con hidrógeno como combustible complementario. Los resultados mostraron un incremento del 13.8% en la duración operativa con un reactor y hasta un 34% con dos reactores. Asimismo, el análisis de emisiones evidenció una reducción significativa en monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), lo que indica una combustión más eficiente y menor impacto ambiental. Económicamente, el sistema representó un ahorro en el consumo de combustible y mostró ser viable en contextos rurales, con una inversión inicial recuperable en menos de un año. Se concluye que el uso de hidrógeno en generadores convencionales mejora el rendimiento energético, reduce emisiones contaminantes y constituye una solución replicable y sostenible para comunidades alejadas de la red eléctrica.

Palabras Clave: Abastecimiento eléctrico, Generador de hidrógeno, Hidrógeno, Zonas rurales.



ABSTRACT

In the present work, a hydrogen generator was implemented as a sustainable alternative for electricity supply in rural areas of Juliaca, where access to the electrical grid is limited or non-existent. The research focused on the design, construction and evaluation of a hydrogen generator system coupled to an 950W electric generator and a 2-stroke (4T) engine, using accessible and low-cost materials. Hydrogen was produced by a controlled reaction between aluminum and caustic soda (NaOH), in a double reactor system equipped with safety devices such as non-return valves and flame arresters. Experimental tests were carried out to compare the energy efficiency of the generator operating exclusively with gasoline and with hydrogen as a complementary fuel. The results showed a 13.8% increase in operating life with one reactor and up to 34% with two reactors. The emissions analysis also showed a significant reduction in carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbons (HC), indicating more efficient combustion and lower environmental impact. Economically, the system represented a saving in fuel consumption and proved to be viable in rural contexts, with an initial investment recoverable in less than one year. It is concluded that the use of hydrogen in conventional generators improves energy efficiency, reduces polluting emissions and constitutes a replicable and sustainable solution for communities far from the electric grid.

Keywords: Electricity supply, Hydrogen generator, Hydrogen, Rural areas.



INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, el acceso limitado a servicios básicos como la electricidad continúa siendo una problemática latente en muchas zonas rurales del país. En regiones como Juliaca, diversas comunidades se encuentran geográficamente alejadas de las redes eléctricas convencionales, lo que impide el desarrollo de actividades domésticas, productivas y educativas, afectando directamente la calidad de vida de sus habitantes. Frente a esta situación, surge la necesidad de explorar soluciones alternativas y sostenibles que puedan responder a las condiciones particulares del entorno rural.

Una de las alternativas que ha cobrado relevancia en los últimos años es el uso del hidrógeno como fuente de energía. El hidrógeno, al ser un vector energético limpio y abundante, tiene la capacidad de complementar o sustituir parcialmente el uso de combustibles fósiles en sistemas de generación eléctrica. Su aplicación en generadores convencionales representa una opción práctica, económica y ambientalmente favorable, especialmente si se emplea en sistemas adaptados a pequeña escala y con materiales accesibles.

En este estudio se propone la implementación de un generador de hidrógeno acoplado a un generador de combustión interna de 950W y 4 tiempos, orientado a su uso en zonas rurales de Juliaca. Se plantea diseñar y evaluar un sistema de producción de hidrógeno mediante una reacción química controlada, analizar el rendimiento energético comparativo y estimar los beneficios económicos y ambientales de su uso. Este proyecto busca contribuir con una solución viable que promueva el acceso descentralizado a la energía y fomente el uso de tecnologías sostenibles en comunidades vulnerables.



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Análisis de la situación problemática

A nivel global, el acceso a la electricidad sigue siendo un desafío crítico para muchas comunidades rurales. Según datos de la OMS, 675 millones de personas en el mundo carecen de electricidad, y se estima que esta cifra se mantendrá para 2030 si no se implementan infraestructuras adecuadas (Zurdo, 2023). La falta de electricidad en áreas rurales limita el desarrollo económico y social, privando a las familias de servicios esenciales como iluminación y refrigeración. Además, el uso de generadores tradicionales, dependientes de combustibles fósiles, impone costos elevados, afecta la salud y contribuye a la contaminación ambiental.

En el Perú, pese a los avances en electrificación rural, aún hay importantes desafíos. La cobertura eléctrica en zonas rurales creció del 65% en 2017 al 85.8% en 2023, pero cerca de 2 millones de personas, especialmente en Loreto, Ucayali, Madre de Dios y Amazonas, aún carecen de electricidad. Esta falta limita el acceso a tecnología en sectores como salud y educación, afectando el desarrollo social y económico (Revisenergy, 2024). Dado el costo y complejidad de extender redes eléctricas, los generadores de hidrógeno ofrecen una alternativa sostenible para comunidades rurales de Juliaca.

El problema identificado en las zonas rurales de Juliaca es la falta de suministro eléctrico para pobladores que viven a grandes distancias de los postes de luz. La



distancia aproximada de 300 metros desde el último poste impide que muchas familias accedan a la red eléctrica, ya que la normativa de la empresa encargada de suministrar energía, ELECTRO PUNO S.A.A., solo permite instalaciones cuando el medidor se encuentra a menos de 20 metros del poste más cercano. El crecimiento acelerado de la población en Juliaca ha generado una mayor demanda de energía eléctrica, pero la red primaria no logra abastecer a las familias que se encuentran más allá de los 30 metros promedio. Aquellos que no cumplen con este requisito deben esperar largos periodos hasta que se realicen ampliaciones en la infraestructura eléctrica. Esto resalta la necesidad de explorar soluciones más sostenibles y asequibles.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

PG: ¿De qué manera la implementación de un generador de hidrógeno puede ser una alternativa sostenible para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca?

1.2.2. Problemas específicos

- **PE1:** ¿Cómo diseñar e implementar un generador de hidrógeno de 950W y 4T adecuado para su uso en zonas rurales de Juliaca?
- **PE2:** ¿Cuál es el rendimiento energético del generador de 950W y 4T al utilizar hidrógeno como combustible en comparación con el uso de combustibles fósiles?
- **PE3:** ¿Cuál es el impacto económico y ambiental del uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4T en términos de costos operativos y reducción de emisiones?

1.3. Justificación del estudio

La falta de acceso a energía eléctrica en zonas rurales de Juliaca representa una barrera significativa para el bienestar de las familias y el desarrollo de sus comunidades. A pesar de los esfuerzos por ampliar la cobertura eléctrica en el país, aún existen hogares ubicados a distancias que exceden lo permitido por la normativa vigente para la instalación de medidores eléctricos, lo que los deja fuera del alcance de la red



convencional. Esta situación no solo afecta el confort y las actividades cotidianas de los pobladores, sino que limita su acceso a servicios esenciales como la educación, la salud y la comunicación. Además, en ausencia de soluciones sostenibles, muchos recurren al uso de generadores a combustibles fósiles, que resultan costosos, contaminantes y poco eficientes a largo plazo.

Ante este contexto, la investigación se justifica por la necesidad de identificar alternativas viables que permitan a estas familias contar con una fuente de energía continua, limpia y de bajo costo operativo. El uso del hidrógeno como recurso energético emergente se presenta como una opción con alto potencial para resolver esta problemática, ya que permite generar electricidad sin emitir gases contaminantes y puede adaptarse a contextos aislados.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

OG: Implementar un generador de hidrógeno como alternativa sostenible para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- **OE1:** Diseñar e implementar un generador de hidrógeno de 950W y 4 tiempos para su uso en zonas rurales de Juliaca
- **OE2:** Evaluar el rendimiento energético del generador de 950W y 4 tiempos con hidrógeno como combustible en comparación con combustibles fósiles.
- **OE3:** Evaluar el impacto económico y ambiental del uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4 tiempos.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1. Geográfica

La investigación se desarrollará en las zonas rurales del distrito de Caracoto, ubicado en la provincia de San Román, departamento de Puno, específicamente en la Urbanización Jesús Nazareno de la ciudad de Juliaca.



1.5.2. Temporal

El estudio se llevará a cabo durante el año 2025.

1.5.3. Tecnológica

La investigación estará enfocada en la configuración técnica e implementación de un generador de hidrógeno de 950W y 4 tiempos, utilizando hidrógeno producido mediante una reacción química controlada entre aluminio y una solución de hidróxido de sodio (NaOH) en presencia de agua. El análisis se centrará en comparar el rendimiento energético y el impacto ambiental del uso de hidrógeno frente a los generadores convencionales a combustibles fósiles, sin incluir otros sistemas de generación eléctrica ni fuentes de energía renovable adicionales.

1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. Hipótesis general

HG: La implementación de un generador de hidrógeno como fuente de energía permitirá abastecer de manera sostenible a las zonas rurales de Juliaca, mejorando el acceso eléctrico y reduciendo el impacto ambiental en comparación con las fuentes tradicionales de energía.

1.6.2. Hipótesis específicas

- **HE1:** La configuración técnica e implementación de un generador de hidrógeno de 950W y 4 tiempos es viable para su uso en zonas rurales de Juliaca.
- **HE2:** El rendimiento energético del generador de 950W y 4 tiempos utilizando hidrógeno como combustible será más eficiente y consumirá menos que los generadores a combustibles fósiles.
- **HE3:** El uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4 tiempos reducirá significativamente los costos operativos y las emisiones contaminantes.



1.7. Variables

- a) **Variable Independiente:** Implementación de un generador de hidrógeno como alternativa sostenible.

Indicadores:

- Especificaciones técnicas del generador
- Rendimiento energético, consumo de hidrógeno
- Emisiones de gases contaminantes
- Costo de implementación

- b) **Variable Dependiente:** Abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca.

Indicadores:

- Horas de funcionamiento continuo
- Tiempo de respuesta
- Uso de servicios básicos



1.7.1. Operacionalización de las variables de estudio

Tabla 1

Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	TIPO	MEDICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Implementación de un generador de hidrógeno como alternativa sostenible	Proceso de diseño, instalación y uso de un sistema generador que utiliza hidrógeno como fuente de energía limpia y renovable.	Instalación de un generador de hidrógeno de 950W y 4 tiempos para abastecer energía eléctrica en zonas rurales.	Independiente	Cuantitativa	Operación del generador	Especificaciones técnicas del generador	Watts, tiempo (horas)
					Eficiencia energética	Rendimiento energético, consumo de hidrógeno	%
					Impacto ambiental	Emisiones de gases contaminantes	ppm
					Viabilidad económica	Costo de implementación	S/.
Abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca	Disponibilidad y acceso continuo de energía eléctrica para el funcionamiento básico de un hogar rural.	Nivel de suministro de energía eléctrica logrado mediante el generador de hidrógeno instalado en un domicilio de Juliaca.	Dependiente	Cuantitativa	Continuidad del suministro eléctrico	Horas de funcionamiento continuo	Horas
					Calidad del servicio eléctrico	Tiempo de respuesta	Minutos
					Impacto en el desarrollo local	Uso de servicios básicos	Cantidad de usos

Nota. Elaboración Propia



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedes del estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Guaman (2023) en su tesis "Efecto sobre el consumo y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional para un vehículo Great Wall M4 2017", analizó el impacto de un generador de hidrógeno en un motor de combustión. La metodología incluyó la instalación de una celda seca de hidrógeno y pruebas en banco dinamométrico y ruta, midiendo torque, potencia, consumo de combustible y emisiones. Los resultados mostraron una mejora en la eficiencia del motor, reduciendo el consumo de combustible y disminuyendo las emisiones en un 34% en carretera.

Marin y Jiménez (2022) en tesis de grado "Diseño e implementación de una celda generadora de hidrógeno en un motor de combustión interna en la Ciudad de Bogotá", evaluaron la viabilidad del hidrógeno como combustible alternativo. Diseñaron y construyeron un generador de hidrógeno, realizando pruebas experimentales en un motor. Compararon el uso de hidrógeno y combustible tradicional, midiendo torque, potencia y eficiencia. Los resultados mostraron una mejora del 17% en eficiencia del motor y una reducción del 33% en consumo de combustible y emisiones contaminantes.

Gutiérrez (2022) en su trabajo de grado "Análisis de la implantación del hidrógeno como combustible renovable en la isla de Tenerife", tuvo como objetivo



analizar la viabilidad de implementar hidrógeno como combustible renovable en la isla de Tenerife, en el marco de la transición energética hacia 2030. La metodología incluyó simulaciones mediante el software EnergyPLAN, utilizando datos históricos de consumo energético y proyecciones futuras. Los resultados indicaron que el hidrógeno puede ser una solución viable para reducir la dependencia de combustibles fósiles, mejorando la sostenibilidad energética de la isla.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Reátegui (2023) en su tesis "Evaluación experimental de un prototipo para la producción de hidrógeno verde", evaluó un prototipo que utiliza energía solar mediante electrólisis. La metodología incluyó la construcción de un sistema con módulos de generación de hidrógeno, paneles fotovoltaicos y adquisición de datos. Se realizaron pruebas variando la cantidad de paneles y midiendo parámetros eléctricos y producción de hidrógeno. Los resultados mostraron una eficiencia del 18.27% y 7.47 gramos de hidrógeno producido en cuatro horas, con menor costo de producción usando energía fotovoltaica frente a la red eléctrica.

Cabanillas (2022) en su tesis "Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca al motor de un automóvil a gasolina para mejorar la performance energética ambiental", buscó mejorar el rendimiento energético y reducir emisiones. La metodología incluyó el diseño de un banco de pruebas para generar hidrógeno mediante electrólisis con hidróxido de potasio e instalar el generador en el motor. Se realizaron pruebas comparativas de consumo y emisiones entre gasolina sola y con hidrógeno. Los resultados mostraron una reducción significativa en emisiones contaminantes (CO y HC) y una mejora en la eficiencia del motor, demostrando la viabilidad del hidrógeno.

Casio y Huayna (2024) en su tesis "Implementación de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis para evaluar el desempeño de un motor de combustión interna de ciclo Otto", evaluaron experimentalmente la mejora en eficiencia de un motor. Utilizaron un generador de hidrógeno en un banco dinamométrico y en pruebas de ruta, midiendo emisiones y consumo de combustible. Los resultados mostraron una



reducción significativa de monóxido de carbono (CO), una mejora del 17% en torque y potencia, y una disminución del consumo de combustible del 33% en ciudad y 34% en carretera, validando el impacto positivo del hidrógeno.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Hidrógeno

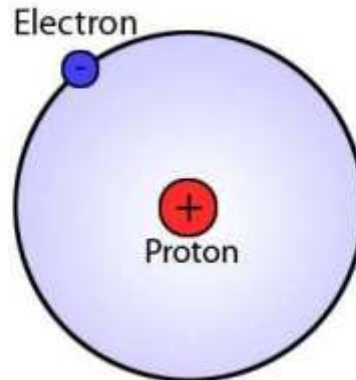
El hidrógeno gaseoso (H_2) fue descrito por primera vez por T. Von Hohenheim, más conocido como Paracelso (1493-1541), quien lo obtuvo al mezclar metales con ácidos fuertes. Sin embargo, Paracelso no sabía que el gas inflamable que producía era un nuevo elemento químico. Más adelante, en 1671, Robert Boyle redescubrió esta reacción al combinar limaduras de hierro con ácidos diluidos, generando gas hidrógeno. En 1766, Henry Cavendish fue el primero en reconocer que el hidrógeno era una sustancia diferente. Identificó el gas de la reacción metal-ácido como "aire inflamable" y descubrió que al quemarlo se formaba agua. Cavendish encontró el hidrógeno mientras hacía experimentos con ácidos y mercurio. Aunque pensó erróneamente que el hidrógeno venía del mercurio y no del ácido, logró describir con exactitud varias propiedades esenciales del hidrógeno. Por ello, se le considera el descubridor de este elemento. Finalmente, en 1783, Antoine Lavoisier le dio el nombre de "hidrógeno" (del francés Hydrogene y del griego que significa "generador de agua") tras confirmar junto a Laplace los hallazgos de Cavendish (Baltazar, 2020).

