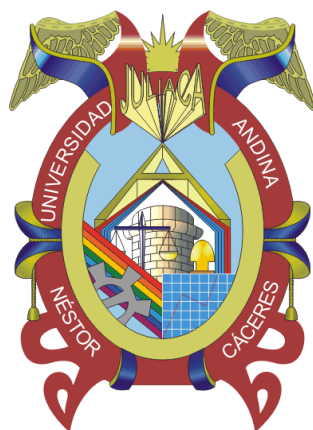




**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**  
**MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO**



**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR  
DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS  
MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO  
OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO**

**JULIACA – PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO**

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR  
DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS  
MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO  
OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**MENCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO**

**APROBADA POR:**


**PRESIDENTE DEL JURADO:**

  
Dr. BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO

**MIEMBRO DEL JURADO**

  
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**MIEMBRO DEL JURADO**

  
M. Sc. JUAN CARLOS HERRERA MIRANDA

**ASESOR DE TESIS**

  
Mgtr. ABELARDO LEÓN MIRANDA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA - P52**



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO**



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 161-2024-D-EPG-UANCV/J**

Juliaca, 21 de junio del 2024

**VISTOS:**

El expediente N° 2024-04198, presentado por el (la) Bachiller **QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN**, con número de DNI. **44437577**, asignado (a) con código de matrícula **1610100552**, de la **Maestría en INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, Mención: SISTEMAS ENERGETICOS Y MANTENIMIENTO**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Sede Central Juliaca.

**CONSIDERANDO:**

**Que**, el (a) Bach. **QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN**, con número de DNI. **44437577**, asignado (a) con código de matrícula **1610100552**, de la **Maestría en INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, Mención: SISTEMAS ENERGETICOS Y MANTENIMIENTO**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA - P52** y;

**Que**, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 04 de enero del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

**Que**, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

**SE RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO** para la Sustentación de la Tesis titulada: **ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA** Elaborado por el (la) Bachiller **QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN**. Integrado por los siguientes docentes:

|                              |          |   |
|------------------------------|----------|---|
| <b>Presidente del Jurado</b> | <b>:</b> | <b>Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO</b>         |
| <b>Miembro del Jurado</b>    | <b>:</b> | <b>Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS</b> |
| <b>Miembro del Jurado</b>    | <b>:</b> | <b>MSc. JUAN CARLOS HERRERA MIRANDA</b>         |
| <b>Asesor de Tesis</b>       | <b>:</b> | <b>Mgtr. LEON MIRANDA ABELARDO</b>              |

**ARTÍCULO SEGUNDO. -** El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

|              |          |  |
|--------------|----------|--|
| <b>Fecha</b> | <b>:</b> | <b>Jueves 27 de junio del 2024</b>       |
| <b>Hora</b>  | <b>:</b> | <b>11:00 a.m.</b>                        |
| <b>Lugar</b> | <b>:</b> | <b>Aula N° 310 EPG - UANCV – JULIACA</b> |

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron despues a la aprobación de la ley Universitaria N° **30220**.

**ARTÍCULO TERCERO. -** Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO  
Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Cari  
DIRECTOR (a)

Cc./Archiv.EPG (01)  
Interesado (01)  
Cargo (01)  
Jurados (03)  
Asesor (01)  
Expediente (01)  
LWCC/trsv



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



### RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0619-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 12 de Junio del 2024

#### VISTOS:

El expediente N°. **05748**, Presentado por el (a) **Bach. CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA**, con número de DNI **44437577** y con Código de matrícula N.º **1610100552**, quien solicita cambio de asesor de la Tesis titulado: **ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA** Líneas de Investigación: **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P52**, Para optar el Grado Académico de **MAESTRO** en **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** mención: **SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", de la Sede Central Juliaca.

#### CONSIDERANDO:

Que, el (a) **Bach. CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA**, quien solicita cambio del asesor, aprobado con Resolución Directoral N° **1294-2018-USA-EPG/UANCV**, de fecha **10 de Diciembre del 2018**, en el que se le asignó como asesor al Dr. **Carlos Manuel Rodríguez San Román**, el mismo que se cambia por no tener vínculo laboral con la UANCV.

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 02 de Diciembre del 2018, registrado en el Folio N° 1211 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestría, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca:

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

#### SE RESUELVE:

**PRIMERO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL ASESOR**, para su revisión de la Tesis titulada: **ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA** presentado por el (a) **Bach. CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA**, conformado por los siguientes docentes:

|                 |  |
|-----------------|--|
| Presidente      | : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO         |
| Primer Miembro  | : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS |
| Segundo Miembro | : MSc. JUAN CARLOS HERRERA MIRANDA         |
| Asesor          | : Mgtr. LEON MIRANDA ABELARDO              |

**SEGUNDO- AUTORIZAR** el desarrollo de Tesis de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de **MAESTRO** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

**TERCERO.- ELEVAR** al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO  
D. Leopoldo Hincapié Cordero Cari  
DIRECTOR (a)

Cc: CARGO (01)  
ARCHIVO EPG - 2024 (01)  
INTERESADO (01)  
LWCCIEVVRCH



**UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO**



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1294-2018-USA-EPG/UANCV**

Juliaca, 10 de Diciembre del 2018.

**VISTOS:**

El Registro N° 1211 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Tesis de la MAESTRIA en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA mención: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO, del Jurado revisor del Proyecto de Tesis: ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA Presentado por el (a) Bach. QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN, con N° DNI 44437577 y con Código N° 1610100552, para optar el Grado Académico de MAESTRO en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA mención: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca;

**CONSIDERANDO:**

Que, el (a) Bach. QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN, para optar el Grado Académico de MAESTRO en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA mención: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO, de la Escuela de Posgrado ha presentado el Dictamen de Proyecto de Investigación, ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA Presentado por el (a) Bach. QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN, para ser registrada en el Libro de Actas de Proyectos de Tesis.

Que, el referido Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 02 de Diciembre del 2018, se ha registrado en el Folio N° 1211 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestrías, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 74 del Estatuto Universitario;

**SE RESUELVE:**

**PRIMERO.- APROBAR** el PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE TESIS DE MAESTRIA, Titulado: ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA Presentado por el (a) Bach. QUINTO VALENCIA CARLOS FROILAN, con N° DNI 44437577 y con Código N° 1610100552, para optar el Grado Académico de MAESTRO en INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA mención: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO, y Siendo Asesorado por el (a) Mgtr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI, y según Acta de Sorteo, la terna de Jurados son los siguientes docentes:

|                 |   |       |                                   |
|-----------------|---|-------|-----------------------------------|
| Presidente      | : | Dr.   | CARLOS MANUEL RODRIGUEZ SAN ROMAN |
| Primer Miembro  | : | Mgtr. | ISMAEL COCO CHUQUIJA FLORES       |
| Segundo Miembro | : | Mgtr. | DANTE ABARCA MAMANI               |

**SEGUNDO.- AUTORIZAR** el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de MAESTRO de la Escuela de Posgrado

**TERCERO.- ELEVAR** al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.

Cc: /CARGO (01)  
ARCHIVO EPG - 2018 (01)  
INTERESADO (01)  
OCM/eqy



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
ESCUELA DE POSGRADO

*[Signature]*  
Dr. CPCC Obdulio Collantes Menis  
DIRECTOR



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
ESCUELA DE POSGRADO

*[Signature]*  
Mg. Luis Chayña Aguilar  
SECRETARIO ACADÉMICO



## ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA

### INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | <a href="http://tesis.unap.edu.pe">tesis.unap.edu.pe</a><br>Fuente de Internet                 | 12% |
| 2 | <a href="http://repositorio.untels.edu.pe">repositorio.untels.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 1%  |
| 3 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet                       | 1%  |
| 4 | Submitted to Universidad Internacional de la Rioja<br>Trabajo del estudiante                   | 1%  |
| 5 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez<br>Trabajo del estudiante             | 1%  |
| 6 | <a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet   | 1%  |
| 7 | <a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a><br>Fuente de Internet                           | <1% |
| 8 | <a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a>                                       |     |



### Metadatos Complementarios

|  |  |
|--|--|
| <b>Título de la tesis</b>  |  |
| <b>ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA</b> |  |
| <b>Datos de autor</b>  |  |
| Nombres y apellidos  | CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA   |
| Tipo de documento de identidad   | DNI  |
| Número de documento de identidad   | 44437577   |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0009-0006-7435-1358">https://orcid.org/0009-0006-7435-1358</a>  |
| <b>Datos del jurado</b>  |  |
| <b>Asesor de tesis</b>   |  |
| Nombres y apellidos  | ABELARDO LEÓN MIRANDA  |
| Tipo de documento  | DNI  |
| Número de documento de identidad   | 40198643   |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0000-0001-8370-5660">https://orcid.org/0000-0001-8370-5660</a>  |
| <b>Presidente del jurado</b>   |  |
| Nombres y apellidos  | BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO   |
| Tipo de documento  | DNI  |
| Número de documento de identidad   | 02406088   |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0000-0001-9858-2464">https://orcid.org/0000-0001-9858-2464</a>  |
| <b>Primer Miembro del jurado 1</b>   |  |
| Nombres y apellidos  | SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS   |
| Tipo de documento  | DNI  |
| Número de documento de identidad   | 02383061   |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0009-0008-8660-8733">https://orcid.org/0009-0008-8660-8733</a>  |
| <b>Segundo Miembro del jurado 2</b>  |  |
| Nombres y apellidos  | JUAN CARLOS HERRERA MIRANDA  |
| Tipo de documento  | DNI  |
| Número de documento de identidad   | 29606930   |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-5640-400X">https://orcid.org/0000-0002-5640-400X</a>  |
| <b>Datos de investigación</b>  |  |
| Línea de investigación   | TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA - P52   |
| Grupo de investigación   | No aplica.   |
| Agencia de financiamiento  | Sin financiamiento   |
| Ubicación geográfica de la investigación   | Lugar: Juliaca<br>País: Perú<br>Departamento: Puno<br>Provincia: San Román<br>Distrito: Juliaca<br>GPS Coordinadas -16.08250939342809,<br>-69.63870829991357<br>Url: <a href="https://maps.app.goo.gl/9GdiXgzxxi9LJAjt6">https://maps.app.goo.gl/9GdiXgzxxi9LJAjt6</a> |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación   | Enero 2019 - junio 2024  |
| URL de disciplinas OCDE  | <b>Ingeniería mecánica</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00</a><br><b>Mecánica aplicada</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02</a>   |
| - Librería   |  |



UNIVERSIDAD ANDINA VICERECTOR CARLOS VELÁSQUEZ  
ESCUELA DE POSTGRADO  
.....  
Dr. Segundo Ortiz Cansaya  
DIRECTOR  
DE INVESTIGACIÓN - IPIG



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA, identificado con DNI Nro. 44437577, en mi condición de egresado de:

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

MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

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

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA**

Asesorado por: Mgtr. ABELARDO LEÓN MIRANDA

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 \_\_02\_\_ de julio del 2024

Firma del Asesor  
(obligatoria)

Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

A mi padre Edgar J. Quinto y mi madre Vilma A. Valencia que en todo momento me ayudaron en la base de mi formación personal y profesional, quienes supieron guiarme por el camino correcto, y hacer de mí una persona de bien.

A mi amada esposa Veronica y a mi hija Luana Yazulet, a un a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida.



## AGRADECIMIENTO

A mis docentes quienes fueron los pilares de mi formación profesional, por guiarme y apoyarme en la culminación del presente trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

|                        |      |
|------------------------|------|
| DEDICATORIA .....      | vii  |
| AGRADECIMIENTO.....    | viii |
| ÍNDICE GENERAL .....   | ix   |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xii  |
| ÍNDICE DE TABLAS ..... | xiv  |
| RESUMEN .....          | xv   |
| ABSTRACT .....         | xvi  |
| INTRODUCCIÓN .....     | xvii |

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA

|  |   |
|--|---|
| 1.1. Exposición 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 de la investigación .....       | 3 |
| 1.3.1. Justificación Técnica.....                  | 4 |
| 1.3.2. Justificación Social .....                  | 5 |
| 1.3.3. Justificación Económica .....               | 5 |
| 1.4. Objetivos.....                                | 5 |
| 1.4.1. Objetivo general.....                       | 5 |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                  | 6 |

### CAPITULO II

#### MARCO REFERENCIAL

|  |   |
|--|---|
| 2.1. Antecedentes De La Investigación .....      | 7 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales .....        | 7 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales .....             | 7 |
| 2.2. Marco teórico .....                         | 9 |
| 2.2.1. El modelo energético mundial actual ..... | 9 |



|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.2.2. | Motor de combustión interna.....                  | 10 |
| 2.2.3. | Estructura de un motor de combustión interna..... | 11 |
| 2.2.4. | Partes del bloque del motor .....                 | 12 |
| 2.2.5. | Ciclo Otto teórico .....                          | 20 |
| 2.2.6. | Hidrogeno .....                                   | 24 |
| 2.2.7. | Obtención del hidrogeno .....                     | 32 |
| 2.2.8. | Estado actual del diseño de electrolizadores..... | 35 |

## CAPITULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.1. | Enfoque .....   | 39 |
| 3.2. | Método de la investigación.....                           | 39 |
| 3.3. | Nivel de la investigación.....                            | 40 |
| 3.4. | Tipo de la investigación.....                             | 40 |
| 3.5. | Objeto de estudio .....                                   | 40 |
| 3.6. | Ubicación y descripción de la población .....             | 41 |
| 3.7. | Técnicas e instrumentos para recolectar información ..... | 41 |
| 3.8. | Técnicas para el procesamiento y análisis de datos .....  | 41 |
| 3.9. | Plan de tratamientos de los datos.....                    | 42 |

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.1.   | Diseño de las celdas de HHO.....                           | 43 |
| 4.1.1. | Elementos del generador de hidrogeno.....                  | 43 |
| 4.1.2. | Consumo por litro de HHO (Voltaje y amperaje) .....        | 44 |
| 4.1.3. | Separación entre electrodos .....                          | 45 |
| 4.1.4. | Material para los electrodos .....                         | 45 |
| 4.1.5. | Densidad de corriente y superficie de los electrodos ..... | 46 |
| 4.1.6. | Voltaje real entre placas y número de placas neutras.....  | 46 |
| 4.2.   | Componentes .....  | 47 |
| 4.3.   | Almacenamiento del hidrogeno .....                         | 48 |
| 4.3.1. | Gas a alta presión (CGH <sub>2</sub> ).....                | 49 |



|  |           |
|--|-----------|
| 4.4. Resultados y análisis.....  | 52        |
| 4.4.1. Emplamamiento del generador de hidrogeno en la Ciudad de Juliaca.....     | 52        |
| 4.4.2. Resultados del diseño de las celdas de HHO .....                          | 54        |
| 4.4.3. Resultados para un Motor Otto .....                                       | 59        |
| 4.4.4. Contaminación reducida de los Motores Otto por el uso del hidrogeno ..... | 62        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>64</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>66</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>67</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>73</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 <i>Representación del Suministro de Energía</i> .....                | 9  |
| Figura 2 <i>Diagrama de Bloques de Entradas y Salidas Del Motor</i> .....     | 10 |
| Figura 3 <i>Bloque de Motor</i> .....   | 11 |
| Figura 4 <i>Junta de Culata</i> .....   | 12 |
| Figura 5 <i>Cilindro de Motor</i> .....                                       | 13 |
| Figura 6 <i>Pistones</i> .....  | 14 |
| Figura 7 <i>Anillos de Motor</i> .....  | 14 |
| Figura 8 <i>Biela de Motor</i> .....  | 15 |
| Figura 9 <i>Culata vista exterior</i> .....                                   | 16 |
| Figura 10 <i>Cámara de Combustión</i> .....                                   | 17 |
| Figura 11 <i>Válvulas de Motor</i> .....                                      | 18 |
| Figura 12 <i>Árbol de levas</i> .....   | 19 |
| Figura 13 <i>Bujía</i> .....  | 19 |
| Figura 14 <i>Carter de Motor</i> .....  | 20 |
| Figura 15 <i>Ciclo Otto Teórico - Admisión</i> .....                          | 21 |
| Figura 16 <i>Ciclo Otto Teórico - Compresión</i> .....                        | 21 |
| Figura 17 <i>Ciclo Otto Teórico - Combustión</i> .....                        | 22 |
| Figura 18 <i>Ciclo Otto teórico - Escape</i> .....                            | 23 |
| Figura 19 <i>Ciclo de un Motor de Cuatro Tiempos en el Diagrama P-V</i> ..... | 23 |
| Figura 20 <i>Información General del Hidrogeno</i> .....                      | 24 |
| Figura 21 <i>Relación de Expansión del Hidrogeno de Líquido a Gas</i> .....   | 28 |
| Figura 22 <i>Estado de la Energía Química</i> .....                           | 29 |
| Figura 23 <i>Electrolizador</i> .....   | 34 |
| Figura 24 <i>Ensamble de los pernos con el metal acrílico</i> .....           | 44 |
| Figura 25 <i>Ensamble del electrodo</i> .....                                 | 44 |
| Figura 26 <i>Cuadro Comparativo Volumen y Peso de Combustibles</i> .....      | 48 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 27 <i>Compresión y Energía Contendida en el Hidrogeno</i> ..... | 49 |
| Figura 28 <i>Cilindro de Tipo III</i> .....                            | 50 |
| Figura 29 <i>Composición de los Gases de Escape - Motor Otto</i> ..... | 62 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. <i>Abastecimiento De Energía Mundial Primaria En Mtoe</i> .....  | 2  |
| Tabla 2 <i>Propiedades Físicas Del Hidrogeno</i> .....  | 26 |
| Tabla 3: <i>Temperaturas de autoencendido</i> .....   | 32 |
| Tabla 4 <i>Nivel de presión atmosférica según altitud para la región Puno</i> .....                               | 41 |
| Tabla 5 <i>Técnicas e Instrumentación Para Recepción Información</i> .....  | 41 |
| Tabla 6 <i>Ubicación y Descripción del Estudio</i> .....  | 52 |
| Tabla 7 <i>Densidad del Hidrogeno a Temperatura Máxima, Media y Mínima Promedio De la Ciudad de Juliaca</i> ..... | 53 |
| Tabla 8 <i>Volumen Específico del Hidrogeno</i> .....   | 54 |
| Tabla 9 <i>Diseño de la Medida de las Placas</i> .....  | 55 |
| Tabla 10 <i>Diseño de las Celdas por 4 Agrupaciones</i> .....   | 56 |
| Tabla 11 <i>Números de Placas Según Voltaje</i> .....   | 57 |
| Tabla 12 <i>Poder Calorífico de la Gasolina del PCI al PCS</i> .....  | 59 |
| Tabla 13 <i>Poder Calorífico del Hidrogeno del PCI al PCS</i> .....   | 60 |
| Tabla 14 <i>Contaminación producida por la Combustión de la Gasolina por Año</i> .....                            | 63 |



## RESUMEN

La presente tesis aborda el problema general de la viabilidad de la implementación de un generador de hidrógeno para motores de combustión en la ciudad de Juliaca. Se plantea la pregunta central: ¿Es viable la implementación de un generador de hidrógeno en este contexto específico?

