

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para
reducir el 30% del consumo de gasolina**

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

AUTOR:

Br. Acosta Vásquez, Manuel Julio

ASESOR:

MSc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 000-0003-0194-169X

Nuevo Chimbote – Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

Implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para
reducir el 30% del consumo de gasolina

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

AUTOR:

Br. Acosta Vásquez, Manuel Julio

ASESOR:

Msc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD.ORCID. 0000-0003-0194-169X

Nuevo Chimbote - Perú

2024



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO EN UNA MOTOKAR PARA REDUCIR EL 30% DEL CONSUMO DE GASOLINA”, elaborado por **ACOSTA VÁSQUEZ MANUEL JULIO**, para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.

M.Sc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 0000-0003-0194-169X
DNI: 32903454
ASESOR



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

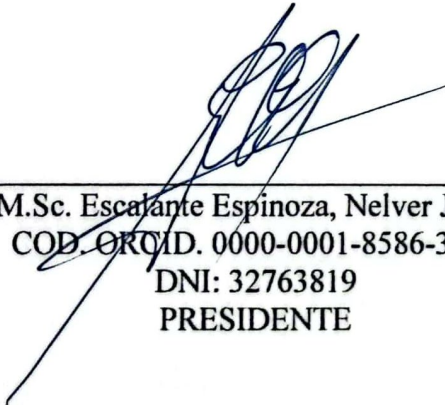


HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR


El presente informe de tesis titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO EN UNA MOTOKAR
PARA REDUCIR EL 30% DEL CONSUMO DE GASOLINA”,** elaborado por **ACOSTA
VÁSQUEZ MANUEL JULIO**, para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.


Fue revisado y aprobado por el siguiente Jurado Evaluador.



M.Sc. Escalante Espinoza, Nelver Javier
COD. ORCID. 0000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
PRESIDENTE



M.Sc. Calderón Rodríguez, Luis Carlos
COD. ORCID. 0000-0002-9447-2257
DNI: 32977058
SECRETARIO



M.Sc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 0000-0003-0194-169X
DNI: 32903454
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

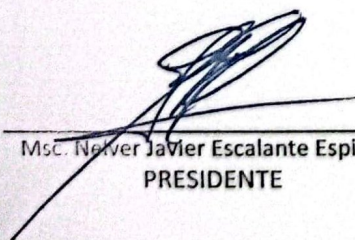
A los treinta días del mes de setiembre del año dos mil veinticuatro, siendo las 11:00 a.m., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 074-2024-UNS- CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 590-2024-UNS-FI integrado por los docentes: **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (presidente)**, **Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez (secretario)** y el **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"IMPLEMENTACION DE UN GENERADOR DE HIDROGENO EN UNA MOTOKAR PARA REDUCIR EL 30% DEL CONSUMO DE GASOLINA"**, perteneciente al bachiller: **ACOSTA VÁSQUEZ MANUEL JULIO** con código de matrícula N° **0201216018**, quien fue asesorado por el Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda, según Resolución Decanal N.º 602-2022-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ACOSTA VÁSQUEZ MANUEL JULIO	16	REGULAR

Siendo las 11:30 a m del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, setiembre 30 de 2024



Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
PRESIDENTE



Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez
SECRETARIO



Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
INTEGRANTE

Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **MANUEL JULIO ACOSTA VASQUEZ**
Título del ejercicio: **INFORMES**
Título de la entrega: **Implementación de un generador de hidrógeno en una mot...**
Nombre del archivo: **INFORME_FINAL_DE_TESIS_-_MANUEL_ACOSTA_VFINAL_28-11...**
Tamaño del archivo: **16.9M**
Total páginas: **141**
Total de palabras: **18,413**
Total de caracteres: **96,047**
Fecha de entrega: **28-nov.-2024 03:45p. m. (UTC-0500)**
Identificador de la entre... **2534913626**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



Implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para
reducir el 30% del consumo de gasolina
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

AUTOR:
Br. Acosta Vásquez, Manuel Julio

ASESOR:
MSc. Risco Ojeda, Ruben Alberto
COD. ORCID: 000-0003-0194-169X

Nuevo Chimbote - Perú
2024

Implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para reducir el 30% del consumo de gasolina

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	documentop.com Fuente de Internet	3%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	www.ecorfan.org Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios, por ayudarme en cada etapa de mi vida, quien está a cada instante guiándome por el camino del bien.

A mi esposa Leticia y a mi hija Camilla por todas las fuerzas que me dan como también su apoyo incondicional y sobre todo brindarme mucho amor, ellos son mi motor para seguir adelante.

A mis padres Indalecio y Julia, por guiarme por un buen camino y hacer las cosas correctas, por todo su apoyo incondicional e infinito amor, son mi motor para seguir adelante.

En memoria de mi madre Julia Vásquez Vega, que desde el cielo siempre estará presente en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

*A mi asesor y maestro: MSc Rusber Alberto
Risco Ojeda, por su gran vocación académica,
impulsor de la investigación y por sus sabios
consejos para con sus estudiantes.*

*A mis docentes y compañeros de estudio de mi
promoción de la E.A.P. de Ingeniería
Mecánica, por las clases compartidas.*

*A mi alma mater, Universidad Nacional del
Santa, por mi formación profesional,
académica y humana.*

Eternamente agradecido.

Lista de símbolos y/o nomenclatura

A	: Área de la tubería	[m ²]
A_a	: Área de los agujeros	[cm ²]
A_t	: Área total	[cm ²]
A_p	: Área de la placa	[cm ²]
C	: Conductividad del electrolito	[Siemens/cm]
CO	: Monóxido de carbono	
CO_2	: Dióxido de carbono	
C_8H_{18}	: n-Octano	
D	: Diámetro interno de la tubería	[m]
H_2O	: Agua	
HHO	: Gas hidroxilo u oxihidrógeno	
I	: Intensidad de corriente	[A]
e	: Espesor de la placa	[cm]
E°	: Voltaje mínimo para la electrólisis	[V]
F	: Constante de Faraday	[96500 C/mol]
h_c	: Entalpía de combustión	[kJ/kmol]
h_f	: Entalpía de formación	[kJ/kmol]
M	: Masa molar de la sustancia	[g/mol]
MCI	: Motor(es) de Combustión Interna	
MINAM	: Ministerio del Ambiente	
n	: Cantidad de sustancia liberada	[moles]
n_c	: # de cámaras que conforman la celda	
$n_{generador}$: Eficiencia del generador	[%]
$NaOH$: Hidróxido de sodio o soda cáustica	

N_2	: Nitrógeno diatómico	
O_2	: Oxígeno diatómico	
ρ	: Densidad	[kg/m ³]
Pay back	: Periodo de recuperación	[años]
P	: Presión	[atm]
PCI	: Poder Calorífico Inferior	[MJ/kg]
$P_{requerida}$: Potencia requerida	[Wh]
Q	: Carga eléctrica	[C]
R	: Constante universal de los gases ideales	$\left[0.08205746 \frac{atm.l}{mol.K}\right]$
Re	: Número de Reynolds	
RER	: Recursos Energéticos Renovables	
t	: Tiempo	[s]
T	: Temperatura	[K]
μ	: Viscosidad dinámica del fluido	[centiPoise]
v	: Velocidad	[m/s]
V	: Volumen	[m ³]
\dot{V}	: Caudal	[m ³ /s]
V_c	: Volumen de la cámara	[cm ³]
V_{Tc}	: Volumen total de la celda	[cm ³]
TIR	: Tasa Interna de Retorno	[%]
VAN	: Valor Actual Neto	[S/]
VDI	: Verein Deutscher Ingenieure	
WACC	: Costo Promedio Ponderado del Capital	[%]
z	: # de valencia de la sustancia en la solución	

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
I Introducción	17
1.1 Realidad problemática.....	17
1.2 Antecedentes	18
1.3 Formulación del problema	19
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
1.5 Formulación de la hipótesis	20
1.6 Justificación	20
1.6.1 Justificación teórica	20
1.6.2 Justificación económica.....	20
1.6.3 Justificación ambiental	20
1.7 Importancia	21
1.8 Alcances y Limitaciones	21
1.8.1 Alcances.....	21
1.8.2 Limitaciones.....	22
II Marco teórico	23
2.1 Motor de combustión interna (MCI).....	23
2.1.1 Ciclo Otto – encendido por chispa.....	23

2.2	El hidrógeno como combustible alternativo	24
2.2.1	Propiedades del hidrógeno.....	24
2.2.2	Métodos de producción de hidrógeno.....	24
2.2.3	Gas HHO.....	25
2.2.4	Electrólisis	25
2.3	Generador de hidrógeno.....	26
2.3.1	Generador de hidrógeno de celda seca	27
2.3.2	Cálculos para la producción de hidrógeno.....	28
2.4	Diseño en ingeniería.....	32
2.4.1	Metodología de diseño en ingeniería (VDI 2221)	33
2.4.2	Consideraciones para el diseño.....	36
2.5	Implementación del generador de hidrógeno en una motokar	36
2.5.1	Especificaciones técnicas del motor	36
2.5.2	Implementación del generador de hidrógeno.....	36
III	Metodología.....	39
3.1	Materiales.....	39
3.1.1	Trabajo experimental	39
3.1.2	Trabajo de gabinete.....	40
3.2	Diseño metodológico	41
3.2.1	De acuerdo con el enfoque de la investigación.....	41
3.2.2	Método	41
3.2.3	Procedimiento de la investigación	42

3.2.4	Diseño de investigación	43
3.2.5	Población y muestra.....	43
3.2.6	Operacionalización de las variables.....	44
3.2.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.2.8	Procedimiento de recolección de datos.....	44
3.2.9	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	45
IV	Resultados y discusión	47
4.1	Resultados	47
4.1.1	Diseño del generador de hidrógeno de celda seca	47
4.1.2	Instalación de la celda de hidrógeno.....	52
4.1.3	Hidrógeno producido en condiciones de operación.....	54
4.1.4	Porcentaje de reducción del consumo de gasolina a partir de la implementación del generador de hidrógeno	55
4.1.5	Análisis económico - financiero de la implementación del generador de hidrógeno en una motokar	56
4.2	Discusión.....	58
V	Conclusiones y recomendaciones.....	60
5.1	Conclusiones	60
5.2	Recomendaciones.....	62
VI	Referencias bibliográficas	63
VII	Anexos.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del hidrógeno	24
Tabla 2 Datos técnicos del motor.....	36
Tabla 3 Procedimiento de la investigación	42
Tabla 4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
Tabla 5 Listado final de componentes de la celda de hidrógeno	47
Tabla 6 Listado final de componentes del generador de hidrógeno	50
Tabla 7 Porcentaje de reducción del consumo de gasolina.....	56
Tabla 8 Variables para el análisis económico-financiero del proyecto	56
Tabla 9 Propósitos principales del proyecto	69
Tabla 10 Lista de exigencias.....	70
Tabla 11 Escala de valoración para conceptos de solución	80
Tabla 12 Evaluación de conceptos de solución del SF	80
Tabla 13 Criterios de evaluación para el análisis técnico-económico	83
Tabla 14 Evaluación técnica del proyecto	83
Tabla 15 Evaluación económica del proyecto	84
Tabla 16 Componentes del arrestallamas	94
Tabla 17 Componentes de la celda de hidrógeno	96
Tabla 18 Componentes del generador de hidrógeno.....	99
Tabla 19 Datos obtenidos para un nivel de concentración de 31.667 g/l	107
Tabla 20 Resultados para un nivel de concentración de 31.667 g/l.....	107
Tabla 21 Datos obtenidos para un nivel de concentración de 48.333 g/l	107
Tabla 22 Resultados para un nivel de concentración de 48.333 g/l.....	108
Tabla 23 Datos obtenidos para un nivel de concentración de 65 g/l	108
Tabla 24 Resultados para un nivel de concentración de 65 g/l.....	108

Tabla 25 Resultados promedio de la producción de hidrógeno	109
Tabla 26 Resumen de resultados para el volumen crítico.....	111
Tabla 27 Variables para la ecuación estequiométrica.....	111
Tabla 28 Datos correspondientes a cada recorrido realizado.....	119
Tabla 29 Parámetros obtenidos según cada recorrido realizado	120
Tabla 30 Costos de los componentes del generador de hidrógeno	121
Tabla 31 Costos de fabricación.....	121
Tabla 32 Costos de producción variables (insumos)	121
Tabla 33 Costos de producción variables (energía eléctrica)	122
Tabla 34 Costos de mantenimiento.....	122
Tabla 35 Variables del proyecto	122
Tabla 36 Inversiones.....	123
Tabla 37 Costos de operación	123
Tabla 38 Ahorro por consumo de combustible.....	123
Tabla 39 Financiamiento del proyecto.....	124
Tabla 40 Estado de pérdidas y ganancias económico.....	124
Tabla 41 Flujo de caja económico	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo real e ideal de motores de encendido por chispa	23
Figura 2 Métodos de producción de hidrógeno	25
Figura 3 Componentes principales de un generador de hidrógeno de celda seca.....	28
Figura 4 Proceso de diseño	33
Figura 5 Celda seca de hidrógeno final	49
Figura 6 Disposición final de los componentes del generador de hidrógeno	52
Figura 7 Resultado de la instalación de la celda de hidrógeno	53
Figura 8 Modificación: Primera calibración	53
Figura 9 Modificación: Segunda calibración	54
Figura 10 Hidrógeno producido en l/min	55
Figura 11 Caja negra del generador de hidrógeno	71
Figura 12 Estructura de funciones 01	73
Figura 13 Estructura de funciones 02	74
Figura 14 Estructura de funciones 03	75
Figura 15 Estructura de funciones óptima	76
Figura 16 Matriz morfológica de Zwicky	77
Figura 17 Concepto de solución 1	78
Figura 18 Concepto de solución 2	79
Figura 19 Concepto de solución 3	79
Figura 20 Concepto de solución óptima (S2)	80
Figura 21 Proyecto preliminar 1	81
Figura 22 Proyecto preliminar 2	82
Figura 23 Proyecto preliminar 3	82
Figura 24 Evaluación técnico-económica del proyecto	84

Figura 25 Proyecto preliminar óptimo (P3).....	85
Figura 26 Realización de agujeros a las planchas de acrílico.....	86
Figura 27 Piezas de acrílico, frontal y posterior	86
Figura 28 Piezas de acrílico, frontal y posterior	87
Figura 29 Placa neutra	88
Figura 30 Electrodo positivo y negativo	88
Figura 31 Proceso de corte de las juntas de caucho.....	89
Figura 32 Junta de caucho	89
Figura 33 Piezas de la celda de hidrógeno.....	90
Figura 34 Tornillos, tuercas y arandelas	90
Figura 35 Ensamble de piezas	91
Figura 36 Colocación del electrodo negativo	91
Figura 37 Colocación de la junta de caucho y el electrodo neutro	92
Figura 38 Ensamble final de la celda de hidrógeno.....	93
Figura 39 Verificación de continuidad en los electrodos y tornillos	93
Figura 40 Disposición final del generador de hidrógeno.....	96
Figura 41 Proceso de fabricación de la estructura del generador de hidrógeno	102
Figura 42 Estructura para el montaje del generador de hidrógeno	103
Figura 43 Montaje de la estructura	103
Figura 44 Instalación del sistema eléctrico.....	104
Figura 45 Instalación del arrestallamas	104
Figura 46 Instalación al filtro de aire.....	104
Figura 47 Acople a la brida del carburador.	105
Figura 48 Instalación final del generador de hidrógeno.	105
Figura 49 Producción de hidrógeno en l/min.....	109

Figura 50 Recorrido 1G (0 a 88 km).....	114
Figura 51 Recorrido 2G (1982 a 2037 km).....	114
Figura 52 Recorrido 3G (2310 a 2366 km).....	115
Figura 53 Recorrido 4G (2372 a 2443 km).....	115
Figura 54 Alternador: a) monofásico b) trifásico	115
Figura 55 Selenio: a) monofásico b) trifásico.....	116
Figura 56 Recorrido 1G-H (3663 a 3737 km)	116
Figura 57 Recorrido 2G-H (3737 a 3808 km)	116
Figura 58 Primera calibración.....	117
Figura 59 Segunda calibración	117
Figura 60 Recorrido 1G-H-M (3871 a 3949 km)	118
Figura 61 Recorrido 2G-H-M (3949 a 4026 km)	118
Figura 62 Recorrido 3G-H-M (4098 a 4182 km)	118
Figura 63 Recorrido 4G-H-M (4571 a 4651 km)	119
Figura 64 Depósito o tanque de almacenamiento	127
Figura 65 Hojas de acrílico.....	127
Figura 66 Planchas de acero inox. 304L.....	128
Figura 67 Manguera de gas de alta presión	129
Figura 68 Burbujeador de PVC	130

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de operacionalización de variables.....	67
Anexo 2 Matriz de consistencia.....	68
Anexo 3 Metodología de diseño según la norma VDI 2221	69
Anexo 4 Instalación de la celda de hidrógeno	102
Anexo 5 Cálculo del hidrógeno producido en condiciones de operación	106
Anexo 6 Cálculo del porcentaje de reducción del consumo de gasolina.....	114
Anexo 7 Análisis económico – financiero del proyecto.....	121
Anexo 8 Especificaciones técnicas de los componentes del generador de hidrógeno	127
Anexo 9 Entalpía de formación	131
Anexo 10 Especificaciones técnicas de la pinza amperimétrica	132
Anexo 11 Especificaciones técnicas del tacómetro digital.....	135

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general el implementar un generador de hidrógeno en una motokar para reducir el 30% del consumo de gasolina, para ello se diseñó una celda seca a partir de la metodología de diseño según la norma VDI 2221, obteniendo una celda de hidrógeno de 170x120x100 mm con placas de acero inoxidable AISI 304L, la cual formó parte de todo el sistema que contó con un tanque de almacenamiento de plástico de forma esférica conectado con mangueras de neopreno de alta presión y un burbujeador de material reciclable, posteriormente se realizaron varias pruebas de funcionamiento con distintas concentraciones de agua y soda cáustica, obteniendo como resultado que con una concentración de 65.000 g/l es posible producir como mínimo 0.374671 litros de hidrógeno por minuto, lo cual generó una reducción del 31.59% del consumo de combustible, mientras que, al modificar el sistema de admisión, se alcanzó una reducción del 38.07%, satisfaciendo en ambos casos la hipótesis planteada. Por último, se obtuvo un VAN de S/ 9,896.44, una TIR de 118.78%, un beneficio-costo de 9.533 y un pay-back de 301 días, concluyendo que el presente trabajo de investigación es viable y rentable a corto plazo.

Palabras clave: generador de hidrógeno, motokar, sistema de admisión, electrólisis.

ABSTRACT

The general objective of this research work was to implement a hydrogen generator in a motokar to reduce 30% of gasoline consumption. For this purpose, a dry cell was designed based on the design methodology according to the VDI 2221 standard, obtaining a 170x120x100 mm hydrogen cell with AISI 304L stainless steel plates, which was part of the entire system that had a spherical plastic storage tank connected with high-pressure neoprene hoses and a bubbler made of recyclable material, later Several operating tests were carried out with different concentrations of water and caustic soda, obtaining as a result that with a concentration of 65,000 g/l it is possible to produce at least 0.374671 liters of hydrogen per minute, which generated a 31.59% reduction in fuel consumption. fuel, while, by modifying the intake system, a reduction of 38.07% was achieved, satisfying the proposed hypothesis in both cases. Finally, an NPV of S/ 9,896.44, an IRR of 118.78%, a benefit-cost of 9,533 and a pay-back of 301 days were obtained, concluding that the present research work is viable and profitable in the short term.

Keywords: hydrogen generator, motokar, intake system, electrolysis.

I Introducción

1.1 Realidad problemática

En la exploración de soluciones respetuosas del medio ambiente, se investigó al hidrógeno como un combustible limpio que sustituye a los combustibles fósiles en los MCI, dadas sus propiedades como su alto índice de octanaje (130), es decir la capacidad de operar a altas tasas de compresión sin combustión prematura o explosión en comparación con la gasolina (87) además del diésel (30). Así también, la energía mínima necesaria es otro aspecto significativo para la combustión, con un valor de 0,017 mJ, inferior a otros combustibles como el metano (0,29 mJ) y la gasolina (0,24 mJ). Otra ventaja es su velocidad de combustión (2,65 m/s y 3,25 m/s), lo que demuestra que se combustiona muy rápido, es decir, su tiempo de quemado es corto. Como se observa, el uso de este combustible tiene muchas ventajas, aunque el proceso de obtención y almacenamiento es complejo y requiere una gran cantidad de energía. (Díaz et al., 2018)

Cabe indicar que el hidrógeno es el elemento más común en la tierra. Aunque no existe en su estado único, se ha descubierto que forma parte de un compuesto específico como el agua (H_2O), pura o producida mediante un proceso químico como la electrólisis. (Akal et al., 2020)

Es evidente el bajo uso que hace el Perú en cuanto al hidrógeno como combustible alternativo, por ello es necesario encontrar nuevas formas de extraer este elemento que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático y reducir los gases de efecto invernadero que siguen afectando al mundo, dada la importancia de estas formas novedosas de producción de energía limpia y renovable, utilizando el agua como insumo principal.

1.2 Antecedentes

Exploraciones en el mundo respecto a proyectos de generación de hidrógeno, como la de Qian et al. (2022), determinaron los efectos de la inyección de agua y la sincronización de la chispa en el rendimiento de un motor híbrido de gasolina con hidrógeno. En este estudio, la velocidad del motor se mantuvo a 1300 rpm y la apertura del acelerador del 30% teniendo una relación aire/combustible en exceso de 1. Se agregó un porcentaje de energía de hidrógeno del 15%, un ratio de masa de combustible de agua de 0.2 y 0.4 en el puerto de admisión. Concluyendo que, con la inyección de agua, la alta emisión de NO causada por la adición de hidrógeno pudo reducirse en gran medida, sin embargo, con el efecto secundario de mayores emisiones de HC y CO (p. 4).

Así también, Pesántez y Tacuri (2021), adecuaron un generador de hidrógeno de celda seca en un motor endotérmico de 150cc y 4 tiempos, para ello realizaron el diseño usando el software Autodesk Inventor, considerando el uso de elementos que resistan a la corrosión, por ejemplo, el acero inoxidable 316L, así como placas de acrílico de 6mm de espesor.

De igual forma, Alvarado (2019) en su investigación orientada a la implementar un generador de hidrógeno en pequeños vehículos a fin de disminuir costos de transporte de la empresa MOTARD Chulucanas, determinó que el mantenimiento se debe realizar a los cuatro meses de instalado el generador, para ello se recomienda generar cartillas de mantenimiento con los cambios a realizar según lo planificado, logrando un ahorro del 71.42%.

En este contexto Juárez et al. (2018) señalan que, cuan mayor es el nivel de concentración de hidróxido de potasio, disminuye el lapso para generar 100 ml de gas, sin embargo, la pendiente se reduce, cuanto la concentración es mayor, lo que recomiendan un valor máximo para emplear KOH. Superada esta etapa, aunque añadan más de 15 g, la solución estará repleta de hidróxido de potasio y las variaciones no son provechosas, puesto que, si la

cantidad de hidróxido de potasio sigue en crecimiento, las baterías se descargarán con facilidad, es decir arrancar el motor únicamente con hidrógeno fue más complicado que con gasolina.

A nivel nacional, Cabanillas (2022) implementó un generador de hidrógeno de celda seca a un vehículo con motor gasolinero a fin de aumentar el desempeño energético, señalando que gracias a tal implementación se logra un beneficio respetable respecto al consumo de combustible, pues recorriendo 10 km, se alcanza un ahorro de 23.44%, traducido en un beneficio económico para el dueño del vehículo a mediano plazo.

1.3 Formulación del problema

¿De qué manera al implementar el uso de un generador de hidrógeno se reducirá el 30% del consumo de gasolina en una motokar?

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Realizar la implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para reducir el 30% del consumo de gasolina.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- a. Diseñar un generador de hidrógeno de celda seca según la metodología de diseño basada en la norma VDI 2221.
- b. Realizar la instalación del generador de hidrógeno, realizando modificaciones al sistema de admisión de la motokar.
- c. Calcular la cantidad de hidrógeno producido en condiciones de operación.
- d. Calcular el porcentaje de reducción del consumo de gasolina a partir de la implementación del generador de hidrógeno.
- e. Realizar el análisis económico-financiero de la implementación del generador de hidrógeno de celda seca en una motokar.

1.5 Formulación de la hipótesis

Al implementar un generador de hidrógeno en una motokar se reducirá el 30% del consumo de gasolina en condiciones de funcionamiento a partir del uso de agua destilada y modificaciones al sistema de admisión.

1.6 Justificación

1.6.1 *Justificación teórica*

El hidrógeno constituye una opción sostenible para suplir a los procedentes del diésel, por ser renovable, cuantioso, además de contribuir a emitir gases contaminantes en menor proporción hacia la atmosfera, siendo más eficiente que los combustibles tradicionales, es por ello por lo que el presente proyecto; resulta ser una alternativa muy atractiva.

1.6.2 *Justificación económica*

El siguiente trabajo de investigación se orienta a fabricar una celda electrolítica que genere hidrógeno; mediante agua destilada, como fuente indirecta de combustible. Tal es así que al tener en abundancia dicha alternativa de combustible habrá una considerable reducción de costos de combustible, generando así un gran impacto económico favorable para los consumidores.