Gracias a que su estructura atómica es bastante simple, formada por un solo protón y un solo electrón en su isótopo más común (protio), el átomo de hidrógeno tiene un espectro de absorción que pudo ser explicado con cálculos precisos. Esto fue clave en el modelo atómico de Bohr y marcó un avance importante en la Teoría de la Estructura Atómica. Además, la simplicidad de la molécula de hidrógeno (H_2) y de su ion positivo (H_2^+) ayudó a entender mejor cómo funciona el enlace químico. Poco después, este conocimiento fue ampliado gracias al desarrollo de la mecánica cuántica, impulsado por Erwin Schrödinger y Werner Heisenberg en los años 1920. Uno de los primeros fenómenos cuánticos observados, aunque no comprendido en su momento,

fue notado por Maxwell. Él vio que el calor específico del hidrógeno no se comportaba como el de otros gases diatómicos a bajas temperaturas: en lugar de eso, actuaba como si fuera un gas de átomos individuales. Según la teoría cuántica actual, esto sucede porque los niveles de energía rotacional del H_2 están muy separados debido a su baja masa. Esta separación evita que el hidrógeno reparta su energía de manera uniforme para moverse rotacionalmente a bajas temperaturas. En cambio, gases hechos de átomos más pesados no muestran este efecto, porque sus niveles de energía están más cercanos. Por último, el hidrógeno es el único elemento de la tabla periódica que no pertenece a ningún grupo específico. Tiene un comportamiento químico muy particular, y sus tres isótopos son tan distintos en masa que sus propiedades físicas y químicas también varían notablemente (Baltazar, 2020).

Figura 1

Modelo simple del átomo de hidrógeno



Nota. (Baltazar, 2020).

El término hidrógeno proviene de la palabra francesa Hydrogène, que a su vez deriva del latín hidrogenio. En la tabla periódica se representa con la letra (H) y es el elemento más común en el universo. El hidrógeno tiene características no tóxicas y, debido a sus propiedades químicas y físicas especiales, se utiliza como un excelente combustible para diferentes tipos de motores (Cancino, 2021).

El hidrógeno es un elemento químico que se identifica con el símbolo H y tiene el número atómico 1. En condiciones normales de presión y temperatura, se presenta como un gas formado por dos átomos (H_2), que no tiene color, olor ni sabor, no es metálico y es muy fácil de encender. Su masa atómica es de 1,00794 unidades, y es el elemento más liviano y el más abundante, ya que forma cerca del 75% de la materia visible del universo (Holgado, 2012).

Figura 2

Propiedades atómicas y físicas del hidrógeno en condiciones normales

PROPIEDADES ATÓMICAS		PROPIEDADES FÍSICAS	
MASA ATÓMICA	1,00797 Da	ESTADO	GASEOSO
	1,007825 Da (H^1)	ESTRUCTURA CRISTALINA	HEXAGONAL
VOLUMEN ATÓMICO	14,4 cm^3/mol	COLOR	INCOLORO
RADIO ATÓMICO	0,79 Å	VOLUMEN ATÓMICO	14,24 cm^3/mol
RADIO MEDIO	25 pm	DENSIDAD	0,08988 kg/m^3
RADIO COVALENTE	0,32 Å	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	0,1815 $W/(m \cdot K)$
RADIO DE VAN DER WAALS	120 pm	CALOR ESPECÍFICO	14304 $J/kg \cdot K$
RADIO IÓNICO	2,08 o 154 pm	PUNTO DE FUSIÓN	14,025 K
NÚMERO DE OXIDACIÓN (OXIDO)	1 (ANFÓTERO)	ENTALPIA DE FUSIÓN	0,05868 kJ/mol
POTENCIAL 1º DE IONIZACIÓN (eV)	13,65	PUNTO DE EBULLICIÓN	20,268 K
ELECTRONEGATIVIDAD	2,1 (PAULING)	ENTALPIA DE VAPORACIÓN	0,44936 kJ/mol
POTENCIAL DE IONIZACIÓN	1,312 kJ/mol	PRESIÓN DE VAPOR	209 Pa a 23 K
AFINIDAD ELECTRÓNICA	73 kJ/mol	VELOCIDAD DEL SONIDO	1270 m/s

VALORES DEL SI (SISTEMA INTERNACIONAL) Y EN CONDICIONES NORMALES (0°C + 1 ATM). SALVO QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

Nota. (Quinto, 2024).

El uso del hidrógeno como fuente de energía ofrece varios beneficios importantes, entre ellos:

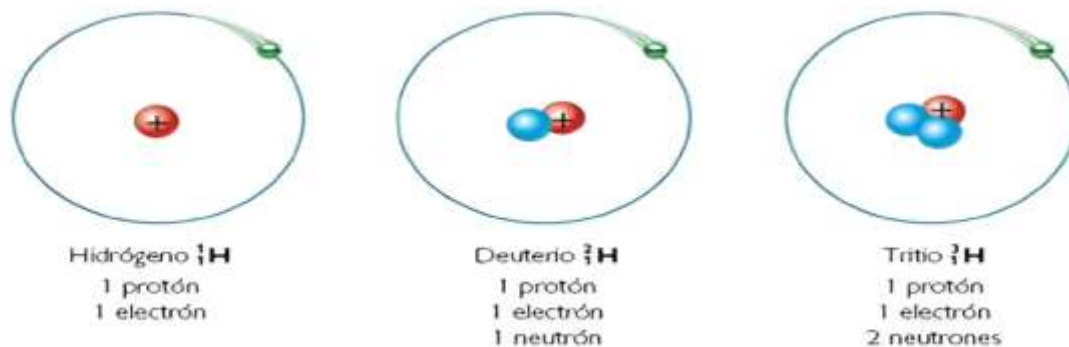
- Disponibilidad ilimitada.
- No genera emisiones de gases de efecto invernadero ni de otros contaminantes (Quinto, 2024).

También es importante señalar que el hidrógeno es muy abundante en el universo, y que hoy en día existen diferentes métodos para obtenerlo. El hidrógeno es

el único elemento que tiene nombres distintos para cada uno de sus isótopos naturales. Al principio de los estudios sobre radiactividad, algunos isótopos radiactivos pesados también recibieron nombres, pero hoy en día ya no se utilizan. A veces se usan las letras D y T (en vez de ^2H y ^3H) para hablar del deuterio y del tritio. Sin embargo, la letra P no puede emplearse para el protio, porque ya representa al fósforo (Quinto, 2024).

Figura 3

Estructura atómica de los isótopos del hidrógeno: protio, deuterio y tritio



Nota. (Baltazar, 2020).

2.2.1.1. Propiedades físicas

Después del helio, el hidrógeno es el segundo elemento en la tabla periódica con los puntos de ebullición y fusión más bajos. Su forma líquida aparece a temperaturas menores a su punto de ebullición, que es de $252,77\text{ }^\circ\text{C}$, y su forma sólida se da por debajo de su punto de fusión a $259,2\text{ }^\circ\text{C}$ bajo presión atmosférica normal. Cuando las temperaturas bajan de $-73\text{ }^\circ\text{C}$, se alcanzan valores tan bajos que se consideran criogénicos. A estas temperaturas tan frías, todos los líquidos se llaman criogénicos. La temperatura a la que un combustible hierve es muy importante, porque define qué tanto se debe enfriar para almacenarlo y usarlo en estado líquido. Comparado con los combustibles en forma de gas, los combustibles líquidos ocupan menos espacio para guardarlos y son más fáciles de transportar (Quinto, 2024).



La unión de hidrógeno y oxígeno para formar agua es un proceso que sucede de manera muy lenta a temperatura ambiente. Sin embargo, si se usa un catalizador, como el platino, o una chispa eléctrica, la reacción ocurre rápidamente de forma explosiva y fuerte. Muchos compuestos, como el agua, ácidos, bases, y sustancias orgánicas e inorgánicas, están hechos con hidrógeno y otros elementos. Cuando el hidrógeno se une solo a otro elemento, se llama hidruro. Hay varios métodos para generar gas hidrógeno, cada uno pensado para cumplir ciertos requisitos como la pureza necesaria, la cantidad requerida, la disponibilidad y el costo de los materiales usados (Quinto, 2024).

A. Características físicas del hidrógeno

En condiciones normales, el hidrógeno es un gas. Su densidad es de 0.0899 kg/m³. Su temperatura de inflamación es de 255 K (-18 °C). El hidrógeno se solidifica a 14.025 K (-259 °C) y hierve a 20.268 K (-253 °C). La energía necesaria para que pase de sólido a líquido (entalpía de fusión) es de 0.1190 kJ/mol, y para pasar de líquido a gas (entalpía de vaporización) es de 0.8985 kJ/mol. Su presión de vapor a 23 K es de 209 Pa. El punto crítico, donde no puede distinguirse entre líquido y gas, ocurre a 23.97 K (-249 °C) y a una presión de 1,293,000 Pa. Además, su volumen molar es de 22.42×10^{-3} m³/mol (Quinto, 2024).

B. Características químicas del hidrógeno

Todos los combustibles químicos tienen en común que son muy reactivos. Esta capacidad de reaccionar se muestra cuando se forman enlaces entre las moléculas del combustible y el oxígeno del aire, generando una reacción química. Como resultado, las moléculas pierden energía en comparación a su estado original, antes de reaccionar. Cuando las moléculas reaccionan, cambian su nivel de energía, liberando energía que puede ser aprovechada para obtener beneficios. Para que ocurra una reacción química de este tipo, es necesario aportar cierta cantidad de energía para activarla, como sucede en la combustión, o usar catalizadores que ayuden a acelerar el proceso, como en las pilas de combustible. Una vez que la reacción empieza, se libera energía, ya sea en

forma de electricidad o calor. Además, se genera agua como subproducto de la reacción, la cual también puede ser aprovechada (Quinto, 2024).

Figura 4

Transformación de energía en la reacción de hidrógeno



Nota. (Quinto, 2024).

Para iniciar reacciones químicas de este tipo, a menudo se necesita una energía de activación. Cuando se añade una pequeña cantidad de energía explosiva a una mezcla de hidrógeno y oxígeno, las moléculas reaccionan de forma rápida, liberando una gran cantidad de calor, lo que finalmente lleva a la formación de agua. La producción de agua a partir de la unión de hidrógeno y oxígeno por combustión puede revertirse. Al buscar reducir la contaminación, el hidrógeno es una excelente alternativa como combustible, ya que no contiene compuestos de carbono o azufre. Así, al quemarse, el hidrógeno no genera emisiones de CO, CO₂, SOX, NOX ni hollín (Quinto, 2024).

El generador de hidrógeno está basado en un conjunto de etapas que permiten la producción controlada de hidrógeno para su uso en motores de combustión interna. El proceso se inicia con la preparación de una solución alcalina compuesta por agua e hidróxido de sodio (NaOH), la cual se combina con fragmentos de aluminio en un reactor especialmente acondicionado. Esta mezcla genera una reacción química exotérmica que produce hidrógeno de forma continua, sin necesidad de corriente eléctrica. Para asegurar la calidad del gas y proteger el sistema, se incluyen etapas de retención de

impurezas y dispositivos de seguridad que estabilizan el flujo antes de que el hidrógeno sea conducido hacia el motor (Martínez y Nilve, 2013).

Figura 5

Comparación de propiedades de inflamabilidad y combustión

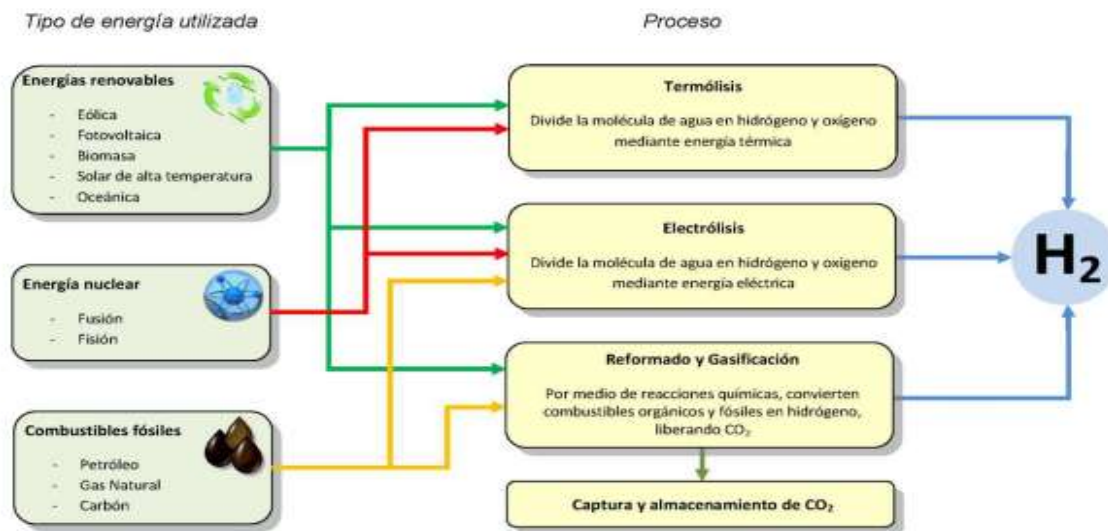
COMBUSTIBLE	DENSIDAD (kg/m ³)	LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%vol)	TEMPERATURA AUTOIGNICION (°C)	MINIMA ENERGIA DE IGNICION(mJ)	TEMPERATURA LLAMA (°C)	COEFICIENTE DE DIFUSION (cm ² /s)	LIMITE INFERIOR DE DETONACION (% vol)
HIDROGENO	0.0838	4-75%	536-538	0.021-29%	2025-2403	0.61	13%
METANO	0.656	5.3-15%	537	0.21-8.5%	1914	0.16	6.30%
BUTANO	2.52	1.6-8.4%	405	0.25-4.7%			
PROPANO	1.83	2.1-9.5%	480	0.25-5.2%	1925		
GASOLINA	4.78	1.0-7.6%	247	0.29-2%	2307	0.05	1.10%
DIESEL		0.6-7.5%	210		2307		

Nota. (Baltazar, 2020).

Posteriormente, se lleva a cabo la reacción química entre fragmentos de aluminio y una solución alcalina compuesta por agua e hidróxido de sodio (NaOH), la cual genera gas hidrógeno (H₂) de forma continua. Este proceso no requiere una fuente de energía eléctrica externa, ya que la reacción es espontánea y exotérmica. El gas hidrógeno producido pasa por un sistema de retención y filtrado que ayuda a eliminar residuos líquidos e impurezas, garantizando así un combustible más limpio y seguro para la combustión. Finalmente, el hidrógeno es conducido hacia el motor de combustión interna, donde se mezcla con el aire y la gasolina, permitiendo la generación de energía mecánica con una significativa reducción de emisiones contaminantes como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y partículas de hollín (Martínez y Nilve, 2013).