Con el objetivo de responder a esta interrogante, la investigación se enfoca en evaluar detalladamente los componentes del generador de hidrógeno, considerando factores geográficos y climáticos particulares de Juliaca. Se busca determinar la adaptabilidad de los motores de combustión de ciclo Otto para operar eficientemente con hidrógeno y se exploran las implicaciones económicas y ambientales de esta transición.

Los objetivos específicos incluyen la selección y cálculo de componentes esenciales del generador, la evaluación de parámetros de operación y la consideración de la infraestructura necesaria para la producción y distribución de hidrógeno en la región. Se anticipa que la implementación exitosa del generador no solo mejorará la calidad del aire y reducirá las emisiones contaminantes, sino que también establecerá un modelo sostenible y eficiente para el transporte en Juliaca.

El resultado obtenido indica que la implementación del generador de hidrógeno para los motores de combustión en Juliaca genera beneficios significativos, tanto ambientales como económicos. Esta conclusión respalda la idea de que el uso de hidrógeno como alternativa a los combustibles fósiles convencionales es una opción viable y sostenible contribuir a la preservación del medio ambiente. Este estudio proporciona soluciones energéticas sostenibles.

**Palabras clave:** Generador, Hidrogeno, ciclo Otto combustible.



## ABSTRACT

This thesis addresses the general problem of the viability of the implementation of a hydrogen generator as fuel for Otto cycle combustion engines in the city of Juliaca. The central question arises: Is the implementation of a hydrogen generator viable in this specific context?

In order to answer this question, the research focuses on evaluating in detail the components of the hydrogen generator, considering geographical and climatic factors particular to Juliaca. The aim is to determine the adaptability of Otto cycle combustion engines to operate efficiently with hydrogen and the economic and environmental implications of this transition are explored.

Specific objectives include the selection and calculation of essential generator components, the evaluation of operating parameters and the consideration of the infrastructure necessary for the production and distribution of hydrogen in the region. It is anticipated that the successful implementation of the generator will not only improve air quality and reduce polluting emissions, but will also establish a sustainable and efficient model for transportation in Juliaca.

The results obtained indicate that the implementation of the hydrogen generator as fuel for the Otto cycle combustion engines in Juliaca generates significant benefits, both environmental and economic. This conclusion supports the idea that the use of hydrogen as an alternative to conventional fossil fuels is a viable and sustainable option to contribute to the preservation of the environment. This study provides the community interested in sustainable energy solutions in the transportation sector.

**Keywords:** Generator, Hydrogen, Otto fuel cycle.



## INTRODUCCIÓN

Si bien aún quedan factores sin resolver a considerar para aprovechar plenamente los beneficios del hidrógeno, la inclinación sugiere que este combustible tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia energética y preservar el medio ambiente. El hidrógeno tiene la capacidad de abordar los desafíos asociados con el almacenamiento y el transporte de energía que surgirán de la adopción generalizada de energía renovable en el futuro. Además, durante la fase de transición, puede facilitar una utilización más eficiente y respetuosa con el medio ambiente de los combustibles fósiles. Las investigaciones también indican que el uso de hidrógeno tiene la capacidad de reducir las emisiones, mejorando así la calidad del aire y mitigando la contaminación ambiental global.

El objetivo de esta tesis es generar conciencia y abogar por la incorporación del hidrógeno como fuente viable de combustible en el campo de la mecánica automotriz. Los expertos económicos han planteado anteriormente que la utilización del hidrógeno en el transporte no sería factible sin una resolución de los desafíos de implementación asociados con este tipo de combustible.

En el ámbito de los elementos naturales, el hidrógeno reina como el más ligero y abundante de nuestro planeta, constituyendo más del 75% de la materia normal en masa. Su presencia se observa predominantemente en la formación de los elementos químicos. El hidrógeno, un gas no metálico, inodoro e incoloro, posee atributos notables como alta inflamabilidad e insolubilidad en agua. Cabe destacar que cuenta con un impresionante contenido energético de 28,68 kcal/g, superando el contenido energético de otros combustibles como el gas natural (9,54 kcal/g), la gasolina (10,50 kcal/g), el butano (10,94 kcal/g), el propano (11,08 kcal/g) y diésel (10,10 kcal/g).

A medida que avance el tiempo, la búsqueda mundial de una fuente de energía limpia, abundante y rentable se intensificará, impulsada por la demanda y el rápido crecimiento de energía y los continuos avances tecnológicos.



Las políticas económicas de las naciones más influyentes del mundo requieren la búsqueda del crecimiento como objetivo fundamental. La transición de los combustibles fósiles a las fuentes de energía renovables no sólo afecta a sus economías, sino que también tiene implicaciones para las grandes corporaciones multinacionales que potencialmente podrían alterar las oportunidades de empleo. La sustitución o reducción de los combustibles fósiles supone una amenaza para la estabilidad del sistema financiero. De ahí que exista una propuesta para promover y facilitar la adopción generalizada del hidrógeno como fuente de energía viable para motores de combustión interna que utilizan el ciclo Otto.

El trabajo de investigación se divide en 5 capítulos, cada uno de los cuales se presenta de la siguiente manera:

**Capítulo I**, Dentro de su contenido se puede encontrar una descripción detallada del tema en cuestión, los objetivos planteados por la tesis y los fundamentos de su ejecución.

**Capítulo II**, Esta investigación abarca el contexto histórico, fundamento teórico.

**Capítulo III**, Dentro de los contenidos se engloba la metodología de la investigación, así como las técnicas empleadas para la recogida y procesamiento de datos.

**Capítulo IV**, Los datos y resultados son analizados e interpretados, revelando las cantidades específicas de emisiones de combustibles fósiles en el Perú causadas por la combustión.

La tesis concluye proporcionando una lista completa de publicaciones y fuentes utilizadas para recopilar información, junto con sugerencias y recomendaciones. Además, incluye una sección de bibliografía.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1. Exposición de la situación problemática

La combustión de combustibles, en particular el incremento del uso de combustibles fósiles en vehículos a nivel mundial y específicamente en nuestra nación ha presentado una grave preocupación ya que contribuye a la contaminación atmosférica. El creciente consumo de estos combustibles ha creado un problema importante. Franco (2019) señala:

El incompleto proceso de combustión en los motores de combustión provoca que el combustible no se queme por completo. Además, si esta combustión incompleta no se controla adecuadamente, se liberará a la atmósfera una mayor cantidad de sustancias nocivas a través de los gases de escape. Durante el proceso de combustión se producen gases tanto inofensivos como contaminantes. (pág. 23).

Las emisiones de los motores de gasolina contienen sólo un 1,1% de sustancias nocivas, mientras que los motores diésel aportan sólo un 0,2%. En cuanto al modelo de consumo energético global en 2013, el petróleo representó el 31,1%, el gas natural el 21,4% y el carbón el 28,9%. Estas tres fuentes combinadas representan el 81,4% o 13.541 Mtep5. (pág. 23).

Con base en los datos presentados en el gráfico anterior, se puede observar que el petróleo representa el 31,1% del consumo energético global total. Además, el estudio de ESAN y el libro El hidrógeno y sus aplicaciones energéticas destacan que una



importante mayoría de los combustibles líquidos, concretamente el 81,4%, se utilizan con fines de transporte. (pág. 23).

**Tabla 1.**

*Abastecimiento De Energía Mundial Primaria En Mtoe*

| ITEM                   | Porcentaje  | Mtoe          |
|------------------------|-------------|---------------|
| Energía hidroeléctrica | 2.4%        | 325           |
| Petróleo               | 31.1%       | 4.211         |
| Carbón                 | 28.9%       | 3.913         |
| Energía nuclear        | 4.8%        | 650           |
| Bio combustible        | 10.2%       | 1,381         |
| Gas natural            | 21.4%       | 2898          |
| Otros                  | 1.2%        | 162           |
| <b>Total</b>           | <b>100%</b> | <b>13,541</b> |

Nota. (Statistics, Key World Energy, 2018)

## 1.2. Planteamiento del problema

### 1.2.1. Problema general

¿Es viable la implementación de un generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca?

### 1.2.2. Problemas específicos

**P.E.1.** ¿Cómo se calculará y seleccionará los componentes del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca?

**P.E. 2.** ¿Cómo se calculará el costo del desarrollo del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca?



### 1.3. Justificación de la investigación

En nuestro entorno operativo actual, es crucial minimizar los diversos elementos perjudiciales liberados por la incineración de combustibles, ya que su impacto afecta llanamente el bienestar de los seres vivos y de todas las formas de vida en la Tierra. Estos componentes nocivos se evidencian desde el momento de su extracción hasta el punto de su emisión y posterior combustión.

Para abordar la crisis energética global y al mismo tiempo priorizar la salud humana y ambiental, es crucial desarrollar una alternativa sostenible y portátil a los combustibles fósiles y sus subproductos para la producción de energía. Para cumplir con estos requisitos es necesario un modelo que abarque una fuente inagotable de energía.

La utilización de la tecnología es crucial en el progreso de la integración del combustible de hidrógeno con los motores Otto. Actualmente, se presta especial atención a la producción de hidrógeno para fines no eléctricos, ya que sirve como fuente de energía secundaria. Esto se debe a que el hidrógeno tiene la capacidad de generarse y es ampliamente considerado como un recurso ilimitado y respetuoso con el medio ambiente, gracias a su naturaleza renovable.

Al convertir los combustibles fósiles, agotamos recursos que no se pueden reponer y liberamos gases dañinos para el medio ambiente. Las repercusiones de este proceso son evidentes en fenómenos como el efecto invernadero y calentamiento global.

La electrólisis surge como la dirección inevitable del progreso tecnológico en el ámbito de los motores de combustión interna, ya que estos motores poseen la capacidad de generar y almacenar electricidad dentro de la batería del vehículo una vez que se inician.

Además, también se está prestando atención al campo de la electroquímica debido a su potencial para el almacenamiento de energía en pilas de combustible, aunque cabe señalar que actualmente estas pilas de combustible son bastante costosas.

La naturaleza sufre daños importantes por la utilización y extracción de combustibles fósiles, que son cruciales para nuestras necesidades energéticas y de



transporte. Sin embargo, esta tesis arroja luz sobre las ventajas del hidrógeno en los motores de combustión, al tiempo que destaca la contaminación actual resultante de su uso, como lo demuestran extensas investigaciones.

El uso de combustibles fósiles como principal fuente de energía no renovable ha demostrado su eficacia para satisfacer nuestras necesidades actuales de transporte. Lamentablemente, hemos ignorado el impacto perjudicial que tiene sobre el medio ambiente. En consecuencia, ahora existe un interés creciente en explorar este modelo alternativo de energía limpia y renovable en los motores Otto, utilizando hidrógeno.

El desarrollo de este tema ha estado influenciado por los avances realizados por numerosos científicos que, como el ciudadano común y corriente, están motivados por proteger el medio ambiente mediante el uso de fuentes de energía limpias y sostenibles. Sin embargo, la política actual está impulsada principalmente por ganancias financieras y favorece sólo a las grandes industrias y corporaciones. Como resultado, los proyectos en este campo enfrentan obstáculos importantes y, a menudo, experimentan un avance lento o incluso un estancamiento total debido a las posibles implicaciones económicas que pueden conllevar.

### **1.3.1. Justificación Técnica**

La implementación de un generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto representa una innovación tecnológica con el potencial de mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de contaminantes. Juliaca, ubicada a gran altitud, presenta condiciones ambientales particulares que afectan el rendimiento de los motores de combustión interna tradicionales. El hidrógeno, al ser un combustible de alta energía y bajo en emisiones, puede proporcionar una combustión más limpia y eficiente. Además, la investigación y desarrollo en esta área pueden impulsar avances en la tecnología de motores de hidrógeno, fomentando la capacitación y especialización técnica en la región.



### 1.3.2. Justificación Social

La adopción de tecnologías más limpias y sostenibles es fundamental para mejorar la calidad de vida de los habitantes de Juliaca. La implementación de un generador de hidrógeno como combustible podría reducir significativamente las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, contribuyendo a un aire más limpio y saludable. Esto es especialmente importante en áreas urbanas densamente pobladas, donde la contaminación del aire puede tener efectos adversos en la salud pública. Además, el proyecto puede generar conciencia y promover la educación ambiental entre la población, incentivando prácticas más sostenibles en el uso de recursos energéticos.

### 1.3.3. Justificación Económica

El hidrógeno como combustible ofrece una alternativa viable y potencialmente más económica a largo plazo en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. Aunque la inversión inicial en la infraestructura necesaria para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno puede ser alta, los costos operativos y de mantenimiento pueden ser menores debido a la mayor eficiencia y menor desgaste de los motores de hidrógeno. Además, la reducción de emisiones puede generar ahorros en gastos de salud pública y cumplir con regulaciones ambientales, evitando posibles multas y sanciones. El proyecto también puede abrir nuevas oportunidades económicas y de empleo en el sector energético y tecnológico en Juliaca, fomentando el desarrollo económico local.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

**O. G.** Realizar el estudio para la Implementación del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto



## 1.4.2. Objetivos específicos

**O. E. 1.** Determinar y seleccionar los componentes del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca.

**O. E. 2.** Calcular el costo del desarrollo del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca.



## CAPITULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Antecedentes De La Investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Muñoz et al. (2022) En su estudio, se realizó un análisis para evaluar el potencial del hidrógeno verde como fuente de combustible para camiones volquete en operaciones mineras. La atención se centró en evaluar la disminución de la producción de gases de efecto invernadero. Los hallazgos revelaron que, al considerar el uso de combustibles fósiles en cada área, se examinó el suministro de hidrógeno verde, lo que resultó en un índice de suministro de aproximadamente el 1% en comparación con el uso general de combustibles fósiles. Además, el estudio calculó la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que oscilan entre 3.000 y 37.000 toneladas, según el sector, al implementar H<sub>2</sub> en cada zona. Estos resultados demuestran que el hidrógeno verde presenta una solución viable para abordar la crisis climática al reducir la liberación de gases nocivos y contribuir a la descarbonización del sector energético. En consecuencia, el uso de hidrógeno como sustituto del combustible diésel ofrece una oportunidad prometedora para reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

##### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Achahui y Cansaya (2021) Con el objetivo de evaluar el impacto de la pandemia de COVID-19 en el calentamiento global, el investigador emprendió un estudio para medir



las emisiones de CO<sub>2</sub>. El enfoque empleado fue sencillo, utilizando métodos cuantitativos y descriptivos, confiando al mismo tiempo en fuentes confiables para la recopilación de datos y el análisis documental como herramienta principal. Los hallazgos revelaron una reducción significativa de las emisiones de dióxido de carbono, con una disminución del 17% (1551 TM) registrada hasta agosto de 2020 en comparación con el mismo período de 2019. En particular, esta reducción se atribuyó principalmente a naciones como Estados Unidos, China, Brasil, Rusia, e India, que en conjunto representan el 80% de la población mundial o poseen capacidades industriales sustanciales. Es de suma importancia que los gobiernos reconozcan y adopten este resultado favorable, utilizándolo como modelo para mantener el equilibrio en las futuras emisiones de gases de efecto invernadero, abordar los desafíos del cambio climático y manejar eficazmente los riesgos para la salud en medio de posibles epidemias futuras.

Carhuarupa (2020) El propósito del estudio realizado fue evaluar el alcance de la contaminación del aire causada por CO<sub>2</sub> en Cusco. Se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo, utilizando una muestra compuesta por 5 áreas diferentes dentro de la ciudad. La investigación empleó tanto una guía de observación como un análisis documental como herramientas para la recolección de datos. Los hallazgos revelaron que la emisión promedio anual de CO<sub>2</sub> en 2017 fue de 2845,75 ppm con un nivel de confianza del 95,5%. Se encontró que los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> en la ciudad del Cusco se encuentran por debajo del límite de la Norma de Calidad Ambiental (ECA) de 7.875 ppm y 5028.28 ppm. Sin embargo, se determinó que las zonas de Puerta de San Jerónimo y la UNSAAC presentan mayores concentraciones de CO<sub>2</sub>.

Ramos (2019) La investigación se centró en examinar el impacto del tráfico urbano en la degradación ambiental en la localidad de Ica. El investigador empleó una metodología descriptiva correlacional básica para realizar esta tarea. La muestra estuvo compuesta por 50 vehículos de servicio público, y los datos se recolectaron a través de cuestionarios y guías de observación. Los hallazgos revelaron que los niveles de dióxido

de nitrógeno (PM 2,5) y dióxido de azufre (PM10) estaban por debajo de los estándares establecidos por la Agencia de Control Ambiental (ECA). Sin embargo, al compararlos con los parámetros PM2.5 y SO2 vigentes al 1 de enero de 2014 (PM2.5 hr=25 µg/m3 y SO2.24 horas = 20 10 µg/m3), estos valores fueron menores, excepto para dos casos en los que el parámetro PM2.5 excedió el valor ECA. En conclusión, el estudio determinó que el rápido aumento de espacios de estacionamiento debido al tráfico urbano conduce a mayores niveles de material particulado (PM) en el medio ambiente.