1.6.3 *Justificación ambiental*

Resulta de vital importancia revelar el impacto medioambiental colosal que posee la generación de hidrógeno, debido a que su combustión no genera gases contaminantes, representando un combustible alternativo para MCI, el cual permitirá reducir considerablemente la explotación de recursos no renovables, garantizando así la sostenibilidad ambiental.

1.7 Importancia

La importancia de esta investigación es que las personas que utilizan vehículos menores como son las motokar puedan aplicar este sistema de acuerdo con las nuevas directrices tecnológicas en energías limpias, contribuyendo a disminuir el consumo de combustible. Aunque la inversión inicial es el factor decisivo a la hora de implementar este sistema, se espera que, debido al paulatino y significativo descenso de los precios de los componentes en los últimos años, esta inversión pueda justificarse, aportando mayor rentabilidad pues supondrá un ahorro importante respecto a los costos de consumo tradicionales.

En última instancia, este enfoque se puede aplicar en diferentes regiones del país, centrándose en la inclusión social a todo nivel, que incentive a los estudiantes universitarios a ser creativos e interesarse en aprender sobre las bases energéticas alternativas, que favorezcan a la protección medioambiental, alcanzando mejores resultados para el desarrollo socioeconómico y sostenible del Perú.

1.8 Alcances y Limitaciones

1.8.1 Alcances

La investigación desarrollada tiene un enfoque técnico y económico, cuyo objetivo fue analizar el impacto del uso de un generador de hidrógeno en un vehículo ligero, en este caso, una motokar. Los aspectos clave del alcance incluyen:

Análisis del funcionamiento del generador de hidrógeno: Se estudió cómo el generador de hidrógeno se integra en el sistema de combustible de la motokar, incluyendo el diseño y los principios de funcionamiento del sistema.

Reducción del consumo de gasolina: Se midió el consumo de gasolina pre y post implementación del generador de hidrógeno, con el objetivo de alcanzar la meta de una

reducción del 30%, para ello se realizaron pruebas prácticas y mediciones a lo largo de un periodo determinado.

Análisis económico: Se evaluó el costo de instalación del generador de hidrógeno frente a los ahorros en el consumo de gasolina, calculando el retorno de la inversión y la viabilidad a largo plazo.

1.8.2 *Limitaciones*

Factores externos no controlables: El generador de hidrógeno puede no funcionar de manera constante en todas las condiciones, afectando los resultados de ahorro de combustible, pudiendo influir factores como el clima, la altitud o el estado del motor.

Calidad del hidrógeno: La pureza y disponibilidad del hidrógeno son factores cruciales, y la investigación podría verse limitada si el suministro de hidrógeno no cumple con los estándares adecuados para la combustión eficiente en el motor.

Costos iniciales elevados: Aunque la reducción del consumo de gasolina fue el objetivo principal, la implementación del generador de hidrógeno requiere una inversión inicial que puede ser alta, lo cual podría limitar su viabilidad para usuarios con menos recursos.

Escalabilidad limitada: Los resultados obtenidos con una motokar específica pueden no ser representativos para otros tipos de vehículos, limitando la aplicabilidad de los hallazgos a diferentes contextos o regiones.

Estudio de viabilidad ambiental: No se investigó el impacto en la reducción de emisiones contaminantes, por lo que no se proporciona una evaluación del beneficio ambiental.

II Marco teórico

2.1 Motor de combustión interna (MCI)

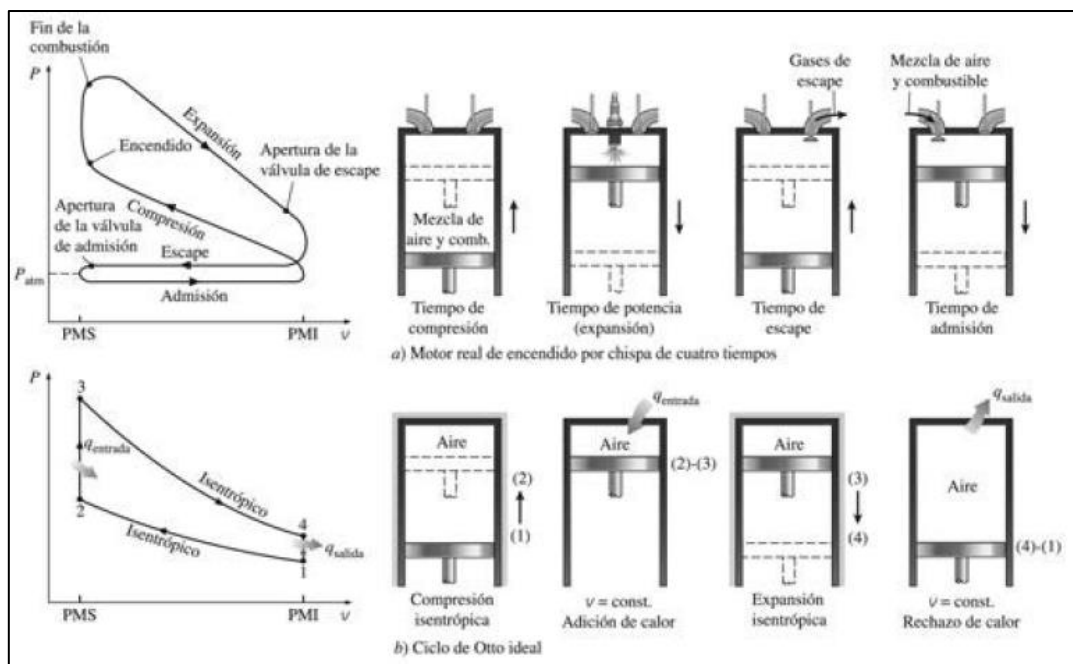
El motor consiste en un componente que convierte algún tipo de energía en energía mecánica. En este contexto, aparece el motor térmico, definido como el elemento que admite conseguir energía mecánica mediante energía térmica que yace en un fluido compresible, luego, según el lugar en que se origina la combustión, aparece el MCI, cuyo proceso se desarrolla en el mismo fluido de trabajo, que es básicamente una mezcla de combustible y aire. (Payri y Desantes, 2011)

2.1.1 Ciclo Otto – encendido por chispa

Es el proceso termodinámico empleado en los MCI de encendido por chispa eléctrica. Este nombre surge ya que la energía generada por el motor posee su origen en la cámara interna propuesta para tal propósito, afirman Cengel y Boles (2019), en honor a Nikolaus A. Otto, alemán que, el año 1876, fabricó un MCI, según la Figura 1.

Figura 1

Ciclo real e ideal de motores de encendido por chispa



Nota. Tomada de (Cengel y Boles, 2019)

2.2 El hidrógeno como combustible alternativo

Se trata de un gas insípido, inodoro, incoloro y no tóxico. Debido a su baja gravedad específica en comparación con el aire, es el gas más ligero conocido. Por ello se requiere especial cuidado en su manipulación para evitar accidentes, además se trata de un componente no aislado que es parte del agua (H_2O), de igual forma se combina con otros componentes como son los hidrocarburos, por lo que no se trata de un combustible, ya que posee propiedades químicas y físicas que lo distinguen. (Baltazar, 2020)

2.2.1 Propiedades del hidrógeno

A continuación, la Tabla 1 muestra las principales propiedades del hidrógeno.

Tabla 1

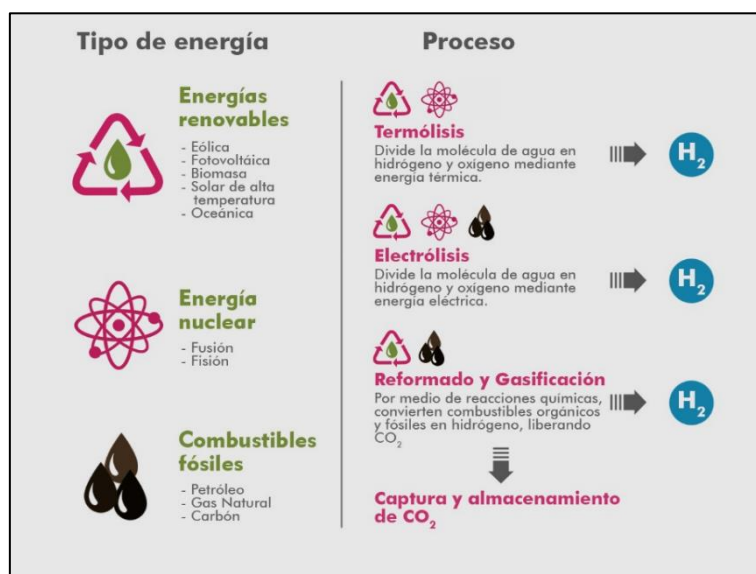
Propiedades del hidrógeno

PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO			
	Propiedad	Valor	Unidades
Z		1	
	Peso atómico	1.0079	
	Densidad en estado gaseoso (a 20°C y 1 atm)	0.08376	<i>kg/m³</i>
	Volumen específico del gas (a 20°C y 1 atm)	11.9	<i>m³/kg</i>
	Volumen molar	28.6	<i>mls</i>
	Punto de fusión	13.957	<i>K</i>
	Punto de ebullición	20.39	<i>K</i>
	Temperatura crítica	33.2	<i>K</i>
	Presión crítica	12.77	<i>atm</i>
	Entalpía de vaporización	0.44936	<i>kJ/mol</i>
	Entalpía de fusión	0.05868	<i>kJ/mol</i>
	PCI por unidad de masa	119.83	<i>MJ/kg</i>
	PCI por unidad de volumen	10.050	<i>MJ/m³</i>
	Número de Octano	130	

Nota. (Rodríguez et al., 2022)

2.2.2 Métodos de producción de hidrógeno

Debido a que este elemento yace combinado con otros, es posible obtenerlo a partir de materias primas diferentes, bases energéticas alternativas y mediante distintos procedimientos, mostrados en la Figura 2.

Figura 2*Métodos de producción de hidrógeno*

Nota. (FECYT, 2015)

2.2.3 Gas HHO

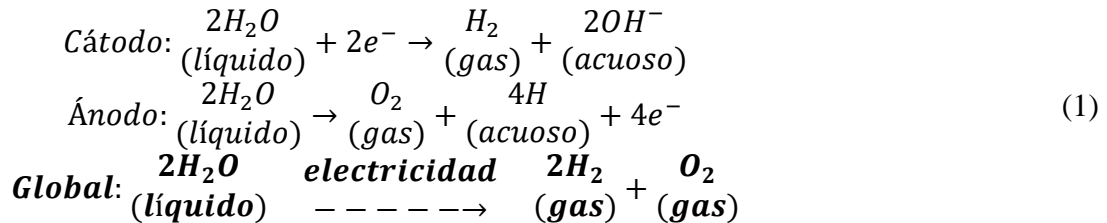
De acuerdo con Díaz et al. (2018), el oxihidrógeno o gas hidroxí consta de una combinación de hidrógeno diatómico y oxígeno en una relación molar 2:1. Su ignición genera agua y 142.35 kJ de calor por cada gramo de hidrógeno. Entre sus principales propiedades, se tiene a la energía de ignición mínima que bordea los 0.02 mJ, y una inflamabilidad a una temperatura de 298 K y presión de 1 atm en aire seco que va de 4% a 94% de HHO. Su proceso de producción es a través de la electrólisis del agua.

2.2.4 Electrólisis

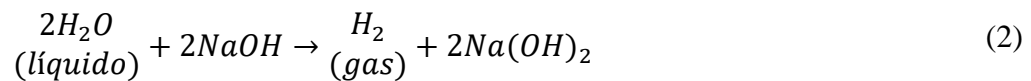
Consiste en la desintegración de las moléculas de agua ($2\text{H}_2\text{O}$) en oxígeno (O_2) e hidrógeno (2H_2), a través de la circulación de una corriente eléctrica de acuerdo a la ecuación 1. Luego, para mejorar la generación del gas HHO se necesita variar el pH del agua a través de un ácido o base, para ello, se utilizó hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH), contribuyendo así a una mayor velocidad de reacción. (Díaz et al., 2018)

Este componente brinda los mejores resultados en cuanto a mayor volumen de gas hidrógeno producido, además, se busca no obtener otras sustancias que puedan resultar tóxicas, debido a que el objetivo principal es obtener hidrógeno. (Baltazar, 2020)

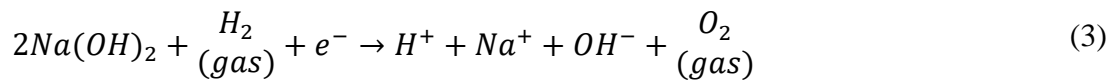
Seguidamente, se presenta la reacción del agua y la soda cáustica ($H_2O + NaOH$):



REAL



En la presente solución se generan dos elementos químicos como son el hidrógeno y el hidróxido de sodio, a la cual se le colocan dos electrodos de acero inoxidable, seguidamente a modo de prueba, más una corriente continua.



El hidrógeno emerge en forma de gas por el cátodo, así como oxígeno por el ánodo, por otro lado, el sodio al no reaccionar, se adhiere al cátodo, generando una capa que bordea al electrodo inoxidable, no es extraño que en esta reacción se originen iones de hidróxido como medio alcalino o básico.

2.3 Generador de hidrógeno

Conjunto de componentes que transforman el agua en hidrógeno para posteriormente alimentar a un motor, cabe indicar que el agua debe purificarse y estilizarse para garantizar mejores resultados. Por otro lado, una definición más simple consiste en que unos electrodos al permitir el paso de corriente por el agua producen hidrógeno por electrólisis, desasociando los átomos del H_2O y obteniendo HHO, este gas se desplaza por el colector de admisión, mejorando la mezcla y generando mayor potencia y menor consumo. (Baltazar, 2020)

En el sector automotriz hay dos tipos de celdas (secas y húmedas) para lograr la electrólisis, denominadas celdas electrolíticas, elaboradas de acero inoxidable. (Pesántez y Tacuri, 2021)

2.3.1 Generador de hidrógeno de celda seca

La principal diferencia entre celdas secas y húmedas radica en que en el primero se acumula una pequeña cantidad de agua en el mismo generador, la gran parte se acumula en un depósito a diferencia de la celda húmeda donde la misma celda es el contenedor, así también las celdas secas son más eficientes que las húmedas ya que necesita para desarrollar la electrólisis, una mínima cantidad de corriente eléctrica. (Better Fuel Technology, 2023)

a. Funcionamiento. Se utiliza agua destilada y 12 V CC de una batería o fuente de energía unidireccional como punto de partida para arrancar el generador. En el proceso de electrólisis, el generador libera oxígeno e hidrógeno respectivamente el cual se envía a la admisión de aire del motor donde se combina con una mezcla estequiométrica para luego realizar el proceso de combustión. (Pesántez y Tacuri, 2021)

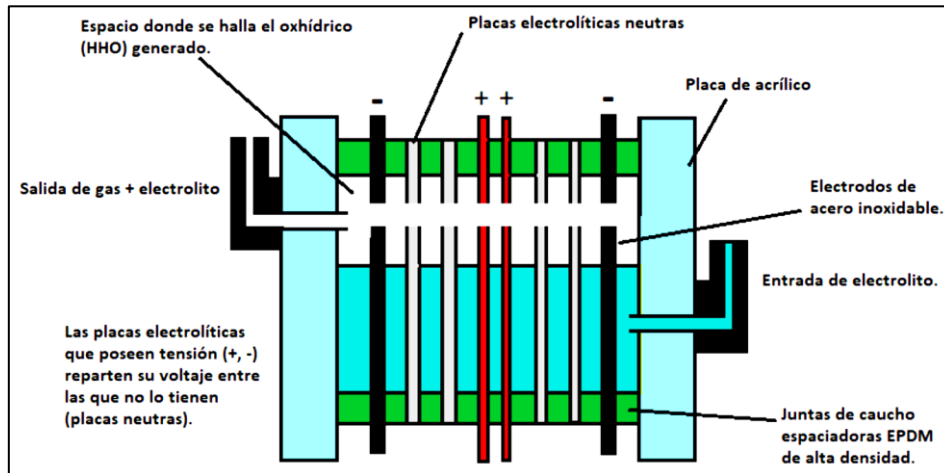
b. Componentes principales. La celda seca de hidrógeno está formada en sus extremos por dos tapas y entre ellas hay placas de acero inox. que hacen de electrodos espaciados por juntas de caucho entre ellas.

Las tapas de los límites son de acrílico u otro aislante que impida el paso del flujo de corriente. Así también, los electrodos, son de material conductor, siendo el acero inoxidable AISI 304L, un buen candidato a usar dado su bajo costo y propiedades adecuadas, por otro lado, las juntas también son de material aislante, debido a que su propósito es separar los electrodos para impedir que entren en contacto. El espesor está en función de la distancia necesaria entre electrodos, generalmente de 3 a 5mm.

La Figura 3 muestra los principales componentes de este generador de hidrógeno.

Figura 3

Componentes principales de un generador de hidrógeno de celda seca



Nota. (S.A.Q et al., 2018)

2.3.2 Cálculos para la producción de hidrógeno

A fin de corroborar la cantidad de hidrógeno producido por el generador, se usó como electrolito NaOH el cual se combinó con agua destilada, variando la relación de mezcla, para ello se siguió la metodología de (Cabanillas, 2022).

a. Área de placas y volumen de las celdas. Para obtener el área de las placas se puede calcular, restando el área total, menos el área de los agujeros, según la Ec. 4:

$$A_p = A_t - A_a \quad (4)$$

Michael Faraday manifestó que las celdas de electrólisis son capaces de soportar hasta 0.084 amperios por centímetro cuadrado sin generar sobrecalentamiento.

Luego, para el volumen de una cámara, se aplicará la Ec. 5:

$$V_c = A_p \times e \quad (5)$$

Donde e, corresponde al espesor de la junta de neopreno en cm.

El volumen total de la celda quedará determinado por el volumen de la cámara por la cantidad de cámaras, de acuerdo a la Ec. 6.

$$V_{Tc} = V_c \times n_c \quad (6)$$

b. Número de moles de hidrógeno. A partir de la energía que traspasa el sistema, se calculan los moles de hidrógeno producidos, usando la Ley de Faraday (Ec. 7) de la electrólisis, para calcular la masa de la sustancia:

$$m_{H_2} = \frac{Q}{F} * \frac{M}{Z} \quad (7)$$

Donde:

Además, la carga eléctrica se puede calcular de acuerdo a la Ec. 8:

$$Q = I * t \quad (8)$$

Finalmente, al dividir la masa de la sustancia (m_{H_2}) entre la masa molar M del hidrógeno que es de 1.00784 g/mol y considerando que el número de valencia del hidrógeno es de 1, se calcula la cantidad de sustancia liberada (en moles), según la Ec. 9:

$$n = \frac{I * t}{F} * \frac{1}{Z} \quad (9)$$

c. Caudal de producción de hidrógeno: Con la presión que ejerce el gas generado, la temperatura y los moles de hidrógeno, se puede obtener la producción de hidrógeno en l/min, haciendo uso de la ecuación de gases ideales, según Ec. 10:

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (10)$$

Este volumen obtenido, se multiplica por la cantidad de cámaras, luego se divide entre 2, puesto que el oxígeno constituye la mitad del volumen de hidrógeno, finalmente al sumar ambos valores, corresponde caudal teórico de la producción de hidrógeno.

d. Eficiencia del generador

Esta eficiencia está representada por el volumen de hidrógeno producido, sobre el volumen inicial de agua que se usó para tal propósito, según la Ec. 11.

$$\eta_{generador} = \frac{\text{volumen de hidrógeno producido}}{\text{volumen de agua}} \quad (11)$$

e. Cálculo de la energía consumida

La energía utilizada para producir X g de hidrógeno se calculó con la Ec. 12.

$$Xg \text{ hidrógeno} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ g de hidrógeno}} \quad (12)$$

Además,

$$Q = F * n \quad (13)$$

Cabe señalar que 1Ah equivale a 3600 C, luego:

$$P_{requerida} = Q * E^{\circ} \quad (14)$$

Donde E° , es el mínimo voltaje requerido para comenzar el proceso de electrólisis, ya que, en la reacción química del agua, para la obtención de hidrógeno y oxígeno gaseoso, es imprescindible aplicar cierto voltaje al cambio de la energía libre de Gibbs ΔG , teniendo que esta reacción no es espontánea y para lograr tal separación será necesario tener al menos un voltaje de + 1.23 V. (Baltazar, 2020)

f. Cálculo de la conductividad del electrolito

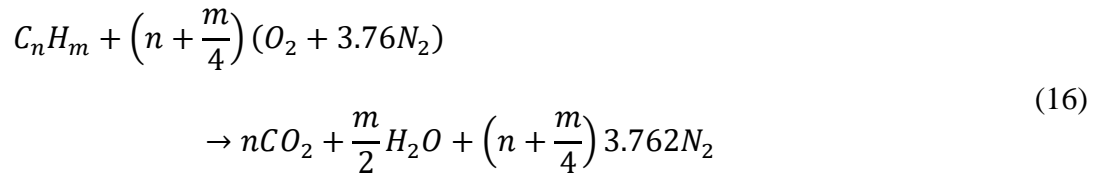
A fin de calcular la conductividad, de acuerdo con (Pesántez y Tacuri, 2021), se hará uso de la siguiente Ec. 15:

$$C = \frac{I * e}{V * A_p * n_c} \quad (15)$$

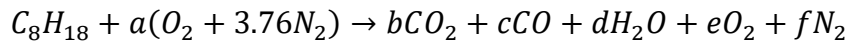
g. Cálculo estequiométrico

Para ello, se inicia considerando lo siguiente:

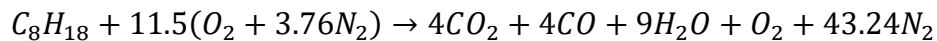
Dosado estequiométrico. Comprende la relación de aire-combustible existente en la reacción química de la combustión a fin de que no sobre ni combustible ni aire y se esquematiza según la Ec. 16.



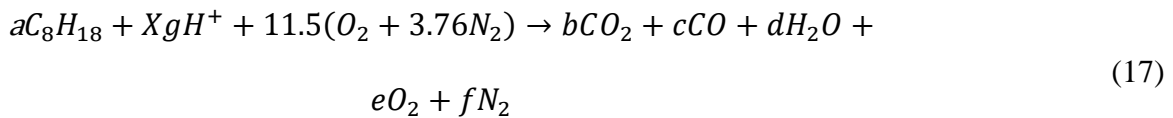
Combustión ideal del octano (gasolina)



De donde balanceando, se llega a la siguiente reacción:



Combustión con el generador de hidrógeno (gasolina + H)



Balanceando, se tiene lo siguiente:

- C: $8a = b + c$
- H: $18a + X = 2d$
- O: $23 = 2b + c + d + 2e$
- N: $43.24 = f$

h. Cálculo de entalpía de formación y entalpía de combustión

Todos los procesos químicos en el medio ambiente durante la formación de productos implican la transferencia de energía y, cuando se forman enlaces químicos, se libera una gran cantidad de energía, que se manifiesta en forma de calor. En una reacción química, si una sustancia no sufre un cambio químico durante el proceso, su estado referencial no tiene ningún efecto, pero si se produce un cambio químico, se adopta la nomenclatura referencial estándar, que es de 25 °C y 1 atm.

A partir de ello, la reacción química de la combustión, h_c , queda definida como la diferencia entre la entalpía de los productos y la entalpía de los reactivos a condiciones normales, y se expresa mediante la siguiente Ec. 18:

$$h_c = H_{prod.} - H_{reacc.} \quad (18)$$

Este valor de entalpía es distinto para la quema de los distintos combustibles. Por otro lado, la entalpía de formación h_f , indica que todos los elementos químicos estables como el (O_2 , H_2 , N_2 y C) poseen un valor de cero, en sus estados referenciales estándar ($25\text{ }^\circ\text{C}$ y 1 atm), $h_f = 0$.