Figura 6

Métodos de producción de hidrógeno según el tipo de energía utilizada



Nota. (Baltazar, 2020).

Muchas personas se preguntan para qué se utiliza el hidrógeno. Si alguna vez surgió esa duda, aquí se presentan algunos de sus usos comunes. El hidrógeno se emplea en el tratamiento de combustibles fósiles, en la fabricación de amoníaco tanto para la minería como para actividades domésticas, y en la producción de metanol y grasas. También se usa en ciertos termómetros especiales, cuando se necesita alcanzar su punto triple. Además, sirve para elaborar ácidos como el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido sulfhídrico (H_2S). Por último, en su forma gaseosa, el hidrógeno se utiliza como gas protector en procesos de soldadura de hidrógeno atómico (Acosta, 2019).

2.2.2. Generador de Hidrógeno

La producción de hidrógeno mediante reacciones químicas controladas representa una alternativa eficiente para la generación de energía limpia, especialmente en contextos rurales. En este estudio, el hidrógeno se obtiene a través de una reacción exotérmica entre aluminio (Al) y una solución de hidróxido de sodio (NaOH) en presencia de agua. Este proceso libera hidrógeno (H_2) de manera continua, sin necesidad de una

fuentes externas de electricidad, lo que lo convierte en una opción viable en zonas sin acceso a la red eléctrica convencional (Ramírez et al., 2022).

Un generador de hidrógeno basado en esta reacción está compuesto por uno o más reactores que contienen fragmentos de aluminio y una solución alcalina. Cuando el NaOH rompe la capa de óxido que recubre al aluminio, se inicia una reacción con el agua, generando gas hidrógeno y aluminato de sodio como subproducto. Esta reacción puede representarse por la siguiente ecuación:

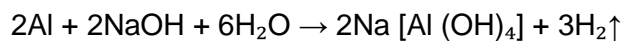


Figura 7

Generador de Hidrógeno



Nota. Generadores de hidrógeno, por IntraFluid, <https://intrafluid.pe/productos/generadores-de-hidrogeno/>

A diferencia de los sistemas que emplean electrólisis, este método no requiere energía eléctrica adicional para producir hidrógeno, lo que reduce los costos operativos y simplifica la implementación en contextos rurales. El gas generado se conduce a través de un sistema de seguridad que incluye válvula antirretorno y un arrestallamas, y finalmente se inyecta en el motor del grupo electrógeno, donde se mezcla con el combustible tradicional (gasolina) para mejorar la eficiencia de la combustión (Aguilar y Cuvi, 2016). Este tipo de sistema genera hidrógeno en tiempo real, es decir, produce el gas conforme se necesita, lo que evita su almacenamiento a presión y reduce



considerablemente los riesgos de explosión. Esta característica lo hace especialmente adecuado para aplicaciones de pequeña escala, como la alimentación complementaria de grupos electrógenos portátiles en zonas rurales (Acosta, 2019).

El generador de hidrógeno utilizado en esta investigación puede clasificarse como una tecnología alternativa y adaptable, que contribuye a la protección del medio ambiente y permite reducir el consumo de combustibles fósiles. Además, se proyecta como una solución replicable, de bajo costo, que impulsa la innovación tecnológica en comunidades con acceso limitado a servicios energéticos.

Entre las ventajas principales de su implementación destacan:

- Reducción del consumo de combustibles fósiles hasta en un 10–15%, al emplear una mezcla de hidrógeno con gasolina.
- Mejora en la eficiencia de la combustión, favoreciendo una combustión más completa.
- Disminución de emisiones contaminantes, principalmente óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO).

En síntesis, este tipo de generador representa una herramienta clave para el abastecimiento eléctrico descentralizado en zonas alejadas, promoviendo la autonomía energética y la sostenibilidad ambiental (Danilo, 2022; Acosta, 2019).

2.2.3. Alternativas de Combustible

La creciente preocupación por el impacto ambiental de los combustibles fósiles ha impulsado la búsqueda de nuevas fuentes de energía renovables y sostenibles. Entre las alternativas más prometedoras se encuentran los éteres de oximetileno (OMEs), compuestos oxigenados que han surgido como una opción para reemplazar al diésel convencional en motores de combustión interna (Herrera y Rodríguez, 2023).

El uso de OMEs como aditivo o sustituto parcial del diésel permite reducir significativamente la emisión de contaminantes. Estudios recientes muestran que la adición de OMEs al combustible puede disminuir hasta en un 90% la formación de hollín y óxidos de nitrógeno (NO_x), manteniendo propiedades fisicoquímicas similares al diésel

y permitiendo su uso sin necesidad de grandes modificaciones en los sistemas de inyección (Herrera y Rodriguez, 2023).

Entre los compuestos de esta familia, destaca el 1,1-dimetoximetano (OME1), que puede ser utilizado tanto como solvente industrial como materia prima para la producción de OMEs de cadenas más largas. La síntesis de OME1 se realiza mediante procesos de oxidación selectiva de metanol usando catalizadores bifuncionales, lo cual representa una alternativa viable y sostenible para la producción de combustibles líquidos (Herrera y Rodriguez, 2023).

Estas alternativas no solo reducen la huella de carbono, sino que también promueven la transición energética hacia combustibles menos contaminantes, contribuyendo al desarrollo de tecnologías más limpias para el sector transporte y para aplicaciones de generación de energía en general (Herrera y Rodriguez, 2023).

2.2.3.1. Diésel

El diésel ha sido tradicionalmente una de las principales fuentes de energía para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales y aisladas. Su utilización se debe principalmente a la facilidad de transporte, almacenamiento y a la disponibilidad de grupos electrógenos que funcionan con este combustible (Díaz y Mundaca, 2023).

Figura 8

Representación del concepto de diésel neutro en emisiones de carbono



Nota. Car and Driver, <https://www.caranddriver.com/es/movilidad/a42061398/diesel-neutral-que-es-clave-en-2035/>

El empleo del diésel, sin embargo, presenta desventajas significativas. Entre ellas destaca el alto impacto ambiental debido a la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado. Además, los costos de operación y mantenimiento resultan elevados debido a la necesidad de transporte constante de combustible y la dependencia de repuestos para los motores. A nivel económico, el consumo de diésel en estos sistemas es considerable, estimándose un promedio de 100 galones por megavatio-hora (MWh) producido (Díaz y Mundaca, 2023).

2.2.3.2. Gasolina

La gasolina es una mezcla inflamable de hidrocarburos líquidos obtenida del petróleo crudo, utilizada como combustible en motores. Es uno de los productos más importantes del proceso de refinación y su demanda es alta por el crecimiento del parque automotor. Según su octanaje, se clasifica en tres tipos: Regular (87), MidGrade (89) y Premium (92). Además, representa una fuente clave de energía y valor económico a nivel global (Díaz, 2003).

Figura 9

Suministro de gasolina



Nota. Autocasión <https://www.autocasion.com/diccionario/gasolina-formula-composicion/>

2.2.3.3. Gas Natural

El gas natural, compuesto principalmente por metano, es una fuente energética eficiente y ecológica que destaca por sus bajos niveles de contaminación y su uso extendido en instalaciones residenciales y comerciales. Su implementación requiere redes de tuberías que cumplan normas técnicas como la NTP 111.011-2014 y la E.M.040, garantizando seguridad y eficiencia. Comparado con el GLP, ofrece mayores ahorros y menor impacto ambiental. Además, su planificación adecuada permite el desarrollo de sistemas energéticos sostenibles, siendo una referencia útil en proyectos como el uso de hidrógeno en zonas rurales (Flores, 2017).

Figura 10

Gas natural



Nota. Inspenet, <https://inspenet.com/articulo/gas-natural-como-puente-hacia-energia-limpia/>

2.2.3.4. Biodiésel

El biodiésel es un tipo de biocombustible que se produce a partir de aceites o grasas que provienen de plantas o animales. Según la "National Biodiesel Board" (la asociación de productores de biodiésel en Estados Unidos), el Biodiésel se describe como un combustible formado por ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos de aceites o grasas vegetales o animales. Este combustible se genera

a través de un proceso químico llamado transesterificación, donde los aceites naturales se mezclan con un tipo de alcohol y sufren una modificación química. Como resultado de esta reacción, se forma un éster metílico o etílico, dependiendo del alcohol usado, al que finalmente se le llama biodiesel (Vértiz, 2012).

Figura 11

Ciclo de Biodiésel



Nota. Ecointeligencia, <https://www.ecointeligencia.com/2012/05/biodiesel-y-nuestro-medio-ambiente/>

2.2.3.5. Biogás

El biogás es un tipo de combustible renovable que se produce mediante la descomposición de materia orgánica, como restos de comida, estiércol o residuos agrícolas, en un ambiente sin oxígeno, un proceso conocido como digestión anaerobia. Durante esta descomposición, microorganismos transforman los materiales orgánicos en una mezcla de gases, principalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), aunque también contiene pequeñas cantidades de otros gases como sulfuro de hidrógeno y vapor de agua. El biogás puede ser utilizado como fuente de energía para generar electricidad, calor o incluso como combustible vehicular, una vez que ha sido tratado y purificado. Cuando el biogás es limpiado para eliminar impurezas y concentrar



el metano, recibe el nombre de biometano, que tiene un poder calorífico similar al gas natural convencional. Esta versatilidad permite su aprovechamiento tanto a nivel doméstico, en pequeños biodigestores rurales, como en sistemas industriales de gran escala (Tabatabaei y Ghanavati, 2018).

Una de las principales ventajas del biogás es que contribuye a la gestión de residuos, evitando la contaminación del suelo y del agua, además de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. También promueve la autosuficiencia energética en comunidades rurales, permitiendo que zonas alejadas accedan a energía limpia y de bajo costo (Tabatabaei y Ghanavati, 2018).

Sin embargo, su producción depende del tipo y la cantidad de residuos disponibles, y su eficiencia puede variar de acuerdo con las condiciones del proceso. A pesar de estas limitaciones, el biogás se posiciona como una alternativa real para reemplazar combustibles fósiles en la generación de energía, contribuyendo a un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Tabatabaei y Ghanavati, 2018).

2.2.4. Grupo Electrónico

Un grupo electrónico (GE) es un sistema que genera energía eléctrica a partir de la conversión de energía mecánica, normalmente utilizando un motor de combustión interna. Los grupos electrónicos son ampliamente usados dentro de la generación distribuida (GD), es decir, generación de electricidad localizada cerca del punto de consumo, en contraste con las grandes centrales tradicionales (Francisco et al., 2007).

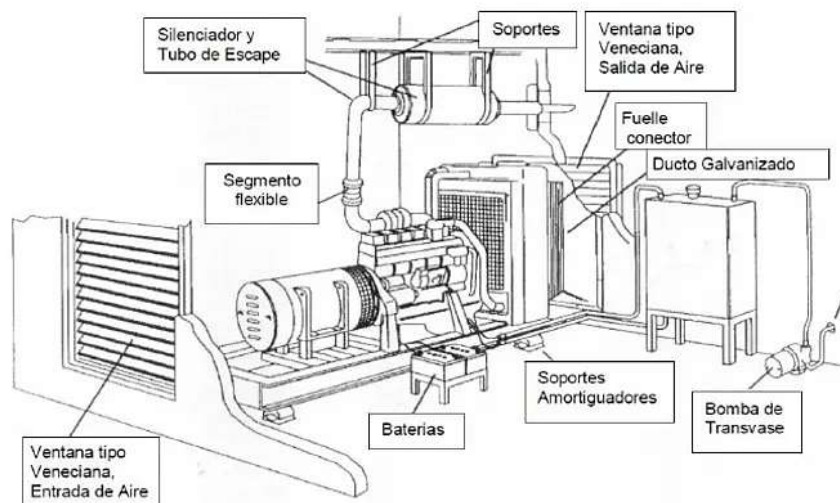
Un grupo electrónico es un sistema que transforma energía mecánica en energía eléctrica mediante un motor de combustión interna acoplado a un generador. Estos equipos son ampliamente utilizados como respaldo en casos de interrupciones del suministro eléctrico, en áreas donde la conexión a la red es inestable o inexistente, y en sectores industriales que requieren energía continua para sus operaciones. El grupo electrónico está compuesto principalmente por un motor que puede funcionar

con gasolina, diésel o gas natural y un alternador que convierte la energía mecánica en electricidad (Leon, 2016).

Otros componentes importantes incluyen el regulador de motor, que mantiene la velocidad constante para evitar variaciones en la frecuencia de salida, el sistema eléctrico que gestiona el encendido y la protección del motor, y el sistema de refrigeración que puede ser por aire, agua o aceite, encargado de controlar la temperatura de trabajo (Leon, 2016).

Figura 12

Esquema de componentes principales de un grupo electrógeno



Nota. Esquema de grupo electrógeno, disponible en <https://es.scribd.com/doc/272231406/Esquema-de-Grupo-Electrogeno>

Un grupo electrógeno es un sistema de generación de energía eléctrica que transforma la energía mecánica, producida generalmente por un motor de combustión interna, en energía eléctrica mediante un alternador. Su uso es necesario dentro de la generación distribuida, concepto que refiere a la producción de electricidad en puntos

cercanos al lugar de consumo, a diferencia de las grandes plantas centralizadas. Los grupos electrógenos son especialmente relevantes en zonas rurales, áreas aisladas y sitios donde el acceso a la red pública es limitado o inexistente (Alfonso et al., 2017).

El grupo electrógeno puede operar bajo diferentes regímenes, de acuerdo con la norma ISO 8528: como fuente de generación continua o como sistema de emergencia ante fallos en la red. Además, puede funcionar de manera continua a carga constante o variable, o bien de forma limitada en el tiempo, dependiendo de las necesidades del sistema eléctrico local. Su flexibilidad de operación permite su aplicación tanto en modo aislado como sincronizado en paralelo con la red eléctrica (Alfonso et al., 2017).

Figura 13

Grupo electrógeno diésel



Nota. Unimaq, <https://www.unimaq.com.pe/maquinaria-construccion/nuevos/equipos-de-energia/grupos-electrogenos/>

Los grupos electrógenos deben cumplir con estándares de calidad de energía, controlando parámetros como la amplitud de la señal, la frecuencia, la forma de onda y la continuidad del servicio. Asimismo, deben gestionar adecuadamente perturbaciones eléctricas como las fluctuaciones de tensión, las distorsiones armónicas y las variaciones de frecuencia. Garantizar estos requisitos permite asegurar un suministro estable y proteger los equipos conectados a la red, especialmente en aplicaciones rurales y sistemas aislados (Corrales y Ramírez, 2013).



Además, los grupos electrógenos incorporan elementos como el depósito de combustible, el aislamiento de vibraciones mediante bases resilientes, y sistemas de escape que reducen el ruido y la contrapresión generada por la combustión. La selección y dimensionamiento de un grupo electrógeno dependen de factores como la demanda máxima de energía, las horas de operación requeridas, el tipo de carga a alimentar, y las condiciones ambientales del lugar de instalación. La implementación adecuada de estos sistemas garantiza un abastecimiento eléctrico fiable, contribuyendo a la continuidad de las actividades críticas, especialmente en zonas rurales o industriales donde los cortes de energía pueden representar grandes pérdidas económicas (Leon, 2016).

