



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**EVALUACIÓN DEL NIVEL DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CELDA TIPO  
SECA CON MEZCLAS DE HIDRÓXIDO DE SODIO Y AGUA DESTILADA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: BRYAM STALYN GUIRACOCCHA CAMPOVERDE**  
**DANNY PATRICIO BANEGAS NARVÁEZ**  
**TUTOR: ING. FREDY GONZALO TACURI MOSCOSO, MSc.**

Cuenca - Ecuador

2023

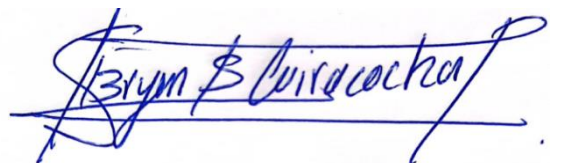
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde con documento de identificación N° 0106204332 y Danny Patricio Banegas Narváez con documento de identificación N° 0105661946; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 04 de julio del 2023

Atentamente,



Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde



Danny Patricio Banegas Narváez

0106204332

0105661946

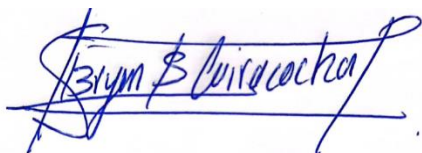
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde con documento de identificación N° 0106204332 y Danny Patricio Banegas Narváez con documento de identificación N° 0105661946, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Evaluación del nivel de generación de hidrógeno en la celda tipo seca con mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de julio del 2023

Atentamente,



---

Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde

0106204332



---

Danny Patricio Banegas Narváez

0105661946

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Fredy Gonzalo Tacuri Moscoso con documento de identificación N° 0103369542, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL NIVEL DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO DE LA CELDA TIPO SECA CON MEZCLAS DE HIDROXIDO DE SODIO Y AGUA DESTILADA realizado por Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde con documento de identificación N° 0106204332 y por Danny Patricio Banegas Narváez con documento de identificación N° 0105661946, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de julio del 2023

Atentamente,



---

Ing. Fredy Gonzalo Tacuri Moscoso, MSc.

0103369542

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto de titulación va dedicado con todo mi corazón a mi madre Patricia Campoverde, pues sin ella no lo habría logrado, su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien, por eso te brindo mi esfuerzo por tu paciencia, afecto, confianza y aliento que me diste para concluir este proceso en mi vida, te amo mama.*

*A mi padre José Guiracocha por enseñarme a trabajar en mis sueños y metas, a enseñarme a no rendirme hasta conseguir lo propuesto y por la seguridad que tenía en mí de que lo iba a lograr.*

*A mis hermanos, en especial a mi hermana Johanna por alentarme y ser un ejemplo a seguir de levantarme por más caídas que tenga en el camino que a pesar de cualquier circunstancia se pude salir en adelante.*

*Finalmente dedico mi proyecto a mi tío Fernando, que ha sido como mi segundo padre, por brindarme el apoyo incondicional y la confianza que me forjo en mi vida académica.*

***Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde***

**DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto a mi amada familia, quienes han sido mi fuente constante de amor, aliento y apoyo a lo largo de mi trayectoria académica. La inquebrantable en mí ha sido la fuerza impulsadora detrás de mi éxito.*

***Danny Patricio Banegas Narváez***

**AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mi padre celestial por brindarme salud y vida a mí y toda mi familia, para poder concluir este proceso en mi vida.*

*Ofrezco mis más sinceros agradecimientos a mi mamá por el apoyo moral que me brindo en este fuerte proceso de mi vida.*

*Agradezco a mi papa por su aliento constante que me dio a diario para encaminarme en el sacrificio del estudio y así poder llegar a la meta que tanto soñé.*

*Doy mis infinitos agradecimientos a toda mi familia en general por el apoyo que recibí en este ciclo de mi vida.*

*Agradezco a mi docente tutor Ing. Fredy Tacuri, por su paciencia y por brindarme el conocimiento necesario para culminar el proyecto de titulación. Finalmente agradezco a todos mis docentes de la universidad por forjarme el estudio necesario para mi vida profesional, a mis amigos y todas las personas que se involucran en este largo camino.*