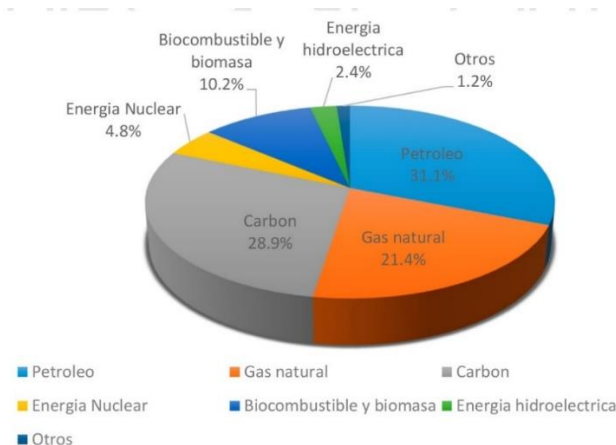
## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. El modelo energético mundial actual

En 2019, la gran mayoría del consumo de energía se atribuyó a la utilización de combustibles fósiles en un 81,4%, en concreto, el petróleo representó el 31,1%, el gas natural el 21,4% y el carbón el 28,9%. Esto ascendió a un total de 13.541 Mtep.

**Figura 1**

*Representación del Suministro de Energía*



Nota. *Statistics, Key World Energy (2018)*

En respuesta a la crisis energética y los impactos del calentamiento global, los seres humanos están desarrollando activamente avances tecnológicos para abordar estos desafíos. Este esfuerzo es vital y esencial para el avance de las tecnologías energéticas renovables e ilimitadas.

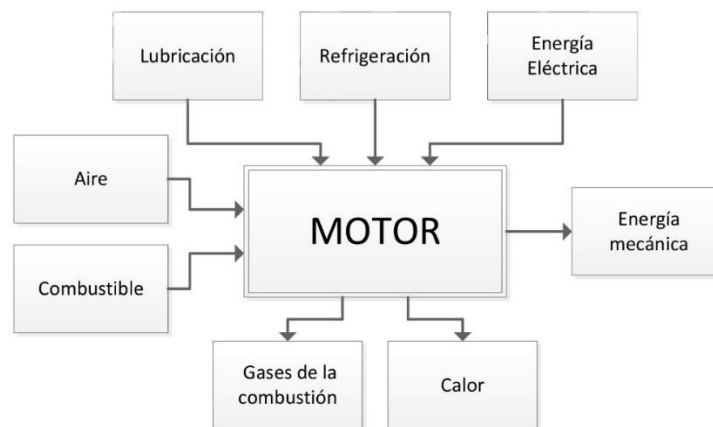
## 2.2.2. Motor de combustión interna

Genera energía mecánica a través de la detonación que se produce en su interior.

En la Figura 1 ilustra las entradas y salidas de los sistemas auxiliares que son esenciales para el trabajo del motor. Estos sistemas incluyen lubricante, refrigeración y energía eléctrica. Dentro del propio motor, se requiere el sistema de distribución, así como distintos dispositivos como pistones, bielas, manivelas y otros mecanismos. Como resultado de este complejo proceso, se produce energía mecánica utilizable, mientras que los contaminantes se expulsan a través del tubo de escape. Además, existen productos de desecho y gases de combustión que resultan de la ineficiencia, junto con el calor que se transfiere al medio ambiente. Wikipedia (2019)

### Figura 2

*Diagrama de Bloques de Entradas y Salidas Del Motor*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor), (2017)

La versatilidad de este motor en particular permite que se utilice en diversas tareas mecánicas, mostrando su amplia gama de aplicaciones que son fácilmente observables a simple vista. Estas aplicaciones incluyen bombas de superficie, compresiones, vehículos y más.

Este movimiento luego se transforma en movimiento de rotación a través de un mecanismo de biela-manivela.

El rendimiento óptimo del motor depende de la importancia de la relación de compresión. Esta relación, que está influenciada por el tipo de combustible utilizado, significa la relación entre el volumen de la cámara creada por el pistón en su punto más alto de recorrido (TDC), las paredes del cilindro y la culata, y el volumen de la cámara creado por las paredes del cilindro, la culata y el pistón en su punto más bajo de recorrido (B.D.C.).

### 2.2.3. Estructura de un motor de combustión interna

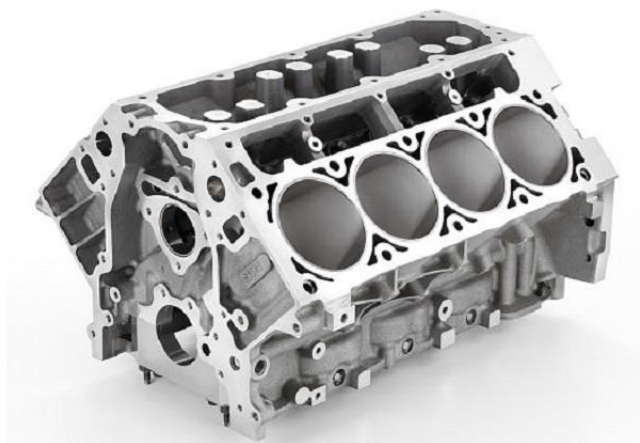
#### 2.2.3.1. Bloque de motor

El bloque del motor, el componente principal del motor, alberga los cilindros donde los pistones se mueven hacia abajo y hacia arriba. También es donde se ubican los espárragos de conexión de la culata, así como las vías de lubricación y refrigeración. Los materiales elegidos para construir el bloque deben poder soportar temperaturas elevadas, ya que es aquí donde se produce la expansión y la liberación de gases. Villegas, (2019)

Normalmente, el bloque del motor está compuesto por una combinación de aleaciones de hierro y aluminio, que contienen trazas de cromo y níquel. Esta mezcla de aleaciones da como resultado un material cilíndrico resistente a la porosidad y muy duradero contra el calor y la fricción. Villegas (2019)

### Figura 3

#### *Bloque de Motor*



*Nota.* [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2017)

## 2.2.4. Partes del bloque del motor

### a. Junta de culata

La junta de culata sella eficazmente la unión entre el bloque de cilindros y la culata. Generalmente compuesta de acero, esta lámina increíblemente delgada también puede incorporar materiales como amianto, latón, caucho y bronce. Para facilitar el flujo de diversos componentes, como los pistones, el bloque motor, los espárragos de sujeción de la culata y los tubos de lubricación y refrigeración, la junta de culata presenta las correspondientes perforaciones. Chirinos (2019)

### Figura 4

#### *Junta de Culata*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2021)

### b. Cilindros

En Las cavidades cilíndricas conocidas como cilindros sirven como espacio donde los pistones efectúan sus carreras de admisión, compresión, expansión y escape. Estos cilindros tienen paredes lisas hechas de fundiciones de acero mezcladas con cobre, molibdeno y níquel. Los cilindros, que son cavidades cilíndricas, cumplen la función de proporcionar un espacio para que los pistones realicen sus movimientos de admisión, compresión, expansión y escape. Estos cilindros están fabricados con paredes lisas, las cuales están elaboradas a partir de una mezcla de fundiciones de acero que contienen molibdeno, cobre y níquel,.

En determinados casos, se añade cromo para mejorar su durabilidad frente al desgaste. Para facilitar las reparaciones o modificaciones, los cilindros están equipados con manguitos que se presionan firmemente entre el bloque y el cilindro. Esto no sólo permite un reemplazo más fácil, sino que también garantiza que el bloque permanezca aislado del calor, lo que permite el uso de materiales más livianos como el aluminio en su construcción. Chirinos (2019)

**Figura 5**  
***Cilindro de Motor***



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2017)

### **c. pistones**

La biela recibe la fuerza producida por la explosión del pistón, que se encarga de la transferencia inicial. Para soportar el intenso calor y la fricción que soporta, el pistón está construido con materiales livianos pero muy duraderos. Por lo general, los pistones se fabrican a partir de aleaciones como aluminio fundido, magnesio, níquel y silicio. Al utilizar diseños sin faldón, se mejora el rendimiento del motor y se minimiza el riesgo de mal funcionamiento y averías. Estos pistones reducen la fricción con el cilindro al reducir el área de contacto entre los dos componentes. Chirinos (2019)

**Figura 6**

*Pistones*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2017)

#### **d. Anillos**

Para garantizar una compresión óptima y evitar fugas dentro del motor, los anillos rodean la parte superior del cilindro, formando un sello completo.

Los segmentos, también conocidos como anillos, desempeñan un papel crucial a la hora de garantizar que la cámara de combustión permanezca firmemente comprimida, evitando que se escapen los vapores presurizados, ya sean de la combinación o de los subproductos de la combustión. Además, se instala un anillo de engrase para garantizar una lubricación adecuada del cilindro. Normalmente, estos anillos o segmentos están compuestos de una aleación de hierro mezclada con silicio, níquel y manganeso. Chirinos (2019)

**Figura 7**

*Anillos de Motor*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2017)

## e. Bielas

La biela desempeña la función de transferir la fuerza generada por el pistón al cigüeñal. Durante su operación, las bielas experimentan tensiones intensas de compresión, tracción y flexión, lo que requiere la utilización de materiales altamente resistentes y livianos. A pesar de su apariencia como una unidad singular, la biela en realidad se compone de tres secciones distintas: el pie, que se conecta al pistón mediante un pasador; el cuerpo, que proporciona integridad estructural; y la cabeza, que gira alrededor del codo del cigüeñal. Las perforaciones se encuentran comúnmente en las bielas, lo que permite la circulación eficiente del aceite presurizado desde la cabeza hasta la parte inferior, asegurando una lubricación óptima. A pesar de su apariencia de un solo componente, las bielas en realidad se componen de tres partes distintas: el pie, que se une al pistón mediante un pasador; el cuerpo, que proporciona resistencia estructural; y la cabeza, que gira alrededor del codo del cigüeñal. Para garantizar una lubricación adecuada, las bielas suelen tener perforaciones que permiten que el aceite presurizado fluya desde la cabeza hasta la parte inferior. Chirinos (2019)

### Figura 8

*Biela de Motor*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2017)

## f. Culata

El bloque del motor, que alberga los cilindros y facilita el movimiento de los pistones, sirve como componente principal del motor. También alberga los puntos de

conexión de la culata, así como canales de lubricación y refrigeración. Los materiales utilizados en la construcción del bloque deben tener la capacidad de soportar temperaturas elevadas, ya que es aquí donde se produce la expansión y la liberación de gases. Chirinos (2019)

Normalmente, el bloque del motor se construye utilizando una combinación de aleaciones de aluminio y hierro, incorporando trazas de níquel y cromo. Esta mezcla de aleaciones da como resultado un material cilíndrico que es impermeable a la porosidad y muy duradero contra los efectos del calor y la fricción. Chirinos, (2019)

## Figura 9

*Culata vista exterior*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2017)

## PARTES DE LA CULATA

### a. Cámara de combustión

Situada dentro de la culata, la cámara de combustión sirve como un vacío donde tiene lugar el encendido de la mezcla de combustible y aire. Dentro de este compartimento se pueden encontrar las válvulas de admisión y escape, el inyector de combustible y la bujía,

Dada la elevada temperatura que se consigue en la cámara de combustión, es esencial mantener una refrigeración efectiva. La dimensión de la cámara de combustión

se determina según la relación de compresión, que establece la relación entre la cámara.  
el volumen del cilindro Chirinos (2019)

### Figura 10

#### *Cámara de Combustión*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor) (2018)

#### **b. Válvulas**

Las válvulas, ubicadas dentro de la cámara de combustión, cumplen la función crucial de regular el flujo de la mezcla. Estos componentes se encargan tanto de la apertura como del cierre de los canales por los que entra la mezcla de admisión y emergen los gases de escape. Es común que la válvula de admisión posea un diámetro mayor en comparación con la válvula de escape. Esta discrepancia surge del mayor desafío que supone aspirar los gases de admisión, en lugar de expulsar los gases de escape. Las válvulas, en particular las válvulas de escape, se construyen con materiales que pueden soportar las altas temperaturas que enfrentan. Por otro lado, las válvulas de admisión están fabricadas con aceros al carbono que contienen pequeñas cantidades de níquel, silicio y cromo. La razón para utilizar estos materiales es garantizar que las válvulas puedan soportar temperaturas extremas, especialmente en el caso de las válvulas de escape. Por el contrario, las válvulas de admisión no enfrentan el mismo nivel de calor y, por lo tanto, pueden fabricarse con aceros al carbono con cantidades reducidas de níquel, silicio y cromo. Chirinos (2019)

## Figura 11

### *Válvulas de Motor*



Nota. [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor), (2017)

#### **c. Guías y asientos de las válvulas**

Son casquillos alargados, se insertan en orificios especialmente hechos en la culata del cilindro para proporcionar un alojamiento para que las válvulas se deslicen en su interior. Cuando la válvula está cerrada, se coloca en el asiento para garantizar un sellado adecuado. Para evitar la acumulación de aceite y la introducción accidental de aceite en el cilindro, las guías de válvula suelen tener forma cónica. (Chirinos, 2019)

#### **d. Árbol de levas**

El componente conocido como árbol de levas, desempeña un papel crucial en el momento preciso de cierre y apertura de las válvulas. Hecho de una aleación de hierro fundido con silicio, carbono, cobre, manganeso, cromo, azufre y fósforo, el árbol de levas es una parte esencial del sistema de distribución. En la sección siguiente se proporcionará más información sobre su funcionalidad y funcionamiento. (Chirinos, 2019)

## Figura 12

Árbol de levas



Nota. ([www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor), 2017)

### e. Bujías

En los motores Otto, es la bujía la que juega un papel crucial al proporcionar la chispa requerida para conseguir la temperatura específica para la ignición del combustible. Ubicada cerca de las válvulas dentro de la cámara de combustión, la ubicación exacta y la función de la bujía se detallarán en la siguiente sección dedicada al sistema de encendido. . (Chirinos, 2019)

## Figura 13

Bujía



Nota. ([www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor), 2017)

### f. Carter

El cárter alberga componentes esenciales como el cigüeñal, los cojinetes del cigüeñal y el volante. Sirve como depósito del aceite del sistema de lubricación, el cual puede ser drenado a través de un tapón en su parte inferior. Para optimizar el enfriamiento

y conservar una temperatura óptima del aceite, el cárter suele estar equipado con aletas externas. La temperatura de funcionamiento ideal para el aceite en el cárter suele estar dentro del rango de 80°C a

Para mantener el cárter a una temperatura adecuada de 90°C, es esencial una refrigeración eficaz. Como se mencionó anteriormente, esto es crucial para mantener el aceite a su temperatura óptima. Para lograr esto, el cárter está construido con materiales livianos que poseen una excelente conductividad térmica. Si bien el aluminio es el material predominante, a menudo se combina con pequeñas cantidades de cobre y zinc. (Chirinos, 2019)

### Figura 14

*Carter de Motor*



*Nota.* ([www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor), 2017)

#### 2.2.5. Ciclo Otto teórico

El trabajo de este motor en particular, en sus cuatro distintas fases o periodos, se puede describir de la siguiente manera:

##### a. PRIMER TIEMPO DE ADMISIÓN:

El proceso de inyectar aire en el cilindro es lo que proporciona el oxígeno esencial para la combustión dentro de la cámara. En este tipo particular de motor, el aire y la gasolina ya están combinados.

**Figura 15**

*Ciclo Otto Teórico - Admisión*



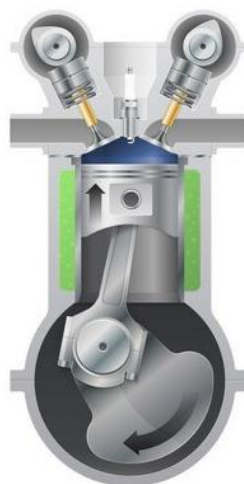
Nota. <https://www.shutterstock.com>

**b. SEGUNDO TIEMPO: COMPRESIÓN**

Durante esta etapa, el pistón se mueve desde su posición más baja hasta su posición más alta dentro del cilindro, completando así su segunda carrera en el ciclo de trabajo del motor. Para mejorar la eficiencia en general, se sugiere comprimir el fluido que se introduce en el cilindro durante la fase de admisión antes de la ignición.

**Figura 16**

*Ciclo Otto Teórico - Compresión*



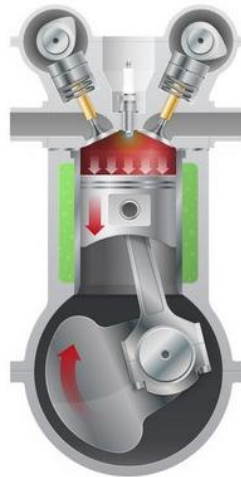
Nota. <https://www.shutterstock.com>

### c. TERCER TIEMPO: TRABAJO

Una vez que el pistón completa su carrera de compresión, una bujía colocada en la cámara de combustión genera una chispa eléctrica que enciende la mezcla de aire y combustible. Este encendido inicia una reacción en cadena de energía térmica, calentando efectivamente el cilindro y elevando significativamente tanto la presión como la temperatura en su interior. Como resultado, el trabajo producido supera el esfuerzo inicial requerido para la compresión.

### Figura 17

*Ciclo Otto Teórico - Combustión*



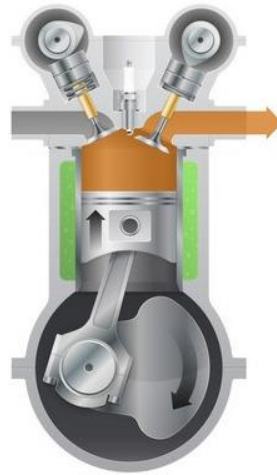
<https://www.shutterstock.com>

### d. CUARTO TIEMPO: ESCAPE

Para asegurar la expulsión de los subproductos de la combustión y gases nocivos como CO<sub>2</sub>, N, NOX, etc., la válvula de escape se mantiene abierta antes de comenzar nuevamente la primera etapa.