El signo negativo indica que esta reacción tuvo liberación de calor (proceso exotérmico), mientras que un valor positivo, absorción de calor (proceso endotérmico).

i. Cálculo de tuberías

Conociendo el caudal de producción de hidrógeno y el área de la tubería, se puede calcular la velocidad, haciendo uso de la Ec. 19:

$$\dot{V} = v \times A \quad (19)$$

Conociendo el caudal de producción de hidrógeno y el área de la tubería, se puede calcular el número de Reynolds, según la Ec. 20:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (20)$$

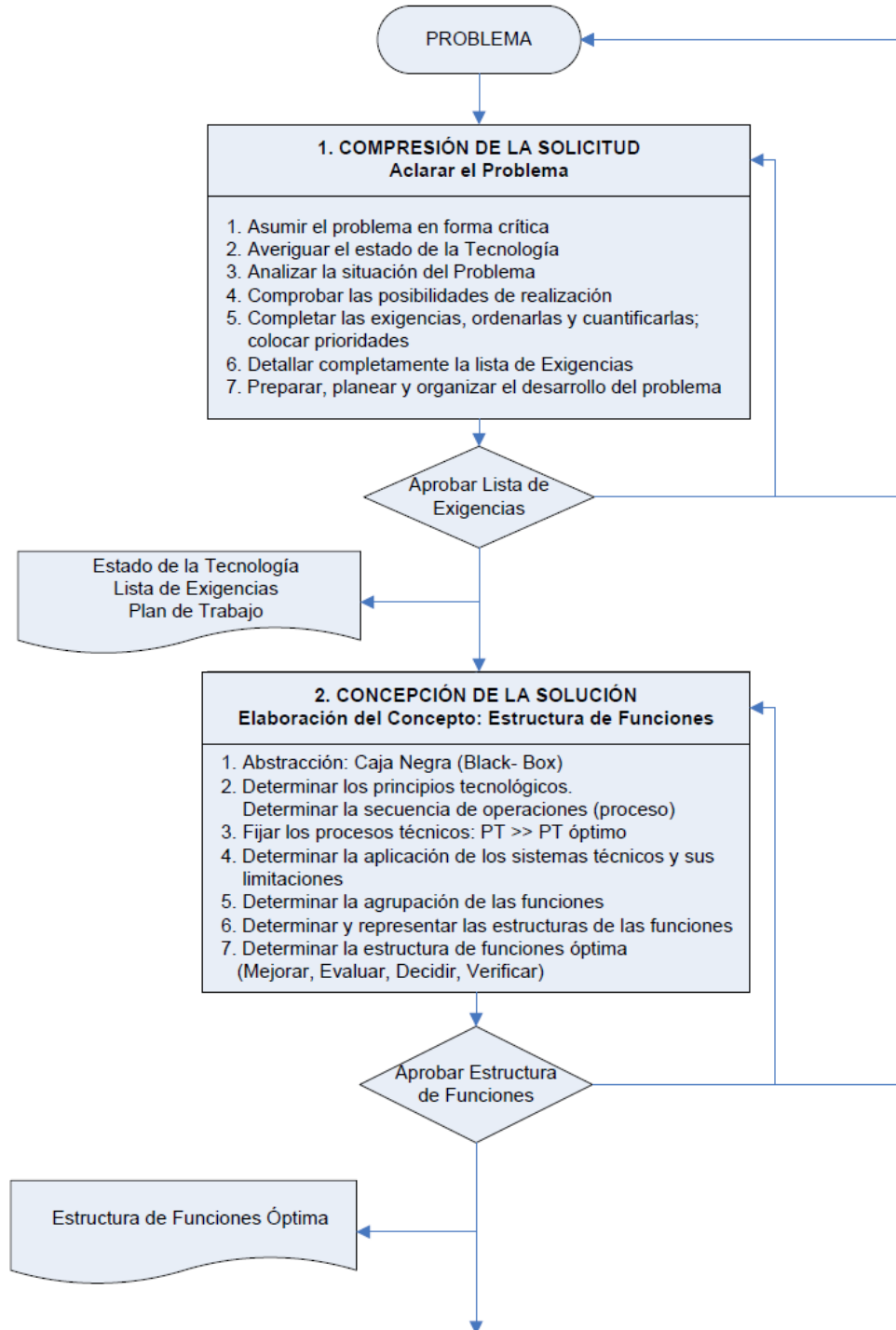
2.4 Diseño en ingeniería

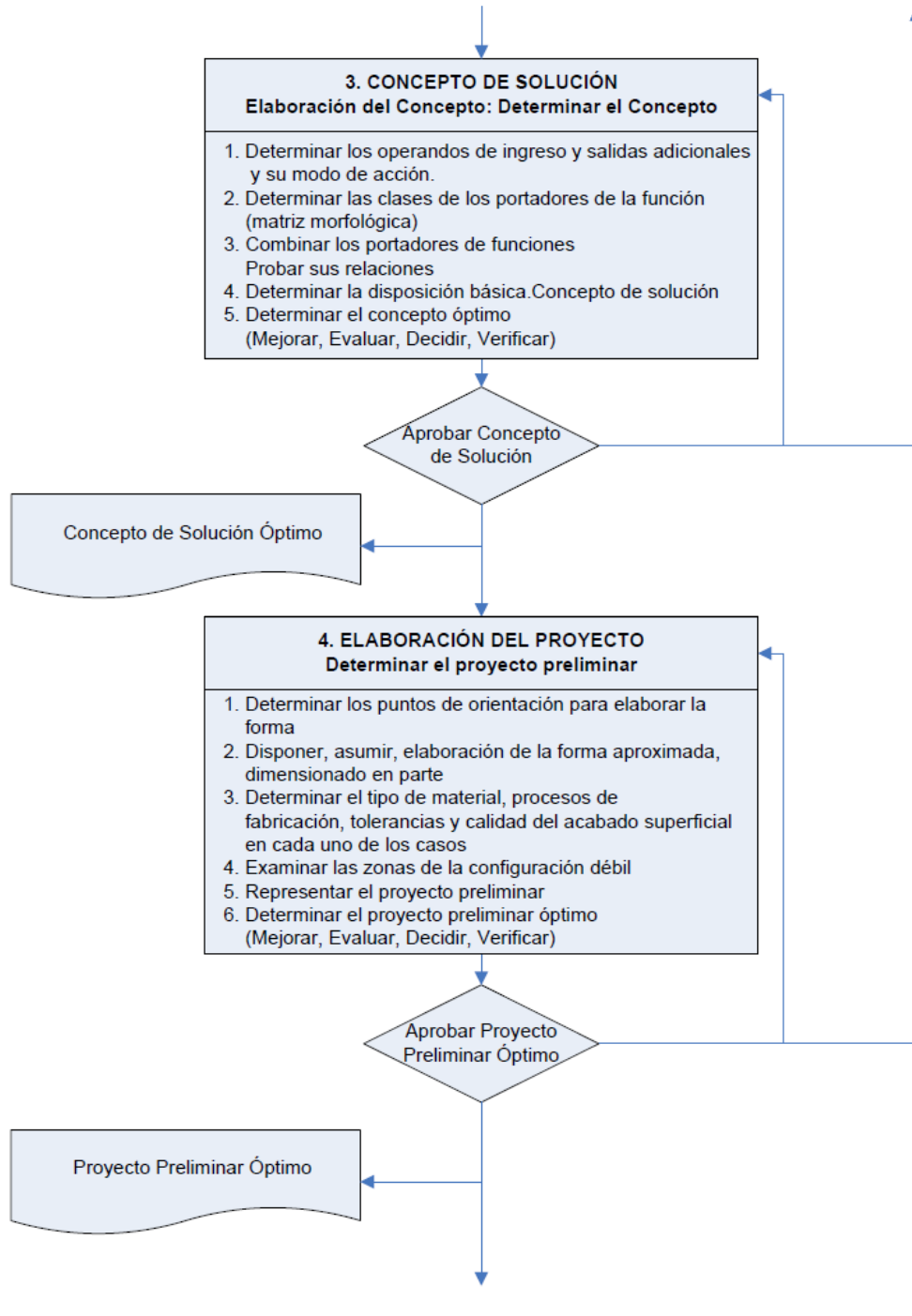
De acuerdo con Cross (2002), el diseño nace como respuesta a unas necesidades y para alcanzar determinados objetivos, siempre está y siempre estará en la naturaleza humana. A medida que estos objetivos y necesidades cambian, se realizan mejoras e incluso nuevos dispositivos para cumplirlos. Los dibujos son una forma de comunicar el desarrollo de un artefacto o proyecto y deben ser una representación final de su ejecución o fabricación, además pueden variar desde un diseño general hasta vistas específicas (como secciones o detalles).

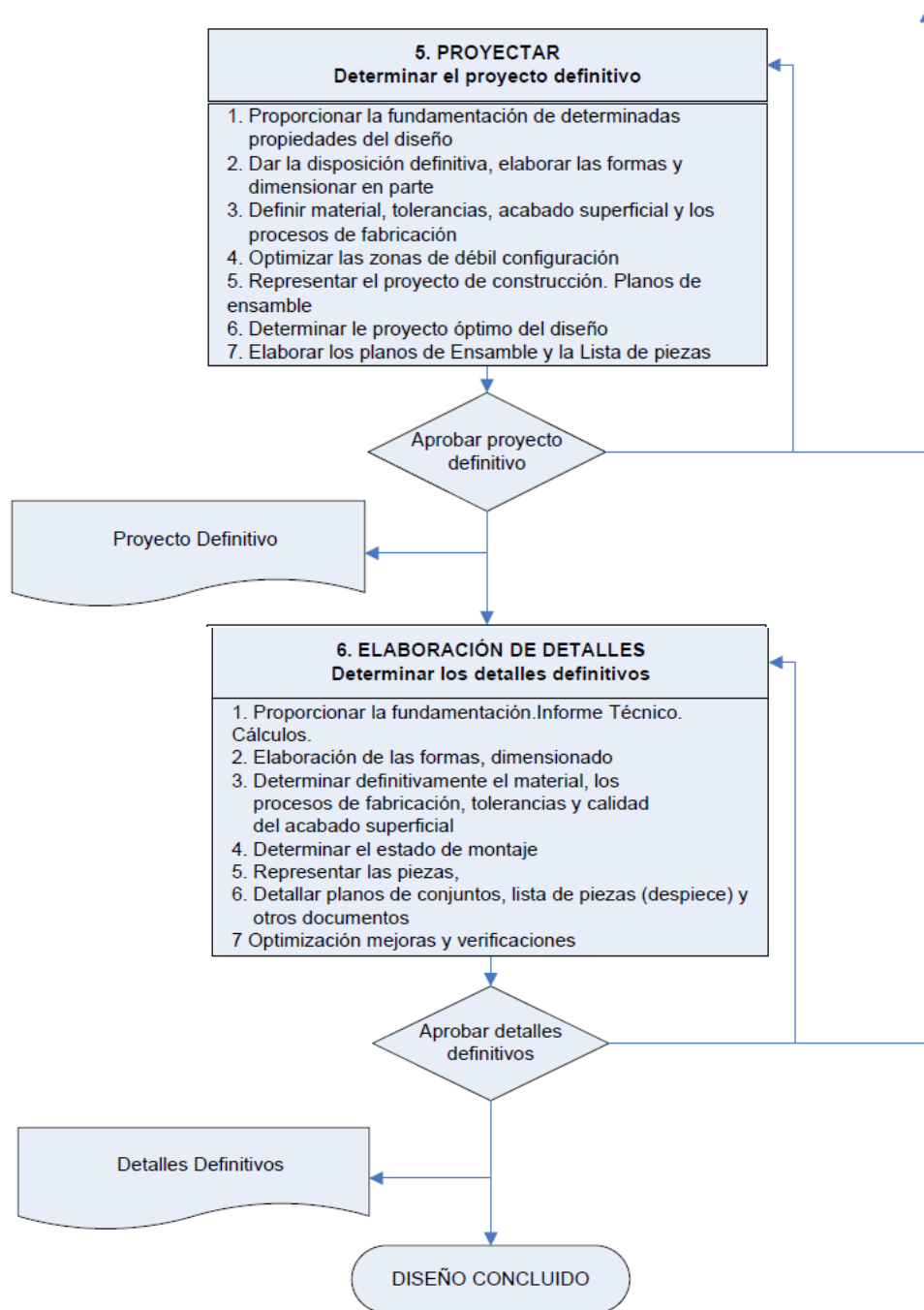
2.4.1 Metodología de diseño en ingeniería (VDI 2221)

Figura 4

Proceso de diseño







Nota. Barriga (2018).

La Figura 4 muestra el proceso de desarrollo de las actividades de cada fase.

2.4.2 Consideraciones para el diseño

Las características de un componente o sistema que influyen en su diseño son las consideraciones de diseño, donde las más importantes son la funcionalidad, seguridad, resistencia, practicidad, manufactura, costo, peso, vida útil y mantenimiento. (Budynas y Keith, 2012)

2.5 Implementación del generador de hidrógeno en una motokar

2.5.1 Especificaciones técnicas del motor

Tabla 2

Datos técnicos del motor

Motor	150 CC/RAMAL
Serie	162FMJN1227503
Marca	Yang zu
Modelo	Cg 150
Nro de Dua	118-2022-10-257418-00
Tipo de motor	Monocilíndrico 4T
Año de fabricación	2020
Categoría	Tricimoto
Combustible	Gasolina
Capacidad máxima del tanque de combustible	12 litros
Cilindrada total	150 cm ³
Diámetro del pistón	63.5 mm
Carrera del pistón	77.6 mm
Potencia máxima	11 HP/ 8.2 kW a 8500 RPM
Torque o par motor máximo	10 Nm a 7500 RPM
Relación de compresión	9.2:1

2.5.2 Implementación del generador de hidrógeno

a. Evaluación económica. Resulta imprescindible realizar un análisis económico a la hora de escoger los componentes del generador de hidrógeno, para tal propósito se procedió a:

- Establecer la inversión económica necesaria.
- Estimar los costos asociados a la puesta en marcha.
- Estimar los costos de mantenimiento a fin de preservar la vida útil de los componentes.

- Calcular los potenciales ingresos para así evaluar los beneficios a largo plazo.

Así también, según Benites et al. (2020), el WACC corresponde al rendimiento que se espera obtener de las inversiones a largo plazo para mantener el valor de la empresa en el mercado, también conocido como rendimiento de la inversión ajustado al riesgo. El rendimiento de las acciones de la empresa se convierte en una oportunidad de capital para los accionistas, es decir, el interés mínimo que debe ganar una inversión para generar valor para el negocio.

b. Aspectos legales. Bellota (2019) señala que Perú no cuenta con legislación para apoyar la inversión en RER. Además, toda la legislación sobre desarrollo energético hasta ahora tiene muchas limitaciones e incluso ambigüedades. Sin embargo, paulatinamente se promueve el uso de energía mediante recursos energéticos renovables, por lo que se espera una mejora en la legislación en esta materia. (p. 29)

c. Seguridad. Teniendo en cuenta que este proyecto tiene un alto índice de riesgo, se deben establecer medidas de seguridad añadiendo algunos elementos tales como:

- Interruptor de encendido y apagado
- Relay
- Arrestallamas

Así también, es importante que la jaula esté hecha de un material que no sea conductor de calor ni energía.

d. Instalación y montaje. Si el generador de hidrógeno diseñado no es instalado correctamente, este no funcionará, por ello es importante tener en cuenta las características y especificaciones técnicas de los componentes para proceder a un adecuado montaje.

e. Operación

- Se acciona el interruptor de encendido.

- Se produce el proceso de la electrólisis para separar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno.
- El gas generado es inyectado al sistema de admisión del motor, donde se mezcla con la gasolina.

f. Mantenimiento. En general, el mantenimiento es mínimo y preventivo para asegurar el correcto funcionamiento de los componentes; por lo que se recomienda revisar periódicamente la instalación en base a los siguientes aspectos:

- Inspección general.
- Realizar la limpieza y revisar las conexiones verificando que se encuentren ajustadas adecuadamente y sin señales de oxidación, suciedad, entre otros.
- Mantener los bornes de la batería engrasados para evitar sulfatación, además de realizar una limpieza periódica.
- Realizar el mantenimiento de la jaula.

Cabe indicar que los generadores de hidrógeno presentan muy pocas probabilidades de avería, más aún si se ha realizado una adecuada instalación de los componentes y se efectúa el correspondiente mantenimiento preventivo.

III Metodología

3.1 Materiales

La validez del diseño dependió bastante del contar con equipos adecuados y calibrados acorde a las necesidades, ya que permitieron obtener data consistente durante los ensayos experimentales con una buena precisión y exactitud; asimismo se usaron equipos y softwares convenientes para el procesamiento de estos.

3.1.1 *Trabajo experimental*

a. Equipos y bienes duraderos

- Motor de 4 tiempos carburado de 150 cc
- Amoladora y accesorios
- Multitester digital
- Medidor de voltaje digital
- Tablero digital / tacómetro

b. Materiales e insumos

- Combustible para pruebas
- Plancha INOX A316-1.2x2.4x1.8 mm
- Codos y accesorios
- Machos de 1/4" y 3/8"
- Manguera de agua
- Pernos M8x5"
- Soda cáustica
- Agua destilada
- Abrazaderas de 1/2", 1", 1/2"
- Tanque de agua
- Ángulo estructural 3/4"x3/4"x2 mm

- Plancha de polietileno 1.2x2.4x8 mm
- Tanque de gasolina
- Terminales de ojo
- Cable #10
- Brocas de acero inox. ½”, 3/8”, ¼”

c. Servicios

- Alquiler de motokar

3.1.2 Trabajo de gabinete

a. Equipos

- Laptop LENOVO como dispositivo principal (procesador AMD Ryzen 7 5700U con Radeon Graphics @ 1.80GHz, 16 GB de RAM y 1 TB de almacenamiento)
- Memoria USB Kingston (4 GB)
- Celular
- Calculadora científica Casio FX 9579 GII

b. Materiales

- Libros de metodología de la investigación
- Libros de ingeniería (diseño, termodinámica, motores de combustión interna)
- Software (Autodesk Inventor, AutoCAD, SolidWorks)
- Normas técnicas (NTP)
- Materiales de escritorio (papel bond, lapiceros, lápiz, marcadores, etc.)
- Juego de tinta de impresora EPSON

c. Servicios

- Internet
- Línea de celular
- Transporte

- Electricidad (Hidrandina S.A.)
- Agua (Sedachimbote S.A.)
- Impresiones y fotocopias

d. Otros gastos

- Inscripción al curso virtual Metodología de Diseño VDI 2022:2019, Blatt 01 y 02.

3.2 Diseño metodológico

3.2.1 *De acuerdo con el enfoque de la investigación*

- **Según su tipo:** Aplicada, ya que la investigación se ejecutó con una finalidad práctica, es decir, solucionar un problema real, como lo es el consumo elevado de combustible.
- **Según su enfoque:** Cuantitativa, ya que la investigación está sustentada en la recolección de datos basados en mediciones numéricas y aplicación de análisis, teorías y normas de carácter técnico (físico y matemático).
- **Según su alcance:** Exploratorio, puesto que la investigación tuvo como objetivo examinar un tema poco estudiado y/o novedoso, el cual se está indagando desde una perspectiva innovadora, de tal forma se está preparando el terreno para nuevos estudios relacionados al mismo proyecto de investigación.
- **Según su diseño:** Experimental, por el motivo de que se cuantificaron los efectos en el consumo de combustible al variar el tipo de agua para la generación de hidrógeno, así como los ajustes al sistema de admisión del motor de la motokar.

3.2.2 *Método*

- **Método General [Método científico (dialéctico) – comparativo]:** Ya que se tomaron investigaciones afines (estado del arte), las cuales permitieron generar nuevas teorías y conocimientos a partir de la comparación con los resultados y las lecciones aprendidas.

- **Métodos Específicos [Método analógico, de modelación e inferencial]:** Ya que se necesitó analizar la unidad de investigación (motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc), así mismo, mediante la investigación teórico-práctica, se diseñó, construyó e implementó una celda electrolítica de acuerdo con los objetivos planteados.

3.2.3 Procedimiento de la investigación

El procedimiento del presente trabajo de investigación se dividió en cinco etapas, según el esquema de la Tabla 3.

Tabla 3

Procedimiento de la investigación

ETAPA	ACTIVIDAD
1 Diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> - Determinación del consumo de gasolina con el sistema tradicional. - Análisis de los parámetros de funcionamiento.
2 Diseño	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de los lineamientos de la metodología de diseño VDI 2221. - Uso de modelos matemáticos. - Realización de los planos de diseño en el software SolidWorks®
3 Ensamblaje	<ul style="list-style-type: none"> - Guía a través del manual de instalación DC1500. - Instalación de la celda electrolítica*
4 Operación	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de parámetros de interés. - Ajustes al sistema de admisión del motor. - Determinación del consumo de gasolina con el sistema híbrido.
5 Validación	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de modelos matemáticos. - Registro de lecciones aprendidas. - Análisis estadístico.

Nota: Los datos muestran las actividades según cada etapa para el desarrollo de la presente investigación.

a. Procedimiento de instalación de la celda electrolítica

- Se inició armando la celda de hidrógeno diseñada previamente según la cilindrada de un MCI de 4 tiempos de 150cc, ya con la celda lista se procedió a su instalación en un espacio adecuado para el área correspondiente de acuerdo con los siguientes pasos según el manual de DC1500.

- La celda del hidrógeno se instaló en la entrada de aire del carburador.
- Hay que considerar que todos los circuitos deben trabajar solo cuando el vehículo está en marcha, es decir sólo cuando el motor está encendido.
- Se realizó la prueba de consumo por cada km recorrido, para ello se usó el tacómetro.
- Cada cierta prueba se fue regulando la entrada de gasolina directamente del carburador, hasta el punto de equilibrar el exceso del combustible y llegar a una relación de la mezcla estequiométrica de aire y combustible requerida.
- Las modificaciones al sistema de admisión se realizaron con el fin de reducir cada vez más el consumo de combustible y así acercarse al 30% de reducción proyectada.

3.2.4 *Diseño de investigación*

Se trató de un diseño experimental, con una evaluación previa (pre-test) y posterior (post-test).

En donde:

G: Grupo experimental

O: Observación

X: Factor estimulante

Su representación gráfica fue la siguiente:



G: Motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc

O1: Evaluación de la capacidad de producción de hidrógeno

X: Implementación de un generador de hidrógeno

O2: Evaluación final de la reducción del consumo de combustible

3.2.5 *Población y muestra*

La población la constituyen todas las motokar en la ciudad de Chimbote, mientras que, para la muestra, se consideró evaluar una celda electrolítica haciendo uso de agua destilada

más soda cáustica, en una motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc, la cual forma parte de los vehículos menores categoría L4, por tratarse de un vehículo pequeño con gran demanda hoy en día, motivo por el cual para el presente trabajo de investigación se planteó una muestra única.

3.2.6 *Operacionalización de las variables*

La matriz de operacionalización de variables se muestra en el Anexo 1.

3.2.7 *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

La recolección de datos se realizó utilizando las siguientes técnicas e instrumentos:

Tabla 4

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Revisión documental	No se utilizó instrumento, sin embargo, se organizó el producto en el marco teórico
La observación	Se utilizó una lista de cotejo cuyos resultados pueden verse en el Anexo X.
Instalación de la celda electrolítica	Ver apartado Y
Ajustes en el sistema de admisión	
Experimentación	Recopilación de datos
Análisis cuantitativo de datos	La estadística

3.2.8 *Procedimiento de recolección de datos*

Como punto de partida se recurrió a la BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA, relacionada a anteriores investigaciones sobre la generación de hidrógeno en el Perú y el mundo tales como informes, artículos científicos, reportes, entre otros, a fin de conocer mejor la problemática y los métodos de producción.

En cuanto a la parte experimental, se revisaron manuales de instalación, así como algunos ejemplos aplicativos de celdas electrolíticas para la generación de hidrógeno.

Una vez diseñada e instalada la celda electrolítica, se realizó TRABAJO DE CAMPO en una motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc, haciendo los ajustes respectivos al sistema de admisión; para ello fue necesaria la siguiente información:

a. Pre experimentación

- Intensidad de corriente (Amperios)
- Conductividad
- Propiedades del agua (densidad, contenido de humedad, # de electrolitos, etc.)

b. Post experimentación

- Electrodo positivo- negativo
- Electrodo neutro
- Láminas aislantes
- Cálculo del volumen de contención del electrolito
- Cálculo de la producción de hidrógeno
- Potencia consumida
- Energía suministrada
- Eficiencia del generador de hidrógeno

Finalmente se realizó TRABAJO DE GABINETE, donde toda la información recopilada de los ensayos experimentales pasó a ser procesada y ordenada, buscando que los resultados experimentales coincidan con los resultados obtenidos luego de aplicar los modelos matemáticos o estar próximos a éstos a fin de validar el diseño.

3.2.9 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Al solo recabarse una cantidad pequeña de datos iniciales como fue el consumo de combustible inicial, no fue necesario procesarlos, tal es así que las técnicas de procesamiento y análisis que se utilizaron fueron:

- Diseño y generación de planos de ensamblaje: Se realizó el diseño de la celda electrolítica a partir de la metodología de diseño en ingeniería según la norma VDI 2221, posteriormente los planos y el ensamblaje 3D se realizó de forma digital, en un programa CAD (Autodesk Inventor, SolidWorks).
- Ensamblaje de la celda electrolítica: Se utilizaron métodos validados, así como normas técnicas, las cuales garantizaron una adecuada instalación de los diversos elementos que componen la celda electrolítica.
- Cálculo de la producción de hidrógeno: Una vez instalada la celda electrolítica se calculó la cantidad de hidrógeno producido por cada litro de agua en condiciones de operación.
- Cálculo del consumo de gasolina: Se calculó el porcentaje de reducción del consumo de gasolina usando la mezcla aire-combustible-hidrógeno, a partir de modificaciones al sistema de admisión.
- No fue necesaria una prueba de hipótesis debido a que los resultados de las técnicas de análisis son concluyentes.

IV Resultados y discusión

4.1 Resultados


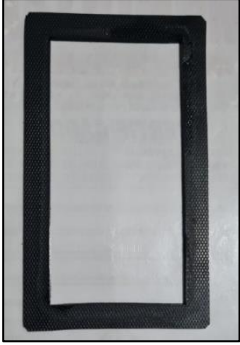


4.1.1 Diseño del generador de hidrógeno de celda seca



A continuación, en la Tabla 5, se presenta el listado de componentes de la celda de hidrógeno.