*Muchas gracias.*

***Bryam Stalyn Guiracocha Campoverde***

**AGRADECIMIENTO**

*Me gustaría ofrecer mis más sinceros agradecimientos a mi familia y a todas las personas que han estado ahí para mí en cada paso de camino, animándome y motivándome a nunca rendirme. Sus palabras de sabiduría, orientación y aliento han sido invaluable y no podría haberlo logrado sin su apoyo.*

*A mis amigos gracias por ser mis pilares de fortaleza, mis cajas de resonancia y mis confidentes. A mi tutor de este proyecto al Ing. Fredy Tacuri por brindarme la experiencia necesaria para realizar este proyecto.*

*A mis asesores académicos y mentores por su orientación y apoyo a lo largo de mi investigación. Gracias a todos por ser parte de este viaje conmigo.*

***Danny Patricio Banegas Narváez***



## RESUMEN

El siguiente proyecto se basa en la evaluación de generación de hidrogeno mediante un diseño experimental de mezclas con el rediseño de la celda tipo seca de hidrogeno, con la intención de definir un nivel de producción de hidrógeno adecuado en base a la mezcla de hidróxido de sodio y agua destilada, adicionando un valor de amperaje que va ser suministrado a la celda.

El primer capítulo se realiza una indagación bibliográfica del uso y el avance del hidrogeno en motores de cuatro tiempos a combustión y a compresión implementados en la industria automotriz. Así mismo, se estudió el fundamento teórico del diseño experimental.

En el segundo capítulo, se procede a desarrollar el rediseño de la celda de hidrogeno tipo seca mediante la utilización de un CAD para posteriormente empezar con la fabricación de la misma, a su vez se inicia con el estudio práctico del diseño experimental por mezclas para suministrar la mezcla adecuada de generación de hidrogeno. Además, se procede a realizar la programación en un software para determinar el nivel de hidrogeno que produce la celda tipo seca a través de las mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada.

En el tercer y último capítulo se presenta el análisis de resultados de los ensayos en la celda de hidrógeno determinando la mezcla adecuada con diferentes soluciones con el fin de visualizar el comportamiento de las variables de entrada como hidróxido de sodio, agua destilada y tiempo, y así definir como estas intervienen en el nivel de producción de hidrógeno.

**Palabras clave:** Hidróxido de sodio, Agua destilada, Mezcla, Hidrogeno.

## ABSTRACT

The following project is based on the evaluation of hydrogen generation through an experimental design of mixtures with the redesign of the dry type hydrogen cell, with the intention of defining an adequate level of hydrogen production based on the sodium hydroxide mixture. and distilled water, adding an amperage value that will be supplied to the cell.

The first chapter carries out a bibliographic investigation of the use and advancement of hydrogen in four-stroke combustion engines and an understanding implemented in the automotive industry. Likewise, the theoretical foundation of the experimental design was studied.

In the second chapter, we proceed to develop the redesign of the dry type hydrogen cell through the use of a CAD to later start with its manufacture, in turn it begins with the practical study of the experimental design by mixtures for supply. the most suitable mixture of hydrogen generation. In addition, we proceed to carry out the programming in a software to determine the level of hydrogen produced by the dry type cell through the mixtures of sodium hydroxide and distilled water.

In the third and last chapter, the analysis of the results of the tests in the hydrogen cell is presented, determining the appropriate mixture with different solutions in order to visualize the behavior of input variables such as sodium hydroxide, distilled water and time, and so on. defines how these intervene in the level of hydrogen production.

**Keywords:** Sodium hydroxide, Distilled water, Mixture, Hydrogen

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
Introducción .....	1
Problema .....	2
Antecedentes .....	3
Importancia y Alcance .....	4
Delimitación.....	5
Objetivos.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos .....	6
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEORICA DEL USO DEL HIDROGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA Y DISEÑO EXPERIMENTAL POR MEZCLAS .	7
1.1. Introducción .....	7
1.2. Uso del hidrogeno en motores de combustión interna .....	7
1.3 Funcionamiento de un motor de combustión interna encendida por chispa a base de hidrogeno .....	8