**Figura 18**

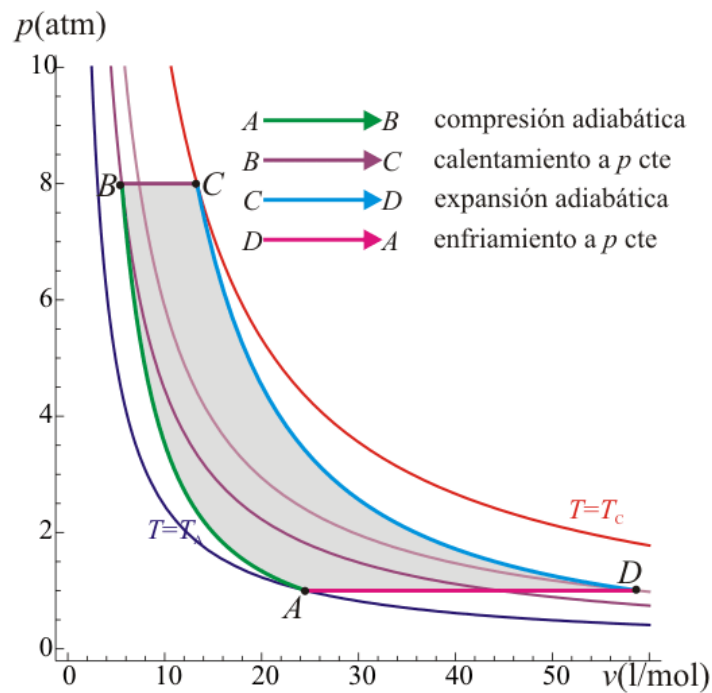
*Ciclo Otto teórico - Escape*



<https://www.shutterstock.com>

**Figura 19**

*Ciclo de un Motor de Cuatro Tiempos en el Diagrama P-V*



Nota. <http://laplace.us.es>

## 2.2.6. Hidrogeno

La palabra francesa Hydrogène, derivada del latín hidrogenio, es el origen del término hidrógeno. Representado como (H) en la tabla periódica, el hidrógeno es el elemento más abundante del universo. Posee cualidades no tóxicas y, gracias a sus propiedades químicas y físicas únicas, sirve como combustible perfecto para varios tipos de motores. (Franco, 2010).

**Figura 20**

*Información General del Hidrogeno*

| 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·K)   |
| RADIO DE VAN DER WAALS          | 120 pm                | CALOR ESPECÍFICO       | 14304 J/kg·K     |
| RADIO IÓNICO                    | 2,08 o 154 pm         | PUNTO DE FUSIÓN        | 14,025 K         |
| NÚMERO DE OXIDACIÓN (ÓXIDO)     | 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 EN EL SI (SISTEMA INTERNACIONAL) Y EN CONDICIONES NORMALES (0°C Y 1 ATM), SALVO QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

Nota. (Franco, 2010)

Existen varios beneficios clave al utilizar hidrógeno como fuente de energía, que incluyen:

- Reservas sin límites.
- No producen emisiones netas de gases de efecto invernadero ni de ningún otro contaminante.

Cabe mencionar que existe una importante abundancia de hidrógeno en el universo, y los medios actuales para adquirirlo derivan de diversos orígenes.



### 2.2.6.1. Propiedades Físicas

Después del helio, el hidrógeno ocupa el segundo lugar en la tabla periódica con los puntos de ebullición y fusión menos elevados. Su estado líquido se puede observar por debajo de su punto de ebullición que es de  $252,77^{\circ}\text{C}$ , mientras que su estado sólido se puede observar por debajo de su punto de fusión a  $259,2^{\circ}\text{C}$  bajo presión atmosférica normal.

Cuando las temperaturas bajan de los  $-73^{\circ}\text{C}$ , alcanzan mínimos tan extremos que pueden catalogarse como criogénicas. A estas gélidas temperaturas, todos los líquidos se denominan criogénicos.

La temperatura a la que un combustible alcanza su punto de ebullición es un factor esencial ya que determina la temperatura de enfriamiento requerida para su almacenamiento y uso en su forma líquida. En comparación con los combustibles gaseosos, los combustibles líquidos ocupan menos espacio de almacenamiento y son más cómodos de transportar.

La combinación de hidrógeno y oxígeno para crear agua es un proceso que ocurre a un ritmo excepcionalmente lento cuando se expone a temperatura ambiente. Sin embargo, cuando se introduce un catalizador, como el platino, o una chispa eléctrica, esta reacción se produce rápidamente con una naturaleza explosiva y contundente.

Una amplia gama de compuestos, que incluyen agua, ácidos, bases, compuestos orgánicos y minerales, están formados por hidrógeno junto con otros elementos. Hidruros es el término que se utiliza normalmente para describir compuestos en los que el hidrógeno se combina con un solo elemento más.

Existen diferentes métodos para la producción de gas hidrógeno, cada uno diseñado para cumplir requisitos específicos como la pureza requerida, cantidad deseada, disponibilidad y costo de las materias primas.

**Tabla 2***Propiedades Físicas Del Hidrogeno*

| <b>Propiedades físicas</b>      |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Estado ordinario</b>         | Gas  |
| <b>Densidad</b>                 | 0.0899 Kg/m <sup>3</sup>                     |
| <b>Punto de inflamabilidad</b>  | 255 K (-18 °C)                               |
| <b>Punto de fusión</b>          | 14.025 K (-259° C)                           |
| <b>Punto de ebullición</b>      | 20.268 K (-253°C)                            |
| <b>Entalpia de fusión</b>       | 0.1190 KJ/mol                                |
| <b>Entalpia de vaporización</b> | 0.8985 KJ/mol                                |
| <b>Presión de vapor</b>         | 209 Pa a 23 K                                |
| <b>Punto critico</b>            | 23.97 K (-249°C)<br>1,293x10 <sup>6</sup> Pa |
| <b>Volumen molar</b>            | 22,42x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /mol   |

Nota: (Franco, 2019)

### 2.2.6.2. COLOR, GUSTO Y OLOR

(Franco, 2019) El hidrógeno en su forma pura carece de cualquier olor, matiz o sabor discernible. En caso de fuga de hidrógeno, su presencia sería casi imperceptible durante las horas del día.

Normalmente, cuando el hidrógeno se deriva de combustibles fósiles alternativos, se encuentra comúnmente junto con dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno, monóxido de carbono (CO) y varios otros gases. Estos gases adicionales, al igual que el hidrógeno, carecen de olor, color o sabor distintivos. (p.39)

### 2.2.6.3. Toxicidad

Si bien el hidrógeno en sí no posee propiedades tóxicas, sí tiene el potencial de funcionar como asfixiante al desplazar el oxígeno presente en la atmósfera. Es importante



señalar que los niveles de oxígeno inferiores al 19,5% son inadecuados para el sustento humano. La deficiencia de oxígeno puede tener diversas consecuencias, como hiperventilación, disminución del funcionamiento cognitivo, coordinación muscular comprometida, deterioro de la capacidad de tomar decisiones, sentimientos de melancolía, volatilidad emocional y agotamiento. Si las concentraciones de oxígeno caen por debajo del 12%, los individuos pueden perder el conocimiento abruptamente, sin ningún síntoma previo.

Es fundamental tener precaución al manipular hidrógeno en áreas confinadas, ya que una fuga podría provocar una asfixia mortal. Además, el hidrógeno es altamente inflamable y plantea riesgos importantes si se inhala.

Al considerar la mezcla de hidrógeno con otros gases, como dióxido de carbono, monóxido de carbono y nitrógeno y otros, es importante reconocer que estos gases también pueden funcionar como asfixiantes al desplazar el oxígeno. Además, (CO) monóxido de carbono, al ser un gas tóxico, supone un importante riesgo para la salud.

#### 2.2.6.4. Densidad

Según la tabla proporcionada, el hidrógeno presenta una densidad de 1 atm (760 mm Hg).

Densidad del hidrogeno

| ITEM    | T (°C) | Densidad (g/cm³) | Densidad (kg/m³) |
|---------|--------|------------------|------------------|
| Líquido | -253   | 0.07             | 70               |
| Gas     | 0      | 0.0000899        | 0.0899           |

Nota. (Gámez Franco, Otras fuentes de energía, 2019)

#### 2.2.6.5. Relación de Expansión

A medida que el hidrógeno pasa de un estado líquido a condiciones atmosféricas, se evapora y experimenta una expansión simultánea de volumen. Esto se debe a que para

que el hidrógeno permanezca en estado líquido debe mantenerse a una temperatura de  $-253^{\circ}\text{C}$ .

En condiciones atmosféricas típicas, el hidrógeno se expande en una proporción de 1:848 en su forma gaseosa. Esto significa que el volumen que ocupa es 848 veces mayor respecto a su estado líquido.

A temperatura ambiente, el hidrógeno tiene la capacidad de almacenarse como gas a alta presión, alcanzando hasta 250 bar. Cuando se libera a presión atmosférica, su capacidad de expansión es una impresionante proporción de 1:240.

### Figura 21

*Relación de Expansión del Hidrogeno de Líquido a Gas*



Nota. (Gámez Franco, 2019)

#### 2.2.6.6. Fugas

Debido a su tamaño molecular más pequeño, el gas hidrógeno tiene la capacidad única de atravesar materiales que normalmente se consideran herméticos o impermeables a otros gases. Esta característica distintiva plantea un desafío a la hora de contener hidrógeno en comparación con otros gases.

Es fundamental reconocer que, en caso de fuga de hidrógeno líquido, se debe observar que la fuga se vaporizará rápidamente debido al punto de ebullición notablemente bajo del hidrógeno, como se mencionó anteriormente.

El peligro potencial de las fugas de hidrógeno radica en su capacidad de encenderse cuando se combinan con el aire, lo que las convierte en una situación peligrosa. Sin embargo, el tamaño compacto de las moléculas de hidrógeno, que contribuye a la probabilidad de fugas, también juega a nuestro favor, ya que el hidrógeno que se escapa se dispersa y diluye rápidamente, especialmente en ambientes exteriores.

En la utilización de hidrógeno como fuente de combustible, es imperativo considerar cuidadosamente el diseño del sistema de combustible debido a la posible aparición de fugas. Esta medida de precaución garantiza que cualquier fuga se pueda dispersar y diluir eficazmente para una seguridad óptima.

### 2.2.6.7. Propiedades químicas

Todos los combustibles químicos comparten la característica común de ser altamente reactivos. Esta reactividad se demuestra mediante la formación de enlaces entre las moléculas del combustible y el oxígeno del aire, lo que da como resultado una reacción química. Como resultado de esta reacción, las moléculas sufren una disminución de energía respecto a su estado inicial, antes de reaccionar.

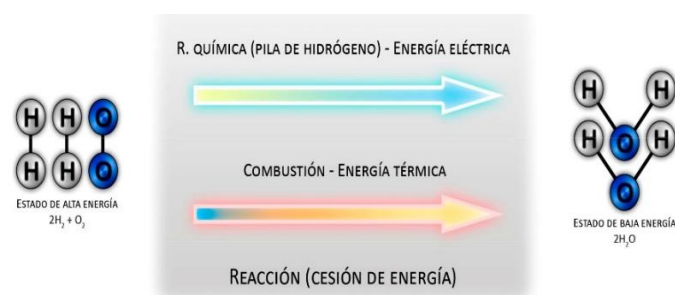
La reacción de las moléculas da como resultado un cambio en su nivel de energía, lo que a su vez genera una liberación de energía que puede aprovecharse con el fin de generar resultados productivos.

Para que ocurra una reacción química como esta, es necesario aportar una cantidad de energía de activación en el caso de la combustión, o se pueden utilizar catalizadores para agilizar la reacción en el caso de las pilas de combustible.

Una vez que comience la reacción, se generará energía, ya sea en forma de electricidad o calor. Además, se producirá agua como subproducto de esta reacción, que también se puede utilizar.

### Figura 22

#### *Estado de la Energía Química*



Nota. (Franco, 2010)



La energía de activación es frecuentemente necesaria para el inicio de reacciones químicas de esta naturaleza.

Al introducir una pequeña cantidad de energía explosiva en una combinación de hidrógeno y oxígeno, las moléculas responden rápida y rápidamente, lo que da como resultado la liberación de una cantidad sustancial de calor, lo que en última instancia conduce a la producción de agua.

El proceso de generación de agua combinando hidrógeno y oxígeno mediante combustión se puede revertir.

Cuando se trata de minimizar la contaminación, el hidrógeno surge como una opción de combustible excepcionalmente favorable debido a su total ausencia de componentes carbonosos o sulfurosos. En consecuencia, la combustión de hidrógeno no produce emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, SOX, NOX u hollín. (Franco, 2010)

#### 2.2.6.8. Energía

La medición del poder calorífico puede arrojar diferentes magnitudes. Hay dos formas de medirlo, por lo que se utilizan los términos mayor poder calorífico (PCS) y menor poder calorífico (PCI).

- PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS): El valor calórico neto, conocido también como la cantidad total de calor liberado al quemar completamente 1 kg de combustible, considera la condensación del vapor de agua que se genera durante la combustión. Esto implica tener en cuenta el calor liberado durante el cambio de fase.

- PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI): El calor generado por la reacción de combustión se puede utilizar eficazmente sin depender de la energía producida por la condensación de agua u otros procesos secundarios.

El hidrógeno posee una PCS de 141,86 kJ/g cuando se somete a una temperatura de 25 °C y una presión de 1 atm. Las mismas condiciones producen un PCI de 119,93 kJ/g para el hidrógeno.



Debido a su condición de elemento más ligero y a la falta de átomos de carbono pesados, el hidrógeno posee la relación peso-energía más favorable entre todos los combustibles. Esta característica ha llevado a su uso generalizado en diversos programas espaciales, donde el peso juega un papel vital.

La energía liberada cuando el hidrógeno se quema es aproximadamente 2,5 veces mayor que el calor generado por la combustión de hidrocarburos de uso común como gasolina, diésel, metano y propano.

#### **2.2.6.9. Densidad de la energía**

La densidad energética de un combustible se determina multiplicando su contenido energético (PCI) por su densidad, lo que indica la cantidad de energía contenida en un volumen específico de combustible.

A pesar de la baja densidad energética del hidrógeno debido a su baja densidad, cuenta con la mejor relación peso-energía entre todos los combustibles, gracias a su naturaleza ligera. Sin embargo, esto plantea un desafío a la hora de utilizar hidrógeno en vehículos urbanos como coches y motocicletas. Debemos encontrar una manera de desarrollar un sistema de tanque-combustible que pueda almacenar una alta densidad de energía sin agregar peso excesivo ni comprometer su longevidad.

La forma de almacenamiento de un combustible, ya sea líquido o gaseoso, tendrá un impacto en su densidad energética. Además, si el combustible se almacena en estado gaseoso, también afectará la presión a la que se almacenó.

#### **2.2.6.10. Inflamabilidad**

Para que se produzca un incendio o una explosión, deben estar presentes tres elementos esenciales: combustible, oxidante y una fuente de ignición. Tomemos, por ejemplo, la combinación de hidrógeno y oxígeno, que, cuando va acompañada de una chispa, puede provocar tal reacción.

La combustión se ve favorecida porque el hidrógeno o el metano están en forma gaseosa, a diferencia de la gasolina y el diésel que se encuentran en estado líquido.

Para que se produzca la combustión, estos combustibles líquidos primero deben sufrir una evaporación para transformarse en un estado gaseoso o vapor.

**Tabla 3:***Temperaturas de autoencendido*

| Combustible | Punto de inflamación |
|-------------|----------------------|
| Hidrógeno   | <-253°               |
| Metano      | -188                 |
| Propano     | -10                  |
| Gasolina    | -43° c               |
| Diesel      | Entrar               |
| Metanol     | -11 °                |
| Etanol      | 13 °C                |

**Nota. (Franco, 2010)**

El punto de inflamación de un combustible es la característica definitoria que determina su tasa de evaporación. Se refiere a la temperatura mínima a la que el combustible libera suficientes vapores inflamables para encenderse cuando se expone a una fuente de ignición, sin provocar que se quemara todo el combustible líquido.

En el caso del combustible, es especialmente importante el punto de inflamación, que siempre es inferior al punto de ebullición. Cuando los combustibles se encuentran en forma de gas en condiciones normales de presión y temperatura, sus puntos de ignición son considerablemente menores que la temperatura ambiental. Sin embargo, esto tiene una importancia mínima porque el combustible ya está completamente vaporizado.

Comprender el punto de inflamación, que es el momento óptimo para la ignición de combustibles líquidos, es crucial para prevenir riesgos de incendio.

### 2.2.7. Obtención del hidrogeno

En el ámbito de la investigación, el hidrógeno se ha convertido en un tema destacado de investigación. Esto se atribuye a su doble naturaleza como combustible



eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Actualmente se están realizando amplios estudios para mejorar la eficiencia de la producción de hidrógeno. El atractivo de este elemento reside en su abundante disponibilidad, aunque no se puede encontrar en su forma pura. El hidrógeno diatómico, la molécula más básica de hidrógeno, no se encuentra naturalmente en nuestro planeta. Sin embargo, puede derivarse del agua y los hidrocarburos mediante diversos métodos, como procesos eléctricos, térmicos, químicos o bioquímicos.

La clasificación de la adquisición de hidrógeno depende de la fuente de energía empleada durante el procedimiento, que puede clasificarse como eléctrica, térmica, fotónica o bioquímica.

Existen múltiples métodos disponibles para adquirir hidrógeno, que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Energía fotónica
- Energía térmica
- PV-electrolisis (agua)
- Gasificación
- Foto-catálisis (agua)
- Conversión de biomasa
- Termólisis
- Bio-fotolisis (agua)
- Método foto-electro-químico (agua)
- Fermentación oscura (biomasa)
- Energía bioquímica
- División de agua
- Enzimática (agua)
- Energía eléctrica
- Electrolisis (agua)
- Termo catálisis

➤ Proceso termoquímico

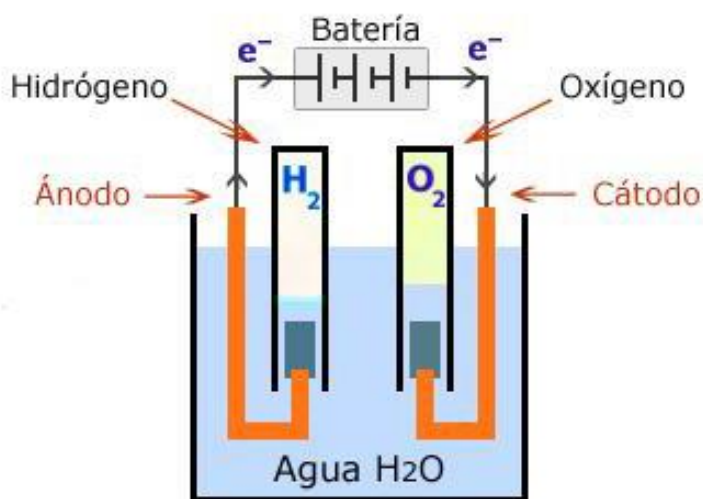
A continuación, profundizaremos en los diversos métodos comúnmente empleados para adquirir hidrógeno, con especial atención a la electrólisis, que sirve como un excelente ejemplo dentro del alcance de esta investigación.