Tabla 5

Listado final de componentes de la celda de hidrógeno

COMPONENTES DE LA CELDA DE HIDRÓGENO			
N°	Detalle	Cantidad	Imagen
1	Placas de acrílico	2	
2	Electrodo positivo	1	
3	Electrodo negativo	2	

4	Electrodos neutros	8	
5	Juntas de caucho	13	
6	Pernos de 1/4x4"	8	
7	Arandelas	16	
8	Tuercas de 1/4"	8	

9	Niples de ¼"	2	
10	Cinta Teflón	1	

Como resultado, en la Figura 5, se muestra la celda seca de hidrógeno.





Figura 5

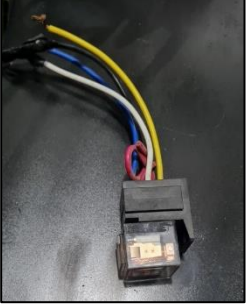




Celda seca de hidrógeno final




Seguidamente, en la Tabla 6, la lista de componentes del generador de hidrógeno.

Tabla 6*Listado final de componentes del generador de hidrógeno*

COMPONENTES DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO			
N°	Detalle	Cantidad	Imagen
1	Tanque de almacenamiento	1	
2	Burbujeador	1	
3	Manguera de neopreno de alta presión D _{1,2} = 13 mm D _{3,4} = 11 mm	Tramo 1: 25 cm Tramo 2: 25 cm Tramo 3: 36 cm Tramo 4: 95 cm (De derecha a izquierda)	
4	Arrestallamas	1	

5	Relay	1	
6	Interruptor	1	
7	Medidor de voltaje	1	
8	Batería Yang Zu de 7 placas de 30A	1	
9	Cables eléctricos automotriz GPT10 marca INDECO	2 m color negro (+) 2 m color verde (-)	

10	Niples de 1/4"	5	
----	----------------	---	---

Por último, la Figura 6, muestra la disposición final de los componentes del generador de hidrógeno.

Figura 6

Disposición final de los componentes del generador de hidrógeno



4.1.2 Instalación de la celda de hidrógeno

a. Instalación de la celda de hidrógeno

A continuación, la Figura 7, muestra la instalación final de la celda de hidrógeno

Figura 7

Resultado de la instalación de la celda de hidrógeno

**b. Modificaciones al sistema de admisión de la motokar**

Primera calibración. Como primera modificación, se bajó el nivel del depósito de gasolina con muestra la Figura 8, del nivel línea verde 50 ml (nivel de trabajo normal), se bajó al nivel línea celeste a 35ml.

Figura 8

Modificación: Primera calibración



Segunda calibración. Como segunda modificación, se subió el nivel de la aguja de la aceleración, con el objetivo de impedir el paso de combustible, reduciéndose así también el consumo de combustible, considerando que la aguja tiene 5 niveles y en su ciclo de trabajo normal es a la mitad, se subió al nivel 2, según muestra la Figura 9.

Figura 9

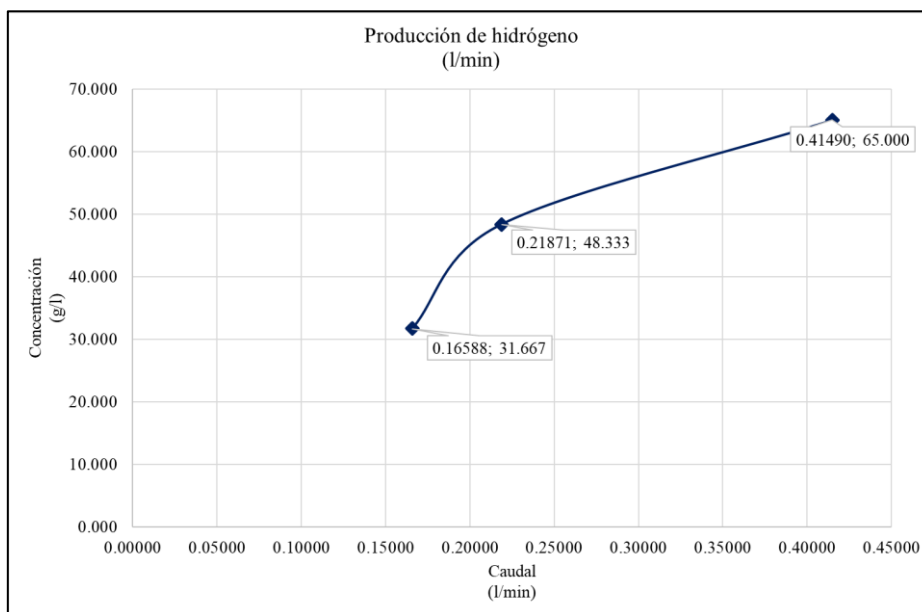
Modificación: Segunda calibración



Seguidamente, se procedió a realizar las pruebas de consumo.

4.1.3 *Hidrógeno producido en condiciones de operación*

En la Figura 10 se muestra la variación de la producción de hidrógeno en litros por minuto, en función a la concentración del electrolito, donde se puede ver que a medida que se incrementa la concentración de electrolito, aumenta el nivel de producción de hidrógeno en l/min, siendo el 65.000 g/l, el nivel de concentración óptimo.

Figura 10*Hidrógeno producido en l/min*

Finalmente, a partir de esta concentración, se calculó la cantidad de litros producidos por año, considerando que el conductor de la motokar trabaja durante aproximadamente 8 horas al día, se obtuvo un valor de 65 642.440 l/año, así como 0.43922 kg/año.

4.1.4 Porcentaje de reducción del consumo de gasolina a partir de la implementación del generador de hidrógeno

Finalmente, de la Tabla 7 se observa que la adición de hidrógeno a la gasolina sin modificaciones al sistema de admisión genera una variación del 31.59% respecto a la distancia recorrida promedio por litro de combustible, mientras que, al modificar el sistema, se genera una variación del 38.07%, tales porcentajes de forma equivalente representan los porcentajes de reducción del consumo de combustible, pudiendo evidenciar que la motokar se desplaza más kilómetros usando hidrógeno.

Tabla 7*Porcentaje de reducción del consumo de gasolina*

Combustible	# Recorrido	Velocidad media (m/s)	Distancia recorrida por litro (km/l)	Distancia recorrida promedio por litro (km/l)	Variación (%)
Gasolina	1	2.767	29.446	27.654	31.59%
	2	2.037	27.606		
	3	2.029	28.108		
	4	2.415	25.455		
Gasolina + HHO	1	2.772	37.143	36.390	38.07%
	2	2.659	35.637		
Gasolina + HHO + M	1	2.889	35.591	38.181	
	2	2.917	38.648		
	3	2.857	38.329		
	4	2.807	40.154		

4.1.5 Análisis económico - financiero de la implementación del generador de hidrógeno en una motokar

Se obtuvo un costo de los componentes del generador de hidrógeno de S/ 717.50, costos de fabricación y montaje de S/ 249.00, costos de producción de S/ 481.80 y costos de mantenimiento de S/ 296.00 al año.

Debido a que no fue necesario solicitar un préstamo a una entidad bancaria, porque la universidad cubrió casi la totalidad del financiamiento, a continuación, se presenta el análisis económico del proyecto el cual tuvo como base las variables presentadas en la Tabla 8:

Tabla 8*Variables para el análisis económico-financiero del proyecto*

Tasa de inflación anual de costos	3%
Costo promedio de gasolina en S/l	5.02
Volatilidad anual del costo del combustible	1.00%
Pérdida anual de eficiencia	0.50%

Finalmente, con un WACC de 2.428% se obtuvieron los siguientes indicadores de decisión.

INDICADORES DE DECISIÓN

VAN	9,896.44	Conclusión: El proyecto es rentable ya que el VAN > 0
TIR	118.78%	Conclusión: El proyecto es viable ya que TIR > WACC
Inversión	1,159.80	
VPN	11,056.24	
B/C	9.533	Por cada S/ 1.00 invertido se ganará S/ 8.533, por lo tanto, es rentable.
		FRACCIÓN
		0.82509
PAY BACK	0.83	AÑOS
		La inversión será rentable a corto plazo.

301 días

4.2 Discusión

a. Se diseñó un generador de hidrógeno de celda seca según la metodología de diseño basada en la norma VDI 2221, tal es así que en el presente trabajo de investigación se dimensionaron los componentes, a partir de una rigurosa evaluación mediante criterios técnico - económicos, de donde se obtuvo una celda de hidrógeno de 170x120x100 mm con placas de acero inoxidable AISI 304L, posteriormente los planos de ensamblaje fueron realizados en el software SolidWorks, mientras que Pesántez y Tacuri (2021), realizaron el diseño con el software Autodesk Inventor, donde consideraron el uso de materiales resistentes a la corrosión como fue el acero inoxidable 316L, cabe indicar que el acero 304L es una elección más económica y práctica, pero no tiene resistencia al cloruro como sí la tiene el acero 316L, sin embargo, satisface correctamente las condiciones de operación.

b. Se realizó la instalación del generador de hidrógeno, realizando modificaciones al sistema de admisión de la motokar, en ese sentido, Qian et al. (2022) en su investigación determinaron los efectos de la inyección de agua y la sincronización de la chispa en el rendimiento de un motor híbrido de gasolina e hidrógeno, en donde para disminuir el ingreso de combustible, procedieron a la apertura del acelerador en un 30% con una relación aire/combustible en exceso de 1, agregando un porcentaje de energía de hidrógeno del 15%, una relación de masa de combustible de agua de 0.2 y 0.4 en el puerto de admisión y para la presente investigación fue congruente con dicho proceso, sin embargo no sólo se procedió a subir el nivel de la aguja de aceleración para impedir el paso de combustible, sino también se disminuyó el nivel del depósito de gasolina a fin de reducir aún más el ingreso de combustible.

c. Se calculó la cantidad de hidrógeno producido en condiciones de operación, en este contexto, Juárez et al. (2018) señalan que, cuan mayor es la concentración de hidróxido de potasio, disminuye el tiempo para producir 100 ml de gas, sin embargo, la pendiente reduce, cuanto mayor es la concentración, lo que recomiendan un límite para el empleo de KOH.

Superada esta etapa, aunque añadan más de 15g, la solución ya estará repleta de hidróxido de potasio y los cambios no son provechosos, ya que, si la cantidad de hidróxido de potasio sigue en crecimiento, las baterías se descargarían con facilidad, es por ello que en el presente trabajo de investigación a fin de evitar la rápida descarga de la batería se procedió a realizar una modificación al sistema del generador de carga, cambiando el alternador y su selenio del sistema monofásico al trifásico, con esta variación se pudo realizar las pruebas de funcionamiento sin problemas, determinando que según se incrementa la concentración, aumenta la cantidad de producción de hidrógeno, teniendo pendiente positiva, para ello se trabajó con agua destilada y soda cáustica con una concentración de 65.000 g/l.

d. Se calculó el porcentaje de reducción del consumo de gasolina a partir de la implementación del generador de hidrógeno, en esa línea, Cabanillas (2022) al realizar la implementación de un generador de hidrógeno de celda seca a un motor de un automóvil gasolinero, concluyó que, recorriendo 10 km y añadiendo hidrógeno a la gasolina se logró un ahorro del 23.44% de combustible, traducido también en un ahorro económico a mediano plazo para el dueño del vehículo, en esta investigación se alcanzó un ahorro de 31.59% de combustible, sin considerar modificación alguna al sistema de admisión del motor.

e. Se realizó el análisis económico – financiero de la implementación del generador de hidrógeno de celda seca en una motokar, en cuestión, Alvarado (2019) en su investigación determinó que el mantenimiento se debe realizar a los cuatro meses de instalado el generador, recomendando generar cartillas de mantenimiento con los cambios que se vayan a realizar de acuerdo a la planificación, logrando un ahorro del 71.42%, mientras que en la presente investigación no se realizó una comparación de los costos de mantenimiento antes y después de la implementación, sin embargo, se obtuvo un costo de mantenimiento del generador de hidrógeno equivalente a S/296.00 anuales lo que equivale al 25.52% del monto de inversión, valor que se incrementa en un 3% correspondiente a la tasa de inflación anual de costos.

V Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

a. Se diseñó el generador de hidrógeno de celda seca haciendo uso de la metodología de diseño basada en la norma VDI 2221, concluyendo en una celda de hidrógeno de 170x120x100 mm con placas de acero inoxidable AISI 304L, la cual formó parte de todo el sistema que cuenta con un tanque de almacenamiento de plástico de forma esférica conectado con mangueras de neopreno de alta presión y un burbujeador de material reciclable, que opera con 12V teniendo como materia prima la mezcla de agua destilada (H_2O) + Soda cáustica ($NaOH$).

b. Se realizó la instalación del generador de hidrógeno dentro de una jaula de 250x400x210 mm para garantizar la seguridad y la correcta operación, además se realizaron 2 modificaciones al sistema de admisión como fueron la disminución del nivel del depósito de gasolina y la subida del nivel de la aguja de la aceleración para impedir el paso de combustible.

c. Se calculó la cantidad de hidrógeno producido en condiciones de operación de la motokar, donde el generador permitió producir una cantidad mínima de 0.374671 litros de hidrógeno por minuto teniendo un nivel de concentración de 65.000 g/l, concluyendo que a medida que se incrementa el nivel de concentración de electrolito, se incrementa el nivel de producción, sin impactos significativos en los costos.

d. Se calculó el porcentaje de reducción de gasolina, donde la adición de hidrógeno sin modificaciones al sistema de admisión generó una variación del 31.59% respecto a la distancia recorrida promedio por litro de combustible, mientras que, al modificar el sistema, se generó una variación del 38.07%, tales porcentajes de forma equivalente representan los porcentajes de reducción del consumo de combustible, satisfaciendo en ambos casos el 30% de reducción de consumo.

e. Se realizó el análisis económico-financiero para la generación de hidrógeno de donde se obtuvo un VAN de S/ 9,896.44, una TIR de 118.78%, un beneficio-costo de 9.533 y un pay back de 0.83 años, equivalente a 301 días, considerando el presente proyecto como viable y rentable a corto plazo.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda complementar esta investigación con otros trabajos que contemplen el estudio de otro tipo de electrolitos, distintas concentraciones y distintas mejoras al sistema de admisión del motor.
- Se recomienda realizar análisis de emisiones de gases contaminantes para así obtener los beneficios que aporta el hidrógeno de forma integral.
- Se recomienda trabajar con un banco dinamométrico de motores o contar con un laboratorio especializado que permitan hacer comparaciones entre las distintas curvas de rendimiento y poder apreciar mucho mejor las mejoras que ofrece el hidrógeno como combustible alternativo.
- Se sugiere añadir sensores de tal manera que permitan medir los parámetros requeridos de forma más precisa.

VI Referencias bibliográficas

- Akal, D., Oztuna, S., & Kemalettin, M. (2020). A review of hydrogen usage in internal combustion engines (gasoline-Lpg-diesel) from combustion performance aspect. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(60), 35257-35268. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.001>
- Alvarado, H. (2019). *Implementación del generador de hidrógeno en los vehículos menores para reducir costos del transporte de la empresa MOTARD Chulucanas 2019*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad César Vallejo, Piura. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/41925/Alvarado_CHH.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baltazar, P. (2020). *Diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor Volkswagen 1.5 L en la ciudad de Huancayo*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, Universidad Continental, Huancayo, Perú. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8444/3/IV_FIN_111_TE_Baltazar_Ortega_2020.pdf
- Barriga, B. (2018). *Métodos de Diseño en Ingeniería Mecánica*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Bellota, M. (2019). *Propuesta de factibilidad energética haciendo uso de paneles solares en la universidad católica de santa maría bajo el enfoque del PMI*. Arequipa, Perú. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8864>
- Benites G., L., Ruff E., C., Ruiz T., M., & Olivares E., I. (2020). *Evaluación de Proyectos Privados y Sociales 127 Ejemplos y Casos Reales Resueltos*. México: CENGAGE LEARNING.

- Better Fuel Technology. (2023). *Datos sobre el hidrógeno*. <https://www.hho-1.com/datos-hidrogeno-hho/?lang=es>
- Budynas, R., & Keith, J. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (9na ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Cabanillas, J. (2022). *Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca al motor de un automóvil a gasolina para mejorar la performance energética ambiental*. Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, Universidad Tecnológica del Perú. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Mecánica, Lima, Perú.
- Cross, N. (2002). *Método de Diseño*. México: Limusa Wiley.
- Díaz, Á., González, J., & Gonzáles, O. (2018). Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), 143-154. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018013>
- FECYT. (2015). *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Programa Anual de Actividades 2016 de la UCC+i-CNH2, FCT-2015-9727*. La senda del hidrógeno: <https://sendah2.cnh2.es/produccion>
- Juárez, A., Cruz, M., Juárez, T., & Ochoa, J. (2018). Caracterización de celda para producción de hidrógeno con fin de generar combustible alternativo para motores de combustión interna. *Revista de Energías Renovables*, 2(6), 26-32. https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/vol2num6/Revista_de_Energias_Renovables_V2_N6_3.pdf
- Núñez, J. (2021). *Uso del hidrógeno en el motor D13B2 de ciclo Otto como complemento del combustible*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Católica de Santa María. Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y

Formales. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, Arequipa, Perú.

Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de Combustión Interna Alternativos*. Barcelona: Reverté SA.

Pesántez, J., & Tacuri, J. (2021). *Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos como fuente alternativa de combustible*. Proyecto Técnico, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21256/1/UPS-CT009350.pdf>

Qian, L., Wan, J., Qian, Y., Sun, Y., & Zhuang, Y. (2022). Experimental Investigation of Water Injection and Spark Timing Effects on Combustion and Emissions of a Hybrid Hydrogen-Gasoline Engine. *Fuel*, 322(15). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124051>

Rivera, E. (2015). *Celda seca electrolítica para la obtención de hidrógeno con aguas residuales de la empresa muebles León*. Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Rodríguez, Y., Sandoval, S., & Santos, D. (2022). Diseño, construcción y evaluación de un generador de hidrógeno adaptado a un motor de dos (2) tiempos en una bicicleta en la ciudad de Bogotá. *Rev. Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 9(18), 65 - 88. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2022.v9.n18.a121>

S.A.Q, S., Z., A., J, L., & A.A., K. (2018). Comparative study of dry cell and wet cell for the HHO gas generation as a supplement fuel for I.C. engine. *International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, 1-8.
<https://doi.org/10.1109/ICOMET.2018.8346422>

VII Anexos

Anexo 1

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	NIVEL DE MEDICIÓN
Independiente Generador de hidrógeno	El generador de hidrógeno es un dispositivo que convierte una corriente eléctrica en una reacción química de oxidación-reducción para separar el agua (H ₂ O) en sus elementos básicos, hidrógeno y oxígeno. (Rivera, 2015)	Diseño según los lineamientos de la norma VDI 2221, considerando las fases del proceso de diseño.	DISEÑO	Fase 1 Comprensión de la solicitud	Importancia del estado del arte	Ordinal numérica
					Grado de la lista de exigencias	Ordinal numérica
				Fase 2 Concepción de la solución	Estado de la estructura de funciones	Ordinal numérica
				Fase 3 Concepto de solución	Nivel del concepto de solución	Ordinal numérica
				Fase 4 Elaboración del proyecto	Nivel de finalización del proyecto definitivo	Ordinal numérica
				Fase 5 Proyectar	Relevancia de la memoria de cálculo	Ordinal numérica
				Fase 6 Elaboración de detalles	Calidad de los planos de despiece y fabricación	Ordinal numérica
					Utilización de las instrucciones para fabricación e instalación	Ordinal numérica
			IMPLEMENTACIÓN	Requisitos iniciales	Propiedades del agua	Razón
				Ajustes al sistema de admisión	Concentración de electrolito (%)	Razón
Dependiente Consumo de gasolina	El consumo de gasolina es un parámetro de los resultados que se obtuvieron a partir de la instalación del generador de hidrógeno en la motokar.	Ensayos para de determinar la concentración que aporta la mayor producción de hidrógeno, así como ajustes en el sistema de admisión (carburador).	OPERACIÓN	Producción de hidrógeno	Intensidad de corriente (A)	Razón
					Tiempo (s)	Razón
					Presión (Pa)	Razón
					Temperatura (°C)	Razón
			Consumo de combustible	Distancia recorrida (km)	Intervalo	
				Tiempo de recorrido (s)	Intervalo	
				Costo del combustible / galón (S/)	Intervalo	
			Rentabilidad	VAN (S/)	Razón	
				TIR (%)	Razón	
Payback (años)	Razón					

Anexo 2

Matriz de consistencia

TÍTULO Y PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES	UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y TÉCNICAS
<p>Implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para reducir el 30% del consumo de gasolina</p> <p><u>PROBLEMA</u></p> <p>¿De qué manera al implementar el uso de un generador de hidrógeno se reducirá el 30% del consumo de gasolina en una motokar?</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL</u> Realizar la implementación de un generador de hidrógeno en una motokar para reducir el 30% del consumo de gasolina.</p> <p><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u> a. Diseñar un generador de hidrógeno de celda seca según la metodología de diseño basada en la norma VDI 2221. b. Realizar la instalación del generador de hidrógeno, realizando modificaciones al sistema de admisión de la motokar. c. Calcular la cantidad de hidrógeno producido en condiciones de operación. d. Calcular el porcentaje de reducción del consumo de gasolina a partir de la implementación del generador de hidrógeno. e. Realizar el análisis económico-financiero de la implementación del generador de hidrógeno de celda seca en una motokar.</p>	<p>Al implementar un generador de hidrógeno en una motokar se reducirá el 30% del consumo de gasolina en condiciones de funcionamiento a partir del uso de agua destilada y modificaciones al sistema de admisión.</p>	<p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u> De acuerdo a su tipo: Aplicada De acuerdo a su nivel: Descriptiva De acuerdo a su enfoque: Cuantitativa De acuerdo a su método: Analítico</p> <p><u>DISEÑO</u> No experimental</p> <p>G: $O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$</p> <p>G: Motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc O₁: Evaluación inicial. X: Implementación de un generador de hidrógeno. O₂: Evaluación final.</p>	<p>VI = V1</p> <p>Generador de hidrógeno</p> <p>VD = V2</p> <p>Consumo de gasolina</p>	<p><u>POBLACIÓN Y MUESTRA</u></p> <p>Población: Todas las motokar en la ciudad de Chimbote. Muestra: Motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc, la cual forma parte de los vehículos menores categoría L4.</p> <p><u>TÉCNICAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Revisión documental - La observación - Instalación de la celda electrolítica - Ajustes en el sistema de admisión - Experimentación - Análisis cuantitativo de datos

Anexo 3

Metodología de diseño según la norma VDI 2221

Para diseñar el generador de hidrógeno, primero se identificaron los requerimientos, luego se analizaron las posibles soluciones para finalmente presentar el diseño final.

Fase I: Comprensión de la solicitud

Como punto de partida, fue importante conocer los propósitos principales del proyecto, los cuales se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9

Propósitos principales del proyecto

Propósitos principales del Proyecto	Descripción
Descripción	Generador de hidrógeno de celda seca para disminuir el consumo de gasolina en una motokar
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicable a todo tipo de motokar - Amigable con el medio ambiente - Alta confiabilidad de operación - Costos de producción de hidrógeno bajos
Mercado primario	Vehículos menores categoría L4
Mercado secundario	<ul style="list-style-type: none"> - Motokar con motor de 4 tiempos de 150 cc - Proyectos nuevos que utilicen hidrógeno como combustible
Aspectos legales	- Proceso de consulta con INDECOPI
Plazos de entrega	Desde que se realiza el contrato de instalación por parte del cliente se estima que el plazo de entrega para el diseño, fabricación e instalación tomaría un tiempo mínimo de 30 días calendario.
Restricciones	Permisos correspondientes en el ente regulador de seguridad, MTC y SUNARP.
Posibilidades de realización	Es posible realizar un modelo a escala (prototipo), aplicando la ley de semejanza (Teoría de similitud) y establecer relaciones empíricas para poder replicarlo a gran escala.
Partes interesadas	<ul style="list-style-type: none"> - Cliente - Diseñador mecánico - Asesor especializado

a.1. Estado de la tecnología

La tecnología actual se describe en el marco teórico.

a.2. Lista de exigencias

La Tabla 10, detalla el listado de exigencias.