1.4. Funcionamiento de un motor de combustión interna encendida por compresión a base de hidrogeno .....	11
1.5. Baterías de hidrogeno implementadas en motores a combustión interna .....	12
1.6. Análisis de energía de un motor de encendido por chispa alimentado con hidrogeno .....	14
1.7. Nivel de producción de hidrogeno con el comportamiento de una celda de hidrogeno tipo seca.....	17
1.8. Generador de hidrogeno en un motor de cuatro tiempos.....	25
1.9. Conceptos básicos de diseño de experimentos por mezclas .....	28
1.10. Tipos de diseño por mezclas .....	29
1.11. Diseño operación evolutiva (EVOP) .....	33
2. Capitulo II. APLICACIÓN DE DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA MEZCLA DE HIDROXIDO DE SODIO Y AGUA DESTILADA EN HIDROGENO .....	35
2.1. Introducción .....	35
2.2. Metodología del desarrollo.....	35
2.2.1. Ejecución del proyecto.....	36
2.3. Rediseño de la celda tipo seca de hidrogeno.....	36
2.3.1 Características funcionales de la celda tipo seca de hidrogeno .....	36
2.3.2. Diseño de la celda .....	37
2.4. Manufactura de los elementos de la celda tipo seca.....	38
2.5. Ensamblaje de la celda de hidrogeno tipo seca .....	41

2.5.1. Proceso de ensamble .....	41
2.6. Proceso experimental de preparación del electrolito.....	43
2.6.1. Maquinaria/equipos utilizados .....	43
2.6.2. Mano de obra involucrada .....	50
2.6.3. Materiales e insumos utilizados .....	51
2.6.4. Medios ambientales considerados.....	54
2.6.5. Métodos/procedimientos utilizados .....	55
2.6.6. Preparación del electrolito: .....	57
2.7. Flujo de control previo a pruebas experimentales.....	58
2.7.1. Proceso de pruebas experimentales: .....	59
2.8. Registro de datos.....	60
2.9. Precauciones .....	61
CAPITULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS DETERMINANDO LA MEZCLA ADECUADA .....	62
3.1 Introducción .....	62
3.2. Análisis estadístico.....	62
3.2.1. Análisis de la media ( $\mu$ ), desviación estándar $\sigma$ , error estándar de la media $\mu x$ e intervalo de confianza (IC) .....	62
3.3.2. Primer análisis estadístico: 1gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	63
3.3.3. Segundo análisis estadístico: 2gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	65

3.3.4. Tercer análisis estadístico: 3gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	66
3.3.5. Cuarto análisis estadístico: 4gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	68
3.3.6. Quinto análisis estadístico: 5gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	69
3.3.7. Sexto análisis estadístico: 6gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	71
3.3.8. Séptimo análisis estadístico: 7gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	72
3.3.9. Octavo análisis estadístico: 8gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	74
3.3.10. Noveno análisis estadístico: 9gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	75
3.3.11. Decimo análisis estadístico: 10gr NaOH/500 ml <b>H2O</b> .....	77
3.4. Análisis comparativo del nivel de producción de hidrogeno respecto a las corridas experimentales .....	78
3. CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS.....	84
ANEXOS .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación de la UPS</i> .....	5
<b>Figura 2</b> <i>Eficiencia térmica efectiva versus fracción de adición de hidrógeno a diferente relación de equivalencia</i> .....	9
<b>Figura 3</b> <i>Vehículos propulsados por pila de combustible/hidrógeno: disipación de energía</i> ....	14
<b>Figura 4</b> <i>Eficiencia térmica indicada y variación de la eficiencia térmica del freno con el tiempo de encendido y la relación de compresión</i> .....	16
<b>Figura 5</b> <i>Curva característica hidrógeno en función a la relación <math>R_s/R_o</math> por ppm.</i> .....	19
<b>Figura 6</b> <i>Dispersión de PPM vs Tiempo corrida experimental a carga lenta.</i> .....	21
<b>Figura 7</b> <i>Dispersión de PPM vs Tiempo corrida experimental a carga rápida.</i> .....	22
<b>Figura 8</b> <i>Dispersión de PPM vs Tiempo corrida experimental a pulso de carga.</i> .....	24
<b>Figura 9</b> <i>Diseño de la celda seca</i> .....	26
<b>Figura 10</b> <i>Histograma de monóxido de carbono en ralentí únicamente con Hidrogeno</i> .....	27
<b>Figura 11</b> <i>Diseño compuesto central para 3 factores, cada uno a 3 niveles: -1, 0, +1</i> .....	29
<b>Figura 12</b> <i>Diferencia fundamental en diseños para dos factores independientes comparando una mezcla de dos - componentes.</i> .....	30
<b>Figura 13</b> <i>Diferencia fundamental en diseños para tres factores independientes comparado con una mezcla de tres - componentes.</i> .....	31
<b>Figura 14</b> <i>Diseño simplex con 10 puntos aumentados para tres- componentes</i> .....	32
<b>Figura 15</b> <i>Factores A y B fijados en el valor nominal para dar 68% para el rendimiento del proceso</i> .....	34
<b>Figura 16</b> <i>Diseño de celda tipo seca</i> .....	37