2.2.5. Abastecimiento Eléctrico

El abastecimiento eléctrico es el proceso mediante el cual se garantiza el suministro continuo de energía eléctrica para cubrir las necesidades de hogares, industrias y servicios públicos. En Perú, el consumo de electricidad ha mostrado un crecimiento constante, con un aumento promedio del 7% anual entre los años 2004 y 2009, tendencia que se mantiene en la actualidad. Este incremento exige una expansión significativa de la capacidad de generación para evitar riesgos de desabastecimiento. La matriz energética peruana depende principalmente de la generación termoeléctrica basada en combustibles fósiles, que representa más del 58% de la capacidad efectiva instalada. Sin embargo, el uso intensivo de recursos fósiles plantea problemas ambientales y de sostenibilidad a largo plazo, debido tanto a la emisión de gases contaminantes como al agotamiento progresivo de las reservas de gas natural. Ante esta situación, surge la necesidad de impulsar fuentes de energía renovables como solución estratégica para asegurar el abastecimiento futuro. En este contexto, la energía solar, del tipo termosolar, se presenta como una alternativa viable, aprovechando los altos niveles de radiación solar que se registran en varias regiones del país, alcanzando promedios de 5,6 kWh/m² en zonas del sur. La incorporación de tecnologías limpias no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental, sino que también fortalece la

seguridad energética al disminuir la dependencia de combustibles fósiles (Monzón y Choquejahuá, 2014).

El abastecimiento eléctrico se refiere a la disponibilidad continua y estable de energía para mantener operativos los servicios esenciales, tanto en zonas urbanas como rurales. En áreas aisladas, como muchas regiones de la selva peruana, donde no existe acceso a la red eléctrica convencional, el suministro de energía se convierte en un desafío crítico (Cueva, 2020).

Figura 14

Infraestructura de transmisión eléctrica para el abastecimiento



Nota. Osinergmin: abastecimiento de energía eléctrica a nivel nacional se encuentra garantizado, por Osinergmin.

Tradicionalmente, el abastecimiento en zonas remotas se ha garantizado mediante el uso de grupos electrógenos diésel. Sin embargo, esta opción presenta problemas importantes como el elevado consumo de combustibles fósiles, los altos costos de operación y el impacto ambiental negativo debido a las emisiones contaminantes (Cueva, 2020).



En respuesta a esta situación, se han desarrollado soluciones basadas en sistemas híbridos, que combinan fuentes renovables como la energía solar con grupos electrógenos de respaldo. Estos sistemas permiten aprovechar la energía del sol como fuente principal, utilizando los generadores diésel únicamente en situaciones de emergencia o cuando la energía solar y las baterías no son suficientes. De esta manera, se logra reducir el consumo de combustibles fósiles hasta en un 80%, promoviendo un abastecimiento más sostenible. (Cueva, 2020).

2.2.6. Generador eléctrico de combustión interna de 4 tiempos

El generador eléctrico de combustión interna de 4 tiempos es un dispositivo autónomo diseñado para convertir la energía química del combustible (comúnmente gasolina) en energía eléctrica, a través de un proceso de combustión que impulsa un motor de ciclo termodinámico simplificado. A diferencia de los motores de 4 tiempos, los de 2 tiempos realizan el ciclo completo de admisión, compresión, combustión y escape en solo dos movimientos del pistón, lo que les permite alcanzar mayor potencia en menor tiempo y con menor complejidad mecánica. Estos generadores son compactos, ligeros y eficientes en contextos donde se requiere una fuente de energía portátil, como en zonas rurales, de emergencia o en lugares sin acceso a la red eléctrica. Su funcionamiento se basa en un sistema de arranque manual, alimentación por gasolina y un diseño monofásico, lo que los hace apropiados para cargas moderadas.

Figura 15

Vista del generador eléctrico de 4 tiempos con potencia nominal de 950W



Nota. Fotografía tomada en campo

En esta investigación, se emplea un generador Uyustools modelo GEG950-PE con una potencia nominal de 950 W y potencia máxima de 1.150 W, como base mecánica para adaptar un sistema de alimentación por hidrógeno. La elección de este equipo se justifica por su disponibilidad comercial, facilidad de modificación y condiciones técnicas adecuadas para evaluar su conversión a un sistema de energía alternativa más limpia.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del generador eléctrico de 4 tiempos Uyustools

Marca	Uyustools
Modelo	GEG950-PE
Fases	Monofásico
Tipos de alimentación	Gasolina
Métodos de arranque	Manual
Voltaje de corriente alterna	220 V
Potencia de arranque	950 W
Potencia nominal	950 W
Potencia máxima	1.150 W
Factor de potencia	1
Numero de fases	1
Cilindraje	113 CC
Tipo de motor	4 tiempos// aire forzado
Potencia del motor	4 HP
Velocidad del motor	3000 RPM
Cap. Tanque de combustible	9.6 litros
Autonomía 50 % carga	5
Autonomía 100 % carga	4
Eficiencia eléctrica	84
Frecuencia	60 HZ
Tipo de arranque	Manual
Clase de aislamiento	F
Nivel de ruido	65 dB
Peso	29 Kg
Dimensiones	47.5 Ancho X 38.5 Alto X 44 Fondo // cm

Nota. Información tomada de internet.

2.3. Definición de términos

- a) **Hidrógeno (H₂):** Gas sin color ni olor, altamente inflamable, reconocido como un portador de energía. En este estudio, se obtiene mediante una reacción química entre aluminio y una solución alcalina de hidróxido de sodio en presencia de agua.



- b) Reacción exotérmica:** Proceso químico que desprende calor durante su desarrollo. En esta investigación, dicha reacción permite generar hidrógeno de manera espontánea, sin requerir suministro eléctrico externo.
- c) Hidróxido de sodio (NaOH):** Sustancia alcalina de gran potencia utilizada para eliminar la capa de óxido del aluminio, permitiendo así que este reaccione con el agua y libere hidrógeno.
- d) Aluminio 6061:** Tipo de aleación metálica ampliamente utilizada, seleccionada por su resistencia estructural y elevada reactividad en medios alcalinos, lo que la hace adecuada para la generación de hidrógeno bajo condiciones controladas.
- e) Generador eléctrico de 950W (4T):** Motor de combustión interna de cuatro tiempos que actúa como carga de prueba en el experimento, permitiendo analizar el desempeño del hidrógeno como fuente de energía complementaria.
- f) Tanque antirretorno:** Elemento de seguridad encargado de impedir que el gas regrese a los reactores en situaciones de contraflujo o apagado inesperado.
- g) Válvula antiflama:** Mecanismo que bloquea el paso de llamas o chispas hacia el interior del sistema, protegiendo los reactores y reduciendo el riesgo de ignición.
- h) Configuración técnica:** Disposición estructurada de todos los componentes físicos que integran el sistema experimental, tales como reactores, tuberías, válvulas y conexiones con el generador.
- i) Sistema de doble reactor:** Diseño compuesto por dos cámaras reactivas conectadas en serie, que posibilita una generación constante y segura de hidrógeno mediante reacción química.
- j) Sostenibilidad energética:** Enfoque que busca cubrir la demanda energética actual empleando fuentes limpias o de bajo impacto ambiental, como el hidrógeno, siendo especialmente útil en áreas rurales con acceso limitado a otras fuentes.



k) Mezcla hidrógeno combustible: Combinación de hidrógeno con un combustible fósil convencional (como gasolina o diésel) utilizada para alimentar motores de combustión interna. Esta mezcla permite mejorar la eficiencia energética del motor y reducir las emisiones contaminantes, ya que el hidrógeno actúa como un agente de combustión que favorece una quema más completa del combustible principal, disminuyendo la producción de gases como el CO y HC.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.4. Enfoque de Investigación

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de pruebas experimentales del generador de hidrógeno. Este enfoque permite establecer relaciones objetivas entre variables, evaluar el rendimiento del sistema propuesto y comprobar la hipótesis planteada mediante la medición de indicadores concretos como eficiencia energética, consumo de combustible y emisiones.

2.5. Tipo de Investigación

El estudio es de tipo aplicada, dado que busca resolver un problema específico y concreto relacionado con la falta de acceso a energía eléctrica en zonas rurales de Juliaca. Se orienta hacia la implementación práctica de una solución tecnológica un generador de hidrógeno con el propósito de generar beneficios directos a la comunidad.

2.6. Nivel de Investigación

El nivel de la investigación es explicativo, ya que se pretende identificar las causas y efectos del uso del hidrógeno como fuente alternativa de energía, evaluando su impacto en términos técnicos, económicos y ambientales. A través de este nivel se busca profundizar en el conocimiento del fenómeno y validar la efectividad de la solución propuesta.

2.7. Diseño de Investigación

El diseño adoptado es experimental. Se manipulará intencionalmente la variable independiente (implementación del generador de hidrógeno) para observar sus efectos



sobre la variable dependiente (abastecimiento eléctrico). Este diseño permite establecer una relación causal directa mediante la observación de resultados antes y después de la intervención.

2.8. Método de Investigación

El método utilizado será el deductivo. A partir de teorías y principios generales sobre la eficiencia del hidrógeno como fuente energética, se realizarán pruebas empíricas para confirmar su aplicabilidad y efectividad en el contexto específico de las zonas rurales de Juliaca. Este método facilita la validación de hipótesis mediante datos observables y medibles.

2.9. Descripción del ámbito de la Investigación

El ámbito de la investigación es local y se enfoca en las zonas rurales del distrito de Caracoto, en la provincia de San Román, región Puno. Estas zonas presentan limitaciones significativas en el acceso a energía eléctrica debido a la distancia de los hogares respecto a la red de distribución y a las restricciones técnicas establecidas por la empresa suministradora. El estudio se desarrollará en un entorno real, donde se implementará un generador de hidrógeno para evaluar su efectividad como alternativa sostenible.

2.10. Ubicación geográfica de la investigación

La investigación se llevará a cabo en la Urbanización Jesús Nazareno, ubicada en la avenida Egipto MZ A LT. 09, distrito de Caracoto, provincia de San Román, departamento de Puno. Esta zona se encuentra a una altitud aproximada de 3820 metros sobre el nivel del mar (msnm) y se caracteriza por su condición rural, dispersión de viviendas y limitada cobertura eléctrica.

2.11. Población y muestra

2.11.1. Población

La población de esta investigación está conformada por los hogares ubicados en las zonas rurales del distrito de Caracoto, específicamente en la Urbanización Jesús Nazareno, en la ciudad de Juliaca. Estos hogares presentan dificultades en el acceso al



servicio de energía eléctrica debido a su ubicación alejada de los postes de la red de distribución, lo cual limita su desarrollo y calidad de vida.

2.11.2. Muestra

La muestra está compuesta por un domicilio seleccionado mediante muestreo por conveniencia dentro de la Urbanización Jesús Nazareno. Este hogar será representativo de las condiciones generales de la zona y permitirá evaluar de manera directa la implementación del generador de hidrógeno. La elección de una muestra reducida responde al carácter experimental del estudio, centrado en analizar de forma controlada la viabilidad técnica, económica y ambiental de la solución propuesta.

2.12. Técnicas e instrumentos

2.12.1. Técnicas

La técnica principal utilizada en esta investigación será la observación directa, complementada con la medición experimental. A través de la observación se registran las condiciones de funcionamiento del generador de hidrógeno instalado en un entorno real, mientras que la medición permite obtener datos cuantitativos.

2.12.2. Instrumentos

Para la recolección de datos se emplearán los siguientes instrumentos:

- **Multímetro digital**, para medir parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia.
- **Analizador de gases**, para evaluar las emisiones contaminantes generadas durante el funcionamiento del generador.
- **Sensor de hidrógeno MQ-8**, para detectar posibles fugas o concentraciones elevadas de hidrógeno.
- **Medidor de consumo de energía PCE-830**, que permitirá registrar el consumo energético en tiempo real.
- **Termómetro infrarrojo**, utilizado para controlar la temperatura de operación del equipo y prevenir sobrecalentamientos.



2.13. Recolección y procesamiento de la información

La recolección de información se realiza durante la etapa de implementación y prueba del generador de hidrógeno en un entorno rural real. Para ello, se emplean técnicas de observación directa y medición experimental, registrando datos relacionados con el desempeño del equipo, tales como eficiencia energética, consumo de hidrógeno, emisiones contaminantes, costos operativos y tiempo de funcionamiento continuo.

Los datos son recolectados mediante instrumentos especializados, previamente calibrados, y anotados en registros de campo diseñados para tal fin. Posteriormente, la información obtenida será organizada y procesada utilizando herramientas informáticas como hojas de cálculo y software estadístico básico. Se aplican métodos descriptivos para el análisis de tendencias, promedios, porcentajes y comparación de valores entre el generador de hidrógeno y un generador convencional de referencia.

CAPÍTULO IV

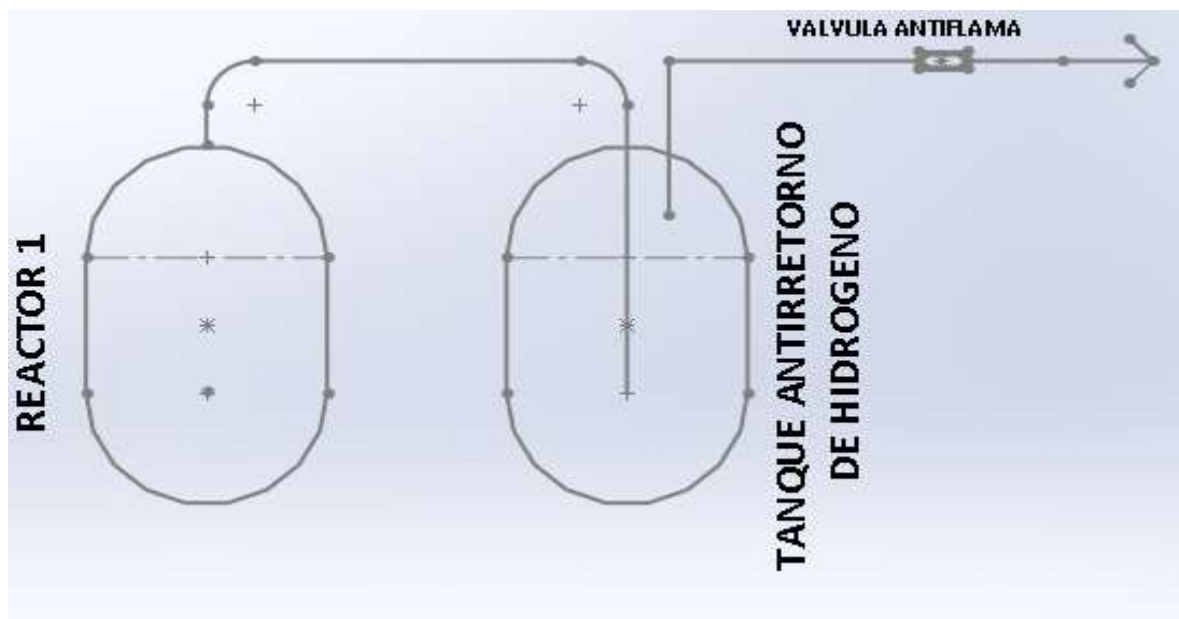
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Configuración técnica del generador de hidrogeno

La configuración técnica del generador de hidrógeno presentado en esta investigación se basa en un sistema de doble reactor conectado en serie. La figura 16 muestra el esquema general del sistema, compuesto por dos recipientes principales, un tanque antirretorno y una válvula antiflama.