Tabla 10*Lista de exigencias*

LISTA DE EXIGENCIAS				Pág. 1
				Fecha: 24/10/2023
PROYECTO:	DISEÑO DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA			Elaborado por: M.J.A.V.
Característica	Deseo	Exigencia	Descripción	Responsable
FUNCIÓN		E	Producir gas hidrógeno.	M.J.A.V.
		E	Debe ser capaz de integrar sus funciones con los componentes del sistema de admisión del motor.	
		E	Eficiencia de producción mayor o igual al 30%.	
GEOMETRÍA		E	Debe tener una estructura compacta, ligera y resistente.	M.J.A.V.
		E	Debe contar con una estructura como soporte para fijación interna dentro del motor.	
		E	Ningún componente debe quedar al exterior del motor.	
CINEMÁTICA		E	Debe contar con un sistema de ductos para el desplazamiento del hidrógeno.	M.J.A.V.
		E	El componente para almacenamiento de hidrógeno debe ser un recipiente ligero.	
FUERZA		E	La estructura del sistema debe soportar fuerzas por presiones internas.	M.J.A.V.
		E	Debe tolerar deformaciones producto de las fuerzas internas.	
ENERGÍA		E	La alimentación para el proceso de electrólisis debe ser de 12V.	M.J.A.V.
		E	La generación de calor interna debe ser mínima.	
MATERIALES E INSUMOS		E	El insumo principal debe ser agua destilada más hidróxido de sodio.	M.J.A.V.
		E	Los materiales utilizados deben soportar los efectos de corrosión y oxidación.	
SEÑALES Y CONTROL		E	Todo el sistema debe operar a partir de la electrólisis.	M.J.A.V.
	D		La medición de los datos se debe realizar mediante instrumentos digitales externos.	
SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		E	No pondrá en peligro la integridad física del conductor ni del medio ambiente.	M.J.A.V.
	D		No debe generar fuertes ruidos.	
		E	Debe estar protegido contra descargas eléctricas.	
FABRICACIÓN		E	Debe evitar la transmisión de las llamas.	M.J.A.V.
	D		Los componentes principales deben ser producidos a nivel nacional o encontrarse disponibles en el mercado.	
		E	La parte estructural del sistema se podrá fabricar en talleres locales con materiales de fácil adquisición.	
MONTAJE		E	Debe ser de fácil montaje e instalación, así como su desmontaje y desinstalación deben realizarse con herramientas conocidas.	M.J.A.V.
TRANSPORTE	D		Debe ser liviano y de fácil manejo para su manipulación.	M.J.A.V.
USO		E	Empieza a operar automáticamente al pulsar los contactos.	M.J.A.V.
		E	Es completamente autónomo.	
		E	Debe poder ser utilizado por cualquier persona con conocimientos básicos de mecánica, electricidad, física, química.	
MANTENIMIENTO	D		Los componentes deben requerir el mínimo de mantenimiento.	M.J.A.V.
	D		Fácil acceso hacia las partes que requieran limpieza.	
	D		Los componentes de mayor desgaste deben ser fácilmente reemplazables.	
COSTOS	D		El costo de diseño no debe sobrepasar los S/ 1800.	M.J.A.V.
	D		El costo de implementación debe ser menor que el de sistemas convencionales de la misma capacidad.	
	D		El costo de mantenimiento anual debe ser como máximo el 10% de la inversión.	
PLAZOS	D		El plazo de entrega no debe superar los 75 días para la etapa de diseño y 30 días para la etapa de implementación.	M.J.A.V.

a.3. Plan de trabajo

Todo el diseño del generador de hidrógeno se realizó en un total de 75 días, representando un costo total de S/ 1800.00.

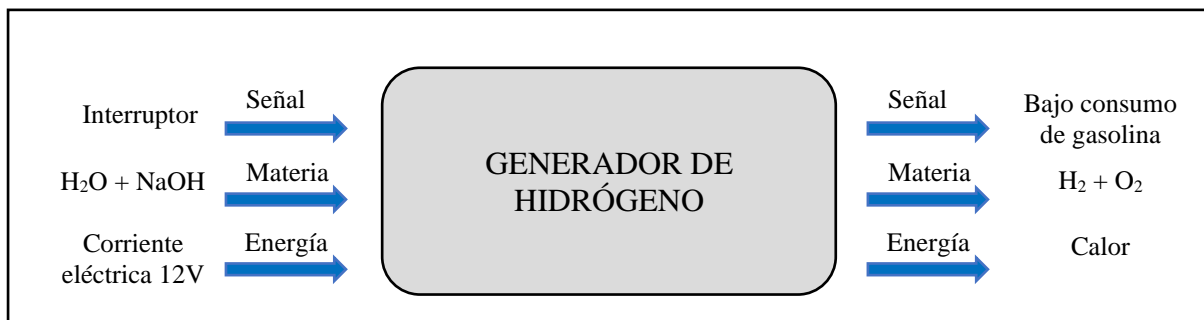
Fase II: Concepción de la solución

b.1. Caja negra (Black Box)

La Figura 11 representa la caja negra “Black Box”, indicando las entradas específicas para dar paso a salidas deseadas del generador de hidrógeno.

Figura 11

Caja negra del generador de hidrógeno



b.2. Secuencia de operaciones

b.2.1. Proceso. Primero se almacena la mezcla de agua destilada más NaOH en el tanque de almacenamiento, la cual por gravedad baja y se dirige a la celda de hidrógeno donde a través de la corriente suministrada por una batería accionada mediante un interruptor, da paso al proceso de electrólisis, dentro de la celda se produce una disociación de las moléculas de H₂O en hidrógeno y oxígeno, seguidamente, ambos elementos retornan al tanque de almacenamiento y luego se trasladan al burbujeador el cual contiene agua, una vez ahí, el oxígeno se queda en la parte baja y se mezcla con el agua y el hidrógeno gaseoso sale a la superficie debido a su baja densidad, luego, por diferencia de presión, se dirige hacia el sistema de admisión del motor.

b.2.2. Funciones parciales

Funciones Principales (FP):

- Almacenar la mezcla de H₂O + NaOH
- Transportar la mezcla de H₂O + NaOH

- Separar el H₂O mediante la electrólisis
- Extraer los gases de hidrógeno y oxígeno
- Transportar los gases de hidrógeno y oxígeno
- Separar completamente el hidrógeno
- Transportar el gas hidrógeno

Funciones Secundarias (FS):

- Revisar la zona de trabajo
- Trasladar equipos/materiales/herramientas
- Ensamblar los componentes
- Probar los componentes
- Posicionar el sistema
- Fijar el sistema
- Accionar el sistema

b.3. Estructuras de funciones

De estas funciones se realizaron las estructuras siguientes (Figura 12, 13 y 14):

Figura 12

Estructura de funciones 01

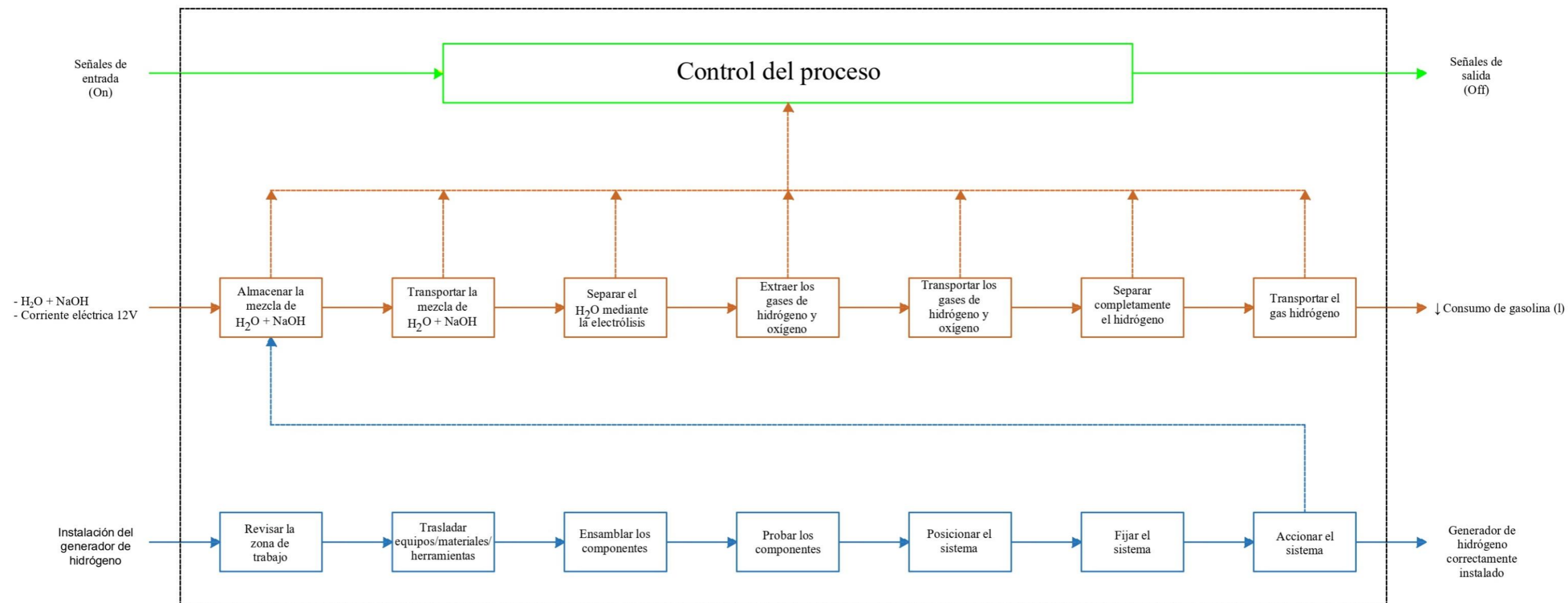


Figura 13

Estructura de funciones 02

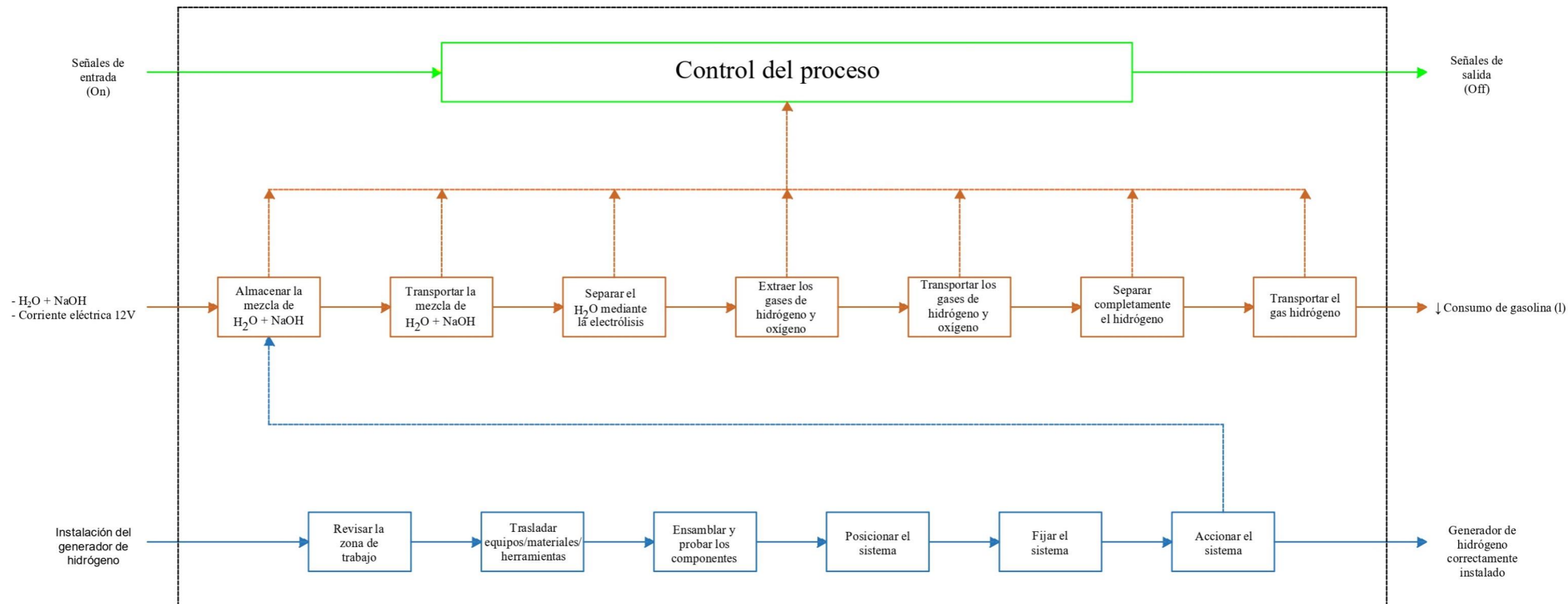
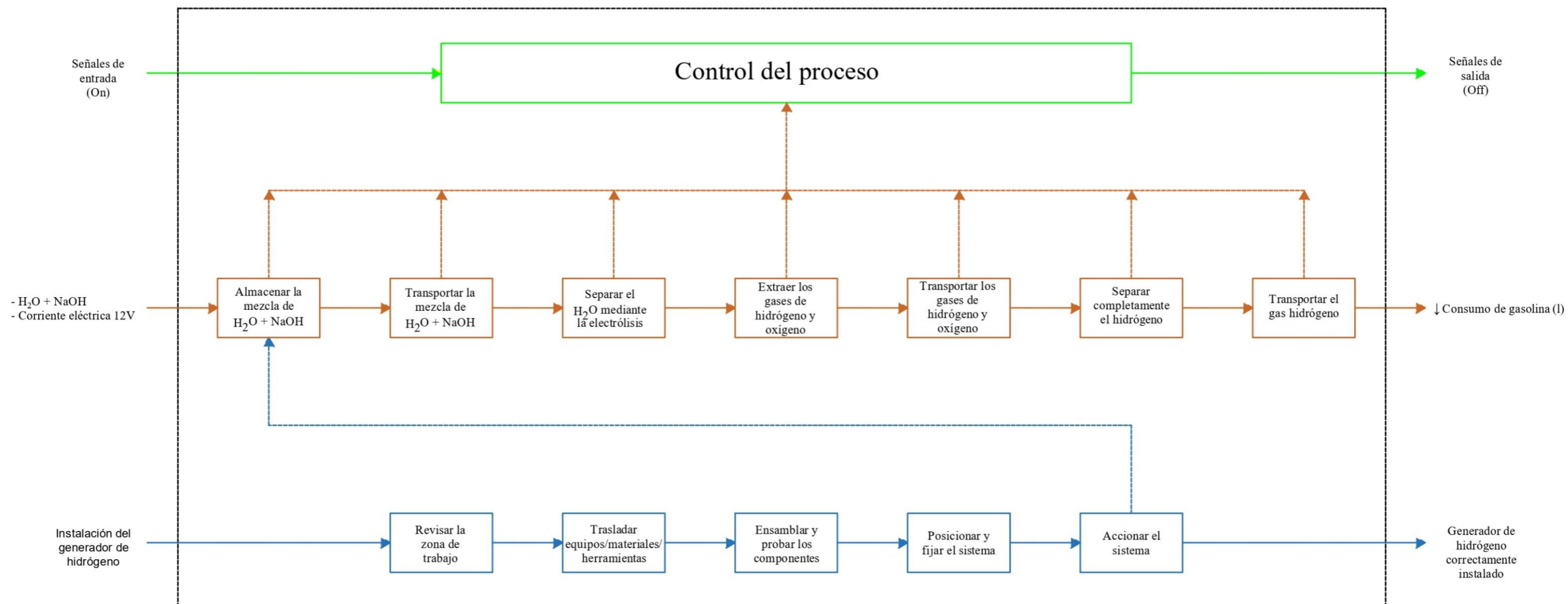


Figura 14

Estructura de funciones 03

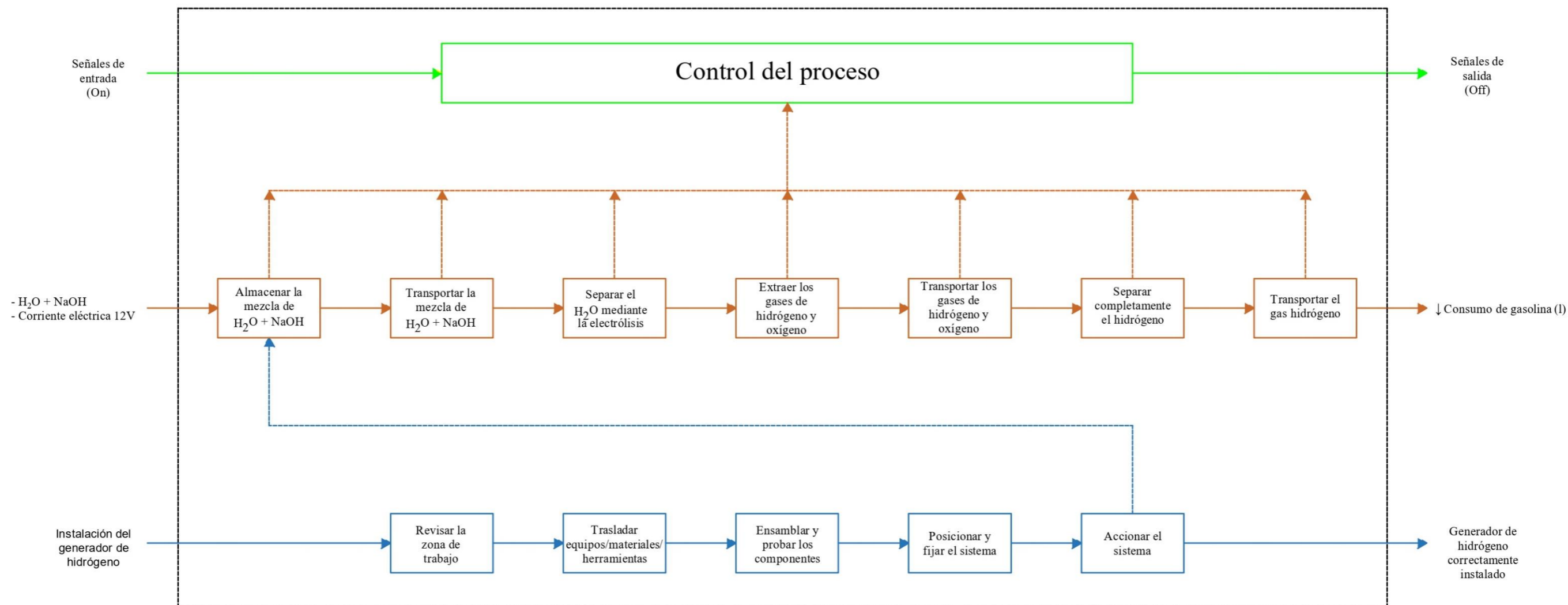


b.4. Estructura de funciones óptima

El hidrógeno es producido a partir de un conjunto de componentes mecánicos y eléctricos que constituyen al generador con el propósito de generar combustión y cuya estructura final se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Estructura de funciones óptima





























Fase III: Determinación del concepto de solución

c.1. Matriz morfológica de Zwicky

Figura 16

Matriz morfológica de Zwicky

FUNCIONES PARCIALES (Principales)	PORTADORES DE FUNCIONES (MATRIZ MORFOLÓGICA DE ZWICKY)			
	1	2	3	4
1 Almacenar (Tanque de almacenamiento)	 METAL	 PLÁSTICO	 VIDRIO	
2 Transportar (Ducto 1)	 MANGUERA DE BAJA PRESIÓN	 MANGUERA DE NEOPRENO	 MANGUERA DE ALTA PRESIÓN	 MANGUERA DE MEDIA PRESIÓN
3 Separar (Celda de hidrógeno)	 PLACAS DE ACERO INOX. AISI 304L	 PLACAS DE ACERO INOX. AISI 316L	 PLACAS DE ACERO INOX. AISI 304	
4 Extraer (Ducto 2)	 MANGUERA DE BAJA PRESIÓN	 MANGUERA DE NEOPRENO	 MANGUERA DE ALTA PRESIÓN	 MANGUERA DE MEDIA PRESIÓN
5 Transportar (Ducto 3)	 MANGUERA DE BAJA PRESIÓN	 MANGUERA DE NEOPRENO	 MANGUERA DE ALTA PRESIÓN	 MANGUERA DE MEDIA PRESIÓN
6 Separar (Burbujeador)	 MATERIAL RECICLABLE	 ALTA RESISTENCIA	 PVC	 VIDRIO
7 Transportar (Ducto 4)	 MANGUERA DE BAJA PRESIÓN	 MANGUERA DE NEOPRENO	 MANGUERA DE ALTA PRESIÓN	 MANGUERA DE MEDIA PRESIÓN
	↓	↓	↓	
	S1	S2	S3	

c.2. Conceptos de solución

A continuación, se presentan las disposiciones aproximadas de los componentes del generador de hidrógeno, obtenido a partir de la matriz morfológica de Zwicky para cada una de las 3 soluciones, como primera aproximación para obtener la solución óptima.

Solución 1. Como primera solución el generador de hidrógeno estará alimentado con una batería de 12 V, tendrá dos ductos que serán mangueras transparentes de baja presión, el recipiente del líquido será de plástico, así como el recipiente de hidrógeno, funcionará con unos electrodos de acero inoxidable AISI 316L, ensamblados con pernos de acero. (Ver Figura 17)

Figura 17

Concepto de solución 1

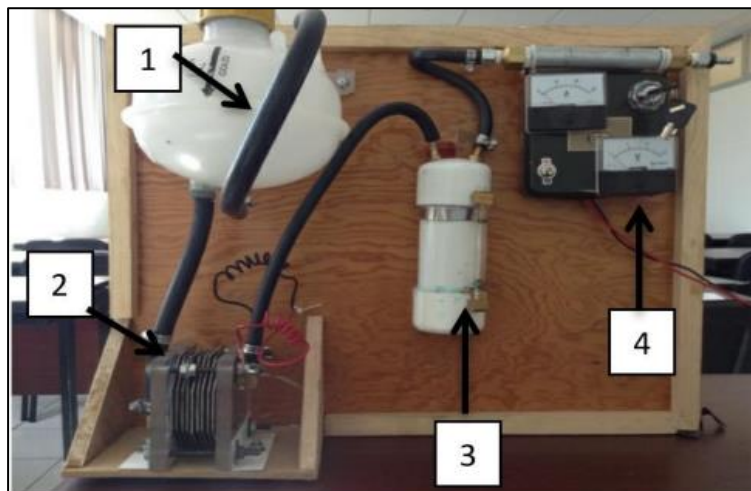


Nota. (Baltazar, 2020)

Solución 2. Como segunda solución el sistema de generación de hidrógeno cuenta con un tanque de almacenamiento de plástico de forma esférica, conectado con mangueras de neopreno de alta presión, el burbujeador está hecho de material reciclable, además las placas de la celda son de acero inoxidable AISI 304L. (Ver Figura 18)

Figura 18*Concepto de solución 2*

Solución 3. Como última solución, el siguiente sistema de producción de hidrógeno indica como número 1, el tanque de almacenamiento de la mezcla $H_2O + NaOH$, la cual se dirigirá a la celda seca de hidrógeno con placas de acero inox. AISI 304, en 2, posteriormente el gas desprendido se traslada hacia el burbujeador de PVC en 3, para finalmente dirigirse hacia un tablero de control con amperímetro y voltímetro, a fin de medir los parámetros requeridos. (Ver Figura 19)

Figura 19*Concepto de solución 3*

Nota. (Juárez et al., 2018)

c.3. Concepto de solución óptimo

La Tabla 11 muestra la escala de valoración para los conceptos de solución, cuyo resultado está en la Tabla 12, pudiendo evidenciar que el concepto de solución 2 tuvo una puntuación mayor, catalogándose como la solución óptima, que se presenta en la Figura 20.

Tabla 11

Escala de valoración para conceptos de solución

0	No satisface
1	Aceptable
2	Suficiente
3	Bien
4	Muy bien (puntaje reservado para la solución ideal)

Tabla 12

Evaluación de conceptos de solución del SF

N°	Criterios Técnicos y Económicos	SOLUCIONES			
		Solución ideal	Solución 1	Solución 2	Solución 3
1	Función	4	3	3	3
2	Buen uso de la energía	4	3	3	3
3	Seguridad	4	3	3	3
4	Estabilidad y rigidez	4	3	2	3
5	Manipulación	4	2	3	2
6	Facilidad de manejo	4	2	3	2
7	Posibilidades de automatización	4	2	3	2
8	Grado de contaminación al ambiente	4	3	3	3
9	Fácil reciclaje	4	2	3	2
10	Productividad	4	3	3	3
11	Costo de la tecnología	4	2	3	1
12	Facilidad de montaje	4	2	3	1
13	Fácil mantenimiento	4	2	3	2
14	Costos de operación	4	2	2	2
TOTAL		56	34	40	32

Figura 20

Concepto de solución óptima (S2)



Fase IV: Elaboración del proyecto

En esta fase de diseño se buscó desarrollar un proyecto definitivo a partir del concepto de solución óptimo, mediante la evaluación técnica-económica de proyectos preliminares los cuales tuvieron en consideración etapas comunes en el diseño.

d.1. Proyectos preliminares

Proyecto preliminar 1

La celda de hidrógeno de 120x90x50 mm está conformada por:

- 7 placas de acero inox. AISI 304L de 100x100x1 mm.
- 6 jebes separadores de 100x100x3 mm externo / 88x88x3 mm interno.
- 15 pernos M5x2”.

Figura 21

Proyecto preliminar 1



Proyecto preliminar 2

La celda de hidrógeno de 150x120x100 está conformada por:

- 2 placas de acrílico de 120x50x2 mm.
- 12 placas de acero inox. AISI 304L de 100x70x1 mm.
- 14 jebes separadores de 100x70x3 mm externo / 88x58x3 mm interno.
- 4 pernos de 3/8x5”.