<b>Figura 17</b> <i>Manufactura de las placas de acero inoxidable</i> .....	40
<b>Figura 18</b> <i>Manufactura en la placa de acrílico</i> .....	40
<b>Figura 19</b> <i>Manufactura del elemento de conducto de salida y entrada</i> .....	41
<b>Figura 20</b> <i>Ensamble del rediseño de la celda tipo seca</i> .....	42
<b>Figura 21</b> <i>Batería plomo acido</i> .....	44
<b>Figura 22</b> <i>Cargador de batería marca TRUPER</i> .....	45
<b>Figura 23</b> <i>Panel de control en computadora</i> .....	47
<b>Figura 24</b> <i>Generador de hidrogeno</i> .....	48
<b>Figura 25</b> <i>Pinza amperimétrica</i> .....	49
<b>Figura 26</b> <i>Balanza gramera</i> .....	50
<b>Figura 27</b> <i>Insumos ocupados en la mezcla</i> .....	52
<b>Figura 28</b> <i>Preparación del electrolito</i> .....	58
<b>Figura 29</b> <i>Control de pruebas</i> .....	59
<b>Figura 30</b> <i>Panel de control en computadora</i> .....	61
<b>Figura 31</b> <i>Intervalo de confianza de 1 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	64
<b>Figura 32</b> <i>Comportamiento de ppm vs tiempo de 1 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	64
<b>Figura 33</b> <i>Intervalo de confianza de 2 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	65
<b>Figura 34</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 2 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	66
<b>Figura 35</b> <i>Intervalo de confianza de 3 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	67
<b>Figura 36</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 3 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	67
<b>Figura 37</b> <i>Intervalo de confianza de 4 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	68
<b>Figura 38</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 4 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	69
<b>Figura 39</b> <i>Intervalo de confianza 5 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	70



<b>Figura 40</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 5 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	70
<b>Figura 41</b> <i>Intervalo de confianza de 6 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	71
<b>Figura 42</b> <i>Comportamiento de 6 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	72
<b>Figura 43</b> <i>Intervalo de confianza de 7 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	73
<b>Figura 44</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 7 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	73
<b>Figura 45</b> <i>Intervalo de confianza de 8 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	74
<b>Figura 46</b> <i>Comportamiento de 8 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	75
<b>Figura 47</b> <i>Intervalo de confianza de 9 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	76
<b>Figura 48</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 9 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	76
<b>Figura 49</b> <i>Intervalo de confianza de 10 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	77
<b>Figura 50</b> <i>Comportamiento ppm vs tiempo de 10 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O</i> .....	78
<b>Figura 51</b> <i>Análisis de medias de los 10 tratamientos experimentales</i> .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Resultados en la mezcla gasolina más aire y gasolina más hidrogeno</i> .....	8
<b>Tabla 2</b> <i>Efectos del hidrógeno como combustible del motor SI – Emisiones de escape</i> .....	10
<b>Tabla 3</b> <i>Efectos del hidrógeno como combustible para motores de CI – Emisiones de escape</i> .	12
<b>Tabla 4</b> <i>Especificaciones técnicas del motor estudiado</i> .....	15
<b>Tabla 5</b> <i>Comparación del estudio actual presentado respecto a estudios anteriores</i> . ....	17
<b>Tabla 6</b> <i>Parámetros de la celda de hidrogeno tipo seca</i> .....	18
<b>Tabla 7</b> <i>Valores estadísticos de la primera corrida experimental a carga lenta</i> .....	20
<b>Tabla 8</b> <i>Valores estadísticos de la primera corrida experimental a carga rápida</i> .....	22
<b>Tabla 9</b> <i>Valores estadísticos de la primera corrida experimental a pulsos de carga</i> . ....	23
<b>Tabla 10</b> <i>Comparación normativa ecuatoriana respecto a muestras obtenidas del estudio</i> .....	28
<b>Tabla 11</b> <i>Procesos de manufactura de los elementos rediseñados de la celda de hidrogeno tipo seca</i> .....	38
<b>Tabla 12</b> <i>Datos técnicos de la batería plomo-ácido</i> .....	44
<b>Tabla 13</b> <i>Datos técnicos del cargador de batería</i> . ....	46
<b>Tabla 14</b> <i>Datos técnicos de la computadora</i> .....	47
<b>Tabla 15</b> <i>Datos técnicos de la pinza amperimétrica</i> .....	49
<b>Tabla 16</b> <i>Datos técnicos gramera</i> .....	50
<b>Tabla 17</b> <i>Capacidades y cualidades que debe tener el personal para el experimento</i> .....	51
<b>Tabla 18</b> <i>Características del hidróxido de sodio</i> .....	52
<b>Tabla 19</b> <i>Características del agua destilada</i> .....	53
<b>Tabla 20</b> <i>Características de los elementos utilizados</i> .....	54
<b>Tabla 21</b> <i>Condiciones ambientales</i> .....	54