Figura 16

Diagrama del sistema de producción de hidrógeno



Nota. Elaboración Propia



En el Reactor 1, al combinarse el aluminio con la solución alcalina, se libera hidrógeno de forma continua. Este gas fluye hacia el segundo recipiente, que actúa como cámara de burbujeo, permitiendo retener residuos y humedad. Luego, el hidrógeno atraviesa el tanque antirretorno, el cual evita el retroceso de gas en caso de apagado o cambio de presión. Finalmente, el gas pasa a través de la válvula antiflama antes de ingresar al generador, asegurando la integridad del sistema ante posibles fuentes de ignición.

Diseño y optimización del caudal de hidrógeno

El caudal de **4.2 cm³/s de hidrógeno** fue seleccionado como un parámetro de diseño óptimo para enriquecer la mezcla aire-combustible en el grupo electrógeno de 950 W y 4 tiempos. Este valor se estableció mediante un proceso iterativo de cálculo y validación experimental, buscando maximizar los beneficios de la adición de hidrógeno sin inducir efectos adversos en el motor, como el golpeteo (detonación) o una pérdida de potencia.

La justificación técnica de este caudal se basa en la búsqueda del punto de equilibrio entre los siguientes factores:

- **Enriquecimiento de la mezcla:** La inyección de hidrógeno en la admisión del motor acelera la velocidad de la llama de la combustión, lo que permite una quema más rápida y completa del combustible principal (gasolina o diésel). El flujo de 4.2 cm³/s representa la proporción ideal de hidrógeno que facilita este proceso de enriquecimiento, logrando una mejora significativa en la eficiencia energética y una reducción de emisiones de CO y HC.
- **Seguridad y control del motor:** Un exceso de hidrógeno podría acelerar la combustión de manera descontrolada, generando una presión excesiva en el cilindro que resulta en un golpeteo perjudicial. El valor de 4.2 cm³/s se determinó como el caudal máximo seguro para este motor específico, asegurando una combustión controlada y manteniendo la estabilidad operacional del grupo electrógeno.



- **Viabilidad del sistema de producción:** El diseño del generador de hidrógeno, basado en la reacción de aluminio, hidróxido de sodio y agua, fue dimensionado para sostener de manera constante y segura un flujo de 4.2 cm³/s durante el período de prueba. La elección de este caudal se alinea con la capacidad del sistema de producción experimental, demostrando la viabilidad y control de la tecnología desarrollada para este proyecto.

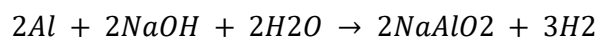
En resumen, el flujo de 4.2 cm³/s es el resultado de un cálculo de ingeniería optimizado para el enriquecimiento del combustible, validado experimentalmente para garantizar mayor eficiencia y seguridad en el grupo electrógeno de 950 W y 4 tiempos.

Para diseñar los reactores (recipientes) que permitan una producción constante de 4.2 cm³/s de hidrógeno mediante la reacción exotérmica entre aluminio, hidróxido de sodio y agua, se deben considerar los siguientes aspectos:

Datos base y requerimientos

- Producción deseada de H₂: 4.2 cm³/s = 0.0042 L/s
- Volumen molar del H₂(CNPT): 22.4 L/mol
- Moles de H₂ por segundo:

La reacción para obtener hidrógeno a partir de agua, aluminio y soda cáustica es:



Para producir 4.2 cm³/s de H₂ de manera constante:

Volumen molar de H₂ a condiciones estándar: 22.4 L/mol

Tasa de producción: 4.2 cm³/s = 0.0042 L/s

Moles de H₂ producidos por segundo:

$$0.0042 \text{ L/s} / 22.4 \text{ L/mol} = 1.875 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

Relación estequiométrica:

2 moles Al : 3 moles H₂

2 moles NaOH : 3 moles H₂

2 moles H₂O : 3 moles H₂



Tasas de consumo de reactivos:

$$Al: (2/3) * 1.875 \times 10^{-4} = 1.25 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

$$NaOH: 1.25 \times 10^{-4} \text{ mol/s} \quad H_2O: 1.25 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

Masas molares:

$$Al: 26.98 \text{ g/mol}$$

$$NaOH: 40 \text{ g/mol}$$

$$H_2O: 18 \text{ g/mol}$$

Tasas másicas:

$$Al: 3.37 \times 10^{-3} \text{ g/s}$$

$$NaOH: 5 \times 10^{-3} \text{ g/s}$$

$$H_2O: 2.25 \times 10^{-3} \text{ g/s}$$

Estas son las cantidades teóricas mínimas. En la práctica, se requerirá un exceso de reactivos para mantener la tasa de reacción constante.

Diseño del primer recipiente (reactor de reacción exotérmica)

Este recipiente debe contener los reactivos y permitir la reacción continua. Para calcular su volumen, se debe considerar:

- Tiempo de operación deseado (por ejemplo, 1 hora = 3600 s)
- Volumen necesario para contener los reactivos sólidos y líquidos
- Espacio libre para la generación de gas

Cantidad de reactivos para 1 hora (3600 s):

$$Al: 3.37 \times 10^{-3} \text{ g/s} * 3600 \text{ s} = 12.13 \text{ g}$$

$$NaOH: 5 \times 10^{-3} \text{ g/s} * 3600 \text{ s} = 18 \text{ g}$$

$$H_2O: 2.25 \times 10^{-3} \text{ g/s} * 3600 \text{ s} = 8.10 \text{ g} \text{ aprox } 8.10 \text{ ml}$$

Volumen requerido para los reactivos:

- Al y NaOH son sólidos:

densidad aprox. 2.7 g/cm³ (Al), 2.13 g/cm³ (NaOH)

- H₂O: 1 g/cm³



Volumen de Al:

$$Al: \frac{12.13 \text{ g}}{2.7 \text{ g/cm}^3} = 4.49 \text{ cm}^3$$

Volumen de NaOH:

$$NaOH: \frac{18 \text{ g}}{2.13 \text{ g/cm}^3} = 8.45 \text{ cm}^3 \text{ aprox}$$

Volumen de H₂O:

$$H_2O: 8.10 \text{ cm}^3 = 8.10 \text{ ml}$$

Volumen total de reactivos:

$$4.49 + 8.45 + 8.10 = 21.04 \text{ cm}^3$$

Espacio adicional para gas y seguridad (50% adicional):

$$21.04 \text{ cm}^3 * 1.5 = 31.56 \text{ cm}^3$$

Volumen mínimo del primer recipiente:

$$\text{redondeando } 32 \text{ cm}^3$$

Volumen máximo recomendado:

$$50 \text{ cm}^3$$

Diseño del segundo recipiente (purificación en agua)

Este recipiente debe permitir el burbujeo del H₂ a través del agua para eliminar impurezas.

Volumen de agua mínimo:

- Suficiente para permitir contacto con el gas y retener impurezas
- Se recomienda al menos 5 veces el volumen de gas producido por minuto

Producción de H₂ por minuto:

$$0.0042 \text{ L/s} * 60 = 0.252 \text{ L/min}$$

Volumen de agua mínimo:

$$0.252 \text{ L/min} * 5 = 1.26 \text{ L} = 1260 \text{ cm}^3$$

**Volumen mínimo del segundo recipiente:

$$1300 \text{ cm}^3$$



Volumen máximo recomendado (para mayor eficiencia y seguridad):

2000cm³

Resumen de dimensiones

Reactor (1): 32 (cm³) Mínimo 50 (cm³) Máximo

Purificador (2) 1300 (cm³) Mínimo 2000 (cm³) Máximo

Consideraciones: Se considera 50 cm³ en adelante en las dimensiones del reactor 1 para un mayor tiempo de operación deseado.

Estos valores pueden ajustarse según el tiempo de operación deseado, eficiencia del sistema y condiciones de seguridad.

4.1.1. Materiales para la construcción del tanque antirretorno

Para la fabricación del tanque antirretorno empleado en el sistema generador de hidrógeno, se utilizaron materiales accesibles y resistentes, adecuados para soportar la presión del gas generado y garantizar la seguridad del sistema. A continuación, se describen los principales elementos utilizados en la construcción:

Para el cuerpo de los tanques se emplearon botes plásticos de boca ancha (Figura 17), debido a su resistencia a soluciones alcalinas y facilidad para ser perforados y adaptados a conexiones. Estas características los convierten en una opción práctica para entornos de experimentación.

Figura 17

Botes de plástico



Nota. Elaboración Propia

La conducción del gas se realizó con manguera de alta presión (Figura 18), adecuada para transportar hidrógeno por su espesor y flexibilidad, reduciendo el riesgo de fugas.

Figura 18

Manguera de alta presión



Fuente. Elaboración Propia

Para asegurar las uniones entre las mangueras y los accesorios metálicos, se usaron abrazaderas de alta presión (Figura 19), que permiten un ajuste firme, evitando desprendimientos por presión interna.

Figura 19

Abrazadera de alta presión



Nota. Elaboración Propia

Como elementos de conexión se utilizaron uniones de bronce de $\frac{1}{2}$ " (Figura 20), por su resistencia a la corrosión y facilidad de roscado. Estas se instalaron en las tapas de los botes, acompañadas de arandelas metálicas de $\frac{1}{2}$ " (Figura 21) y arandelas de goma (Figura 22), que proporcionan el sellado necesario para evitar escapes de gas durante el funcionamiento.

Figura 20

Unión de bronce de $\frac{1}{2}$ " para los tanques



Nota. Elaboración Propia

Figura 21

Arandela de 1/2



Nota. Elaboración Propia

Figura 22

Arandela de goma



Nota. Elaboración Propia

Para el proceso de generación del hidrógeno se emplearon barras o viruta de aluminio 6061 (Figura 23), material seleccionado por su alta disponibilidad, bajo costo, ligereza y buena reactividad en medios alcalinos.

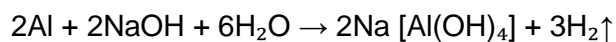
Figura 23

Barras O viruta de Aluminio 6061



Nota. Elaboración Propia

El aluminio, al entrar en contacto con una solución de soda cáustica (NaOH) (Figura 24), genera una reacción química exotérmica en la que el hidróxido de sodio actúa como catalizador para disolver la capa pasivadora de óxido de aluminio, permitiendo que el agua reaccione directamente con el metal. Esta reacción produce gas hidrógeno (H₂) y aluminato de sodio como subproducto, según la ecuación general:

**Figura 24**

Soda caustica o hidróxido de sodio NaOH



Nota. Elaboración Propia

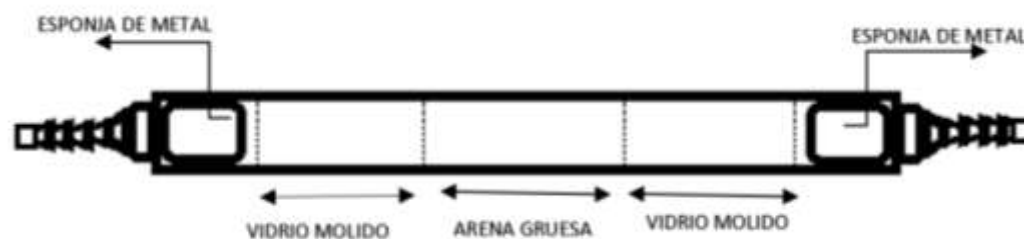
La elección del aluminio 6061, una aleación común con buena resistencia mecánica y excelente reactividad en medios alcalinos, se justifica por su efectividad comprobada en estudios experimentales orientados a la generación de hidrógeno in situ para aplicaciones energéticas. Esta reacción química controlada ofrece múltiples ventajas, entre ellas la facilidad de implementación, la producción continua de hidrógeno sin requerir componentes electrónicos complejos y la posibilidad de operar en entornos aislados sin acceso a electricidad, lo que la hace especialmente adecuada para sistemas energéticos descentralizados en zonas rurales.

4.1.2. Materiales para la construcción del arrestallamas

El arrestallamas es un componente esencial en el sistema de generación y conducción de hidrógeno, ya que cumple la función de bloquear el paso de una posible llama inversa hacia los reactores. Esto evita explosiones o daños en el equipo, asegurando la integridad del sistema y la seguridad del entorno donde se realiza la prueba. La Figura 25 muestra el esquema interno del arrestallamas empleado en esta investigación.

Figura 25

Diagrama del arrestallamas



Nota. Elaboración Propia

La configuración técnica está compuesta por una carcasa tubular que contiene capas de vidrio molido y arena gruesa, materiales que ayudan a disipar la energía térmica generada por una llama al incrementar la superficie de contacto y reducir la velocidad de propagación del frente de combustión. Este elemento es el que impide el



retroceso de llama previniendo la explosión del generador por las presiones bajas que se genera al desactivar el equipo, este dispositivo de protección es de fabricación casera, el arrestallamas está compuesto de los elementos siguientes:

- Teflón para gas
- 1 Niple de PVC de 1/2"
- 2 Bushing reductores de PVC de 1/2" – 1/4"
- Esponja metálica
- Viruta de vidrio
- Arena gruesa

El arrestallamas construido para este proyecto está conformado por una serie de materiales y componentes que, en conjunto, permiten interrumpir la propagación de la llama generada por la combustión del hidrógeno, impidiendo que este alcance los reactores. Su configuración se basa en el principio de enfriamiento y disipación térmica mediante medios físicos, como se detalló en el diagrama previo (Figura 25).

En la Figura 26 se muestra el arrestallamas armado, compuesto principalmente por conexiones metálicas y elementos de relleno internos. La estructura exterior utiliza una unión de bronce de 1/2" (Figura 27), la cual permite un acople hermético con las mangueras del sistema de conducción de hidrógeno, ofreciendo además resistencia térmica y mecánica.

Figura 26

El arrestallamas



Nota. Elaboración Propia

Figura 27

Unión bronce de ½ para el arrestallamas



Nota. Elaboración Propia

Para extender el cuerpo del arrestallamas se empleó un niple de ½" de polipropileno (Figura 28), material plástico resistente a la corrosión y con capacidad de contener los elementos internos sin deformarse bajo condiciones normales de presión.

Figura 28

Niple ½ de polipropileno



Nota. Elaboración Propia

Las uniones roscadas fueron selladas utilizando cinta teflón para gas de ½" (Figura 29), con el objetivo de evitar fugas de hidrógeno, manteniendo la seguridad y estanqueidad del sistema.

Figura 29

Cinta teflón para gas 1/2"



Nota. Elaboración Propia

En el interior del arrestallamas se colocaron esponjas de metal (Figura 30) en ambos extremos, que actúan como barreras disipadoras de calor. Entre estas esponjas se dispusieron tres capas: vidrio molido (Figura 31) en las zonas más próximas a las entradas, y arena gruesa (Figura 32) en la sección central, siguiendo la disposición mostrada en el esquema técnico. Estos materiales permiten reducir la temperatura de la llama hasta extinguirla por completo, sin afectar el flujo del gas.