### 2.2.7.1. Electrólisis

El procedimiento consiste en sumergir dos electrodos en una solución, normalmente agua, y conectarlos a una corriente eléctrica. El ánodo es el electrodo conectado al polo positivo, mientras que el cátodo es el electrodo conectado al polo negativo. Cada uno de estos electrodos atrae iones que tienen una carga opuesta a la suya, siendo el ánodo el que atrae iones negativos y genera oxígeno, mientras que el cátodo atrae iones positivos y produce hidrógeno.

**Figura 23**

*Electrolizador*



*Nota. (Castaños, 2016)*

Es crucial tener en cuenta ciertos factores clave:

- Bajo ninguna circunstancia se deben conectar los electrodos entre sí, ya que esto interrumpirá el flujo previsto de corriente eléctrica y provocará que la batería se

caliente excesivamente y potencialmente se incendie.

- Es imperativo utilizar exclusivamente corriente continua, que se puede obtener de baterías o adaptadores de corriente, y evitar el uso de corriente alterna, que se deriva del enchufe de red.

- Para garantizar la seguridad durante la electrólisis, es fundamental evitar que los dos gases liberados entren en contacto. Si el oxígeno y el hidrógeno se combinaran en su proporción estequiométrica, se formaría una mezcla altamente explosiva.

- Exponer agua a un catalizador es un método para generar agua una vez más.

- Si bien el calor sigue siendo la técnica predominante, existen métodos alternativos como emplear platino en forma de lana o polvo. Sin embargo, se debe tener precaución al adoptar este enfoque, ya que requiere la introducción precisa de cantidades mínimas de hidrógeno junto con oxígeno y un catalizador. Este meticuloso procedimiento garantiza una combustión regulada del hidrógeno, dando como resultado una llama suave. Desatender estas medidas de seguridad podría provocar un suceso desafortunado.

- Para determinar el electrolizador adecuado a partir de un catálogo, el único factor a considerar es el caudal de hidrógeno deseado que se espera que genere el sistema.

#### **2.2.8. Estado actual del diseño de electrolizadores**

El electrolizador funciona como un dispositivo para realizar electrólisis, lo que permite la producción de hidrógeno. Consta de componentes clave como el ánodo, el cátodo, la fuente de energía y el electrolito, tal y como se muestra en el diagrama adjunto. Bajo la influencia de un flujo continuo de carga eléctrica, los electrones son impulsados desde el terminal negativo de la fuente de energía hacia el cátodo. Una vez que llegan al cátodo, se combinan con iones de hidrógeno (también conocidos como protones) para generar hidrógeno, asegurando así el equilibrio eléctrico. Al mismo tiempo, los iones de hidróxido atraviesan la solución electrolítica y se dirigen hacia el ánodo. Es en el ánodo donde los electrones se reúnen con el terminal positivo de la fuente de energía.



## 2.2.8.1. Materiales

Al construir un electrolizador, es fundamental considerar varios factores clave, incluida la elección de los materiales para el ánodo, el cátodo y el separador, así como la eficiencia general del electrolizador. El ánodo juega un papel vital en la recolección del oxígeno producido durante el proceso de separación del agua. Por tanto, es susceptible a la corrosión, lo que puede dificultar su rendimiento y disminuir la eficiencia de todo el sistema. Para solucionar este problema, se emplean materiales especiales y métodos específicos en la fabricación del ánodo.

Existe una amplia variedad de materiales creados específicamente para su uso como ánodos. Sin embargo, estos materiales se pueden clasificar en diferentes grupos:

- Varios tipos de óxidos, incluidas las espinelas, ferritas y otros, presentan características estructurales distintas..
- Materiales que proporcionan aislamiento.
- Aleaciones hechas de níquel o cobalto.
- Compuestos orgánicos que contienen metales.

La composición de estos materiales suele estar formada predominantemente por níquel y cobalto, siendo estos elementos la mayoría. El tratamiento térmico es el método más comúnmente empleado para obtener estos materiales anódicos.

El componente que asegura el aislamiento del ánodo del cátodo se conoce como separador. Normalmente se construye con amianto, que sigue siendo el material principal, y a menudo se combina con níquel para mejorar sus propiedades mecánicas. Alternativamente, se puede utilizar titanato de potasio para mejorar su funcionalidad como intercambiador de iones. Además, se utilizan ácido poliantimónico y óxido de circonio para mejorar aún más sus propiedades.

Ha habido sugerencias de materiales alternativos, incluida una malla de níquel recubierta de cerámica o una placa de metal poroso, que pueden permitir selectivamente el paso del hidrógeno y al mismo tiempo evitar burbujas de gas más grandes. Además, el



cátodo, otro componente del sistema, debe estar compuesto de materiales específicos para minimizar la aparición de exceso de potencial durante la reacción del hidrógeno.

Actualmente se están desarrollando numerosos materiales catódicos, siendo el níquel y el cobalto los elementos predominantes incorporados a su composición. De hecho, estos dos elementos suelen ser los constituyentes principales de estos materiales.

La adquisición de estos materiales implica la utilización de diversas técnicas, algunas de las cuales son complejas, desafiantes o sencillas de realizar. Cabe destacar que la electrólisis emerge como una técnica predominante en el proceso de fabricación de estos materiales, lo que la convierte en un método prometedor a nivel industrial para lograr su producción.

#### **2.2.8.2. El hidrógeno:**

Se sugiere una alternativa que no funcione como fuente de poder. Esta alternativa se plantea como una opción viable de combustible para el transporte debido a su falta de contaminación y su capacidad para ser utilizado en forma líquida, similar a los derivados del petróleo. Sin embargo, la disponibilidad de hidrógeno libre en la naturaleza es increíblemente escasa y la energía necesaria para obtenerlo supera la energía que finalmente proporciona. Además, mantener el hidrógeno en forma líquida requiere temperaturas extremadamente bajas y ocupa un mayor volumen por unidad de energía en comparación con la gasolina o el diésel. La implementación del hidrógeno como combustible también requeriría adaptaciones importantes en los vehículos actuales, así como en los sistemas de transporte y distribución del combustible.

Una posible solución para abordar la cuestión del almacenamiento y transporte de energía es explorar fuentes alternativas como la energía renovable. Esto no sólo ayuda a mitigar el problema, sino que también sirve como combustible necesario para la fusión nuclear. Al utilizar esta energía para tales fines, donde la energía obtenida de las reacciones de fusión supera la energía invertida en su producción, podemos comenzar a



verla como una fuente de energía viable, aunque no esté fácilmente disponible en abundancia en la Tierra. (Franco, 2010)

### **2.2.8.3. Energía renovable:**

La utilización de fuentes renovables como el viento, el agua y la radiación solar es la encargada de aprovechar la energía.

Su forma natural se puede obtener directamente o producir por medios alternativos.

### **2.2.8.4. Electrolisis:**

El término "electrólisis" se deriva de la combinación de dos palabras radicales: "electro", que pertenece a la electricidad, y "lisis", que significa ruptura. También se utiliza para describir el fenómeno en el que se aprovecha la energía eléctrica para inducir transformaciones químicas. Esto se logra mediante una reacción redox no espontánea facilitada por el paso de una corriente eléctrica.

En el ámbito de los métodos de separación química, la electrólisis es una técnica destacada. Ampliamente empleado en diversas industrias, sirve como medio principal para adquirir cloro, hidrógeno y oxígeno.



## CAPITULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Enfoque

La investigación desarrollada en el presente proyecto se basa en un enfoque cualitativo:

#### 3.2. Método de la investigación

Según Hernández, Fernández y Batista (2019). La investigación es una actividad enfocada en adquirir nuevo conocimiento o en aplicar conocimientos existentes para resolver problemas específicos, utilizando un proceso que es comprensible, comunicable y reproducible. Puede abarcar diversas áreas del saber humano y puede involucrar diferentes tipos de razonamientos y procedimientos, dependiendo del método de investigación seleccionado.

El método lógico-deductivo implica la aplicación de principios generales a casos particulares, utilizando una cadena de razonamientos. Este método se desarrolla en dos etapas: Esto pasa por: 1) Descubrimiento de principios desconocidos a partir de los ya conocidos, y 2) descubrir consecuencias desconocidas de principios ya conocidos.

#### 3.3. Diseño de investigación

Investigación NO EXPERIMENTAL: La investigación no experimental se caracteriza por observar y analizar fenómenos, acontecimientos, o contextos tal como



ocurren de manera natural, sin la intervención o manipulación directa del investigador. En este tipo de investigación, no se construyen situaciones artificiales; en su lugar, se estudian situaciones preexistentes. El enfoque se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que ya han ocurrido o se presentan sin la influencia del investigador. Esencialmente, el investigador observa estos elementos en su entorno natural para luego analizarlos y extraer conclusiones. (p. 157)

### **3.4. Nivel de la investigación**

Según Hernández, Fernández y Batista (2019), El nivel descriptivo exploratorio se enfoca en la descripción detallada de fenómenos, hechos o acontecimientos en cualquier ámbito del conocimiento, tomando en cuenta un contexto temporal y geográfico específico que delimita su alcance. Este tipo de investigación busca proporcionar una comprensión inicial y detallada de los fenómenos observados, estableciendo una base que puede ser utilizada para investigaciones futuras más profundas o específicas. (p. 245)

Determinación del Nivel

Objetivo es explorar y entender un fenómeno poco estudiado, estás realizando una investigación exploratoria.

Objetivo es describir detalladamente un fenómeno conocido, estás realizando una investigación descriptiva.

Ambos niveles son cruciales en la investigación cualitativa y no experimental, ya que permiten obtener una comprensión profunda y detallada del tema de estudio sin manipular las variables.

### **3.5. Tipo de la investigación**

Aplicada

### **3.6. Objeto de estudio**

El foco del estudio serán los motores de combustión que se encuentran en la ciudad de Juliaca.

### 3.7. Ubicación y descripción de la población

**Tabla 4**

*Nivel de presión atmosférica según altitud para la región Puno*

| UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN  |               |
|--------------------------|---------------|
| Departamento             | Puno          |
| Provincia                | San Román     |
| Distrito                 | Juliaca       |
| Altitud                  | 3825 m.s.n.m. |
| Longitud sur             | 15°50'36"     |
| Longitud oeste           | 70°01'25"     |
| Temperatura media        | 8.4°C         |
| Temperatura máxima media | 17.5°C        |

Nota. (<https://es.climate-data.org/>, s.f.)

### 3.8. Técnicas e instrumentos para recolectar información

Todos los artículos, bibliografías, informes y otras fuentes relevantes relacionadas con los generadores de hidrógeno en motores de ciclo Otto servirán como fuentes principales para recopilar datos e información.

**Tabla 5**

*Técnicas e Instrumentación Para Recepción Información*

| TÉCNICAS  | INSTRUMENTOS               |
|---|----------------------------|
| Se empleará el método de "análisis documental", que implica la recopilación de información de diversas fuentes secundarias como artículos científicos, libros, folletos y boletines. Estas fuentes servirán como referencias valiosas para recopilar datos. | Ficha de registro de datos |

Nota. Elaboración propia

### 3.9. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

En el ámbito del procesamiento de datos no se utilizarán pruebas específicas o estadísticas, ya que esta investigación se centra únicamente en el análisis. En



consecuencia, el investigador realizará personalmente el análisis comparando y contrastando los hallazgos de otros autores.

### **3.10. Plan de tratamientos de los datos**

Para garantizar la eficiencia de las células en un contexto operativo determinado, es fundamental elegir cuidadosamente el tipo de electrodos más adecuado. Esta decisión es de suma importancia debido a las potenciales fugas de energía que pueden ocurrir tanto en las celdas como en el almacenamiento del combustible de hidrógeno. Es importante destacar que la elección de los electrodos tendrá un impacto directo en la generación de hidrógeno y en el rendimiento global del motor.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1. Diseño de las celdas de HHO

Crear y ensamblar estas células es una tarea que cualquiera puede realizar. Sin embargo, obtener información confiable y completa sobre este tema es un desafío. Los libros e Internet provocan un debate sustancial sobre esta investigación, principalmente por sus efectos potenciales en el mercado y la economía de la nación que la implementa.

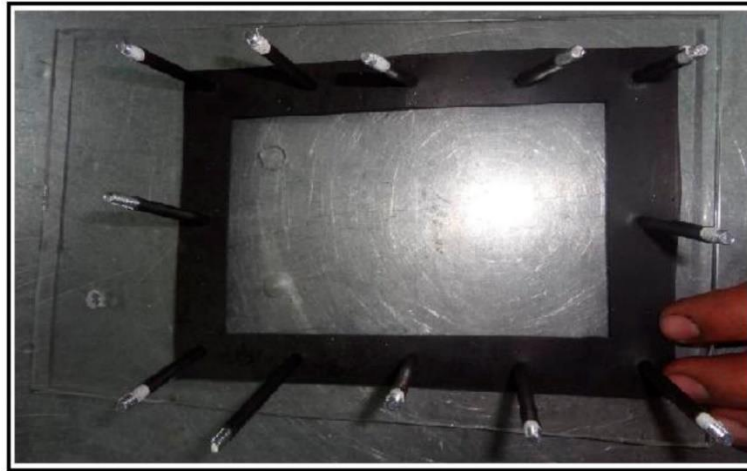
Actualmente no existe ninguna construcción de celdas que pueda garantizar una eficiencia óptima para todos los motores. Sin embargo, es posible personalizar este accesorio portátil para adaptarlo a cualquier motor utilizando las especificaciones del proveedor y realizando cálculos precisos que tengan en cuenta las posibles pérdidas de energía. Es fundamental evitar parámetros mal ajustados, ya que pueden provocar fallos o incluso la destrucción de varios componentes del motor.

##### 4.1.1. Elementos del generador de hidrogeno

Para lograr la configuración deseada (-nnnn+nnnn-), es imprescindible reunir todos los materiales necesarios mencionados anteriormente. Es importante tener en cuenta que cada perno debe sellarse adecuadamente antes de insertarlo en las placas de metal acrílico. Esto permitirá la inserción suave de la junta de goma inicial.

**Figura 24**

*Ensamble de los pernos con el metal acrílico*



Nota. Elaboración propia

**Figura 25**

*Ensamble del electrodo*



Nota. Elaboración propia

#### 4.1.2. Consumo por litro de HHO (Voltaje y amperaje)

Al comprender la cantidad exacta de HHO consumida por litro, se puede evitar la necesidad de realizar ajustes para rectificar fallas de diseño. Normalmente, en estos experimentos, el paso inicial implica construir la celda, seguido de una evaluación y corrección de cualquier error.

$$C_l = \frac{W_t}{LPH} = \frac{(V_T * A_T)}{LPH} \left[ \frac{W_H}{l} \right]$$

Donde:

$C_l$ : Consumo de litro por hora

$W_t$ : Potencia total

$V_T$ : Voltaje total

$A_T$ : Amperaje total

$LPH$ : Litros por hora

#### 4.1.3. Separación entre electrodos

La división entre los motores vendrá determinada por la cantidad de gas requerida o producida por cada motor, así como por el amperaje que se puede utilizar en la celda para optimizar la eficiencia dentro del marco operativo actual tanto del motor como del generador de hidrógeno.

Para garantizar un rendimiento óptimo en una batería típica con un rango de corriente de 15 a menos amperios, se recomienda tener una separación de placas de 2 a 4 mm. Sin embargo, si la capacidad aumenta de 15 a 40 amperios, es aconsejable aumentar la separación de 4 a 8 mm para mejorar la eficiencia del flujo de corriente. El motivo de esta separación es permitir la generación de gas dentro del electrolito, lo que produce burbujas y formación de espuma. Sin este espacio necesario, se formarían espacios sin líquido entre los electrodos, lo que en última instancia disminuiría la eficiencia de la celda.

#### 4.1.4. Material para los electrodos

El acero inoxidable es la opción preferida para los electrodos debido a sus excelentes propiedades eléctricas. Si bien el níquel posee una conductividad superior, es susceptible a la fragilización por el hidrógeno y tiene un precio elevado. Por ello, es recomendable optar por el acero inoxidable, que puede recubrirse con níquel en determinados casos para conseguir un rendimiento eléctrico óptimo y al mismo tiempo

garantizar la resistencia a la fragilización y la corrosión. Para obtener resultados óptimos, se recomienda acero inoxidable de grado 316, conocido por su resistencia superior a la corrosión.

#### 4.1.5. Densidad de corriente y superficie de los electrodos

La fórmula proporcionada nos permite calcular la densidad de corriente en la celda, que se refiere a la cantidad de corriente que fluye por unidad de área en la superficie de un electrodo.

$$d_c = \frac{I_E}{S_E} = \frac{I_E}{n * S_E} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

Donde:

$I_E$ : intensidad que circula a través del electrodo

$d_c$ : densidad de corriente

$S_E$ : superficie del electrodo

$n$ : numero de agrupaciones de celdas

#### 4.1.6. Voltaje real entre placas y número de placas neutras

La ecuación utilizada para calcular el área de las placas es la siguiente:

$$n = \frac{V_T}{V_C} + 1$$

Donde:

$n$  número de placas por agrupación

$V_T$  voltaje total de la celda

$V_C$  voltaje calculado entre electrodos

Después de redondear el valor derivado de esta ecuación, los extremos del grupo de placas se vincularán a la fuente de energía, con cada extremo unido a polos opuestos.

Para calcular el voltaje preciso entre las placas, emplearemos la siguiente ecuación:



$$V'_c = \frac{V_T}{n - 1}$$

Donde:

$n$  número de placas por agrupación

$V_T$  voltaje total de la celda

$V'_c$  nuevo voltaje entre electrodos

#### Propiedades comparadas del hidrogeno, metano y gasolina

*Nota. (Sánchez, 2003)*

#### 4.2. Componentes

Tanque de reserva: El tanque de trabajo se abastece de agua desde un lugar de almacenamiento.

Tanque de trabajo: Se utilizará una bomba para regular el flujo de agua al generador de hidrógeno.

Generador de hidrogeno: El lugar designado para el proceso de electrólisis, destinado a dividir el hidrógeno y el oxígeno, implicará la disposición de placas colocadas a una distancia específica entre sí.

Válvulas: El modelo de diseño del generador de hidrógeno incluye diversos componentes que se encargan de regular gases o líquidos.

Filtro: Un componente de limpieza de agua diseñado para purificar el agua antes de reintroducirla en el tanque de trabajo.

Tanque: lugar de almacenamiento de hidrógeno, o un elemento crucial que garantiza el suministro ininterrumpido de combustible (hidrógeno) para el motor.