Figura 22

Proyecto preliminar 2

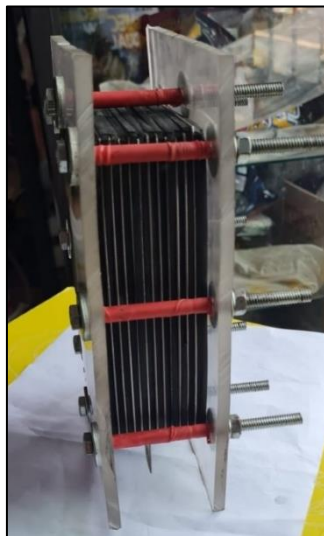
**Proyecto preliminar 3**

La celda de hidrógeno de 170x120x100 mm está conformada por:

- 2 placas de acrílico de 120x170x6 mm.
- 8 placas de acero inox. AISI 304L de 90x150x1.5 mm.
- 13 jebes separadores de 90x150x4 mm externo / 78x138x4 mm interno.
- 8 pernos de 1/4x31/2”.

Figura 23

Proyecto preliminar 3



d.2. Proyecto preliminar óptimo

El análisis técnico-económico para evaluar el proyecto se desarrolló aplicando las recomendaciones de la norma VDI 2225, siguiendo los criterios de evaluación obtenidos de la Tabla 13 y las propiedades alcanzadas hasta esta etapa.

p: Corresponde a una calificación de 0 a 4, donde:

0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)

g: Peso ponderado según la importancia de los criterios de evaluación.

Tabla 13

Criterios de evaluación para el análisis técnico-económico

Valor técnico X_i	Valor económico Y_i	Valoración
0.8	0.8	muy buena
0.7	0.7	buena
≤ 0.6	≤ 0.6	deficiente

Nota. Barriga (2018).

Finalmente, las alternativas se calificaron según se presenta en la Tabla 14 y 15.

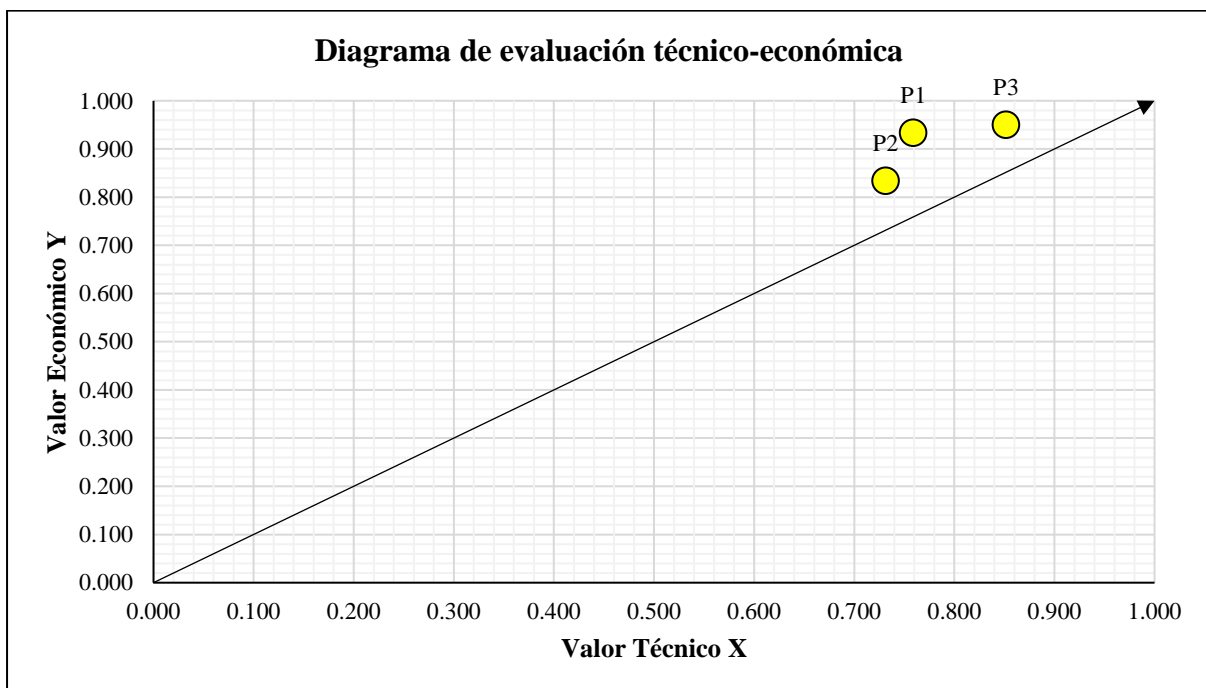
Tabla 14

Evaluación técnica del proyecto

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN TÉCNICA								
Valor Técnico (X_i)								
DISEÑO DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA								
Variantes de Concepto / Proyectos			Solución P_1		Solución P_2		Solución P_3	
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	4	4	16	4	16	4	16
2	Diseño	3	3	9	3	9	3	9
3	Fabricación	3	2	6	3	9	4	12
4	Montaje	3	3	9	2	6	3	9
5	Eficiencia	4	3	12	3	12	4	16
6	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12
7	Transporte	3	3	9	2	6	3	9
8	Fácil reciclaje	3	3	9	3	9	3	9
Puntaje máximo $\sum p$ o $\sum gp$		27	24	82	23	79	27	92
Valor Técnico X_i			0.759		0.731		0.852	
Orden			2		3		1	

Tabla 15*Evaluación económica del proyecto*

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN ECONÓMICA								
Valor Económico (Y _i)								
DISEÑO DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA								
Variantes de Concepto / Proyectos			Solución P ₁		Solución P ₂		Solución P ₃	
Nº	Crterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Productividad	4	2	8	2	8	3	12
2	Costo de materiales	4	3	12	3	12	3	12
3	Costo de fabricación	3	3	9	3	9	3	9
4	Costo de ensamblaje	3	3	9	2	6	3	9
5	Costo de instalación	3	3	9	3	9	3	9
6	Plazos de entrega	3	3	9	2	6	2	6
Puntaje máximo $\sum p$ o $\sum gp$		20	17	56	15	50	17	57
Valor Económico Y _i			0.933		0.833		0.950	
Orden			2		3		1	

Figura 24*Evaluación técnico-económica del proyecto*

Finalmente, el proyecto preliminar 3, de acuerdo con la Figura 24 fue escogido como la opción más óptima, y es la que se muestra en la Figura 25.

Figura 25*Proyecto preliminar óptimo (P3)***Características técnicas del generador de hidrógeno óptimo**

- Dimensiones: 170x120x100 mm
- Materia prima: Agua destilada (H_2O) + Soda cáustica ($NaOH$)
- Productos obtenidos: Hidrógeno + Oxígeno
- Voltaje del sistema: 12V

Fase V: Proyectar**e.1. Proyecto definitivo**

El generador de hidrógeno está conformado por varios componentes. Por tal motivo se indican las características de cada uno de ellos, especificando su tamaño, material y forma.

Proceso de fabricación de la celda de hidrógeno

El componente inicial para fabricar fue la celda de hidrógeno, para ello, los primeros elementos en diseñar fueron las dos placas que van en los extremos; se debe considerar que este material debe ser resistente y aislante; Además, de transparente para poder tener visibilidad de lo que ocurre al interior del generador. en este caso se usó plancha de acrílico transparente, las cuales no permiten el paso de flujo de corriente.

1. Se cortaron las planchas de acrílico transparente de 120x170 mm con un espesor de 6 mm y a través de un taladro de banco se realizaron los agujeros como presenta la Figura 26.

Figura 26

Realización de agujeros a las planchas de acrílico



Ambas placas rectangulares de acrílico terminadas se muestran en la Figura 27.

Figura 27

Piezas de acrílico, frontal y posterior



Los 8 orificios más pequeños de 6.35 mm sirvieron para poder insertar los pernos, además ayudaron a ajustar electrodos y juntas; logrando así hermeticidad al interior de este conjunto de elementos. Así también, la placa delantera tuvo 2 agujeros de 12 mm; la abertura inferior es la entrada de electrolito con la solución y la salida de gas es la abertura superior.

Nota: Para facilitar el transporte del gas desde el generador hacia el burbujeador se utilizaron acoples de ½” que fueron fijados en las placas de acrílico.

2. Las siguientes piezas a construir fueron las placas neutras hechas de acero inoxidable AISI 304L, debido a su bajo costo además de que se puede encontrar con facilidad en el mercado.

Las chapas de acero inoxidable 304L que funcionan como electrodos, se cortaron con una amoladora de 4 1/2” usando un disco de corte; además se usó el taladro con broca de 12 mm en el banco para realizar los orificios de los pernos como muestra la Figura 28.

Figura 28

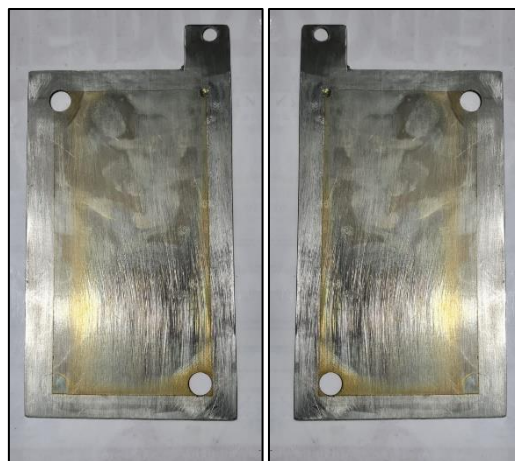
Piezas de acrílico, frontal y posterior



Fueron 8 chapas metálicas que tuvieron una dimensión de 90x150 mm con un espesor de 1.5mm como presenta la Figura 29.

Figura 29*Placa neutra*

Los electrodos que sirvieron como polos positivos y negativos además son de acero inoxidable de calidad 304L y su dimensión es de 90x170mm con un espesor de 1.5mm; así también, presentan una pequeña prolongación en la parte superior donde se introducen los pernos que llevarán corriente al electrolito; en la Figura 30 se detalla su forma.

Figura 30*Electrodos positivos y negativos*

Otro de los elementos del generador son las juntas de material aislante, que logrará que no se unan los electrodos y generen un corto circuito; se usaron láminas de caucho de 90x150mm con un espesor de 4mm, las cuales primero se marcaron de acuerdo con la Figura

31 y luego fueron recortadas como se aprecia en la Figura 32, adicional a ello, se cortaron los agujeros en el taladro de banco.

Figura 31

Proceso de corte de las juntas de caucho

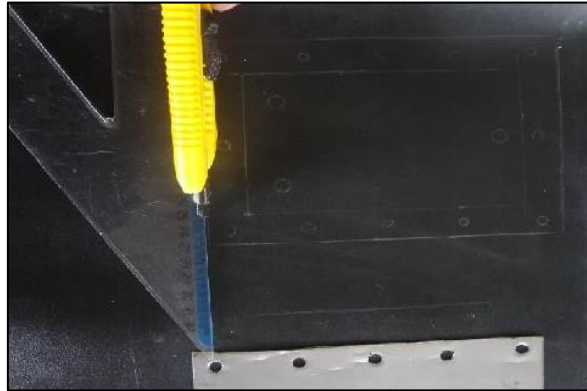
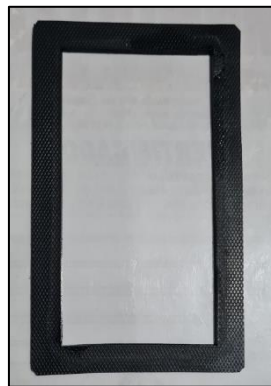


Figura 32

Junta de caucho



Proceso de ensamblaje de la celda de hidrógeno

Ya diseñados todos los elementos que se presentan en la Figura 33, se procedió con el ensamble, el cual ayudó a tener una mejor perspectiva del diseño para posteriormente mejorar algunos detalles.

Figura 33

Piezas de la celda de hidrógeno



Los pernos, tuercas, arandelas (Ver Figura 34) y el tubo termo contraíble son las piezas finales que ayudaron al ensamble del generador; deben los tornillos ser aislados con el tubo termo contraíble para no estar en contacto con las demás piezas.

Fueron 8 pernos de 1/4x3 1/2" de largo; además, las tuercas sirven para sujetar las piezas y ayudar a que el generador sea estable.

Figura 34

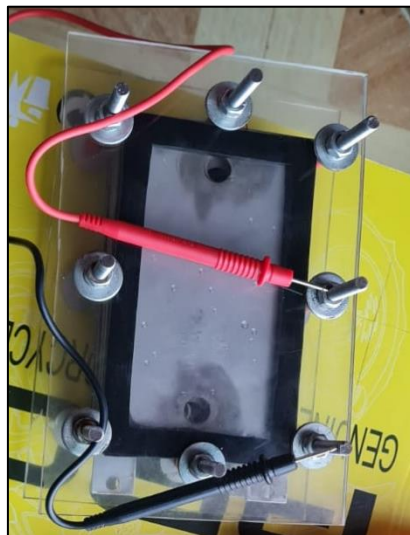
Tornillos, tuercas y arandelas



El primer paso fue hermetizar todos los pernos para poder incrustarlos en las placas de metacrilato para así poder insertar la primera junta de caucho según Figura 35.

Figura 35*Ensamble de piezas*

La pieza siguiente en acoplarse fue el electrodo negativo como se muestra la Figura 36; así también, se debe seguir cuidadosamente la configuración mencionada con anterioridad.

Figura 36*Colocación del electrodo negativo*

Acto seguido, se insertó la junta de caucho, además del electrodo neutro como se presenta en la Figura 37.

Figura 37

Colocación de la junta de caucho y el electrodo neutro



Las demás piezas se acoplan de igual manera; para evitar errores, se procede a revisar la configuración (-nnnn+nnnn-) y el ensamble final fue el que se aprecia en la Figura 38.

-nnnn+nnnn-

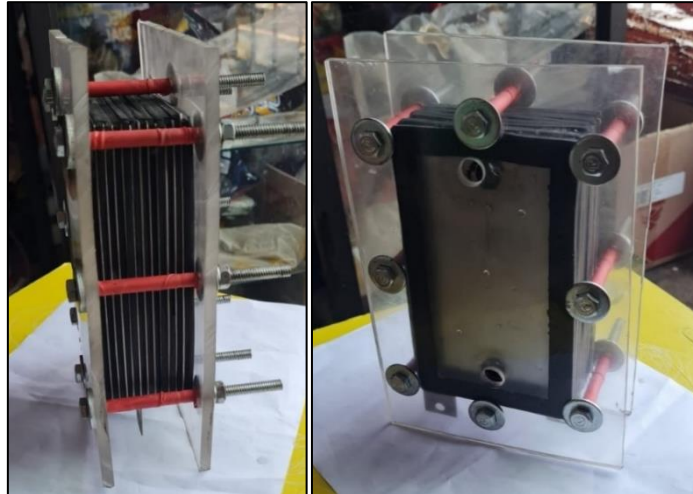
Con esta estructura se puede obtener más hidrógeno, ya que el electrodo negativo produce hidrógeno durante la electrólisis y el electrodo positivo produce oxígeno. De esta forma, al tener la estructura dos electrodos negativos, se producirá más hidrógeno y por tanto más gas.

Se utiliza un cable neutro para reducir la diferencia de potencial entre diferentes electrodos. Si insertas sólo dos electrodos, uno positivo y otro negativo, lo único que queda es la diferencia de potencial entre ellos. En este caso, si se utilizan 12 voltios, la diferencia de potencial será de 12 V. En cambio, si el electrodo neutro se coloca entre los electrodos positivo y negativo, la diferencia de potencial entre los electrodos positivo y negativo será la misma que antes, pero la diferencia de potencial entre dos electrodos sucesivos será menor. Esta diferencia de potencial variará dependiendo del número de electrodos neutros.

Cuanto más neutros sean los electrodos, menor será el salto de tensión. En este caso, el voltaje entre los electrodos será de 2.7 V, porque si el voltaje es de 12 V, hay 4 puntos neutros con 5 saltos entre los polos positivo y negativo.

Figura 38

Ensamble final de la celda de hidrógeno



Para validar si el montaje final está correcto se verificó con un multímetro en posición de continuidad como se aprecia en la Figura 39, en cada uno de los electrodos con cada uno de los tornillos. Si hubiese continuidad en alguno de ellos hay que desmontar y procurar aislarlos.

Figura 39

Verificación de continuidad en los electrodos y tornillos



Accesorios

Proceso de fabricación del arrestallamas

La fabricación de este componente se realizó de modo no industrial, haciendo uso de materiales de fácil adquisición en el mercado, el cual garantiza la seguridad y confiabilidad del sistema de producción de hidrógeno, a continuación, en la Tabla 16, se muestran los componentes del arrestallamas.

Tabla 16

Componentes del arrestallamas

COMPONENTES DEL ARRESTALLAMAS			
N°	Detalle	Cantidad	Imagen
1	Tubo de PVC L = 150 mm, D = 1"	1	
2	Tapón hembra PVC D = 1"	2	
3	Conectores roscados espiga para acople de manguera D = 10mm	2	

4	Malla metálica circular D = 1"	2	
5	Cinta Teflón	1	
6	Vidrio triturado D = 1/8"	60 g	
7	Piedra de construcción D = 1/8"	30 g	

Nota. (Núñez, 2021)

Ensamblaje de los componentes del generador de hidrógeno

Los demás componentes del generador de hidrógeno fueron adquiridos del mercado.

La Figura 40 presenta la disposición final de los componentes del generador de hidrógeno.

Figura 40*Disposición final del generador de hidrógeno***e.2. Planos de ensamble**

Se muestra el estado del montaje. Ver plano P1.

e.3. Lista de componentes

A continuación, en la Tabla 17, se presenta la lista de componentes de la celda de hidrógeno, seguidamente, en la Tabla 18, la lista de componentes para la instalación del generador de hidrógeno.





Tabla 17*Componentes de la celda de hidrógeno*

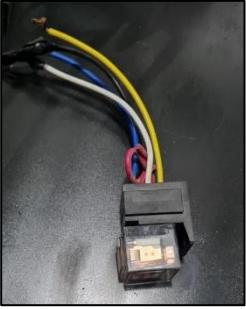




COMPONENTES DE LA CELDA DE HIDRÓGENO			
N°	Detalle	Cantidad	Imagen
1	Placas de acrílico	2	


2	Electrodo positivo	1	
3	Electrodo negativo	2	
4	Electrodos neutros	8	
5	Juntas de caucho	13	
6	Pernos de 1/4x4"	8	

7	Arandelas	16	
8	Tuercas de 1/4"	8	
9	Niples de 1/4"	2	
10	Cinta Teflón	1	

Tabla 18*Componentes del generador de hidrógeno*

COMPONENTES DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO			
N°	Detalle	Cantidad	Imagen
1	Tanque de almacenamiento	1	
2	Burbujeador	1	
3	Manguera de neopreno de alta presión D _{1,2} = 13 mm D _{3,4} = 11 mm	Tramo 1: 25 cm Tramo 2: 25 cm Tramo 3: 36 cm Tramo 4: 95 cm (De derecha a izquierda)	
4	Arrestallamas	1	

5	Relay	1	
6	Interruptor	1	
7	Medidor de voltaje	1	
8	Batería Yang Zu de 7 placas de 30A	1	
9	Cables eléctricos automotriz GPT10 marca INDECO	2 m color negro (+) 2 m color verde (-)	

10	Niples de 1/4"	5	
----	----------------	---	---

Fase VI: Elaboración de detalles

f.1. Planos de despiece

Se representaron los componentes principales del generador de hidrógeno. Ver planos P2, P3 y P4, de igual forma en el plano P5 se muestra la jaula para la instalación del generador dentro de la motokar.

f.2. Estimación de costos

Ver Anexo 7, el cual incluye el análisis de costos

Anexo 4

Instalación de la celda de hidrógeno

La instalación del generador de hidrógeno se realizó en el taller de la empresa ITM ACOSTA MOTORS S.A.C ubicada en la ciudad de Chimbote; donde se facilitó las herramientas y equipos necesarios para su correcta instalación.

a. Materiales y herramientas

MATERIALES	HERRAMIENTAS
Ángulo de metal	Pinzas
Plancha de metal de 1.5 mm	Soldadora eléctrica
Abrazadera	Guantes
Pernos	Mandil
Aldaba de 2"	Gafas
	Taladro
	Multímetro
	Llave mixta, 11 mm, 13 mm y 14 mm.

b. Recomendaciones

Para una correcta instalación se debe tener en cuenta las normas de seguridad a fin de prevenir algún incidente o accidente, así mismo se debe tener a disposición todas las herramientas necesarias para garantizar un óptimo desempeño.

c. Fijación de los componentes principales

Para instalar el generador de hidrógeno se construyó una jaula de 250x400x210 mm (Ver Figura 41), donde se colocó la celda, a continuación, su proceso de fabricación:

Figura 41

Proceso de fabricación de la estructura del generador de hidrógeno



En la Figura 42 se muestra la estructura final.

Figura 42

Estructura para el montaje del generador de hidrógeno



d. Instalación del generador en la motokar

1.- Luego del ensamble de todos los componentes y accesorios del generador de hidrógeno, se procedió al montaje en la estructura que se instaló en la motokar.

Figura 43

Montaje de la estructura



2.- Se procedió luego a la instalación del sistema eléctrico, el cual incluye el Relay, interruptor simple y el medidor de voltaje.

Figura 44

Instalación del sistema eléctrico



3.- Instalación del arrestallamas en el sistema de admisión del motor.

Figura 45

Instalación del arrestallamas



4.- Instalación del sistema al filtro de aire.

Figura 46

Instalación al filtro de aire



5.- Acople del sistema a la brida del carburador.

Figura 47

Acople a la brida del carburador.



6.- Instalación final del generador de hidrógeno al sistema de admisión de la motokar.

Figura 48

Instalación final del generador de hidrógeno.



Anexo 5

Cálculo del hidrógeno producido en condiciones de operación

Cálculos de ingeniería

a. Cálculo del área de placas y volumen de las celdas

De acuerdo con la Ec. 4, para esta configuración considerando para las placas, 2 agujeros de 6 mm para los pernos y un espesor de la junta de neopreno de 4 mm, se tiene:

$$A_t = 9 \times 15 \text{ cm} = 135 \text{ cm}^2$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times (0.6 \text{ cm})^2 \times 2 = 0.565 \text{ cm}^2$$

$$A_p = 134.435 \text{ cm}^2$$

Luego multiplicando este valor por 0.084 amperios, se tiene que este generador puede soportar hasta 11.29 A.

Seguidamente, usando la Ec. 5.

$$V_c = 134.435 \text{ cm}^2 \times 0.4 \text{ cm} = 53.774 \text{ cm}^3$$

Finalmente, Según la Ec. 6, considerando que se tienen 8 cámaras, el volumen total de la celda es:

$$V_{celda} = V_c \times 8 = 53.774 \text{ cm}^3 \times 8 = 430.192 \text{ cm}^3 = 0.430192 \text{ l}$$

b. Caudal de producción de hidrógeno

A fin de evaluar la producción de hidrógeno en función de la concentración de electrolito, en primera instancia, en la Tabla 19 se presentan los datos medidos para un nivel de concentración de 31.667 g/l.

Cabe señalar que, para la medición de los datos de intensidad de corriente, se utilizó una pinza amperimétrica cuyas especificaciones se muestran en el Anexo 10.

Tabla 19

Datos obtenidos para un nivel de concentración de 31.667 g/l

N°	Corriente (A)	Tiempo (s)	Presión (atm)	Temperatura (K)
1	2.07	60	0.17666	296.15
2	2.05	60	0.18357	295.15
3	2.04	60	0.19048	294.15
4	2.03	60	0.19048	294.15
5	2.00	60	0.18357	294.15

Luego, haciendo uso de la Ec. 7, 8, 9 y 10, se pudo determinar el caudal de hidrógeno producido, luego de la electrólisis del agua, valores que se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Resultados para un nivel de concentración de 31.667 g/l

N°	Carga Q (C)	# moles de H ₂	Volumen de H ₂ (l)
1	124.2	0.001287	0.177047
2	123.0	0.001275	0.168168
3	122.4	0.001268	0.160731
4	121.8	0.001262	0.159943
5	120.0	0.001244	0.163510

Posteriormente, a una concentración de 48.333 g/l, según Tabla 21, se tiene:

Tabla 21

Datos obtenidos para un nivel de concentración de 48.333 g/l

N°	Corriente (A)	Tiempo (s)	Presión (atm)	Temperatura (K)
1	2.72	60	0.21021	296.15
2	2.69	60	0.20331	296.15
3	2.60	60	0.20035	297.15
4	2.50	60	0.16975	297.15
5	2.48	60	0.13521	297.15

Seguidamente, en la Tabla 22, se muestra el caudal de hidrógeno producido.

Tabla 22

Resultados para un nivel de concentración de 48.333 g/l

N°	Carga Q (C)	# moles de H ₂	Volumen de H ₂ (l)
1	163.2	0.001691	0.195506
2	161.4	0.001673	0.199920
3	156.0	0.001617	0.196749
4	150.0	0.001554	0.223278
5	148.8	0.001542	0.278077

Por último, se aumentó la concentración de electrolito a 65 g/l, en la Tabla 23 se presentan los datos recolectados.

Tabla 23

Datos obtenidos para un nivel de concentración de 65 g/l

N°	Corriente (A)	Tiempo (s)	Presión (atm)	Temperatura (K)
1	2.00	60	0.08093	297.15
2	1.99	60	0.07481	296.15
3	1.98	60	0.06711	297.15
4	1.99	60	0.07481	297.15
5	1.98	60	0.06711	297.15

Finalmente, en la Tabla 24, se muestra la producción de hidrógeno, luego de la electrólisis del agua.