<b>Tabla 22</b> <i>Niveles y tratamientos de factores a analizar</i> .....	56
<b>Tabla 23</b> <i>Número de niveles</i> .....	63

## **Introducción**

La intención de esta investigación “Evaluación del nivel de generación de hidrogeno en la celda tipo seca con mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada” tiene como visión principal proporcionar datos necesarios para la producción de hidrógeno mediante estudios de diseños experimentales de mezclas, el uso necesario de software y la implementación de rediseños de la celda de hidrogeno tipo seca.

Este enfoque de estudio admitirá el muestreo del nivel de producción de hidrógeno según la mezcla adecuada de hidróxido de sodio y agua destilada, en proporciones analizadas, que permitirá implementar un combustible adecuado para el uso de motores de dos y cuatro tiempos.

## **Problema**

Según datos estadísticos de la AEADE (Asociación de empresas automotrices del Ecuador) en Ecuador en el mes de diciembre del año 2022 existen 2`772.181 vehículos de los cuales 2`418.109 corresponde a vehículos livianos y 354,072 son vehículos comerciales (AEADE, 2022). El incremento de vehículos a combustión interna hace que aumente la contaminación ambiental de emisión de gases como Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Material Particulado (MP).

Dentro del estudio de aumento de contaminación se debe a que cada año se comercializa en mayor cantidad el combustible derivado de petróleo, según la revista (NEWS, 2022) en el Ecuador se consumieron 53,4 millones de barriles de combustibles entre diésel y gasolinas (súper, extra, eco país y ecoplus). Esta cifra es 5,36 % mayor a lo consumido en 2021 y supera en 0,6 % la cifra del 2019. Las cifras están publicadas en el Informe Estadístico de diciembre de Petroecuador. De los combustibles fósiles, el de mayor consumo en el sector automotor ecuatoriano sigue siendo el del diésel premium con 23,3 millones de barriles, una cifra superior en 7,03 % con respecto al 2021, año en el que se consumieron 21,8 millones de barriles. Entre tanto, se consumieron 14,4 millones de barriles de gasolina eco país (85 octanos), el 8 % más que los 13,4 millones del 2021. La gasolina extra (85 octanos) también registró un crecimiento de 6,7 % al pasar de 12,3 millones a 13,2 millones de barriles en 2022.

Los combustibles alternativos están derivados de otras fuentes además del petróleo. Unos son producidos en el país, reduciendo nuestra dependencia en el petróleo importado, y otros son sacados de fuentes renovables. Una alternativa es el hidrógeno, sin embargo, arraiga problemas con respecto al coste y a la producción. El hidrógeno no es fácil de obtener, pues no encontrarse de forma aislada en la naturaleza, sino que se genera a partir de otras sustancias que lo contienen, entre ellos el agua, el carbón y el gas natural. La forma ideal de producirlo sería obtenerlo

directamente del agua una sustancia presente en el 70% del planeta, para lo cual sería necesario llevar a cabo un proceso denominado electrólisis, que consiste en la descomposición de las moléculas de agua ( $H_2O$ ), en oxígeno ( $O_2$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ). Sin embargo, generalmente es este un proceso costoso para el que se necesita mucha energía eléctrica que en la mayoría de los casos no procede de fuentes renovables para alimentar los electrolizadores.