Figura 30

Esponja de metal



Nota. Elaboración Propia

Figura 31

Vidrio molido



Nota. Elaboración Propia

Figura 32

Arena gruesa



Nota. Elaboración Propia

Finalmente, se utilizó un bushing reductor de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ " (Figura 33) para conectar el arrestallamas con tramos de manguera de menor diámetro en la parte final del sistema, facilitando su integración con otros componentes o puntos de salida del gas.

Figura 33

Bushing reductor de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$

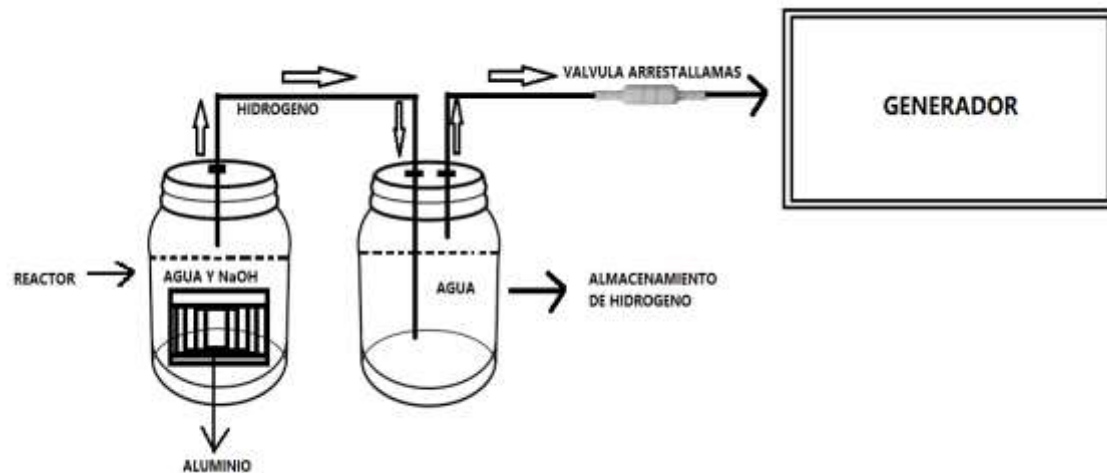


Nota. Elaboración Propia

4.2. Construcción del generador de hidrogeno

Para complementar la implementación del sistema, se elaboró un esquema técnico del montaje, el cual detalla la ubicación de los reactores de producción de hidrógeno, las válvulas de seguridad, la conexión al generador Uyustools modelo GEG950-PE y la disposición de los materiales utilizados. Este esquema facilita la replicabilidad del sistema en otras comunidades rurales y muestra de forma clara la interacción entre el sistema convencional y el módulo de hidrógeno (Ver Figura 34).

Figura 34

Diagrama del generador de hidrogeno

Nota. Elaboración Propia

El primer recipiente actúa como reactor principal, en cuyo interior se introduce una mezcla de agua y NaOH (hidróxido de sodio), además de fragmentos o barras de aluminio. Este conjunto químico da inicio a una reacción exotérmica que libera gas hidrógeno de forma continua. La disposición interna permite que la reacción se mantenga mientras haya contacto entre el aluminio y la solución alcalina. El gas generado se dirige al segundo recipiente, que cumple la función de almacenamiento temporal y separación de impurezas. Al contener solo agua, este tanque actúa como una barrera adicional para retener humedad, residuos o retrocesos accidentales del gas. Posteriormente, el hidrógeno es conducido hacia una válvula arrestallamas, instalada antes del ingreso al generador. Esta válvula representa una medida de seguridad fundamental, ya que bloquea el paso de cualquier posible llama o chispa hacia los reactores, reduciendo riesgos de combustión no controlada.

Finalmente, el gas llega al generador eléctrico, que ha sido adaptado para funcionar utilizando hidrógeno en lugar de combustibles fósiles. Esta modificación permite evaluar la viabilidad de esta fuente alternativa en términos de rendimiento energético, impacto ambiental y autonomía en zonas rurales.

Durante el proceso de construcción del sistema generador de hidrógeno, se desarrollaron una serie de actividades prácticas orientadas a adaptar materiales convencionales para su aplicación en un sistema químico de producción de gas. Estas actividades se documentan y explican a continuación:

En primer lugar, se procedió a la perforación de las tapas de los recipientes plásticos (Figura 35), etapa fundamental para permitir la inserción de los conectores roscados que unirán las mangueras al sistema. Las perforaciones fueron realizadas con herramientas manuales, cuidando el diámetro y la ubicación para asegurar un buen sellado posterior. Esta adecuación inicial permite transformar un recipiente convencional en un reactor funcional, capaz de soportar presión moderada y evitar fugas de gas durante la generación y conducción del hidrógeno.

Figura 35

Perforación de tapa de recipiente para instalación de conexiones



Nota. Elaboración Propia

Una vez perforadas, las tapas fueron instaladas sobre los recipientes plásticos seleccionados como reactores (Figura 36). Estos recipientes fueron elegidos por su resistencia estructural, ligereza y facilidad de manipulación. Su transparencia también facilitó la observación visual del proceso químico durante las pruebas.

Figura 36

Recipientes plásticos preparados para su uso como reactores



Nota. Elaboración Propia

Para lograr uniones firmes y herméticas entre los recipientes y las mangueras de conducción, se emplearon conectores tipo espiga metálica con rosca externa y arandela (Figura 37). Estos conectores permiten acoplar firmemente las mangueras de alta presión al sistema, evitando fugas durante el flujo de gas. Además, su estructura metálica resiste tanto la presión como la exposición prolongada al electrolito y al gas generado.

Figura 37

Conector espiga metálico



Nota. Elaboración Propia

Con los componentes previamente preparados, se procedió al ensamblaje del sistema completo (Figura 38), que incluye la conexión entre ambos recipientes (reactor y almacenamiento), así como la integración de la válvula arrestallamas al tramo final. La disposición en serie permite que el gas hidrógeno fluya de manera segura desde el reactor hacia el generador, pasando primero por el segundo recipiente y luego por la válvula de seguridad. Esta configuración fue diseñada para garantizar estabilidad y evitar el retroceso de la llama en caso de ignición externa.

Figura 38

Sistema armado de doble reactor con conexiones y válvula arrestallamas



Nota. Elaboración Propia

Finalmente, se realizó una prueba de funcionamiento del sistema generador de hidrógeno (Figura 39), durante la cual se comprobó la producción del gas mediante la reacción entre aluminio y NaOH, así como su capacidad inflamable al contacto con una fuente de ignición. Esta prueba experimental confirmó la funcionalidad del sistema construido, permitiendo verificar visualmente que el flujo del gas era constante y suficiente para alimentar una pequeña llama, simulando las condiciones de entrada al generador modificado.

Figura 39

Prueba de funcionamiento del sistema generador de hidrógeno



Nota. Elaboración Propia

4.3. Rendimiento energético del generador de 950W y 4T con hidrógeno

El análisis del rendimiento energético del generador Uyustools de 950W y motor de 4 tiempos (4T) se llevó a cabo a través de pruebas experimentales bajo tres condiciones: funcionamiento estándar sin hidrógeno (solo con gasolina), funcionamiento con inyección de hidrógeno desde un solo reactor, y funcionamiento con inyección de hidrógeno desde dos reactores. El objetivo fue evaluar el impacto del uso de hidrógeno como combustible complementario en la duración operativa del generador, es decir, cuántas horas puede mantenerse en funcionamiento con la misma cantidad de combustible base. Las pruebas se realizaron midiendo el tiempo necesario para consumir 1 mililitro de gasolina en distintas repeticiones. A partir de este dato, se calcularon las horas estimadas de funcionamiento por galón de combustible, aplicando el factor de conversión correspondiente (1 galón = 3785.41 ml). A continuación, se presentan los resultados y su análisis.

En condiciones estándar, sin adición de hidrógeno, el generador alcanzó un promedio de 8.44 horas de funcionamiento por galón de gasolina. Esto representa el rendimiento base del equipo en su estado original. La variación entre repeticiones fue leve, lo cual indica una operación estable, aunque con un consumo relativamente alto de combustible fósil.



Tabla 3

Prueba de funcionamiento sin agregar hidrogeno

MILILIT RO	TIEMPO seg.	MILILITROS X GALON	SEGUNDOS X HORA	HORAS DE FUNCIONAMIENTO
1	8.46	3785.41	32024.5686	8.89
1	7.79	3785.41	29488.3439	8.19
1	7.99	3785.41	30245.4259	8.40
1	8.2	3785.41	31040.362	8.62
1	7.69	3785.41	29109.8029	8.08
			PROMEDIO	8.43

Nota. Elaboración Propia

En esta etapa se integró un sistema de hidrógeno con un solo reactor. El promedio de duración se elevó a 9.61 horas por galón, lo cual representa un incremento de aproximadamente 13.8% en el rendimiento energético con respecto al funcionamiento convencional. Este resultado evidencia que el hidrógeno complementa la combustión interna, reduciendo el consumo de gasolina sin afectar la estabilidad operativa del generador.

Tabla 4

Primera prueba agregando gas hidrogeno

MILILITRO	TIEMPO seg.	MILILITRO X GALON	SEGUNDOS X HORA	HOR A
1	9.7	3785.41	36718.477	10.1
1	8.62	3785.41	32630.2342	9.06
1	8.5	3785.41	32175.985	8.93
1	8.76	3785.41	33160.1916	9.21
1	10.1	3785.41	38232.641	10.62
			PROMEDIO	9.60

Nota. Elaboración Propia

Para esta prueba se incorporó un segundo reactor de hidrógeno con el fin de aumentar el caudal de gas inyectado al sistema. El resultado fue un incremento aún mayor del tiempo de funcionamiento, con un promedio de 11.32 horas por galón, lo cual equivale a una mejora del 34% con respecto al valor base. Este aumento se atribuye a una mayor presencia de hidrógeno como fuente de energía en la mezcla de combustión, permitiendo al motor requerir menor cantidad de gasolina para mantener su operación.

La progresión en los resultados muestra una tendencia clara: a mayor aporte de hidrógeno, mayor eficiencia energética del generador. Este comportamiento es coherente con estudios previos donde el hidrógeno actúa como mejorador de combustión al favorecer una ignición más rápida y limpia.

Tabla 5

Segunda prueba agregando gas hidrogeno

MILILITRO	TIEMPO	MILILITRO X	SEGUNDOS X	HOR
O	SEG.	GALON	HORA	A
1	10.86	3785.41	41109.55	11.41
1	10.6	3785.41	40125.34	11.14
1	10.56	3785.41	39973.92	11.10
1	11.1	3785.41	42018.05	11.67
1	10.71	3785.41	40541.74	11.26
			PROMEDIO	11.32

Nota. En la segunda prueba con hidrogeno se optó por implementar un segundo reactor para suministrar mayor cantidad de gas hidrogeno

A continuación, se presenta el resumen de rendimiento por tabla:

a) Tabla 3 – Sin hidrógeno (funcionamiento estándar):

- Solo se utilizó gasolina como fuente de energía.
- Promedio de duración: 8.44 horas por galón.
- Sirve como punto de referencia base del consumo del generador.
- Mayor consumo de combustible por unidad de tiempo.



b) Tabla 4 – Con hidrógeno (un reactor):

- Se añadió hidrógeno como complemento, con un solo reactor.
- Promedio de duración: 9.61 horas por galón.
- Mejora del rendimiento energético en aproximadamente +13.8% respecto a la prueba sin hidrógeno.
- Indica reducción del consumo de gasolina sin comprometer estabilidad.

c) Tabla 5 – Con hidrógeno (doble reactor):

- Se aumentó el suministro de hidrógeno añadiendo un segundo reactor.
- Promedio de duración: 11.32 horas por galón.
- Mejora del rendimiento energético en aproximadamente +34% respecto a la prueba sin hidrógeno.
- Mayor eficiencia observada, resultado del mayor flujo de hidrógeno complementario.

4.4. Impacto económico y ambiental

El uso de hidrógeno como complemento energético en generadores de combustión interna representa una alternativa técnica viable para mejorar el rendimiento y reducir la dependencia de combustibles fósiles. En esta investigación se desarrollaron pruebas de funcionamiento con un generador de 950W y motor de 4 tiempos (4T), tanto en su configuración convencional (funcionando únicamente con gasolina) como con el uso de hidrógeno suministrado mediante uno y dos reactores. A partir de estos ensayos, se evaluaron los efectos económicos y ambientales derivados de la incorporación del hidrógeno como parte del proceso de combustión.

4.4.1. Impacto económico

Las pruebas experimentales permitieron comparar el tiempo de funcionamiento por galón de gasolina en los tres escenarios evaluados:



Tabla 6

Consumo de combustible y costo operativo en función del uso de hidrógeno

Escenario	Consumo de combustible en 1 hora	Consumo de combustible en 100 horas	Costo por galón (S/15.00)	Reducción Costo en (100 h)
Con combustible gasolina en galones				
Solo gasolina	0.118	11.85	S/ 15.00	S/ 177.75
Con hidrógeno (1 reactor)	0.104	10.4	S/ 15.00	S/ 156.00
Con hidrógeno (2 reactores)	0.088	8.83	S/ 15.00	S/ 132.45

Nota. Elaboración Propia

El uso de un solo reactor permitió extender el rendimiento del combustible en un 12.2%, mientras que el uso de dos reactores incrementó dicho rendimiento en aproximadamente 25.5%. Esto representa un ahorro real en el consumo de gasolina, lo cual es significativo considerando los contextos rurales donde el acceso al combustible puede ser limitado o costoso.

El sistema de generación de hidrógeno implementado en esta investigación fue construido con materiales de bajo costo, estimándose un gasto total de S/ 97.00. Su recuperación económica puede lograrse en menos de un año, especialmente si el generador es utilizado de forma continua para actividades domésticas o productivas. A modo de referencia, con 300 horas de uso anual, el ahorro proyectado con dos reactores alcanza los S/ 136.05, superando el costo del sistema.

4.4.2. Impacto ambiental

Para evaluar el impacto ambiental del uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4 tiempos, se realizaron pruebas comparativas de emisiones utilizando un analizador de gases portátil. Las mediciones incluyeron los principales contaminantes generados por la combustión de gasolina: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos no quemados (HC) y oxígeno (O₂) residual.

En la Figura 40, se presenta el resultado de la medición cuando el generador operó con hidrógeno como combustible complementario, utilizando un reactor activado. Se registraron los siguientes valores:

CO: 6.16% CO₂: 8.8% HC: 446 ppm O₂: 2.45%

Figura 40

Análisis de gases de escape del generador con hidrógeno (1 reactor activado)



Nota. Elaboración Propia

En la Figura 41, se muestra la medición correspondiente al generador operando exclusivamente con gasolina, sin intervención del sistema de hidrógeno. En este caso, los valores obtenidos fueron:

CO: 9.01% CO₂: 6.0% HC: 1113 ppm O₂: 3.08%

Figura 41

Análisis de gases de escape del generador sin hidrógeno (solo gasolina)



Nota. Elaboración Propia

Los resultados indican que la emisión de monóxido de carbono (CO) se redujo en 2.85 puntos porcentuales, lo que representa una disminución del 31.6%. Asimismo, los hidrocarburos no quemados (HC) se redujeron de 1133 ppm a 446 ppm, equivalente a una disminución del 60.6%. Estas reducciones son indicativas de una combustión más completa y eficiente, favorecida por la presencia del hidrógeno en la mezcla. El aumento observado en el porcentaje de CO₂ (de 6.0% a 8.8%) también respalda esta conclusión, ya que indica una mayor conversión del carbono en dióxido de carbono, lo que es característico de una mejora en la eficiencia de combustión. Esto se complementa con una ligera reducción en el oxígeno residual (O₂), lo cual es coherente con una mayor participación del oxígeno en el proceso de combustión.