Arresta llamas: Existe una medida de seguridad para evitar cualquier posible ignición que pueda ocurrir como resultado del hidrógeno dentro del tanque de almacenamiento.

Motor: El lugar donde se puede emplear el combustible para producir energía mecánica al encender hidrógeno en un proceso de combustión.

### 4.3. Almacenamiento del hidrogeno

El principal desafío para llevarlo al mercado de manera rentable y segura es el almacenamiento. El hidrógeno, en su forma gaseosa natural, posee la densidad más baja entre todos los elementos y tiene un punto de ebullición excepcionalmente bajo. Si bien se cree que tiene un alto contenido de energía por unidad de masa, su densidad de energía por unidad de volumen es significativamente menor. En consecuencia, un volumen determinado de hidrógeno contiene mucha menos energía en comparación con otras fuentes de combustible.

Para acomodar las necesidades de almacenamiento será necesario un sistema de mayor tamaño, con un peso equivalente al resto de sistemas.

**Figura 26**

*Cuadro Comparativo Volumen y Peso de Combustibles*



Nota. (Gámez Franco, 2019)

Debido al requisito de que el almacenamiento de hidrógeno soporte altos niveles de presión, suele ser más grande o de mayor tamaño. Este factor, en comparación con la gasolina o el diésel, supera la ventaja de la relación peso-energía.

#### 4.3.1. Gas a alta presión (CGH2)

Se utilizan los sistemas más habituales y actualmente avanzados para almacenar hidrógeno a alta presión. Al igual que cualquier otro gas, el hidrógeno tiene la capacidad de comprimirse.

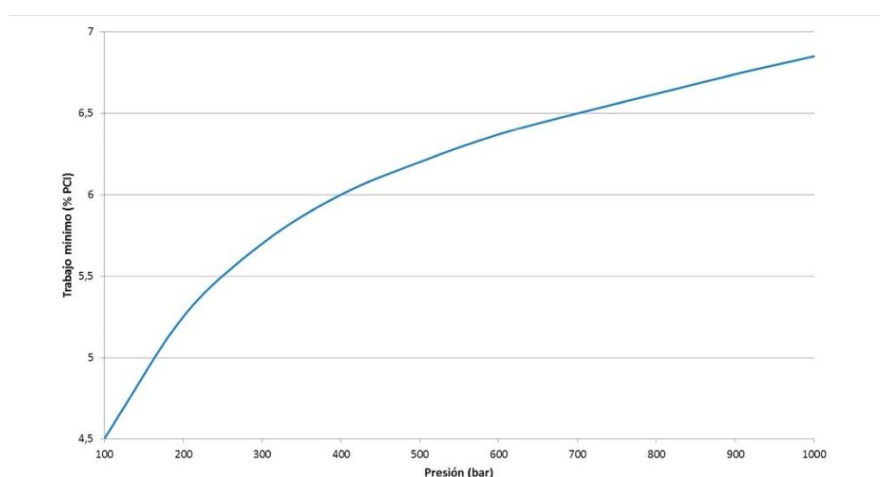
En la actualidad, las presiones operativas predominantes son de 200 bar, pero los equipos más avanzados son capaces de alcanzar la asombrosa cifra de 700 bar.

En el gráfico siguiente se muestra el umbral mínimo necesario para comprimir hidrógeno. Al considerar la energía química presente en el hidrógeno, es crucial tener en cuenta el consumo de energía asociado con las compresiones isotérmicas reversibles con fines de almacenamiento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el consumo real supera el valor teórico. En consecuencia, la estimación inicial del 5,3% necesaria para alcanzar una presión de 200 bar es ligeramente inferior al 10% en la práctica.

Para conseguir una presión de 700 bar el consumo mínimo necesario es del 6,5%. Esta cantidad es sólo un 22% superior a la necesaria para alcanzar una presión de 200 bar,

#### Figura 27

*Compresión y Energía Contenida en el Hidrogeno*



Nota. (Franco, 2010)

La densidad del hidrógeno depende de la presión a una temperatura de 0°C.

El hidrógeno normalmente se transporta y suministra mediante botellas de acero, que se utilizan comúnmente para almacenar gas natural. Estas botellas están presurizadas a 200 bar y pueden emplearse en diversas aplicaciones, como procesos de soldadura y creación de atmósferas inertes.

Estos cilindros, normalmente contruidos con acero duradero y materiales resistentes, cuentan con una larga vida útil debido a su alta resistencia. La avanzada tecnología empleada en estos cilindros permite presiones de 200 bares o más.

### Figura 28

*Cilindro de Tipo III*



Nota. (Gámez Franco, 2019)

En cuanto a la presión, los cilindros de tipo I y II pueden soportar presiones de trabajo de aproximadamente 300 bar, mientras que los tipos III y IV están diseñados para soportar presiones de hasta 700 bar. Estos cilindros están diseñados específicamente para fines de almacenamiento en vehículos, pero cuando se utilizan para aplicaciones estacionarias, pueden soportar presiones de hasta 800 bar. En programas de



investigación recientes, se han producido avances en la tecnología de los cilindros, y algunos cilindros ahora son capaces de soportar presiones de hasta 1000 bar.

Cabe mencionar que, al considerar costos, el tipo I, que puede soportar presiones de hasta 200 bar, tiene un precio aproximado de \$285 por kilogramo de H<sub>2</sub> de capacidad. Por otro lado, el tipo III, que puede soportar presiones de hasta 700 bar, tiene un precio de unos 1.140 dólares el kilogramo. Además, hay opciones disponibles que pueden soportar presiones de hasta 700 bar, pero pueden alcanzar hasta 2000 dólares por kilogramo.

Al considerar el aspecto del almacenamiento, el factor principal a considerar es si es necesario o no. Una posible solución podría ser el uso de un automóvil autosostenible con un generador de hidrógeno, ya que el transporte de combustible líquido es más eficiente que el gas. Otra posibilidad es equipar los autobuses con múltiples cilindros para maximizar la utilización del almacenamiento de hidrógeno.

La temperatura del entorno circundante puede provocar un aumento significativo de la presión, que puede superar el 10%. Es importante reconocer el peligro inherente de cualquier gas confinado dentro de un recipiente sellado, ya que posee la capacidad de impulsar objetos con fuerza o incluso actuar como mecanismo de lanzamiento de pequeños proyectiles como balas.

Los cilindros, a pesar del riesgo inherente que suponen, cuentan con un historial de seguridad impecable. Para garantizar su idoneidad para almacenar gases específicos, sus diseños se someten a rigurosas pruebas y deben obtener la certificación de seguridad necesaria. Antes de su puesta en uso, siempre se evalúa cuidadosamente la fiabilidad de cada contenedor.

#### 4.4. Resultados y análisis

##### 4.4.1. Empléamiento del generador de hidrógeno en la Ciudad de Juliaca

Haciendo referencia a la tabla 5, que proporciona información sobre la ubicación y descripción de la población, y a la tabla 6, que detalla las equivalencias atmosféricas en función de la altitud específicamente para la región Puno.

**Tabla 6**

*Ubicación y Descripción del Estudio*

| UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN  |               |
|--------------------------|---------------|
| Departamento             | Puno          |
| Provincia                | San Román     |
| Distrito                 | Juliaca       |
| Altitud                  | 3825 m.s.n.m. |
| Longitud sur             | 15°50'36"     |
| Longitud oeste           | 70°01'25"     |
| Temperatura máxima media | 17.5°C        |
| Temperatura media        | 8.4°C         |

Nota. (<https://es.climate-data.org/>, s.f.)

#### DENSIDAD DEL HIDROGENO:

Hallando la densidad del Hidrógeno con la ecuación de la ley de los gases ideales.

Donde:

$$PV = n \cdot R \cdot T$$

**n:** Número de moles de la sustancia

**R:** Constante de los gases ideales (constante universal)

**T:** Temperatura en escala absoluta

**P:** Presión barométrica

**V:** Volumen de la sustancia

Donde n, se puede interpretar de la masa de la sustancia entre la masa molar del

gas

$$n = \frac{w}{M} \text{ y } \beta = \frac{w}{V}$$

Donde:

**n:** Numero de moles de la sustancia

**w:** Masa de la sustancia

**M:** Masa característica del gas (masa molar)

**$\beta$ :** Densidad

Despejando la ecuación para hallar la densidad

$$\frac{P \cdot V}{V \cdot T} = \frac{w}{M} \text{ y } \beta = \frac{w}{V}$$

Reemplazando:

$$\frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \beta$$

Reemplazando los valores:

$$P = 63.3 \text{ kpa}$$

$$M = 1.008 * 2 = 2.016 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{k}}$$

La temperatura es el factor más variable en Juliaca a la hora de determinar la densidad, manteniendo una presión constante.

**Tabla 7**

*Densidad del Hidrogeno a Temperatura Máxima, Media y Mínima Promedio De la Ciudad de Juliaca*

| P    | V              | M       | R           | Temp | Temp   | B  | V                 |                    |
|------|----------------|---------|-------------|------|--------|----|-------------------|--------------------|
| kPa  | m <sup>3</sup> | Kg/kmol | kJ/kg<br>°k | °C   | °K     | °C | Kg/m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> /kg |
| 63.3 | 1              | 2.016   | 8.32        | 1    | 274.15 | 1  | 0.05595           | 17.87382           |
| 63.3 | 1              | 2.016   | 8.32        | 8    | 281.15 | 8  | 0.05455           | 18.33020           |
| 63.3 | 1              | 2.016   | 8.32        | 16   | 289.15 | 16 | 0.05305           | 18.85178           |

Nota. Elaboración Propia

**VOLUMEN ESPECÍFICO DEL HIDROGENO:**

La determinación del volumen preciso de hidrógeno se puede lograr mediante la siguiente ecuación.

$$v = \frac{1}{\beta}$$

Donde:

$v$ : Volumen específico

$\beta$ : Densidad del material

**Tabla 8***Volumen Específico del Hidrogeno*

| Temp. | B        | V        |
|-------|----------|----------|
| °C    | $Kg/m^3$ | $m^3/Kg$ |
| 1     | 0.08956  | 11.16618 |
| 8     | 0.08733  | 11.45129 |
| 16    | 0.08491  | 11.77713 |

**4.4.2. Resultados del diseño de las celdas de HHO**

Para garantizar un rendimiento óptimo en una batería estándar con un rango de corriente de 15 a menos amperios, se recomienda tener una distancia de 2 a 4 mm entre las placas. Sin embargo, si la batería tiene una capacidad de 15 a 40 amperios, es recomendable aumentar la separación a 4 a 8 mm.

Para la construcción del generador de hidrógeno es fundamental utilizar materiales de acero inoxidable. En ciertos casos, estos componentes de acero inoxidable pueden recubrirse con níquel para mejorar sus propiedades eléctricas y brindar protección adicional contra la corrosión y la fragilidad. Se recomienda encarecidamente utilizar acero inoxidable grado 316, ya que ofrece una resistencia superior a la corrosión.

Para determinar la densidad de corriente en la superficie del electrodo, podemos utilizar la ecuación 9. Al sustituir los datos dados, podremos calcular el valor deseado.

$$d_c = \frac{I_E}{S_E} = \frac{I_E}{n * S_E} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

Donde:

|       |   |
|-------|---|
| $d_c$ | Densidad de corriente                         |
| $S_E$ | superficie del electrodo                      |
| $n$   | numero de agrupaciones de celdas              |
| $I_E$ | Intensidad que circula a través del electrodo |

Para comenzar es imprescindible considerar una densidad de corriente de 1000 amperios/m<sup>2</sup>, siguiendo las pautas expuestas en el libro de Gámez Franco. Esto servirá de base para el cuadro siguiente.

$$1000 \frac{\text{amp}}{m^2} = \frac{30 \text{ amp}}{S_E}$$

$$S_E = \frac{30}{1000} m^2$$

$$S_E = 0.03 m^2 = 0.17 m * 0.17 m$$

**Tabla 9**

*Diseño de la Medida de las Placas*

| Amp | Se    | Placa |
|-----|-------|-------|
| 6   | 0.006 | 0.08  |
| 12  | 0.01  | 0.11  |
| 16  | 0.016 | 0.13  |
| 21  | 0.02  | 0.15  |
| 24  | 0.026 | 0.18  |
| 28  | 0.02  | 0.20  |
| 34  | 0.034 | 0.22  |
| 28  | 0.028 | 0.24  |

*Nota. Elaboración: Propia*

En consecuencia, obtenemos una celda cuadrada de 17 cm de cada lado. Esto requiere el uso de celdas más pequeñas que puedan soportar el mismo nivel de amperaje



y densidad. Para mejorar el diseño y la potencia, optamos por combinar 4 de estas células más pequeñas e integrarlas en el motor.

$$1000 \frac{\text{amp}}{\text{m}^2} = \frac{30 \text{ amp}}{4 * S_E}$$

$$S_E = \frac{30}{4 * 1000} \text{ m}^2$$

$$S_E = 0.0075 \text{ m}^2 = 0.09\text{m} * 0.09\text{m}$$

**Tabla 10**

*Diseño de las Celdas por 4 Agrupaciones*

| <b>Amp</b> | <b>Se</b> | <b>Placa</b> |
|------------|-----------|--------------|
| <b>40</b>  | 0.01      | 0.10         |
| <b>35</b>  | 0.00875   | 0.09         |
| <b>30</b>  | 0.0075    | 0.09         |
| <b>25</b>  | 0.00625   | 0.08         |
| <b>20</b>  | 0.005     | 0.07         |
| <b>15</b>  | 0.00375   | 0.06         |
| <b>10</b>  | 0.0025    | 0.05         |
| <b>5</b>   | 0.00125   | 0.04         |

Nota: Elaboración propia

Hubo una reducción significativa en las dimensiones de las celdas, pasando de 17 cm a 9 cm de cada lado.

Según la teoría de la electrólisis, para que las celdas más pequeñas se conecten efectivamente al vehículo, es crucial mantener un voltaje óptimo que genere la cantidad más eficiente de hidrógeno. Para evitar que el agua se sobrecaliente, se requiere un voltaje mínimo de 1,23 Voltios.

El requisito teórico para producir electrólisis en agua es de 1,23 voltios, mientras que los electrolitos requieren su concentración para un uso eficaz.



El voltaje oscilará entre 2 y 2,4 voltios.

$$n = \frac{V_T}{V_C} + 1$$

$n$  Número de placas por agrupación

$V_C$  Voltaje calculado entre electrodos

$V_T$  Voltaje total de la celda

Al analizar la información podemos determinar que la batería del vehículo suministra 12 voltios, pero cuando el motor está en marcha aumenta el voltaje a 13 voltios.

Con base en estos datos, podemos sustituir la ecuación.

$$n = \frac{13}{2.4} + 1 = 6.42$$

$$n = 6 \text{ placas}$$

Con un total de 6 placas, que constan de 2 electrodos y 4 placas neutras, cualquier desviación del voltaje óptimo aplicado al electrodo producirá resultados diferentes:

**Tabla 11**

*Números de Placas Según Voltaje*

| Voltaje | N     | # de placas |
|---------|-------|-------------|
| 1.2     | 10.00 | 12          |
| 1.3     | 11.29 | 11          |
| 1.4     | 9.56  | 10          |
| 1.5     | 9.14  | 10          |
| 1.6     | 8.60  | 9           |
| 1.7     | 8.30  | 9           |
| 1.8     | 7.74  | 8           |
| 2       | 7.45  | 8           |
| 2.2     | 7.20  | 6           |
| 2.3     | 6.81  | 5           |
| 2.4     | 6.91  | 5           |
| 2.5     | 6.54  | 5           |

Nota. Elaboración propia



Para determinar la cantidad de HHO consumida por litro en función del voltaje y el amperaje, podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$C_l = \frac{W_t}{LPH} = \frac{(V_T * A_T)}{LPH} \left[ \frac{W_H}{l} \right]$$

Donde:

$C_l$ : Consumo de litro por hora

$A_T$ : Amperaje total

$V_T$ : Voltaje total

$W_t$ : Potencia total

$LPH$ : Litros por hora

La producción horaria de hidrógeno variará según la configuración de las placas, su tamaño, la cantidad de electrodos y los electrolitos específicos empleados en el agua.

Según los hallazgos presentados en el libro de Gámez Franco, si una batería de coche estándar estuviera equipada con 7 placas, cada una de las cuales funciona con un voltaje de 12 voltios y 5 amperios, la densidad energética sería de 2,45 Wh/l. Esto implica que de las 7 placas, 2 funcionan como electrodos mientras que las 5 restantes sirven como elementos neutros. Además, haciendo referencia a la tabla 12, se puede inferir que ajustar el voltaje de 13 a 12 voltios produce estos resultados.

$$n = \frac{13}{2.4} + 1 = 6.42$$

Y de la ecuación 11, se obtiene

$$C_l = \frac{W_t}{LPH} = \frac{(V_T * A_T)}{LPH} \left[ \frac{W_H}{l} \right]$$

$$2.45 = \frac{12 * 5}{LPH}$$

$$LPH = 24.49 L$$

Así, sugiere que para conseguir una dispersión eficaz de sus electrodos, el consumo de energía por litro debería mantenerse en un nivel de 2,75 Wh/l o 0,99 MJ/l. Como resultado, el resultado fluctuará dentro de las proximidades de esta medida en particular.