### **Antecedentes**

Teniendo en cuenta el incremento año tras año del parque automotor y el consumo de combustibles derivados del petróleo con consecuente aumento de la contaminación ambiental en este proyecto de investigación se evaluará el nivel de producción de hidrógeno mediante una celda de tipo seca que utiliza como electrolito una mezcla hidróxido de sodio y agua destilada, determinando la combinación adecuada para la producción de hidrogeno como fuente alternativa de energía para motores de combustión interna, minimizando el costo de producción de hidrogeno puro como combustible, está investigación se enmarca en el eje de conservación del ambiente estipulado en el objetivo de desarrollo sostenible.

Con el desarrollo de este proyecto se evaluará la generación de producción de hidrógeno mediante mezclas, dando así un aporte al medio ambiente, ya que el hidrogeno se añadirá a futuro como fuente alternativa ecológica como un combustible limpio. De acuerdo a lo aprobado por (CNP, 2021) con respecto a la Plan de Creación de Oportunidades, el eje central de esta directriz es la Transición Ecológica, entendiéndose como un subsistema de ordenamiento territorial que inserta la adaptación y mitigación al cambio climático, la preservación del ambiente y el manejo de patrimonio natural de forma sostenible. Entre sus fines es lograr una mayor eficiencia socioeconómica con un manejo sostenible de los recursos naturales. Dentro del Plan de Creación de Oportunidades constituye la hoja de ruta que orienta el marco de la sustentabilidad ambiental en el país, define cuatro componentes estratégicos para frenar la

deforestación en el país: 1) políticas y gestión institucional, 2) Transición a sistemas productivos sostenibles, 3) Manejo forestal sostenible y 4) Conservación y restauración. (Ministerio del Ambiente, 2016).

### **Importancia y Alcance**

El presente proyecto beneficiará al grupo de investigación de eficiencia energética y contaminación ambiental, ya que se busca establecer un nivel adecuado de producción de hidrogeno permitiendo una disminución de contaminación de gases que emite el vehículo y a su vez mejorando la calidad de vida de los motores de combustión.

Por otro lado, la búsqueda de fuentes alternativas a los combustibles fósiles contribuye de gran manera a la reducción de gases contaminantes que se presentan en la ciudad de Cuenca, lo cual tiene un gran beneficio hacia la sociedad en general.

## Delimitación

El proyecto de titulación hace referencia a la enseñanza profesional de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz de la universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Ubicada en las calles Av. Turuhuayco 3-69 y calle vieja 12-13. Para la evaluación del nivel de generación de hidrogeno mediante mezclas.

## Figura 1

*Ubicación de la UPS*



*Nota.* Adaptado de Universidad Politécnica Salesiana ubicación [Fotografía], por Google Maps, 2023, Google (<https://www.google.com/maps>). Earth Studio.



## Objetivos

### Objetivo general

- Evaluar el nivel de producción de hidrógeno en una celda seca mediante la mezcla de hidróxido de sodio y agua destilada determinando la relación adecuada.

### Objetivos específicos

- Analizar el uso del hidrógeno en motores de combustión interna, y los fundamentos teóricos del diseño de experimento por mezclas.
- Aplicar el diseño experimental para la mezcla de hidróxido de sodio y agua destilada en hidrógeno mediante procedimientos para la obtención de resultados.
- Analizar los resultados obtenidos determinando la mezcla adecuada mediante estudio de estadística básica.

# **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEORICA DEL USO DEL HIDROGENO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA Y DISEÑO EXPERIMENTAL POR MEZCLAS**

## **1.1.Introducción**

En el siguiente capítulo se plantea las investigaciones sobre el uso de hidrogeno en motores de combustión interna a través de referencias bibliográficas, también se pretende mostrar el fundamento teórico del diseño experimental por mezcla, sus propiedades y características, con el fin de dar una introducción a los métodos de generación de hidrogeno, incluyendo una exploración de antecedentes y proyectos donde se implementan celdas de hidrógeno de tipo seca como un apoyo para la combustión de un motor, de modo que se establezca la importancia del estudio de generación de hidrógeno a través de mezclas que se demostrara a través los resultados.

## **1.2. Uso del hidrogeno en motores de combustión interna**

Según el artículo realizado por (Tamayo, Rosales, Guzman, & Pazmiño, 2016) que habla sobre el efecto del hidrogeno en un motor de combustión, se desarrolló la investigación con ayuda de un banco dinamométrico donde se generaba con un motor de combustión interno mono cilindro, de modelo TEMCO 160 con cilindro simple de 4 tiempos OHV de 163 CC de cilindraje, una relación de compresión de 8.5:1, con una frecuencia de giro de 3600 y con un motor generador de 300 W de potencia y con un regulador de voltaje de condensador.