Tabla 24

Resultados para un nivel de concentración de 65 g/l

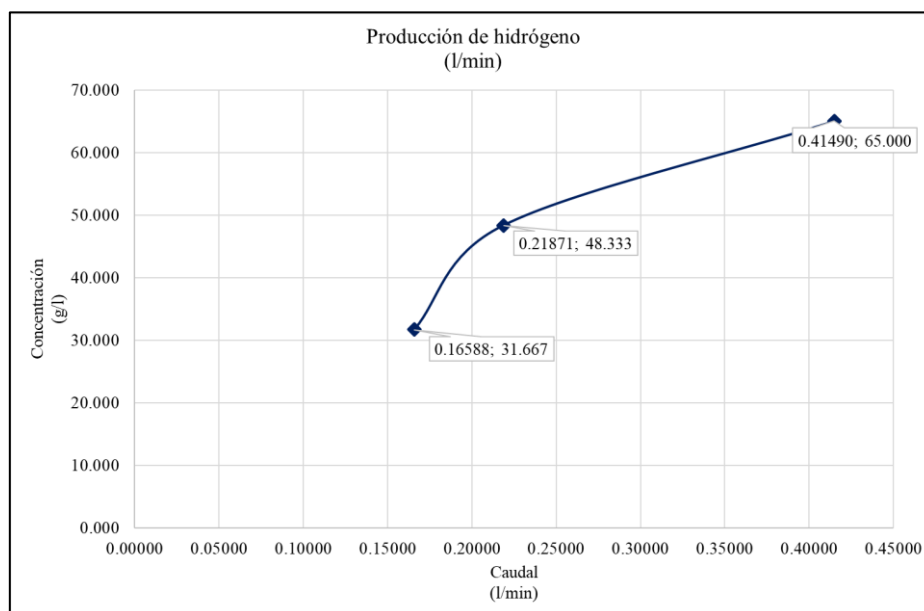
N°	Carga Q (C)	# moles de H ₂	Volumen de H ₂ (l)
1	120.0	0.001244	0.374671
2	119.4	0.001237	0.401934
3	118.8	0.001231	0.447292
4	119.4	0.001237	0.403291
5	118.8	0.001231	0.447292

Por último, la Tabla 25 presenta el caudal de producción promedio:

Tabla 25*Resultados promedio de la producción de hidrógeno*

Concentración (g/l)	Volumen (l/min)
31.667	0.16588
48.333	0.21871
65.000	0.41490

En la Figura 49 se muestra la variación de la producción de hidrógeno en litros por minuto, en función a la concentración del electrolito.

Figura 49*Producción de hidrógeno en l/min*

De la Figura 49, se puede ver que a medida que se incrementa la concentración de electrolito, aumenta el nivel de producción de hidrógeno en l/min, siendo el 65.000 g/l, el nivel de concentración óptimo.

Finalmente, a partir de esta concentración, se calculó la cantidad de litros producidos por año, considerando que el conductor de la motokar trabaja durante aproximadamente 8 horas al día, se obtuvo un valor de 65 642.440 l/año, así como 0.43922 kg/año.

c. Eficiencia del generador

Haciendo uso de la Ec. 11:

$$\eta_{generador} = \frac{0.374671 \text{ l}}{0.6 \text{ l}}$$

$$\eta_{generador} = 62.445 \%$$

d. Cálculo de la energía consumida

Se procedió al cálculo de la carga eléctrica para producir 0.002507 g de hidrógeno, de donde según la Ec. 12, 13 y 14, se tiene:

$$0.002507 \text{ g hidrógeno} * \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ g de hidrógeno}} = 0.002507 \text{ mol e}$$

Luego,

$$Q = 96500 \left(\frac{C}{\text{mol}} \right) * 0.002507 \text{ mol}$$

$$Q = 241.9255 \text{ C}$$

Convirtiendo a Watts:

$$Q = 241.9255 \text{ C} * \left(\frac{1Ah}{3600C} \right)$$

$$Q = 0.0672 \text{ Ah}$$

Finalmente, considerando el voltaje mínimo se tiene:

$$P_{requerida} = 0.0672Ah * 1.23V$$

$$P_{requerida} = 0.08266 \text{ Wh}$$

e. Cálculo de conductividad del electrolito

A fin de evaluar la conductividad del electrolito, se hizo uso de la Ec. 15, de donde se obtuvo:

$$C = \frac{2.00 \text{ A} * 0.4 \text{ cm}}{12 \text{ V} * 134.435 \text{ cm}^2 * 8}$$

$$C = 0.0000620 \text{ Siemens/cm}$$

f. Cálculo estequiométrico

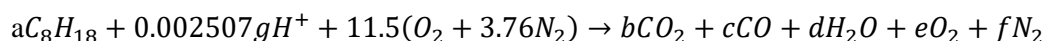
Primero se procedió a calcular la masa producida en gramos, teniendo en cuenta que, para el hidrógeno, corresponde un valor de 2.016 g/mol H₂ y que el menor caudal producido (valor crítico) para una concentración de 65.000 g/l, fue de 0.374671 l/min, lo que permitió obtener una masa de 0.002507 g.

Tabla 26

Resumen de resultados para el volumen crítico

N°	Agua (l)	Soda cáustica (g)	Concentración (g/l)	Corriente (A)	Tiempo (s)	# moles de H ₂	Volumen de H ₂ (l)	g H ₂
1	0.6	39	65.000	2.00	60	0.001244	0.374671	0.002507

Luego, según la Ec. 17, se reemplazó la cantidad de gramos de hidrógeno, teniendo:



Balanceando, se obtuvieron las siguientes igualdades:

- **C:** $8a = b + c$
- **H:** $18a + 0.002507 = 2d$
- **O:** $23 = 2b + c + d + 2e$
- **N:** $43.24 = f$

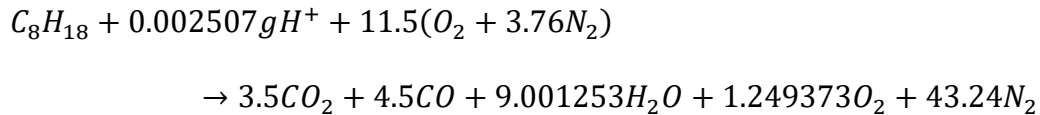
De donde los valores de las incógnitas se muestran a continuación en la Tabla 27:

Tabla 27

Variables para la ecuación estequiométrica

i	Valor
a	1
b	3.5
c	4.50
d	9.001253
e	1.249373
f	43.24

Teniendo finalmente la siguiente ecuación estequiométrica:



g. Cálculo de entalpía de formación (electrólisis)

Para calcular la entalpía de formación de la combustión con el generador de hidrógeno, se tomaron los coeficientes obtenidos de la ecuación estequiométrica en los productos.

Luego, haciendo uso de la Ec. 18, se tiene:

$$h_c = (3.5x - 393520) + (4.5x - 110530) + (9.001253x - 241820) - (1x - 249950) \text{ kJ/kmol}$$

$$h_c = -3\,801\,438 \text{ kJ/kmol (proceso exotérmico)}$$

Seguidamente, al dividir este resultado sobre la masa molar de la gasolina que es de 114.321 kg/kmol, se obtuvo:

$$h_c = \frac{3801438 \text{ kJ/kmol}}{114.321 \text{ kg/kmol}}$$

$$h_c = 33252.31585 \text{ kJ/kg (gasolina + H)}$$

h. Cálculo de tuberías y caudal

Conociendo el caudal de producción de hidrógeno de 0.374671 l/min y el área de la tubería de diámetro de 11 mm, se calculó la velocidad, haciendo uso de la Ec. 19:

$$v = \frac{0.374671 \text{ l/min} * \left(\frac{1m^3}{1000l}\right) * \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right)}{\frac{\pi}{4} * (0.011m)^2}$$

$$v = 0.065709 \text{ m/s}$$

Con la masa de 0.002507 g y el volumen de 0.374671 l, se calculó la densidad de 0.006691 kg/m³, además, según fórmula de Sutherland, para la temperatura de 24°C para el hidrógeno gaseoso, corresponde una viscosidad dinámica de 0.002503 centiPoise.

Luego, se procedió a calcular el número de Reynolds, con la Ec. 20:

$$Re = \frac{0.006691 \text{ kg/m}^3 * 0.065709 \text{ m/s} * 0.011 \text{ m}}{0.002503 * 10^{-3}}$$

$$Re = 1.93219$$

Pudiendo apreciar que claramente, según este valor se trataría de un flujo laminar.

Anexo 6

Cálculo del porcentaje de reducción del consumo de gasolina

Para la reducción del consumo de combustible del motor se hicieron 4 recorridos, primero utilizando gasolina y luego gasolina más hidrógeno, tomando como base la investigación científica de (Ji et al., 2012) con distintas modificaciones al sistema de admisión, posteriormente se anotó el kilometraje, de acuerdo con los datos del tacómetro digital, cuyas características técnicas se presentan en el Anexo 6. (Ver Figuras 50, 51, 52 y 53)

Gasolina (G)

Figura 50

Recorrido 1G (0 a 88 km)



Figura 51

Recorrido 2G (1982 a 2037 km)



Figura 52*Recorrido 3G (2310 a 2366 km)***Figura 53***Recorrido 4G (2372 a 2443 km)*

Una vez instalado el sistema a la motokar, se procedió con las pruebas. Durante el proceso se presentó el inconveniente de que la batería se descargaba muy rápido, teniendo una duración de 2 horas encendida la motokar con la celda, esto generaría muchos problemas ya que pasado ese tiempo ya no se podría generar hidrógeno, luego, en la búsqueda de alternativas se procedió a realizar una modificación al sistema del generador de carga, procediendo a cambiar el alternador y su selenio del sistema monofásico al trifásico. (Ver Figura 54 y 55)

Figura 54*Alternador: a) monofásico b) trifásico*

Figura 55

Selenio: a) monofásico b) trifásico



Resuelto el problema de carga, se procedió con las pruebas de consumo, en estas primeras pruebas no se hizo modificación alguna al sistema de admisión. (Ver Figuras 56 y 57)

Gasolina + Hidrógeno (G-H)

Figura 56

Recorrido 1G-H (3663 a 3737 km)

**Figura 57**

Recorrido 2G-H (3737 a 3808 km)



Luego para obtener una mayor reducción se hizo una calibración de entrada de gasolina al carburador.

Modificaciones al sistema de admisión de la motokar

Primera calibración. Como primera modificación, se bajó el nivel del depósito de gasolina con muestra la Figura 58, del nivel línea verde 50 ml (nivel de trabajo normal), se bajó al nivel línea celeste a 35ml.

Figura 58

Primera calibración



Segunda calibración. Como segunda modificación, se subió el nivel de la aguja de la aceleración, con el objetivo de impedir el paso de combustible, reduciéndose así también el consumo de combustible, considerando que la aguja tiene 5 niveles y en su ciclo de trabajo normal es a la mitad, se subió al nivel 2, según muestra la Figura 59.

Figura 59

Segunda calibración



Seguidamente, se procedió a realizar las pruebas de consumo.

Gasolina + Hidrógeno + Modificaciones (G-H-M)

Las pruebas de gasolina más hidrógeno, incluidas las modificaciones al sistema de admisión se presentan en las Figuras 60, 61, 62 y 63.

Figura 60

Recorrido 1G-H-M (3871 a 3949 km)



Figura 61

Recorrido 2G-H-M (3949 a 4026 km)



Figura 62

Recorrido 3G-H-M (4098 a 4182 km)



Figura 63*Recorrido 4G-H-M (4571 a 4651 km)*

A continuación, en la Tabla 28, se presentan los datos obtenidos de cada recorrido, los cuales se organizan de acuerdo con el combustible, teniendo como sustento científico la investigación de (Wail y Khaled , 2022)

Tabla 28*Datos correspondientes a cada recorrido realizado*

Combustible	# Recorrido	Kilometraje		Distancia recorrida (km)	Tiempo (min)	Combustible consumido (l)	Costo (\$/)
		Inicio	Fin				
Gasolina	1	0	88	88	530	2.988	15
	2	1982	2037	55	450	1.992	10
	3	2310	2366	56	460	1.992	10
	4	2372	2443	71	490	2.789	14
Gasolina + HHO	1	3663	3737	74	445	1.992	10
	2	3737	3808	71	445	1.992	10
Gasolina + HHO + M	1	3871	3949	78	450	2.192	11
	2	3949	4026	77	440	1.992	10
	3	4098	4182	84	490	2.192	11
	4	4571	4651	80	475	1.992	10

Finalmente, de la Tabla 29 se observa que la adición de hidrógeno a la gasolina sin modificaciones al sistema de admisión genera una variación del 31.59% respecto a la distancia recorrida promedio por litro de combustible, mientras que, al modificar el sistema, se genera una variación del 38.07%, tales porcentajes de forma equivalente representan los porcentajes de reducción del consumo de combustible, pudiendo evidenciar que la motokar se desplaza más kilómetros usando hidrógeno.

Tabla 29*Parámetros obtenidos según cada recorrido realizado*

Combustible	# Recorrido	Velocidad media (m/s)	Distancia recorrida por litro (km/l)	Distancia recorrida promedio por litro (km/l)	Variación (%)
Gasolina	1	2.767	29.446	27.654	31.59%
	2	2.037	27.606		
	3	2.029	28.108		
	4	2.415	25.455		
Gasolina + HHO	1	2.772	37.143	36.390	
	2	2.659	35.637		
Gasolina + HHO + M	1	2.889	35.591	38.181	38.07%
	2	2.917	38.648		
	3	2.857	38.329		
	4	2.807	40.154		

Anexo 7*Análisis económico – financiero del proyecto*

Todos los datos considerados según el POP del financiamiento de la universidad.

a. Costos**Tabla 30***Costos de los componentes del generador de hidrógeno*

Ítem	U/M	Precio Unitario (S/)	Cantidad	Sub Total (S/)
PLANCHA INOX. 304L / 0.9x0.17x0.015 m	UNIDAD	S/ 11.00	23	S/ 253.00
PLANCHA ACRÍLICO 0.17x0.12x0.06 m	UNIDAD	S/ 2.00	15	S/ 30.00
PERNO 1/4x4"	UNIDAD	S/ 8.00	2	S/ 16.00
NIPLE DE 1/4"	UNIDAD	S/ 7.00	1.5	S/ 10.50
JEBE 0.09x0.12x0.04 m	UNIDAD	S/ 13.00	4	S/ 52.00
DEPÓSITO REFRIGERANTE	UNIDAD	S/ 1.00	120	S/ 120.00
MANGUERA DE GAS	m	S/ 2.00	3	S/ 6.00
MANGUERA DE ALTA PRESIÓN	m	S/ 1.00	15	S/ 15.00
BURBUJEADOR/TOMATODO	UNIDAD	S/ 1.00	10	S/ 10.00
RELAY Y CONECTOR	UNIDAD	S/ 1.00	23	S/ 23.00
MEDIDOR DE VOLTAJE	UNIDAD	S/ 1.00	30	S/ 30.00
INTERRUPTOR SIMPLE	UNIDAD	S/ 1.00	7	S/ 7.00
CINTA AISLANTE	UNIDAD	S/ 1.00	4	S/ 4.00
CABLE GPT10-INDECO	m	S/ 3.00	12	S/ 36.00
ARRESTALLAMA	GB	S/ 1.00	25	S/ 25.00
ESTRUCTURA DE MONTAJE (CAJA/JAULA)	GB	S/ 1.00	80	S/ 80.00
TOTAL				S/ 717.50

Tabla 31*Costos de fabricación*

Ítem	U/M	Precio Unitario (S/)	Cantidad	Sub Total (S/)
CORTE DE PLANCHA INOX.	GB	S/ 11.00	5	S/ 55.00
PERFORACIÓN DE 13MM A PLANCHA INOX. 304L	UNIDAD	S/ 22.00	2	S/ 44.00
COSTO DE ENSAMBLE Y FABRICACIÓN	GB	S/ 1.00	150	S/ 150.00
TOTAL				S/ 249.00

Tabla 32*Costos de producción variables (insumos)*

Ítem	U/M	Precio Unitario (S/)	Cantidad	Sub Total (S/)
AGUA DESTILADA	l	S/ 1.00	7.3	S/ 7.30
SODA CÁUSTICA	kg	S/ 1.00	474.5	S/ 474.50
TOTAL				S/ 481.80

Tabla 33*Costos de producción variables (energía eléctrica)*

Ítem	U/M	Precio Unitario (S/)	Cantidad	Sub Total (S/)
ENERGÍA ELÉCTRICA	1	S/ 0.5027	14.4813	S/ 7.28
TOTAL				S/ 7.28

Tabla 34*Costos de mantenimiento*

Ítem	CAMBIO	U/M	MTTO	U/M	Costo (S/)
PLANCHA INOX. 304L / 0.9x0.17x0.015 m	-	-	1	AÑO	S/ 30.00
PLANCHA ACRÍLICO 0.17x0.12x0.06 m	-	-	1	AÑO	S/ 20.00
PERNO 1/4x4"	2	AÑO	-	-	S/ 16.00
NIPLE DE 1/4"	2	AÑO	-	-	S/ 10.00
JEBE 0.09x0.12x0.04 m	-	-	-	-	-
DEPÓSITO REFRIGERANTE	2	AÑO	-	-	S/ 60.00
MANGUERA DE GAS	1	AÑO	-	-	S/ 6.00
MANGUERA DE ALTA PRESIÓN	1	AÑO	-	-	S/ 15.00
BURBUJeador/TOMATODO	1	AÑO	-	-	S/ 10.00
RELAY Y CONECTOR	1	AÑO	-	-	S/ 23.00
MEDIDOR DE VOLTAJE	1	AÑO	-	-	S/ 30.00
INTERRUPTOR SIMPLE	1	AÑO	-	-	S/ 7.00
CINTA AISLANTE	2	AÑO	-	-	S/ 8.00
CABLE GPT10-INDECO	1	AÑO	-	-	S/ 36.00
ARRESTALLAMA	1	AÑO	-	-	S/ 25.00
ESTRUCTURA DE MONTAJE (CAJA/JAULA)	-	-	-	-	-
TOTAL					S/ 296.00

b. Análisis económico - financiero

No fue necesario solicitar préstamo a una entidad bancaria, ya que la universidad cubrió casi en su totalidad con el financiamiento. En seguida, se muestra el análisis del proyecto.

Tabla 35*Variables del proyecto*

Tasa de inflación anual de costos	3%
Costo promedio de gasolina en S/l	5.02
Volatilidad anual del costo del combustible	1.00%
Pérdida anual de eficiencia	0.50%

Tabla 36*Inversiones*

Inversiones	Inversión total (S/)
Estimación de costo total	966.50
Gastos administrativos (5%)	48.33
Reserva contingencia (10%)	96.65
Reserva de gestión (5%)	48.33
Total	1,159.80

Tabla 37*Costos de operación*

Costos de operación	Costo anual (S/)
Costos de insumos	481.80
Costo de energía eléctrica	7.28
Costos de mantenimiento	296.00
Total	785.08

Tabla 38*Ahorro por consumo de combustible*

Ingresos/Años	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Cantidad consumida antes (S/l)	7228.135	7264.275	7300.597	7337.100
% reducción de consumo	38.07%	37.57%	37.07%	36.57%
Cantidad consumida después (S/l)	4476.384	4535.087	4594.266	4653.922
Ahorro de consumo (S/)	2,751.751	2,729.188	2,706.331	2,683.177
Ahorro anual (con proyecto) (S/)	2,751.751	2,729.188	2,706.331	2,683.177
Total (S/)	2,751.75	2,729.19	2,706.33	2,683.18

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
7373.785	7410.654	7447.707	7484.946	7522.371	7559.983
36.07%	35.57%	35.07%	34.57%	34.07%	33.57%
4714.061	4774.684	4835.796	4897.400	4959.499	5022.096
2,659.724	2,635.970	2,611.911	2,587.546	2,562.872	2,537.886
2,659.724	2,635.970	2,611.911	2,587.546	2,562.872	2,537.886
2,659.72	2,635.97	2,611.91	2,587.55	2,562.87	2,537.89

Tabla 39*Financiamiento del proyecto*

Inversión	Inversión total (S/)	Aporte personal (S/)	Financiamiento UNS (S/)
Coste total del proyecto	1,159.80	193.30	966.50
Participación porcentual	100.00%	16.67%	83.33%

Tabla 40*Estado de pérdidas y ganancias económico*

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ingresos	2,751.75	2,729.19	2,706.33	2,683.18
Ahorro por consumo de combustible	2,751.75	2,729.19	2,706.33	2,683.18
Egresos				
Costes de operación	881.73	905.28	929.54	954.53
Insumos	481.80	496.25	511.14	526.48
Energía eléctrica	7.28	7.50	7.72	7.95
Mantenimiento	296.00	304.88	314.03	323.45
Depreciación	96.65	96.65	96.65	96.65
Utilidad bruta	1,870.02	1,823.91	1,776.79	1,728.65
Impuesto (30%) para empresas	561.01	547.17	533.04	518.59
Utilidad neta	1,309.01	1,276.73	1,243.75	1,210.05

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
2,659.72	2,635.97	2,611.91	2,587.55	2,562.87	2,537.89
2,659.72	2,635.97	2,611.91	2,587.55	2,562.87	2,537.89
980.26	1,006.77	1,034.08	1,062.20	1,091.17	1,121.00
542.27	558.54	575.29	592.55	610.33	628.64
8.19	8.44	8.69	8.95	9.22	9.50
333.15	343.15	353.44	364.04	374.96	386.21
96.65	96.65	96.65	96.65	96.65	96.65
1,679.46	1,629.20	1,577.83	1,525.35	1,471.71	1,416.89
503.84	488.76	473.35	457.60	441.51	425.07
1,175.62	1,140.44	1,104.48	1,067.74	1,030.19	991.82

Tabla 41

Flujo de caja económico

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ingresos		2,751.75	2,729.19	2,706.33	2,683.18
a. Inversiones	1,159.80				
Estimación de costo total	966.50				
Gastos administrativos (5%)	48.33				
Reserva contingencia (10%)	96.65				
Reserva de gestión (5%)	48.33				
Costes de operación		881.73	905.28	929.54	954.53
Insumos		481.80	496.25	511.14	526.48
Energía eléctrica		7.28	7.50	7.72	7.95
Coste de mantenimiento		296.00	304.88	314.03	323.45
Depreciación		96.65	96.65	96.65	96.65
Utilidad bruta		1,870.02	1,823.91	1,776.79	1,728.65
Impuesto (30%) para empresas		561.01	547.17	533.04	518.59
Utilidad neta		1,309.01	1,276.73	1,243.75	1,210.05
Depreciación no pagada		96.65	96.65	96.65	96.65
Flujo de caja económico	-1,159.80	1,405.66	1,373.38	1,340.40	1,306.70
Saldo de flujo de caja económico	-1,159.80	245.86	1,619.25	2,959.65	4,266.36

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
2,659.72	2,635.97	2,611.91	2,587.55	2,562.87	2,537.89
980.26	1,006.77	1,034.08	1,062.20	1,091.17	1,121.00
542.27	558.54	575.29	592.55	610.33	628.64
8.19	8.44	8.69	8.95	9.22	9.50
333.15	343.15	353.44	364.04	374.96	386.21
96.65	96.65	96.65	96.65	96.65	96.65
1,679.46	1,629.20	1,577.83	1,525.35	1,471.71	1,416.89
503.84	488.76	473.35	457.60	441.51	425.07
1,175.62	1,140.44	1,104.48	1,067.74	1,030.19	991.82
96.65	96.65	96.65	96.65	96.65	96.65
1,272.27	1,237.09	1,201.13	1,164.39	1,126.84	1,088.47
5,538.63	6,775.72	7,976.85	9,141.24	10,268.09	11,356.56

Finalmente, con un WACC de 2.428% se obtuvieron los siguientes indicadores de decisión.

INDICADORES DE DECISIÓN

VAN	9,896.44	Conclusión: El proyecto es rentable ya que el VAN > 0
TIR	118.78%	Conclusión: El proyecto es viable ya que TIR > WACC
Inversión	1,159.80	
VPN	11,056.24	
B/C	9.533	Por cada S/ 1.00 invertido se ganará S/ 8.533, por lo tanto, es rentable.
		FRACCIÓN
		0.82509
PAY BACK	0.83	AÑOS
		La inversión será rentable a corto plazo.

301 días

Anexo 8

Especificaciones técnicas de los componentes del generador de hidrógeno

A continuación, en las Figuras 64, 65, 66, 67, 68 se presentan las especificaciones técnicas de los principales componentes del generador de hidrógeno.