#### 4.4.3. Resultados para un Motor Otto

Si se diseñan adecuadamente los motores Otto, la eficiencia energética y ecológica lograda con el combustible de hidrógeno superará a la de la gasolina.

$$Q_c = Li \cdot \frac{PM_{COMBUSTIBLE}}{22.4} \cdot \frac{F}{F + \frac{PM_{COMBUSTIBLE}}{PM_{AIRE}}} [Kjul/l]$$

| GASOLINA                   | HIDROGENO                 |
|----------------------------|---------------------------|
| $Li =$ de 43 a 47 MJ/kg    | $Li =$ 120 a 142 MJ/kg    |
| $PM_{gasolina} =$ 114g/mol | $PM_{hidrogeno} =$ 1g/mol |
| $F =$ 1                    | $F =$ 1                   |
| $PM_{aire} =$ 289g/mol     | $PM_{aire} =$ 28.9 g/mol  |
| $Q_c =$ 44 a 48 kJ/kg      | $Q_c =$ 4.3 kJ/kg         |

Según la tabla proporcionada, el PCI (valor calorífico potencial) y el PCS (valor calorífico inferior) de la gasolina son 43 y 47 MJ/kg, respectivamente. Se espera que el rango de resultados para el Poder Calorífico esté entre 44 y 48 KJ/kg:

**Tabla 12**

*Poder Calorífico de la Gasolina del PCI al PCS*



| Poder calorífico | Li    | PM combus | F | PM aire | Resultados |
|------------------|-------|-----------|---|---------|------------|
| <b>PCI</b>       | MJ/kg | g/mol     |   | g/mol   | KJ/kg      |
|                  | 43    | 114       | 1 | 28.9    | 44.3       |
|                  | 44    | 114       | 1 | 28.9    | 45.3       |
|                  | 45    | 114       | 1 | 28.9    | 46.3       |
|                  | 46    | 114       | 1 | 28.9    | 47.3       |
| <b>PCS</b>       | 47    | 114       | 1 | 28.9    | 48.4       |

Nota. Elaboración propia

Los resultados para PCI y PCS del hidrógeno, que son 120 y 142 respectivamente, se pueden ver en la siguiente tabla, que muestra las variaciones:

**Tabla 13**

*Poder Calorífico del Hidrogeno del PCI al PCS*

| Poder calorífico | Li    | PM combus | F | PM aire | Resultados |
|------------------|-------|-----------|---|---------|------------|
| <b>PCI</b>       | MJ/kg | g/mol     |   | g/mol   | KJ/kg      |
|                  | 142   | 1         | 1 | 28.9    | 6.1        |
|                  | 140   | 1         | 1 | 28.9    | 6.0        |
|                  | 136   | 1         | 1 | 28.9    | 5.9        |
| <b>PCS</b>       | 132   | 1         | 1 | 28.9    | 5.7        |
|                  | 128   | 1         | 1 | 28.9    | 5.5        |
|                  | 124   | 1         | 1 | 28.9    | 5.4        |
|                  | 120   | 1         | 1 | 28.9    | 5.2        |

Nota. Elaboración propia

La correlación presentada aquí demuestra que el nivel de potencia proporcionada por un motor de gasolina supera al de quemar hidrógeno en el mismo motor, siempre que la relación aire/combustible permanezca constante.

Comúnmente se entiende que la relación aire-gasolina ideal para un motor de gasolina es de alrededor de 14,7:1. De manera similar, cuando se trata de la relación de



masa de aire a hidrógeno, es necesaria una relación estequiométrica de 34:1, como lo demuestran los cálculos que se proporcionan a continuación:



Dado que el motor no funciona únicamente con oxígeno, es imperativo tener en cuenta la presencia de nitrógeno, que constituye la mayor proporción en la atmósfera.

$$1 \text{ mol de } O_2 \cdot \frac{79\% \text{ de } N_2 \text{ en el aire}}{21\% \text{ de } O_2 \text{ en el aire}} = 3.762 \text{ mol de } N_2$$

$$1 \text{ mol de } O_2 + 3.762 \text{ de } N_2 = 4.762 \text{ mol de aire}$$

Con base en este resultado, podemos calcular la relación estequiométrica volumétrica entre aire e hidrógeno:

$$\frac{4.762 \text{ mol de aire}}{2 \text{ mol de } H_2} = \frac{2.4}{1}$$

En la cámara de combustión, una mezcla estequiométrica de aire/hidrógeno comprende un 29,6% de hidrógeno en volumen.

$$\frac{\text{Volumen de } H_2}{\text{Volumen total}} \cdot 100 = \frac{2 \text{ mol de } H_2}{4.762 \text{ mol de aire} + 2 \text{ mol de } H_2} \cdot 100 = 29.6 \%$$

Utilizando la información proporcionada, es posible determinar la relación estequiométrica en términos de masa empleando las densidades molares de cada componente.

$$\frac{3.762 \text{ mol de } N_2 \cdot \frac{28g}{\text{mol}} + 1 \text{ mol de } O_2 \cdot \frac{32g}{\text{mol}}}{2 \text{ mol de } H_2 \cdot \frac{2g}{\text{mol}}} = \frac{34.33}{1}$$

La cantidad de aire necesaria para lograr una combustión completa por cada gramo de combustible es significativamente mayor para la gasolina en comparación con otros combustibles. De hecho, se necesitan 34 gramos de aire para lograr una combustión

completa por cada gramo de combustible, una proporción considerablemente mayor.

Con base en los hallazgos presentados en el libro de Gámez Franco, la relación estequiométrica puede oscilar entre 34:1 y 180:1. Para establecer este tipo de correlación, es necesario modificar el turbocompresor para alinearlo con el sistema de escape del motor e introducir un mayor volumen de aire en el motor. Sin embargo, es fundamental mantener la temperatura de la cámara de combustión por debajo de los 500°C para evitar problemas relacionados con el pre encendido, como se indica en la tabla 4.

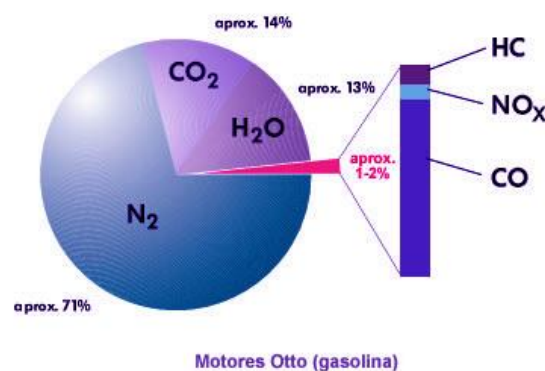
#### 4.4.4. Contaminación reducida de los Motores Otto por el uso del hidrogeno

En los motores Otto, la combustión de gasolina se compone principalmente de dos gases: nitrógeno y oxígeno. Dentro de un volumen específico, el aire se compone de aproximadamente un 79% de nitrógeno y un 21% de oxígeno.

El nitrógeno, en su naturaleza no reactiva, sólo forma óxidos de nitrógeno en pequeñas cantidades, mientras que el oxígeno se combina fácilmente con varios elementos para producir dióxido de carbono, agua y otros compuestos.

**Figura 29**

*Composición de los Gases de Escape - Motor Otto*

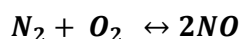


Nota. (Megaboy, 2019)

La mayor parte del nitrógeno, que representa el 79% (el 78% es nitrógeno y el 1% consta de otros gases), se extrae en su forma pura.

La siguiente figura ilustra la distinción entre gases peligrosos para la salud y no peligrosos producidos durante la combustión:

Por el contrario, cuando el hidrógeno se combina con el oxígeno, el único subproducto es el agua. Sin embargo, cuando el hidrógeno reacciona con el aire, que se compone de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, el proceso de combustión da como resultado la liberación de monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en pequeñas cantidades. Esto ocurre debido a la siguiente reacción:

**Tabla 14**

*Contaminación producida por la Combustión de la Gasolina por Año*

| AÑO         | GASOLINA<br>litros | CO <sub>2</sub><br>Kg | N <sub>2</sub><br>Kg | H <sub>2</sub> O<br>Kg | OTROS<br>Kg   |
|-------------|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|---------------|
| <b>2013</b> | 72,604             | 166,989               | 849,464              | 154,646                | <b>23,233</b> |
| <b>2014</b> | 75,373             | 173,358               | 881,864              | 160,544                | <b>24,119</b> |
| <b>2015</b> | 78,142             | 179,727               | 914,263              | 166,443                | <b>25,005</b> |
| <b>2016</b> | 79,119             | 181,975               | 925,698              | 168,525                | <b>25,318</b> |
| <b>2017</b> | 76,094             | 175,017               | 890,304              | 162,081                | <b>24,350</b> |
| <b>2018</b> | 73,069             | 168,059               | 854,909              | 155,637                | <b>23,382</b> |
| <b>2019</b> | 87,962             | 202,313               | 1,029,158            | 187,360                | <b>28,148</b> |
| <b>2020</b> | 87,497             | 201,243               | 1,023,713            | 186,368                | <b>27,999</b> |
| <b>2021</b> | 88,116             | 202,666               | 1,030,955            | 187,687                | <b>28,197</b> |
| <b>2022</b> | 87,031             | 200,172               | 1,018,268            | 185,377                | <b>27,850</b> |
| <b>2023</b> | <b>87,343</b>      | <b>200,890</b>        | <b>1,021,916</b>     | <b>186,041</b>         | <b>27,950</b> |

Nota. Elaboración propia

Según los expertos, la combustión de combustibles fósiles es responsable de la asombrosa cifra de dos tercios de la contaminación que ingresa a la atmósfera. Mirando específicamente a Perú, en el año 2014 se produjo una producción de 200.890 kg de CO<sub>2</sub>, un aumento del 20% con respecto a los niveles registrados en 2004. Esta tendencia de crecimiento exponencial resalta la necesidad urgente de la futura adopción y utilización de combustibles renovables y respetuosos con el medio ambiente.



## CONCLUSIONES

**Primera:** El estudio para la implementación del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto se vislumbra como una decisión estratégica con impactos positivos tanto para el medio ambiente como para la economía. Esta iniciativa promete no solo reducir la dependencia de los combustibles fósiles convencionales, sino también contribuir de manera significativa a la sostenibilidad ambiental. Además, alineada con las tendencias actuales hacia la innovación y la responsabilidad ecológica, la implementación de esta tecnología emergente tiene el potencial de generar beneficios económicos a largo plazo al abrir nuevas oportunidades en el mercado de energía y movilidad sostenible. En resumen, la transición hacia el hidrógeno como fuente de energía para los motores de ciclo Otto representa un paso crucial hacia un futuro más limpio, eficiente y económicamente viable.

**Segunda:** El proceso de cálculo y selección de componentes para el generador de hidrógeno destinado a los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca representa un paso fundamental hacia la adopción de una solución energética más sostenible y eficiente. Al realizar un análisis minucioso de los factores específicos de esta ubicación, se ha logrado diseñar un sistema que se adapta a las necesidades particulares de la región. La elección precisa de componentes, considerando las condiciones locales y la infraestructura existente, apunta no solo a la optimización del rendimiento del generador de hidrógeno, sino también a la maximización de los beneficios económicos y ambientales para la comunidad de Juliaca. En este sentido, la implementación de esta tecnología representa un paso significativo hacia un futuro energético más sostenible y alineado con las demandas específicas de la localidad.



**Tercera:** El cálculo del costo del desarrollo de un generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca ha revelado que, aunque la inversión inicial es significativa, los beneficios a largo plazo en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y ahorro en costos operativos son prometedores. Los costos incluyen no solo el desarrollo y fabricación del generador de hidrógeno, sino también la adaptación de la infraestructura existente y la capacitación del personal. A pesar de los desafíos económicos, la transición hacia el uso de hidrógeno como combustible representa una inversión estratégica que puede posicionar a Juliaca como un líder en tecnologías sostenibles y limpias.

## RECOMENDACIONES

**Primera:** Se recomienda establecer alianzas con instituciones de investigación y empresas tecnológicas para continuar mejorando y optimizando los componentes del generador de hidrógeno. Esto incluye la investigación en materiales más eficientes y duraderos, así como el desarrollo de sistemas de control más avanzados. Además, es crucial realizar pruebas piloto en condiciones reales para validar la eficiencia y seguridad de los componentes seleccionados, lo que permitirá ajustes y mejoras continuas antes de una implementación a gran escala.

**Segunda:** Se recomienda desarrollar un plan integral de financiamiento que incluya la búsqueda de subvenciones gubernamentales, inversiones privadas y cooperación internacional para cubrir los costos iniciales del desarrollo del generador de hidrógeno. Este plan debe contemplar incentivos fiscales y subsidios para fomentar la inversión en esta tecnología. Además, se sugiere establecer un fondo de contingencia para abordar cualquier imprevisto financiero durante las fases de desarrollo e implementación, asegurando la sostenibilidad económica del proyecto a largo plazo.

**Tercera:** El cálculo del costo del desarrollo de un generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca ha revelado que, aunque la inversión inicial es significativa, los beneficios a largo plazo en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y ahorro en costos operativos son prometedores. Los costos incluyen no solo el desarrollo y fabricación del generador de hidrógeno, sino también la adaptación de la infraestructura existente y la capacitación del personal. A pesar de los desafíos económicos, la transición hacia el uso de hidrógeno como combustible representa una inversión estratégica que puede posicionar a Juliaca como un líder en tecnologías sostenibles y limpias.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Chirinos, J. (25 de julio de 2019). Mundo Motor. Obtenido de Mundo Motor:  
<https://www.mundodelmotor.net/>
- ESAN, U. (2018). ConexionESAN. Obtenido de  
<https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2013/03/28/realidad-petroleo-peru/>
- Franco, D. G. (2019). El Hidrogeno y sus Aplicaciones Energeticas.  
<http://www.ssecoconsulting.com>. (s.f.). Obtenido de  
[http://www.ssecoconsulting.com: www.ssecoconsulting.com/consumo-de-energiacutea-en-el-mundo---2019.html](http://www.ssecoconsulting.com:www.ssecoconsulting.com/consumo-de-energiacutea-en-el-mundo---2019.html)  
<https://es.climate-data.org/>. (s.f.). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/puno/juliaca-3083/>:  
<https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/puno/juliaca-3083/>
- Rodríguez., F. D. (2018). Principios de Electrodeposición. CUAUTITLÁN .
- Sánchez, M. E. (2019). El hidrogeno como alternativa energética de futuro. En M. E. Sánchez, El hidrogeno como alternativa energética de futuro (pág. 23).
- Statistics, Key World Energy. (2018). Agency, The International Energy. Key World Energy Statistics (KWES).
- Villacorta, D. I. (29 de 11 de 2019). Modelo Energetico Sostenible. Obtenido de  
<https://albertorios.eu/?m=201511>
- Villegas, A. M. (2007). Motores de Combustión Interna.
- Wikipedia. (08 de julio de 2019). Wikipedia la Inciclopedia Libre. Obtenido de  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna)
- [www.gestion.pe](http://www.gestion.pe). (s.f.). Obtenido de <https://gestion.pe/economia/reservas-petroleo-fiscalizadas-peru>
- [www.partesdel.com/motor](http://www.partesdel.com/motor). (febrero de 2018). [www.partesdel.com](http://www.partesdel.com). Obtenido de  
<https://www.partesdel.com/motor.html>.



J. R. Santander, Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz, Colombia:

Copyright 2019

F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona:

Reverté SA, 2020.

B. Michael A y Y. Cengel, Termodinámica, Quinta ed., Mexico, 2018, pp. 271-272.

Tablas A18- A26.

L. G. JODRA, «EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO,»

Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), p. 1, 2018.

L. M. Crosbie y D. Chapin, Hydrogen Production by Nuclear Heat, Kyoto:

GENESA/ANP2003, 2021

R. Chang y K. A. Goldsby, «Electroquímica,» de Química, Mexico, 2021, pp. 844-

849.

J. Konopka y D. P. Gregory, «Present and Future,» de Hydrogen Production by

Electrolysis, Chicago, Institute of Gas Technology, 2021.

L. Piqué, El hidrógeno y nuestro futuro energético, Primera Edición ed., Barcelona,

2018.

M. K. Mann, Technical and economic analyses of hydrogen production via indirectly

heated gasification andpyrolysis, vol. 1, 1,NREL/CP-430-20036, 2020, pp. 205-236.

H. Gutiérrez Pulido y R. De la Vara Salazar, Análisis y Diseño de Experimentos,

Mexico: McGraw-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2018, pp. 60-67.

J. A. C. Gonzales, J. A. Carta Gonzáles, R. Calero Pérez, A. Colmenar Santos y

M. A. Castro Gil,

Los recursos energéticos de la tieera,» de Centrales de energías renovables:

generación eléctrica con energías renovables, Madrid (España), Esther Martín, 2019, pp.

24-93.

Ehl, Rosemary Gene, Ihde y Aaron, «Faraday's Electrochemical Laws and the

Determination of Equivalent Weights,» Journal of Chemical Education , p. 226–232.



R. Evans, E. Chornet, C. Czernik, C. Feik, s. Philips, J. Abedi, Y. Yeboah, D. Day, J. Howard, D. McGee y M. Realff, Renewable hydrogen production by catalytic steam reforming of peanut shells pyrolysis products, Boston, 2020.

J. L. Fernández Nuevo, M. Gordillo Matín, C. Parapar Barrera y M. Ruiz Yániz, «Informe de la I+D en energía y automoción,» Fundación General CSIC, Madrid, 2020.

MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG., «Manual del Usuario,» 2018.

U. P. Salesiana, «Banco dinamométrico,» Cuenca, 2019.

J. Konopka y D. P. Gregory, «Present and Future,» de Hydrogen Production by Electrolysis, Chicago, Institute of Gas Technology, 2018.

M. Laborde, Oxidación Pracial de Hidrocarburos, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2020.

M. S. Pérez, «Aprovechamiento de la energía solar en media y alta temperatura. Sistemas termosolares de concentración.,» Universidad de Sevilla, 2019.

«<http://www.quimica.unam.mx>,» [En línea]. Available: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>. [Último acceso: 13 08 2018].

Intituto Ecuatoriano de Normalización, «INEN. Intituto Ecuatoriano de Normalización,» [En línea]. Available: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2204.pdf>. [Último acceso: 18 11 2018].

2014 by NGK Spark Plug Europe, «[www.ngk.de/](http://www.ngk.de/),» NGK Spark Plugs, 2019. [En línea]. Available: <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/gases-de-escape-y-gases-contaminantes/>. [Último acceso: 04 09 2018].

F. Moreno, «<http://www.diariomotor.com/>,» 8 Octubre 2019. [En línea]. Available: <http://www.diariomotor.com/2009/10/08/hidrogeno-vs-gasolina-fuga-de-combustible-con-incendio/>. [Último acceso: 5 mayo 2018].



Tecnoautos, «<http://tecnoautos.com/>,» [En línea]. Available:

<http://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-suzuki-esteem-glx-sedan-saloon-ensamblado-en-1996/>. [Último acceso: 13 08 2018].

<http://blog.wikispaces.com/>, [En línea]. Available:

<http://fisicaparainformatica.wikispaces.com/Unidad+III>. [Último acceso: 13 agosto 2018].