4.4.3. Comparativa del presente estudio con respecto al hidrogeno verde

Mientras que el hidrógeno verde es una visión estratégica a largo plazo para la descarbonización a gran escala, el hidrógeno de este proyecto representa una validación práctica de una tecnología de producción a pequeña escala con fines de mejora de rendimiento. Ambos enfoques contribuyen a la investigación y el desarrollo



en el campo de los combustibles alternativos, pero operan en escalas y contextos metodológicos distintos.

4.4.4. Consideraciones de almacenamiento

En mi investigación, opté por la generación de hidrógeno controlado y constante en cantidades pequeñas, eliminando la necesidad de un sistema de almacenamiento complejo. Esta decisión se basó en tres puntos clave:

Complejidad técnica: Los métodos de almacenamiento, ya sea a alta presión o criogénico, son extremadamente complejos y no se ajustan a la escala del proyecto.

Seguridad: El almacenamiento de hidrógeno presenta riesgos considerables de fugas y explosiones, que son difíciles de gestionar en un entorno experimental de laboratorio.

Filosofía de validación: El objetivo era validar la inyección de hidrógeno para mejorar la combustión, no desarrollar una tecnología de almacenamiento. Mi sistema de producción controlada me permitió evaluar el efecto del hidrógeno de manera directa y segura.

En resumen, la generación controlada en pequeñas cantidades me permitió enfocar el estudio en la validación experimental del concepto de enriquecimiento de combustible, evitando los desafíos inherentes al almacenamiento de hidrógeno.

4.5. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación demostraron que la producción de hidrógeno mediante una reacción química entre aluminio 6061, agua y NaOH puede ser una alternativa efectiva y de bajo costo para complementar el suministro energético en generadores de combustión interna. La implementación de este sistema permitió reducir parcialmente el consumo de gasolina y mejorar la eficiencia térmica del generador de 950W, sin necesidad de una fuente eléctrica para electrólisis, lo que representa una solución práctica para zonas rurales o con limitada infraestructura eléctrica.



Esta mejora en el rendimiento energético y la disminución de emisiones coincide con los hallazgos de Guamán (2023) que en su proyecto “Efecto sobre el consumo y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional para un vehículo Great Wall M4 2017”, quien evaluó un generador de hidrógeno en un vehículo Great Wall M4, observando una reducción del 34% en emisiones y un aumento en la eficiencia del motor. Aunque el enfoque de Guamán se basó en una celda seca mediante electrólisis, los beneficios en la eficiencia energética y ambiental son comparables, reafirmando que la inclusión del hidrógeno como combustible complementario genera efectos positivos en la combustión.

Del mismo modo, Marín y Jiménez (2022) en su proyecto de investigación, “Diseño e implementación de una celda generadora de hidrógeno en un motor de combustión interna en la Ciudad de Bogotá”, reportaron una mejora del 17% en la eficiencia del motor y una reducción del 33% en consumo y emisiones al implementar un generador de hidrógeno en un motor de combustión. En nuestra investigación, aunque no se usó una celda electrolítica, sino una reacción química, los resultados también apuntan hacia una combustión más completa, explicada por la alta relación aire-combustible que aporta el hidrógeno, favoreciendo la oxigenación y disminuyendo la formación de CO y HC.

Cabanillas (2022) y Casio y Huayna (2024) también corroboran estos efectos, demostrando que el uso de hidrógeno, incluso en pequeñas proporciones, mejora el rendimiento mecánico y reduce la carga contaminante. En nuestro caso, el diseño de doble reactor, sumado al uso de válvulas antiflama y tanque antirretorno, permitió una producción segura del gas y su inyección controlada al sistema de admisión, lo cual puede haber contribuido a una mayor estabilidad en el régimen de operación del generador.

Además, estudios como el de Camargo (2022), que analizó la viabilidad del uso conjunto de gas natural e hidrógeno en el alumbrado público, y el de Gutiérrez (2022) sobre la transición energética en Tenerife, refuerzan el enfoque descentralizado del



presente estudio. En ambos casos, se resalta la capacidad del hidrógeno para reducir la dependencia de combustibles fósiles y facilitar la autosuficiencia energética en regiones aisladas, como también se evidenció en la experiencia experimental con nuestro prototipo.

Si bien investigaciones como las de Reátegui (2023) con su proyecto de investigación "Evaluación experimental de un prototipo para la producción de hidrógeno verde", y Adrianzen y Salaverry (2022) se centraron en la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis alimentada por energía solar, sus hallazgos coinciden en destacar al hidrógeno como un vector energético limpio, viable y adaptable a diversas condiciones. A diferencia de estas propuestas que requieren infraestructura eléctrica, nuestro enfoque químico tiene la ventaja de requerir solo materiales de fácil acceso, lo que lo hace especialmente útil en contextos rurales de escasos recursos.

Por otro lado, estudios como los de Sucari (2023), Paredes (2024) y Roque y López (2023), que se enfocan en tecnologías de generación renovable como la eólica o el biogás, también coinciden en la necesidad de diversificar la matriz energética y adaptar las soluciones a los contextos locales. La presente investigación se inserta en esta línea al proponer una tecnología adaptable, segura y con potencial para mejorar la sostenibilidad energética en comunidades alejadas.

Finalmente, cabe destacar que, si bien esta tecnología aún requiere mejoras en cuanto al control automatizado de generación y dosificación del hidrógeno, los resultados experimentales son prometedores. Se observó una combustión más eficiente, con menor emisión de gases contaminantes, y una disminución en el consumo de gasolina, sin afectar la potencia útil del generador. Estas evidencias reafirman que el uso de hidrógeno generado químicamente puede ser una solución viable para promover la transición energética hacia fuentes más limpias y descentralizadas.



CONCLUSIONES

PRIMERO: La implementación del generador de hidrógeno demostró ser una alternativa técnica y viable para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca, donde el acceso a la red convencional es limitado. La experiencia obtenida en campo confirmó que el sistema puede funcionar de manera continua, aprovechando materiales accesibles y procesos simples de generación de gas, reduciendo el consumo de gasolina y contribuyendo a la sostenibilidad energética.

SEGUNDO: Se logró diseñar e implementar un sistema generador de hidrógeno adaptado a un grupo electrógeno de 950W y 4 tiempos, utilizando materiales de bajo costo y fácil acceso. El sistema incluyó componentes de seguridad como arrestallamas, válvula antirretorno y reactores químicos simples, asegurando la integridad operativa. Las pruebas confirmaron su capacidad de funcionamiento continuo y su adaptabilidad a contextos rurales con infraestructura limitada.

TERCERO: Los resultados experimentales evidenciaron que el uso de hidrógeno como complemento del combustible fósil mejora el rendimiento energético del generador. Con un reactor, se alcanzó un incremento del 13.8% en la duración operativa por galón de gasolina, y con dos reactores, un incremento del 34%. Esta mejora se traduce en un uso más eficiente del combustible, sin necesidad de modificar la estructura del motor.

CUARTO: El uso de hidrógeno generó un impacto económico positivo al reducir el consumo de gasolina y, por tanto, los costos operativos. El sistema se implementó con un costo inicial accesible, recuperable en menos de un año de uso regular. Ambientalmente, se evidenció una disminución significativa en la emisión de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), validando el potencial del hidrógeno como alternativa energética más limpia frente a los combustibles tradicionales.



RECOMENDACIONES

- PRIMERO:** Se recomienda implementar sistemas de mayor volumen para mejorar la producción continua de hidrógeno, especialmente si se desea aumentar la autonomía del generador o su uso en aplicaciones de mayor demanda energética considerando los índices de seguridad.
- SEGUNDO:** Para futuras aplicaciones, es recomendable integrar sensores de presión y detección de fugas de hidrógeno que permitan un monitoreo en tiempo real del sistema, asimismo materiales de mayor dureza, elevando el nivel de seguridad del equipo durante su funcionamiento.
- TERCERO:** Se sugiere realizar evaluaciones de desempeño en zonas rurales de Juliaca durante periodos prolongados (al menos 1 a 3 meses), para validar el comportamiento del sistema en condiciones de uso cotidiano, incluyendo variaciones climáticas y demandas variables.
- CUARTO:** Dado su bajo costo de implementación y potencial de ahorro, se recomienda replicar el sistema en proyectos rurales productivos (pequeña agroindustria, iluminación comunitaria, etc.) como alternativa práctica y sostenible en contextos de baja cobertura eléctrica.



BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Mires, S. F. (2019). Diseño de un Generador de Hidrógeno para Mejorar El Rendimiento de un Motor de Combustión Interna de 1468 CC-PROMAE VES-Lima.
- Adrianzen, K., y Salaverry, D. (2022). Revisión sistemática de celdas electrolíticas para la producción de hidrógeno como combustible. Ucv.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/109971>
- Aguilar Guamán, M. A., y Cuvi Chucho, J. O. (2016). Diseño y construcción de un generador de hidrogeno para la cogeneración con biogás a partir de agua hidrolizada en el Barrio 6 de Diciembre-Coca 2016 (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Aguirre, J., y Torres, M. (2023). Tendencias del desarrollo del hidrógeno verde para la optimización de la matriz energética peruana. Ucv.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/123526>
- Alfonso Padura, Y., García Tol, A. E., Díaz Concepción, A., Rodriguez Piñeiro, A. J., Hourné Calzada, M. B., y Cedrón Pérez, G. (2017). Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos. Ingeniería Energética, 38(3), 237-243.
- Baltazar Ortega, P. M. (2020). Diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor Volkswagen 1.5 L en la ciudad de Huancayo.
- Cabanillas, J. (2022). Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca al motor de un automóvil a gasolina para mejorar la performance energética ambiental. Utp.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6575>
- Camargo, D. (2022). Estudio de factibilidad en el funcionamiento del alumbrado público a través de la implementación de energía eléctrica producida por gas natural e hidrogeno en el municipio de La Calera, Cundinamarca. Plataforma Abierta De Libros Y Memorias Académicas - PALMA, 23–31. Recuperado a partir de <https://cipres.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/libros/article/view/490>



- Cancino Silva, R. B. (2021). Producción y almacenamiento hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile.
- Casio, D., y Huayna, J. (2024). Implementación de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis para evaluar el desempeño de un motor de combustión interna de ciclo Otto. Uns.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4663>
- Corrales Barrios, L., y Ramírez Vázquez, A. (2013). Clasificación de fallas con redes neuronales para grupos electrógenos. *Ingeniería Energética*, 34(2), 137-150.
- Cueva Enciso, D. R. (2020). Implementación De Un Sistema Fotovoltaico Y Grupos Electrógenos Para Garantizar El Abastecimiento De Energía Del Nodo Site Lor0128 De La Empresa Viettel Perú SAC, Loreto 2020.
- Danilo Manuel, H. Z. (2022). Diseño y construcción de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis.
- Díaz Yarlaqué, FR, y Mundaca Sigüeñas, JM (2023). Estudio, diseño y simulación de una microrred fotovoltaica/diesel para suministrar energía eléctrica a la ciudad de Caballococha, Loreto, Perú.
- Díaz, G. R. (2003). Y a usted...¿ le sobre la plata? Determinantes de los precios minoristas en el mercado de gasolina, en Lima Metropolitana. *Economía*, 26(51-52), 113-156.
- Flores Vega, F. R. (2017). Diseño de instalaciones de gas natural del edificio multifamiliar gallese con el uso de las normas complementadas norma técnica EM 040 instalaciones de gas y norma técnica peruana (111.011-2014). 2016.
- Francisco, M., Díaz, R., Castro, M., y Costa, Á. (2007). Grupos electrógenos y calidad de la energía. *Ingeniería energética*, 28(2), 35-44.
- Godoy, B., y Figueroa, M. (2022). Evaluación técnica de la implementación de una granja solar para el suministro de energía eléctrica a la isla Mocha, utilizando hidrógeno verde como fuente de almacenamiento. Ubiobio.cl. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3980>



- Guaman, J. (2023). Efecto sobre el consumo y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional para un vehículo Great Wall M4 2017. Epoch.edu.ec. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/20070>
- Gutiérrez, D. (2022). Análisis de la implantación del hidrógeno como combustible renovable en la isla de Tenerife. Riull.ull.es. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/28773>
- Herrera, J. E., y Rodriguez, A. F. (2023). Hacia el desarrollo de alternativas sostenibles al combustible diésel: síntesis de 1, 1-dimetoximetano (OME1) a través de catálisis bifuncional. Revista de Química, 37(1), 13-21.
- Holgado Secas, H. (2012). Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrólisis.
- Leon Flores, P. A. (2016). Instalación De Grupo Electrónico C2000 N6 Con Radiador Remoto Marca Cummins A Gas Natural Para El Suministro De Energía De La Tercera Parte De La Planta De Producción De Kimberly Clark-Santa Clara.
- Lima, J. (2023). Evaluación de la eficiencia y control de un micro inversor solar de 250W conectado a la red de distribución eléctrica operando sobre los 3800 msnm. Unap.edu.pe. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19530>
- Marin, E., y Jiménez, L. (2022). Diseño e implementación de una celda generadora de hidrógeno en un motor de combustión interna en la Ciudad de Bogotá. Udistrital.edu.co. <http://hdl.handle.net/11349/28510>
- Martínez Muñoz, O. D., y Nilve Balseca, A. P. (2013). Montaje, análisis y monitoreo de un sistema generador de hidrógeno como economizador de combustible en un vehículo NISSAN COUPÉ 1200 (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Monzón Meza, J. F., y Choquejahuá Zapana, J. A. (2014). Planta termosolar de 50 MW como alternativa limpia de abastecimiento energético para la región sur del Perú– Arequipa.



- Paredes, W. (2024). Análisis del potencial eólico para determinar la viabilidad de la energía eléctrica en la península de Capachica 2024. Unap.edu.pe. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22474>
- Pilco, J., y Gemio, D. (2022). Regulación de tensión de un generador síncrono utilizando un controlador difuso en el laboratorio de control y automatización de la EPIME. Unap.edu.pe. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17700>
- Quinto Valencia, C. F. (2024). Estudio para la implementación de un generador de hidrogeno como combustible para los motores de combustión de ciclo otto en la Ciudad de Juliaca.
- Ramírez, Y. L. R., Suárez, S. A. S., y Moreno, D. S. S. (2022). Diseño, construcción y evaluación de un generador de hidrógeno adaptado a un motor de dos (2) tiempos en una bicicleta en la ciudad de Bogotá. Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, 9(18), 65-88.
- Reátegui, D. (2023). Evaluación experimental de un prototipo para la producción de hidrógeno verde. *Utp.edu.pe*. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8206>
- Revisenergy. (2024). Casi 2 millones de peruanos no tienen luz eléctrica. *RevistaEnergía.pe*; *RevistaEnergía.pe*. <https://revistaenergia.pe/casi-2-millones-de-peruanos-no-tienen-luz-electrica/>
- Roque, S, y Lopez, J. (2023). Análisis de fuentes de generación de energías no convencionales adaptables al Centro Poblado de Supucachi, provincia de Puno, departamento de Puno. Unap.edu.pe. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20047>
- Sucari, J. (2023). Diseño de un sistema de supervisión de la generación de energía eólica en los distritos de Puno y Juliaca basado en el modelo de internet de las cosas - 2023. Unap.edu.pe. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20265>
- Tabatabaei, M., y Ghanavati, H. (2018). Biogas. Cham: Springer International Publishing.