DEPOSITO /TANQUE

Figura 64

Depósito o tanque de almacenamiento



HOJAS DE ACRÍLICO

Figura 65

Hojas de acrílico



medidas: 140x210x60mm

	FICHA TÉCNICA
	HOJA DE ACRÍLICO

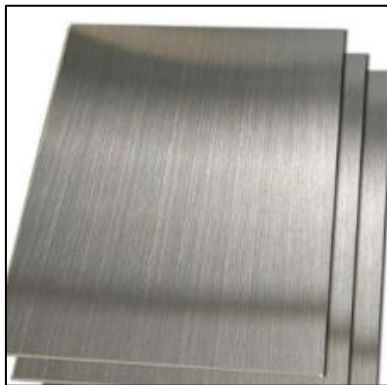
ALCANCES:

- Verificación a: Estándar EN 1906: 2012 relacionados con las directivas CE:R 305/2011 (Reglamento para la comercialización de Productos de construcción)
- Garantía: 5 años de garantía limitada
- Transmisividad de la luz: 93.40 %
- Densidad de 1.2 g/cm³
- Temperatura de deformación térmica / ablandamiento: 114 °C
- Tolerancia Espesor: $\pm 0.12\text{mm}$

PLANCHA INOX 304L

Figura 66

Planchas de acero inox. 304L



NORMA TÉCNICA		LÍMITE DE FLUENCIA (F) KG/MM ²	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (R) KG/MM ²	ELONGACIÓN (A) %
ASTM A240	AISI 304	21	52	40
	AISI 304L	17	49	40
	AISI 316	21	52	40
	AISI 316L	17	49	40

AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI 304	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0/20.0	8.0/10.5	---
AISI 304L	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	18.0/20.0	8.0/12.0	---
AISI 316	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0/18.0	10.0/14.0	2.0/3.0

MANGUERA DE GAS

Figura 67

Manguera de gas de alta presión



Manguera para gas 1/4" rollo 50m SURTEK 121008

Especificaciones:

- Manguera para gas 1/4" rollo 50m Surtek
- Alta resistencia a la intemperie de 10°C a 60°C
- Refuerzo textil para mayor resistencia al quiebre
- Presión máxima de 150 PSI
- Rollo de 50 mts
- Manguera tricapa reforzada con tramas de poliéster

BURBUJEADOR

Figura 68

Burbujeador de PVC



Ficha técnica

Características	Tapa hermética. Fácil de abrir. Material 100% virgen. No tóxico. Disponible en diferentes colores. Precio por unidad.
Color	Disponible varios colores
Dimensiones del producto (alto/ancho/profundidad)	27 x 8 cm
Material	Plástico
Capacidad	1 L

Anexo 9

Entalpía de formación

Entalpía de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 25°C, 1 atm				
Sustancia	Fórmula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
Acetileno	C ₂ H ₂ (g)	+226,730	+209,170	200.85
Agua	H ₂ O(l)	-285,830	-237,180	69.92
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(g)	-235,310	-168,570	282.59
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(l)	-277,690	-174,890	160.70
Alcohol metílico	CH ₃ OH(g)	-200,670	-162,000	239.70
Alcohol metílico	CH ₃ OH(l)	-238,660	-166,360	126.80
Amoniaco	NH ₃ (g)	-46,190	-16,590	192.33
Benceno	C ₆ H ₆ (g)	+82,930	+129,660	269.20
n-butano	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,150	-15,710	310.12
Carbón	C(s)	0	0	5.74
Dióxido de carbono	CO ₂ (g)	-393,520	-394,360	213.80
n-dodecano	C ₁₂ H ₂₆ (g)	-291,010	+50,150	622.83
Etano	C ₂ H ₆ (g)	-84,680	-32,890	229.49
Etileno	C ₂ H ₄ (g)	+52,280	+68,120	219.83
Hidrógeno	H ₂ (g)	0	0	130.68
Hidrógeno	H(g)	+218,000	+203,290	114.72
Hidroxilo	OH(g)	+39,460	+34,280	183.70
Metano	CH ₄ (g)	-74,850	-50,790	186.16
Monóxido de carbono	CO(g)	-110,530	-137,150	197.65
Nitrógeno	N ₂ (g)	0	0	191.61
Nitrógeno	N(g)	+472,650	+455,510	153.30
n-octano	C ₈ H ₁₈ (g)	-208,450	+16,530	466.73
n-octano	C ₈ H ₁₈ (l)	-249,950	+6,610	360.79
Oxígeno	O ₂ (g)	0	0	205.04
Oxígeno	O(g)	+249,190	+231,770	161.06
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂ (g)	-136,310	-105,600	232.63
Propano	C ₃ H ₈ (g)	-103,850	-23,490	269.91
Propileno	C ₃ H ₆ (g)	+20,410	+62,720	266.94
Vapor de agua	H ₂ O(g)	-241,820	-228,590	188.83

Fuente: De JANAF, *Thermochemical Tables*, Midland, MI, Dow Chemical Co., 1971, *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 1968; y *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953.

Nota. Tomada de (Baltazar, 2020)

Anexo 10

Especificaciones técnicas de la pinza amperimétrica

5. ESPECIFICACIONES

Se garantiza la precisión por 1 año 23 °C ± 5 °C menor a 80% HR

TENSIÓN c.c. (Rango automático)

Rango	Resolución	Precisión
600 mV	0,1 mV	± (0,8% de rdg + 5 dgts)
6 V	1 mV	± (0,8% de rdg + 3 dgts)
60 V	10 mV	
600 V	100 mV	
1 000 V	1 V	± (1% de rdg + 5 dgts)

Entrada de impedancia: 10 MΩ

Protección en sobrecarga: 600 V c.a. RMS CAT III, 1 000 V c.a. RMS CAT II

Tensión máxima de entrada: 600 V c.a. RMS CAT III, 1 000 V c.a. RMS CAT II

CORRIENTE c.a. (Rango automático)

Rango	Resolución	Precisión
60 A	10 mA	± (2,5% de rdg + 10 dgts)
600 A	100 mA	
1 000 A	1 A	

Medición de caída de tensión: 200 mV

Muestra el valor de RMS real

TENSIÓN c.a. (Rango automático)

Rango	Resolución	Precisión
600 mV	0,1 mV	± (1,2% de rdg + 8 dgts)
6 V	1 mV	± (1,0% de rdg + 8 dgts)
60 V	10 mV	
600 V	100 mV	
750 V	1 V	± (1,2% de rdg + 8 dgts)

Entrada de impedancia: 10 M Ω

Protección de sobrecarga: 600 V c.a. RMS CAT III, 1 000 V c.a. RMS CAT II

Tensión máxima de entrada: 600 V c.a. RMS CAT III, 1 000 V c.a. RMS CAT II

Muestra el valor True RMS

TEMPERATURA

Rango	Resolución	Precisión
-40 °C - 1 370 °C	1 °C	-40 °C - 150 °C: $\pm(3\%$ de rdg + 4 dgts)
		150 °C - 1 370 °C: $\pm(3\%$ de rdg + 4 dgts)
-40 °F - 2 000 °F	1 °F	-40 °F - 320 °F: $\pm(5\%$ de rdg + 4 dgts)
		320 °F - 2 000 °F: $\pm(2,5\%$ de rdg + 4 dgts)

Protección en sobrecarga: 250 V c.c. / c.a. RMS



RESISTENCIA (Rango automático)

Rango	Resolución	Precisión
600 Ω	0,1 Ω	$\pm(1,5\%$ de rdg + 5 dgts)
6 k Ω	1 Ω	
60 k Ω	10 Ω	
600 k Ω	100 Ω	
6 M Ω	1 k Ω	
60 M Ω	10 k Ω	

Tensión abierto: Alrededor de 0,25 V

Protección en sobrecarga: 250 V c.c. / c.a. RMS

DIODO Y CONTINUIDAD

Rango	Introducción	Comentario
	Se muestra la caída aproximada de tensión directa	Tensión de circuito abierto: Alrededor de 1,5 V c.c.
	El zumbador inter-construido sonará si la resistencia es menor a 30 Ω	Tensión del circuito abierto: Alrededor de 0,5 V c.c.

Protección en sobrecarga: 250 V c.c. / c.a. RMS

Para la prueba de continuidad audible: Cuando la resistencia está entre 30 Ω y 100 Ω , puede sonar el zumbador o puede no sonar. Cuando la resistencia es mayor a 100 Ω , el zumbador no sonará.

FRECUENCIA (Rango automático)

Rango	Precisión
0 MHz - 60 MHz	$\pm(1\%$ de rdg + 5 dgts)

FRECUENCIA (A través de la pinza)

Rango	Precisión
50 Hz - 1 kHz	$\pm(1,5\%$ de rdg + 5 dgts)

CAPACITANCIA (Rango automático)

Rango	Precisión
60 nF / 600 nF / 6 μ F	$\pm(8\%$ de rdg + 5 dgts)
60 μ F / 400 μ F / 20 mF	

CICLO DE TRABAJO

Rango	Resolución	Precisión
0,01% - 99,9%	0,01%	$\pm 1\%$

Para valores entre 10% y 90% de ciclo de trabajo a 50 Hz



Anexo 11

Especificaciones técnicas del tacómetro digital

CARACTERÍSTICAS

- Incluye un tacómetro analógico y digital, velocímetro de 300 km/h, contador de trayecto, cuentakilómetros, reloj, indicador de velocidad media, indicador de velocidad máxima, controlador de tiempo de funcionamiento y controlador de tiempo total.
- Ordenador dotado de 4-8 LEDS para distintos indicadores.
- La pantalla de cristal liquido tiene dos filas digitales para diferentes funciones y un tacómetro analógico con gráfico de barras. También dispone de retroiluminación por LEDS azules.
- El cuentakilómetros y el controlador de tiempo total de funcionamiento quedan almacenados en la memoria, aun cuando el dispositivo esté apagado.
- El ordenador siempre muestra el reloj aunque las otras funciones estén apagadas.
- Circunferencia de la rueda regulable apta para todo tipo de ruedas: Margen de regulación de 1-3.999 mm.
- Es posible disponer de la opción de sistema métrico/británico.
- Diseño resistente al agua.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

FUNCIONES	Simbolo	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	INCREMENTOS	PRECISIÓN
Tacómetro de barras		500-11.000 rpm	500 rpm	
Tacómetro digital	RPM	100-19.900 rpm	100 rpm	
Aviso de cambio de marcha	RPM	100-19.900 rpm	100 rpm	
Valor máximo del tacómetro	MAX RPM	100-19.900 rpm	100 rpm	
Velocímetro		2,3-300,0km/h (187,5m/h)	0,1 km/h o m/h	±1% o ±0,1 km/h/m/h
Medidor de velocidad máxima	MAX	2,3-300,0km/h (187,5m/h)	0,1 km/h o m/h	±% o ±0,1 km/h/m/h
Medidor de velocidad media	AVG	2,3-300,0km/h (187,5m/h)	0,1 km/h o m/h	±1% o ±0,1 km/h/m/h
Contador de trayecto 1 y 2	TRIP 1&2	0,0-999,9 km o 0,0-624,9 millas	0,01 km o millas	±0,1%
Cuentakilómetros	ODO	0 - 99.9999 km 0- 624.999 millas	0,1 km o millas	±0,1%
Tiempo de funcionamiento	RT	0:00'00"-99:59' 59"	1 segundo	± 50 PPM
Tiempo total	TT	0:00' - 9999:59'	1 minuto	± 50 PPM
Reloj		0:00'00"-23:59' 59"	1 segundo/1 minuto	± 50 PPM

Potencia de entrada: 12 V CC.

Sensor de velocidad: Sensor magnético sin contacto.

Entrada del tacómetro: CDI (encendido de descarga capacitiva) o señal de bobina de encendido.

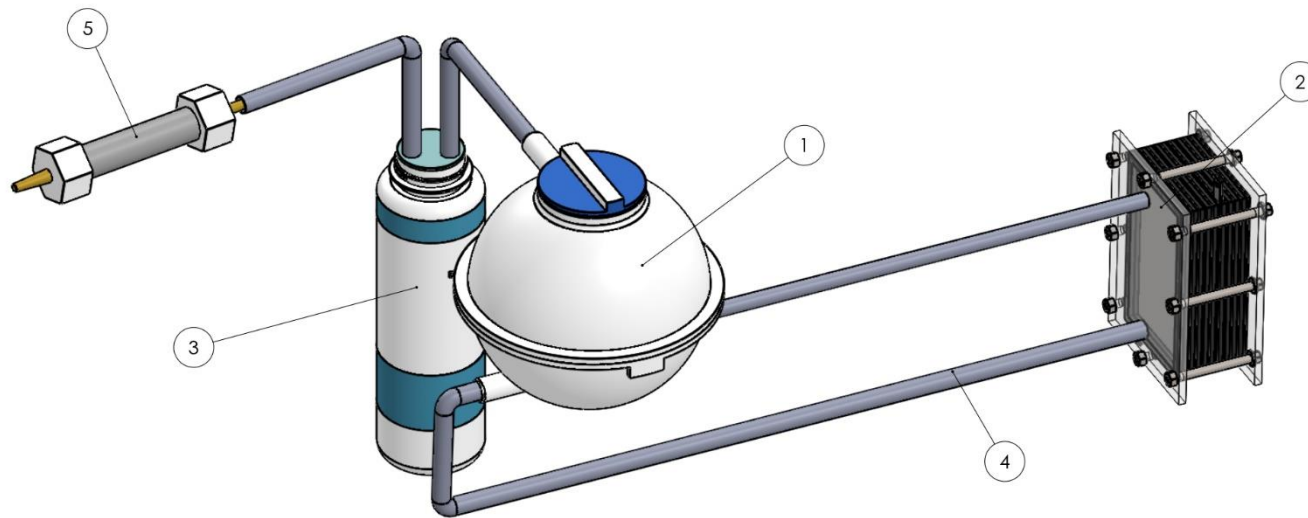
Ajuste de circunferencia de la rueda: 1 mm - 3.999 mm (incrementos de 1 mm)

Temperatura de funcionamiento: -10° C - +80° C (interior carcasa)

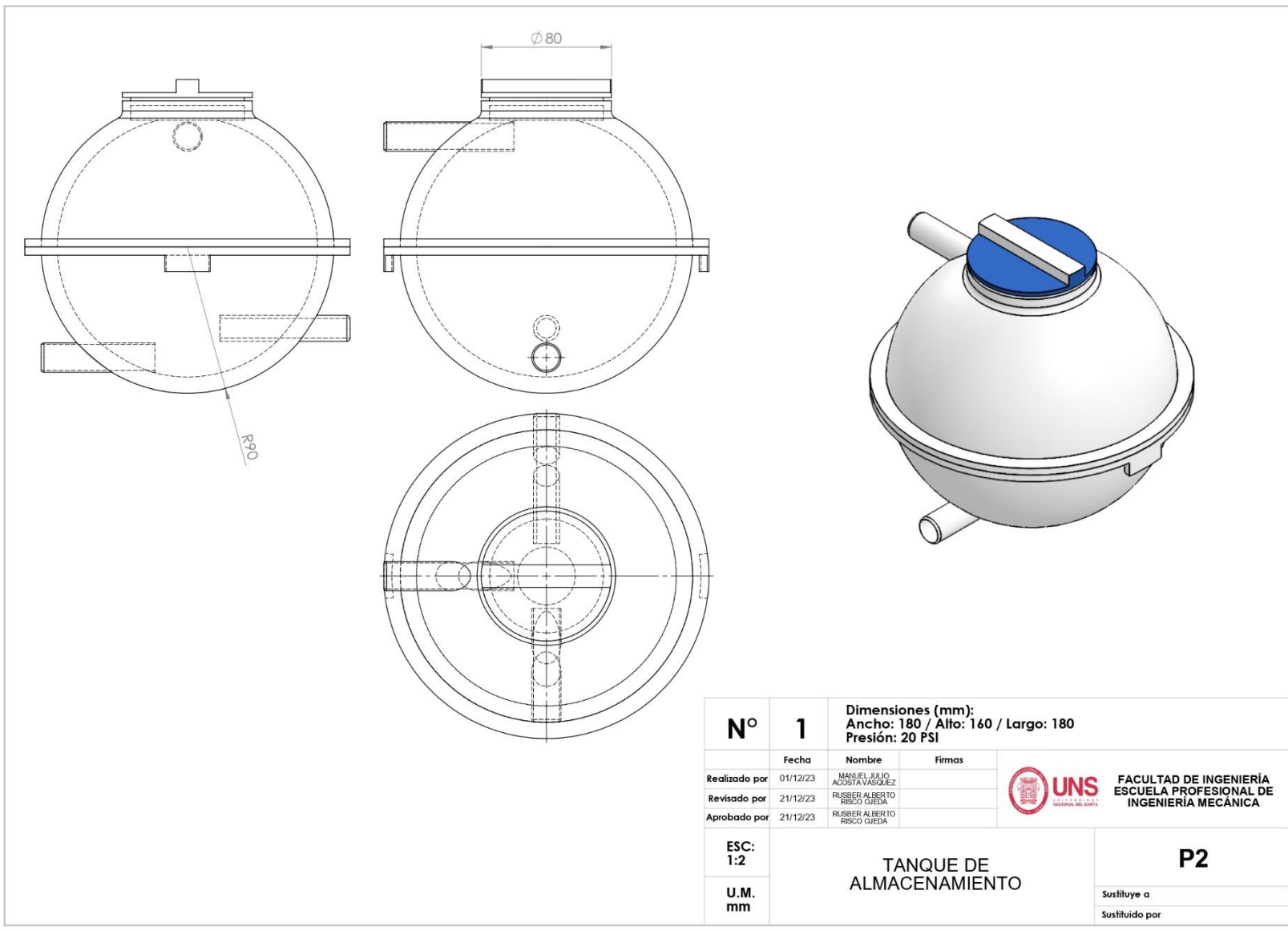
Temperatura de almacenamiento: -25° C - +85° C (interior carcasa)

Resistencia del sensor del combustible: 100 Ω (para los modelos que sólo tiene medidor de combustible).

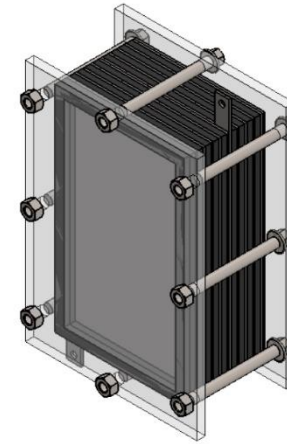
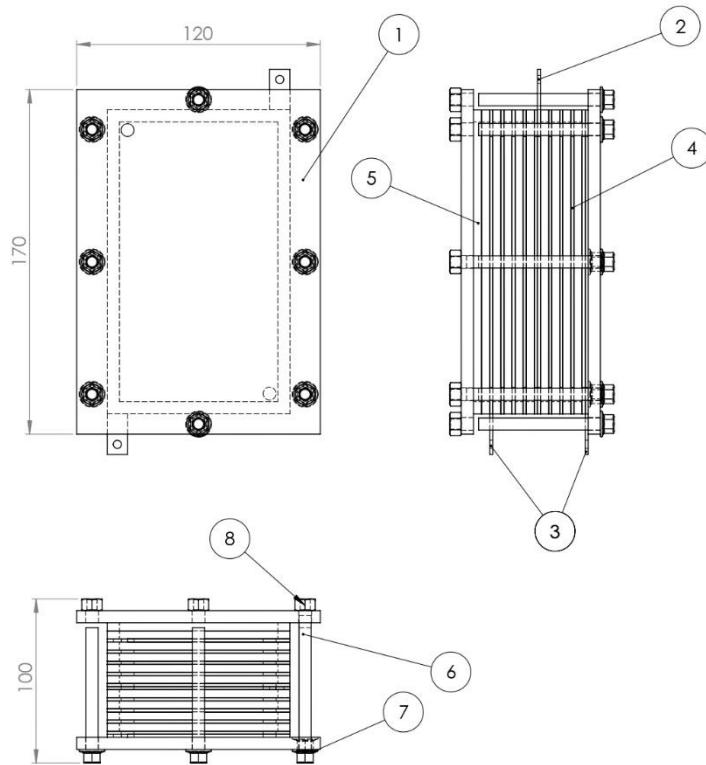
PLANOS



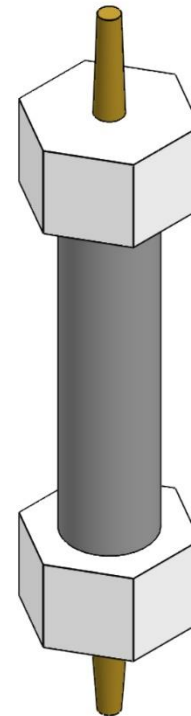
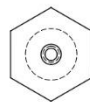
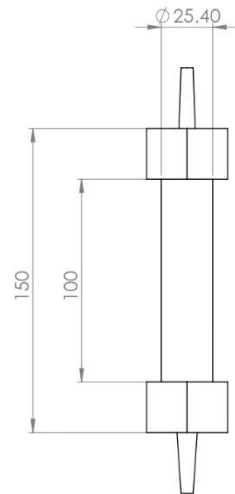
3	1	Burbujeador de material reciclable					
2	1	Celda seca de hidrógeno 170x120x100 mm con 8 placas de acero inox. AISI 304L		5	1	Arrestallamas	
1	1	Tanque de almacenamiento de PVC		4	*	Manguera de neopreno de alta presión	
N°	#	DESCRIPCIÓN		N°	#	DESCRIPCIÓN	
		Fecha	Nombre	Firmas			
Realizado por		01/12/23	MANUEL JULIO ACOSTA VASQUEZ			UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Revisado por		21/12/23	RUISSER ALBERTO RISCO OJEDA				
Aprobado por		21/12/23	RUISSER ALBERTO RISCO OJEDA				
ESC:	1:1	GENERADOR DE HIDRÓGENO				P1	
U.M.	mm					Sustituye a	



N°	1			Dimensiones (mm):	
				Ancho: 180 / Alto: 160 / Largo: 180	
				Presión: 20 PSI	
	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Realizado por	01/12/23	MANUEL JULIO ACOSTA VASQUEZ			
Revisado por	21/12/23	RUISER ALBERTO RISCO OJEDA			
Aprobado por	21/12/23	RUISER ALBERTO RISCO OJEDA			
ESC:	1:2			TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
U.M.	mm				
				P2	
				Sustituye a	
				Sustituido por	



N°		2		Dimensiones: 170x120x100 mm Material: Placas de acero inoxidable AISI 304L		
5	13	Junta de caucho de 90x150x4 mm	*	*	Cinta Teflón	
4	8	Electrodo neutro de 90x150x1.5 mm	*	*	Niple de 1/4"	
3	2	Electrodo negativo de 90x170x1.5 mm	8	8	Tuerca de 1/4"	
2	1	Electrodo positivo de 90x170x1.5 mm	7	16	Arandela	
1	2	Placa de acrílico de 120x170x6 mm	6	8	Perno de 1/4x4"	
N°	#	DESCRIPCIÓN		N°	#	DESCRIPCIÓN
		Fecha	Nombre	Firmas		
Realizado por	01/12/23	MANUEL JULIO ACOSTA VASQUEZ				
Revisado por	21/12/23	RUISEER ALBERTO RISCO OJEDA				
Aprobado por	21/12/23	RUISEER ALBERTO RISCO OJEDA				
ESC:	1:2	CELDA DE HIDRÓGENO			P3	
U.M.	mm				Sustituye a	
					Sustituido por	

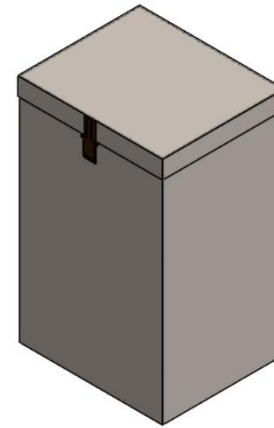
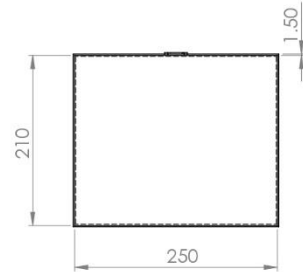
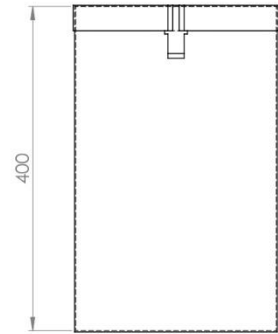


ESC 1:1

N°	5	Tubo de PVC: L=150 mm, D = 1" Tapón hembra PVC: D = 1" (2) Conectores roscados espiga para acople de manguera D=10 mm Malla metálica circular D=1" Vidro triturado D=1/8" Piedra de construcción D=1/8"		
		Fecha	Nombre	Firmas
		Realizado por	01/12/23 MANUEL JULIO ACOSTA VASQUEZ	
		Revisado por	21/12/23 RUISER ALBERTO RISCO OJEDA	
Aprobado por	21/12/23 RUISER ALBERTO RISCO OJEDA			
ESC:	1:2	ARRESTALLAMAS		P4
U.M.	mm			
				Sustituido por



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA



N°	7	<ul style="list-style-type: none"> - Soldadura Lincoln AC-225 AEC WELDER - Ángulo de metal - Plancha de metal de 1.5 mm - Abrazadera - Pernos - Aldaba de 2" 		
		Fecha	Nombre	Firmas
Realizado por	01/12/23	MANUEL JULIO ACOSTA VASQUEZ		
Revisado por	21/12/23	RUISER ALBERTO RISCO OJEDA		
Aprobado por	21/12/23	RUISER ALBERTO RISCO OJEDA		
ESC:	1:5			
U.M.	mm			
JAULA			P5	
			Sustituye a	
			Sustituido por	