# ANEXOS



**TÍTULO:** Estudio para la implementación de un generador de hidrogeno como combustible para los motores de combustión de ciclo otto en la ciudad de Juliaca

| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN  | OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN  | OPERACIÓN DE VARIABLES   |   |   | METODOLOGÍA  |
|--|---|--|---|---|--|
|  |   | VARIABLES  | DIMENSIONES   | INDICADORES   |  |
| <b>PROBLEMA GENERAL</b>  | <b>OBJETIVO GENERAL</b>   | Variable independiente<br>Generador de hidrogeno (1)   | 1.1. Eficiencia Energética<br><br>1.2. Viabilidad Técnica<br><br>1.3. Impacto Ambiental   | 1.4. Consumo de combustible (hidrógeno vs. gasolina).<br><br>1.5. Compatibilidad del generador de hidrógeno con motores de ciclo Otto.<br><br>1.6. Reducción de emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO). | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>MÉTODO</b></li> <li>Ex -post-Facto</li> <li>▪ <b>TIPOLOGÍA</b></li> <li>Descriptivo</li> <li>▪ <b>NIVEL</b></li> <li>descriptivo exploratorio</li> </ul> |
| <b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>   | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>  |  |   |   |  |
| P. G. ¿Es viable la implementación de un generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca? | O. G. Realizar el estudio para la Implementación del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto | P.E.1. ¿Cómo se calculará y seleccionará los componentes del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca? | O. E. 1. Determinar y seleccionar los componentes del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca. | P.E. 2. ¿Cómo se calculará el costo del desarrollo del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca?  | O. E. 2. Calcular el costo del desarrollo del generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo Otto en la ciudad de Juliaca.  |

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

| Prueba N°1 de generador de Hidrógeno   |                       |                         |                                  |               |                  |                                |                      |
|--|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| Solución:  |                       | sal o cloruro de sodio  | Voltaje de la batería (v)        |               | 12.56            |                                |                      |
| Núm.   | Cat. de solución (kg) | Cat de electrolito (ml) | Voltaje de consumo generador (v) | Corriente (A) | Volumen (ml/min) | Temperatura del generador (°C) | Coloración           |
| 1  | 0,004                 | 250                     | 10,34                            | 5,77-5,80     | 210              | 22                             | café claro           |
| 2  | 0,004                 | 250                     | 10,3                             | 6,5-6,96      | 240              | 23                             | café oscuro          |
| 3  | 0,004                 | 250                     | 10,07                            | 7-7,12        | 247              | 26                             | café oscuro          |
| 4  | 0,004                 | 250                     | 9,97                             | 7,30-7,80     | 250              | 28                             | café oscuro y espeso |
| 5  | 0,004                 | 250                     | 9,34                             | 7,90-8.05     | 260              | 30                             | café oscuro y espeso |
| <b>Total</b>   |                       | <b>0,02</b>             | <b>250</b>                       |               |                  |                                |                      |
| <b>Comentario</b>  |                       |                         |                                  |               |                  |                                |                      |
| En las primeras pruebas el poco volumen de hidrógeno que se obtiene si es explosivo, además cada vez que se aumentaba la solución se oscurecía mas el electrolito ; se al final se obtuvo una solución en forma de colada y poco explosiva |                       |                         |                                  |               |                  |                                |                      |

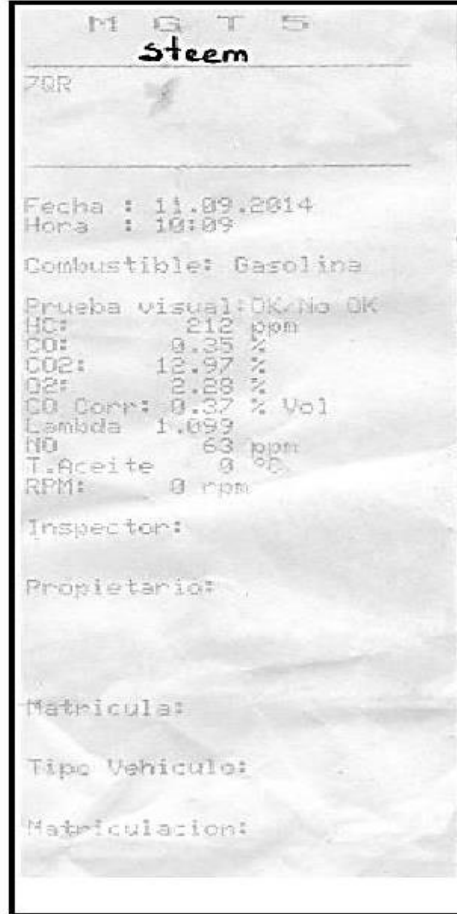
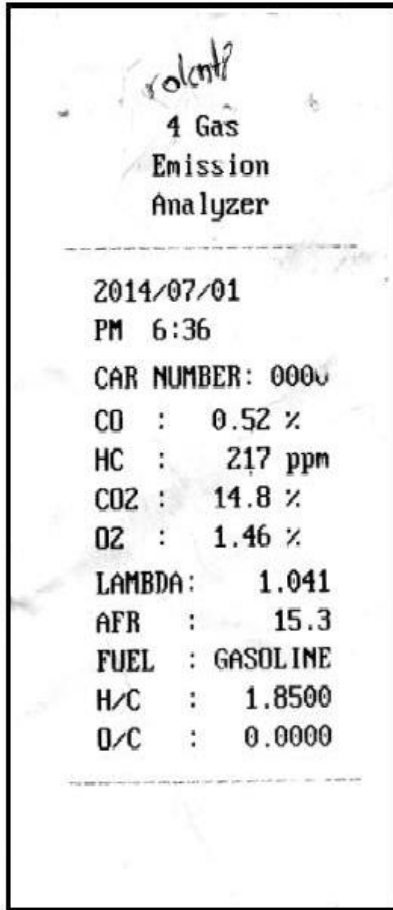
| Prueba N°2 de generador de Hidrógeno   |                       |                         |                                  |               |                  |                                |            |
|--|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|------------|
| Solución:  |                       | bicarbonato de sodio    | Voltaje de la batería (v)        |               | 12.56            |                                |            |
| Núm.   | Cat. de solución (kg) | Cat de electrolito (ml) | Voltaje de consumo generador (v) | Corriente (A) | Volumen (ml/min) | Temperatura del generador (°C) | Coloración |
| 1  | 0,004                 | 250                     | 11,7                             | 2,05-2,10     | 0                | 18                             | café claro |
| 2  | 0,004                 | 250                     | 11,27                            | 2,44-2,75     | 100              | 20                             | café claro |
| 3  | 0,004                 | 250                     | 10,89                            | 2,99-3,15     | 120              | 23                             | café claro |
| 4  | 0,004                 | 250                     | 10,96                            | 3,40-3,12     | 130              | 24                             | café claro |
| 5  | 0,004                 | 250                     | 11,1                             | 3,60-3,46     | 145              | 25                             | café claro |
| <b>Total</b>   |                       | <b>0,02</b>             | <b>250</b>                       |               |                  |                                |            |
| <b>Comentario</b>  |                       |                         |                                  |               |                  |                                |            |
| En las primeras pruebas de explosión del gas no fue muy eficiente; al proseguir con las pruebas se obtuvieron mejores resultados |                       |                         |                                  |               |                  |                                |            |

| Prueba de generador de Hidrógeno   |                       |                         |                                  |               |                  |                                |            |
|--|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|------------|
| Solución:  |                       | Hidróxido de Sodio      | Voltaje de la batería (v)        |               | 12.56            |                                |            |
| Núm.   | Cat. de solución (kg) | Cat de electrolito (ml) | Voltaje de consumo generador (v) | Corriente (A) | Volumen (ml/min) | Temperatura del generador (°C) | Coloración |
| 1  | 0,004                 | 250                     | 11,7                             | 2,05-2,10     | 100              | 22                             | café claro |
| 2  | 0,004                 | 250                     | 11,27                            | 2,44-2,75     | 250              | 26                             | café claro |
| 3  | 0,004                 | 250                     | 10,89                            | 3,59-4,15     | 120              | 29                             | café claro |
| 4  | 0,004                 | 250                     | 10,96                            | 5,40-6,12     | 130              | 33                             | café claro |
| 5  | 0,004                 | 250                     | 10,65                            | 6,46-7,65     | 800              | 37                             | café claro |
| 6  | 0,004                 | 250                     | 10,3                             | 8,26-11,13    | 1100             | 39                             | café claro |
| <b>Total</b>   |                       | <b>0,024</b>            | <b>250</b>                       |               |                  |                                |            |
| <b>Comentario</b>  |                       |                         |                                  |               |                  |                                |            |
| En las primeras pruebas de explosión del gas no fue muy eficiente; al proseguir con las pruebas se obtuvieron mejores resultados |                       |                         |                                  |               |                  |                                |            |

  
  
 Henry Anthony Mamani Vargas  
 ING. MECANICO ELECTRICISTA  
 CIP. 143331

## MUESTRAS DE GASES DE LOS DIFERENTES VEHÍCULOS

Pruebas sin el generador de hidrógeno en el vehículo



Henry Anthony Mamani Vargas  
ING. MECANICO ELECTRICISTA  
CIP. 143331

## ANEXOS

## Densidades de algunas sustancias comunes a 1 atm (760 mm Hg)

| Sustancia                   | Temperatura °C | Densidad          |                   |
|-----------------------------|----------------|-------------------|-------------------|
|                             |                | g/cm <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> |
| <i>Sólidos</i>              |                |                   |                   |
| Aluminio                    | 20             | 2,7               | 2700              |
| Hueso                       | 20             | 1,6               | 1600              |
| Cobre                       | 20             | 8,5               | 8500              |
| Vidrio                      | 20             | 2,6               | 2600              |
| Granito                     | 20             | 2,7               | 2700              |
| Hierro                      | 20             | 7,7               | 7700              |
| Plomo                       | 20             | 11,3              | 11300             |
| Acero                       | 20             | 7,7               | 7700              |
| Agua (hielo)                | 0              | 0,917             | 917               |
| Madera de arce              | 20             | 0,7               | 700               |
| <i>Líquidos</i>             |                |                   |                   |
| Aire (líquido)              | -183           | 1,14              | 1140              |
| Plasma sanguíneo            | 37             | 1,03              | 1030              |
| Sangre                      | 37             | 1,05              | 1050              |
| Etanol (alcohol etílico)    | 20             | 0,791             | 791               |
| Glicerina                   | 0              | 1,26              | 1260              |
| Hidrógeno (líquido)         | -253           | 0,07              | 70                |
| Mercurio                    | 0              | 13,6              | 13600             |
| Oxígeno (líquido)           | -183           | 1,14              | 1140              |
| Triclorometano (cloroformo) | 20             | 1,483             | 1483              |
| Agua pura                   | 4              | 1,00              | 1000              |
|                             | 30             | 0,996             | 996               |
|                             | 100            | 0,958             | 958               |
| Agua del mar                | 15             | 1,025             | 1025              |
| <i>Gases</i>                |                |                   |                   |
| Aire                        | 0              | 0,00130           | 1,30              |
|                             | 10             | 0,00125           | 1,25              |
|                             | 20             | 0,00120           | 1,20              |
|                             | 30             | 0,00116           | 1,16              |
| Argón                       | 0              | 0,00178           | 1,78              |
| Dióxido de carbono          | 0              | 0,00198           | 1,98              |
| Helio                       | 0              | 0,000178          | 0,178             |
| Hidrógeno                   | 0              | 0,0000899         | 0,0899            |
| Nitrógeno                   | 0              | 0,00125           | 1,25              |
| Oxígeno                     | 0              | 0,00143           | 1,43              |
| Agua (vapor)                | 100            | 0,000596          | 0,596             |

**OBSERVACIÓN.** La densidad del agua a 4°C es exactamente de 1,00 g/cm<sup>3</sup> porque originariamente el gramo fue definido como la masa de un centímetro cúbico de agua pura a esta temperatura.



## EQUIVALENCIAS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA SEGÚN LA ALTITUD

| Altitud Metros | Presión Milibares | Altura en mm de Hg | Presión Atmosférica | Altitud Metros | Presión Milibares | Altura en mm de Hg | Presión Atmosférica |
|----------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 0              | 1013              | 760                | 1,000               | 3000           | 701               | 526                | 0,692               |
| 50             | 1007              | 756                | 0,994               | 3050           | 697               | 523                | 0,688               |
| 100            | 1001              |                    | 0,988               | 3100           | 692               | 519                | 0,683               |
| 150            | 995               | 747                | 0,982               | 3150           | 688               | 516                | 0,679               |
| 200            | 989               | 742                | 0,977               | 3200           | 683               | 513                | 0,674               |
| 250            | 984               | 738                | 0,971               | 3250           | 679               | 509                | 0,670               |
| 300            | 978               | 733                | 0,965               | 3300           | 675               | 506                | 0,666               |
| 350            | 972               | 729                | 0,959               | 3350           | 670               | 503                | 0,662               |
| 400            | 966               | 725                | 0,953               | 3400           | 666               | 500                | 0,657               |
| 450            | 960               | 720                | 0,948               | 3450           | 662               | 496                | 0,653               |
| 500            | 955               | 716                | 0,942               | 3500           | 658               | 493                | 0,649               |
| 550            | 949               | 712                | 0,936               | 3550           | 653               | 490                | 0,645               |
| 600            | 943               | 707                | 0,931               | 3600           | 649               | 487                | 0,641               |
| 650            | 938               | 703                | 0,925               | 3650           | 645               | 484                | 0,637               |
| 700            | 932               | 699                | 0,920               | 3700           | 641               | 481                | 0,632               |
| 750            | 926               | 695                | 0,914               | 3750           | 637               | 478                | 0,628               |
| 800            | 921               | 691                | 0,909               | 3800           | 633               | 475                | 0,624               |
| 850            | 915               | 686                | 0,903               | 3850           | 629               | 471                | 0,620               |
| 900            | 910               | 682                | 0,898               | 3900           | 624               | 468                | 0,616               |
| 950            | 904               | 678                | 0,892               | 3950           | 620               | 465                | 0,612               |
| 1000           | 899               | 674                | 0,887               | 4000           | 616               | 462                | 0,608               |
| 1050           | 893               | 670                | 0,882               | 4050           | 612               | 459                | 0,604               |
| 1100           | 888               | 666                | 0,876               | 4100           | 608               | 456                | 0,600               |
| 1150           | 883               | 662                | 0,871               | 4150           | 604               | 453                | 0,597               |
| 1200           | 877               | 658                | 0,866               | 4200           | 600               | 450                | 0,593               |
| 1250           | 872               | 654                | 0,860               | 4250           | 597               | 447                | 0,589               |
| 1300           | 867               | 650                | 0,855               | 4300           | 593               | 445                | 0,585               |
| 1350           | 861               | 646                | 0,850               | 4350           | 589               | 442                | 0,581               |
| 1400           | 856               | 642                | 0,845               | 4400           | 585               | 439                | 0,577               |
| 1450           | 851               | 638                | 0,840               | 4450           | 581               | 436                | 0,573               |
| 1500           | 846               | 634                | 0,834               | 4500           | 577               | 433                | 0,570               |
| 1550           | 840               | 630                | 0,829               | 4550           | 573               | 430                | 0,566               |
| 1600           | 835               | 626                | 0,824               | 4600           | 570               | 427                | 0,562               |
| 1650           | 830               | 623                | 0,819               | 4650           | 566               | 424                | 0,559               |
| 1700           | 825               | 619                | 0,814               | 4700           | 562               | 422                | 0,555               |
| 1750           | 820               | 615                | 0,809               | 4750           | 558               | 419                | 0,551               |
| 1800           | 815               | 611                | 0,804               | 4800           | 555               | 416                | 0,548               |
| 1850           | 810               | 607                | 0,799               | 4850           | 551               | 413                | 0,544               |
| 1900           | 805               | 604                | 0,794               | 4900           | 547               | 411                | 0,540               |
| 1950           | 800               | 600                | 0,789               | 4950           | 544               | 408                | 0,537               |
| 2000           | 795               | 596                | 0,785               | 5000           | 540               | 405                | 0,533               |
| 2050           | 790               | 593                | 0,780               | 5050           | 537               | 402                | 0,530               |
| 2100           | 785               | 589                | 0,775               | 5100           | 533               | 400                | 0,526               |
| 2150           | 780               | 585                | 0,770               | 5150           | 529               | 397                | 0,523               |
| 2200           | 775               | 582                | 0,765               | 5200           | 526               | 394                | 0,519               |
| 2250           | 771               | 578                | 0,761               | 5250           | 522               | 392                | 0,516               |
| 2300           | 766               | 574                | 0,756               | 5300           | 519               | 389                | 0,512               |
| 2350           | 761               | 571                | 0,751               | 5350           | 515               | 387                | 0,509               |
| 2400           | 756               | 567                | 0,746               | 5400           | 512               | 384                | 0,505               |
| 2450           | 752               | 564                | 0,742               | 5450           | 508               | 381                | 0,502               |
| 2500           | 747               | 560                | 0,737               | 5500           | 505               | 379                | 0,498               |
| 2550           | 742               | 557                | 0,732               | 5550           | 502               | 376                | 0,495               |
| 2600           | 737               | 553                | 0,728               | 5600           | 498               | 374                | 0,492               |
| 2650           | 733               | 550                | 0,723               | 5650           | 495               | 371                | 0,488               |
| 2700           | 728               | 546                | 0,719               | 5700           | 492               | 369                | 0,485               |
| 2750           | 724               | 543                | 0,714               | 5750           | 488               | 366                | 0,482               |
| 2800           | 719               | 539                | 0,710               | 5800           | 485               | 364                | 0,479               |
| 2850           | 715               | 536                | 0,705               | 5850           | 482               | 361                | 0,475               |
| 2900           | 710               | 533                | 0,701               | 5900           | 478               | 359                | 0,472               |
| 2950           | 706               | 529                | 0,696               | 5950           | 475               | 356                | 0,469               |

### Diagrama de Bloques de Entradas y Salidas Del Motor





ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 01/07/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA

Dirección: Jr. Lima N° 492 - Juliaca

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 44437577

Teléfono: 976560096 email: cqycarlos@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: ESCUELA DE POSGRADO

Escuela Profesional o Mención: SISTEMAS ENERGÉTICOS Y MANTENIMIENTO

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Asesor: Mgtr. ABELARDO LEÓN MIRANDA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO EN LA CIUDAD DE JULIACA

Palabras claves, (3 a 5 términos): Generador, Hidrogeno, ciclo Otto combustible.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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 - P52](#)

Firma de Autor



huella digital

02 de julio del 2024

Fecha