Vértiz Díaz, L. E. (2012). Análisis técnico y económico sobre producción, almacenamiento y transporte de biodiesel en Perú.

Zurdo, J. (2023). Acceso a electricidad limpia y agua de calidad en comunidades rurales.

El País. <https://elpais.com/economia/especial-rsc/2023-11-29/acceso-a-electricidad-limpia-y-agua-de-calidad-en-comunidades-rurales.html>



ANEXOS



ANEXO N°1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: "IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA EL ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES, JULIACA"						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Diseño
<p>Problema General: PG: ¿De qué manera la implementación de un generador de hidrógeno puede ser una alternativa de combustible en grupo electrógeno para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca?</p> <p>Problemas Específicos: PE1: ¿Cómo diseñar e implementar un generador de hidrógeno de 950W y 4T adecuado para su uso en zonas rurales de Juliaca?</p> <p>PE2: ¿Cuál es el rendimiento energético del generador de 950W y 4T al utilizar hidrógeno como combustible en comparación con el uso de combustibles fósiles?</p> <p>PE3: ¿Cuál es el impacto económico y ambiental del uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4 tiempos en términos de costos operativos y reducción de emisiones?</p>	<p>Objetivo General: OG: Implementar un generador de hidrógeno como alternativa de combustible en grupo electrógeno para el abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca.</p> <p>Objetivos Específicos: OE1: Diseñar e implementar un generador de hidrógeno de 950W y 4 tiempos (4T) para su uso en zonas rurales de Juliaca.</p> <p>OE2: Evaluar el rendimiento energético del generador de 950W y 4T con hidrógeno como combustible en comparación con combustibles fósiles.</p> <p>OE3: Evaluar el impacto económico y ambiental del uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4 tiempos.</p>	<p>Hipótesis General: HG: La implementación de un generador de hidrógeno como alternativa de combustible en grupo electrógeno permitirá abastecer de manera sostenible a las zonas rurales de Juliaca, mejorando el acceso eléctrico y reduciendo el impacto ambiental en comparación con las fuentes tradicionales de energía.</p> <p>Hipótesis Específicas: HE1: La configuración técnica e implementación de un generador de hidrógeno de 950W y 4T es viable para su uso en zonas rurales de Juliaca.</p> <p>HE2: El rendimiento energético del generador de 950W y 4T utilizando hidrógeno como combustible será más eficiente y consumirá menos que los generadores a combustibles fósiles.</p> <p>HE3: El uso de hidrógeno en el generador de 950W y 4 tiempos reducirá significativamente los costos operativos y las emisiones contaminantes</p>	<p>Variable Independiente (VI): Implementación de un generador de hidrógeno como alternativa sostenible</p> <p>Variable Dependiente (VD): Abastecimiento eléctrico en zonas rurales de Juliaca</p>	<p>Operación del generador de hidrógeno</p> <p>Eficiencia energética</p> <p>Impacto ambiental</p> <p>Viabilidad económica</p> <p>Continuidad del suministro eléctrico</p> <p>Calidad del servicio eléctrico</p> <p>Impacto en el desarrollo local</p>	<p>Especificaciones técnicas del generador.</p> <p>Funcionamiento continuo del generador.</p> <p>Rendimiento energético.</p> <p>Consumo de combustible.</p> <p>Emisiones de gases contaminantes.</p> <p>Costo de implementación.</p> <p>Ahorro en costos operativos</p> <p>Horas de funcionamiento continuo.</p> <p>Tiempo de respuesta ante fallas.</p> <p>Cantidad de aparatos eléctricos usados.</p>	<p>El enfoque cuantitativo.</p> <p>Esta investigación es de tipo aplicada.</p> <p>Es de nivel explicativo.</p> <p>Se adopta un diseño experimental.</p> <p>El método es deductivo.</p> <p>El ámbito de investigación se desarrolla en las zonas rurales de Juliaca, ubicadas a 3820 metros sobre el nivel del mar (msnm).</p>



ANEXO N°2: CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE GAS HIDROGENO GENERADO

Método de medición por desplazamiento de agua

La medición por desplazamiento de agua es un método utilizado para determinar el volumen de un gas produciendo un desplazamiento en el nivel del agua en un cilindro graduado o probeta. Se basa en el principio de que el volumen del gas que se recolecta es igual al volumen de agua que se desplaza.

Procedimiento:

1. Preparación:

Se llena un cilindro graduado o probeta con agua y se coloca boca abajo en un recipiente con agua.

2. Producción del gas:

Se produce el gas que se desea medir en un matraz de reacción o en algún otro recipiente.

3. Desplazamiento:

Se conecta el matraz de reacción al cilindro graduado o probeta mediante un tubo de goma que se introduce debajo del agua.

4. Recolección:

El gas producido desplaza el agua del cilindro graduado o probeta, causando que el nivel del agua baje.

5. Medición:

Se registra el volumen de agua desplazada, que corresponde al volumen del gas recolectado.

FORMULA DE CONVERSION

Volumen		
410	=	410
Mililitro		Centímetro cúbico

PRUEBA



COCLUSIONES

Como resultado el desplazamiento de agua fue de 410 mililitros en un tiempo determinado de 96 segundos

$$410 \text{ ml} = 410 \text{ cm}^3$$

$$\frac{410 \text{ cm}^3}{96 \text{ s}} = 4.27 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Se llega a la conclusión: con un reactor activado del generador de gas hidrogeno se produce 4,27 centímetros cúbicos por segundo.



ANEXO N°3: CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS PARA EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS DE COMBUSTIÓN INTERNA

En Perú, los límites admisibles para la inhalación de gases emitidos por generadores eléctricos de combustión interna se establecen a través de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para emisiones atmosféricas, que son aprobados mediante decretos supremos. Estos decretos, emitidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), detallan los valores límite para diferentes contaminantes.

El decreto supremo principal que regula las emisiones de generación termoeléctrica es el Decreto Supremo N° 030-2021-MINAM-AMBIENTE. Este decreto aprueba los LMP para emisiones atmosféricas de actividades de generación termoeléctrica y se aplica a los generadores de combustión interna.

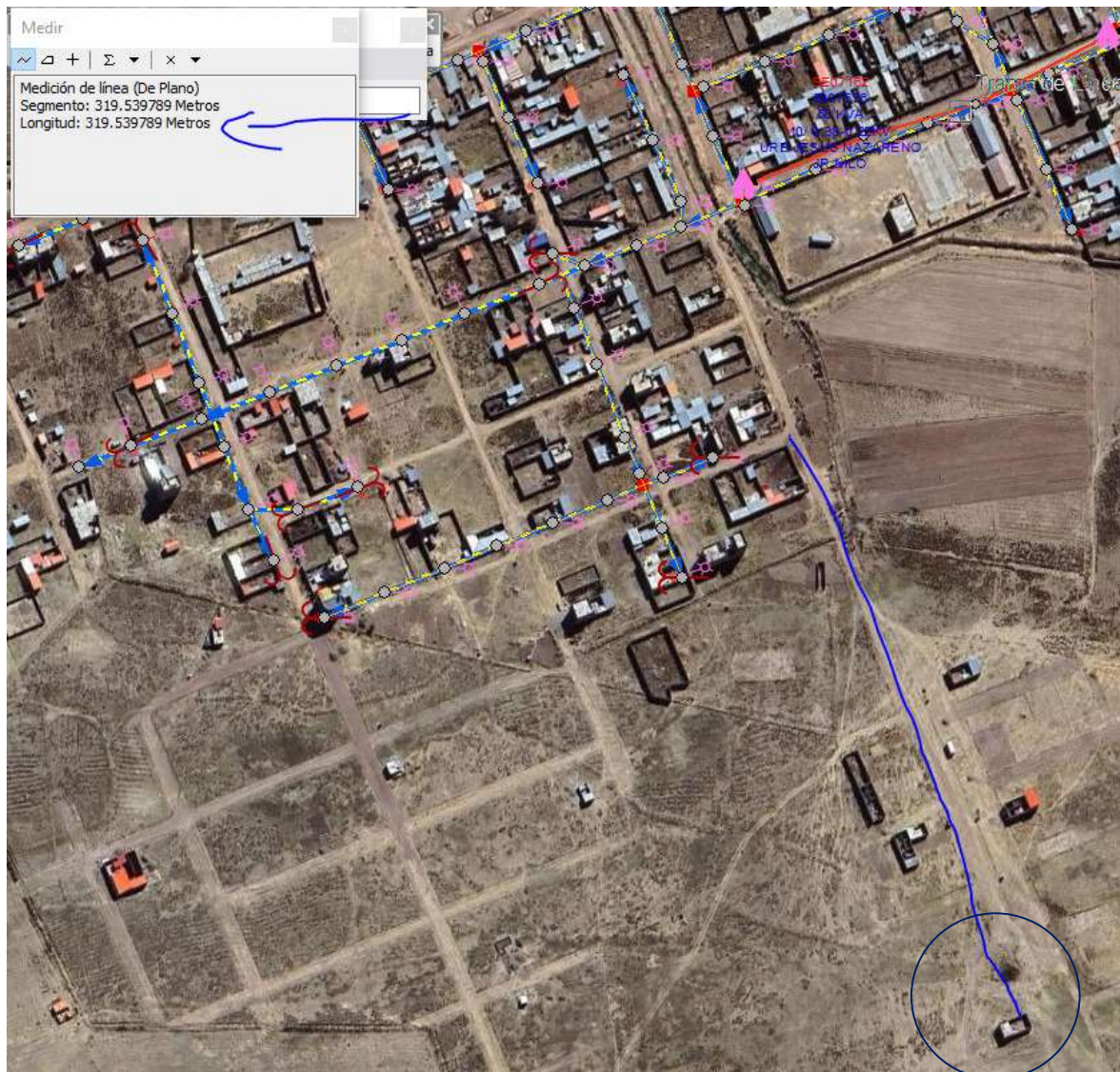
El decreto supremo anterior, el Decreto Supremo N° 047-2001-MTC, establece el procedimiento para aprobar los LMP y los estándares de calidad ambiental.

El Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM establece los LMP para vehículos automotores, pero no es aplicable a los generadores eléctricos.

En resumen:

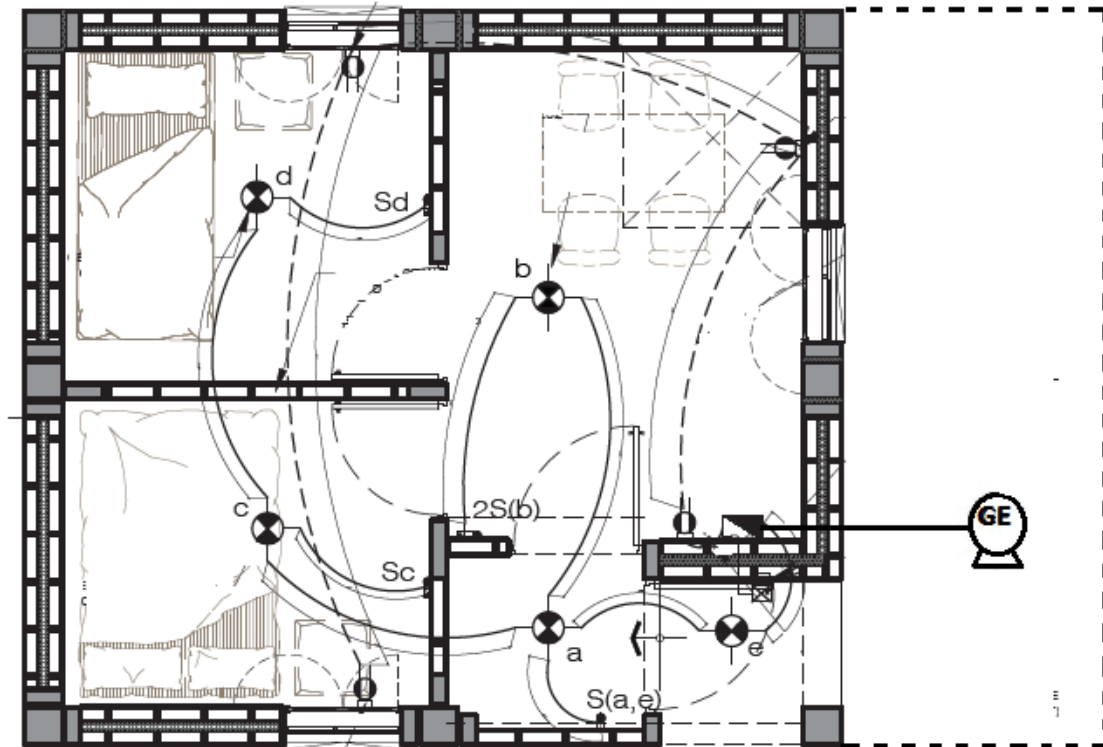
- Los LMP para emisiones atmosféricas de generadores de combustión interna están regulados por decretos supremos del MINAM.
- El decreto supremo N° 030-2021-MINAM-AMBIENTE es el principal que aprueba los LMP para la generación termoeléctrica, lo que incluye a los generadores de combustión interna.
- Es importante consultar la normativa vigente para conocer los límites específicos de cada contaminante que emite un generador de combustión interna.

ANEXO N°4: PLANO DE ALCANCE DE RED SECUNDARIA Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MUESTRA



ANEXO N°5: PLANO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE LUMINARIAS Y TOMACORRIENTES

PLANO DE DOMICILIO TOMADO COMO MUESTRA



DESCRIPCION	UNIDADES	POTENCIA UNITARIA WTTTS	POTENCIA TOTAL WTTTS
LUMINARIAS	05	10	50
TOMACORRIENTES	04	TV 32"	100
		LATOP	110
		CELULAR	6
		FROBOGAR	70
		CARGA OPCIONAL	200
TOTAL			536 WATTS

POTENCIA DEL GENERADOR

DESCRIPCION	POTENCIA MAXIMA GENERADA WTTTS	POTENCIA DE TRABAJO WTTTS
GENERADOR UYUSTOOL	1150	950

ANEXO N°6: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DEL PROCEDIMIENTO DE ANALIZADOR DE GASES

PROCEDIMIENTO DE ANALIZADOR DE GASES



CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA ANALIZADORA DE GASES





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 17 octubre del 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JHUNIOR ARLEY TONCONI ALMENDRE

Dirección: Jr. Vilcanota Mz J TL 29A

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73301660

Teléfono: 929994542 email: jhuniorarley1997@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA
DE COMBUSTIBLE EN GRUPO ELECTRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO
ELÉCTRICO EN ZONAS RURALES

Palabras claves, (3 a 5 términos): ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO, GENERADOR DE HIDRÓGENO, HIDRÓGENO,
ZONAS RURALES.

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA

Firma de Autor



huella digital

17 octubre del 2025

Fecha