De acuerdo con la investigación se da una producción de hidrogeno con un volumen constante de 12 Voltios, la electrólisis se produjo utilizando hidróxido de sodio al 50 % en volumen, y con ayuda de dos ecuaciones estequiométricas, siendo así una para el cálculo de mezcla gasolina-aire y otra para gasolina-hidrogeno, además se desarrollaron tres sistemas para

el cálculo con mezcla gasolina-aire y tres de gasolina-hidrogeno para obtener los resultados de rendimiento, consumo y potencia, como se refleja en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Resultados en la mezcla gasolina más aire y gasolina más hidrogeno*

<b>Mezcla</b>	<b>Rendimiento volumétrico</b>	<b>Potencia</b>	<b>Consumo específico</b>
Gasolina + Aire	0,6205	3,91 HP	401,61
Gasolina + Hidrogeno	0,6205	5,40 HP	373,72

**Fuente:** (Tamayo, Rosales, Guzman, & Pazmiño, 2016)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### **1.3 Funcionamiento de un motor de combustión interna encendida por chispa a base de hidrogeno**

En un estudio realizado por (Teoha, y otros, 2022) mediante un análisis de producción de hidrogeno en motores de combustión interna de encendido por chispa, manifiestan que en las funciones de motores, un sistema de combustible de hidrogeno principalmente toma este componente en forma de gas comprimido a una elevada presión almacenado en los cilindros, se dice también que es factible el uso de hidrogeno en forma de líquido que se requiere un tanque de almacenamiento aislado a bajas temperaturas. Añaden, además, que el hidrogeno gaseoso es el más indicado por su costo y evaporación debido a problemas de fugas de calor en la forma de almacenar hidrogeno líquido. Además, el hidrogeno se puede controlar a medida de hidruros metálicos solidos mediante reformación de hidrogeno.

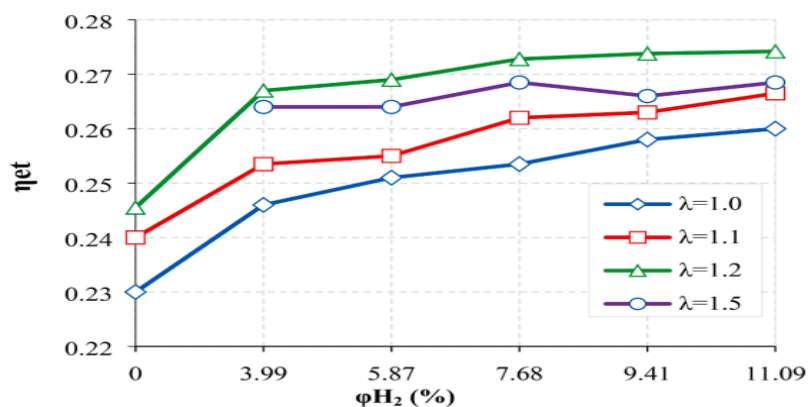
(Nande, Szwaja, & Naber, 2008) ] realizaron un estudio sobre la aplicación de circulación de gases de escape (EGR) en un motor de combustión interna de encendido por chispa de un solo cilindro alimentado por combustible de puerto inyectado con 99,95 % de

hidrógeno a 483 kPa. El motor de prueba se modificó para permitir controles y operaciones con una relación de compresión más alta, de modo que la relación de compresión extendida estaba en el rango de 4,5 a 17,5. Las pruebas se realizaron a 410 kPa, velocidad fija de 900 rpm y relación de compresión variable (8:1, 10:1 y 12:1). La aplicación de EGR resultó en una mayor eficiencia del motor hasta en un 20 % de EGR.

Con respecto al rendimiento del motor, según (Kahraman, Ozcanlı, & Ozerdem, 2007), la capacidad de combustión en mezclas pobres y su mayor poder calorífico también otorgan operaciones de hidrógeno con menos combustible consumido. Por otro lado, tanto la reducción como el incremento en la potencia de salida o el par se demostró cuando se aplicó hidrógeno en los motores de encendido por chispa. Los cambios en esos parámetros específicos generalmente se atribuyeron a una mejor combustión generada por hidrógeno, mientras que las reducciones pueden deberse a una menor eficiencia de volumen ya que el hidrógeno tiene una baja densidad en comparación con otros combustibles.

## Figura 2

*Eficiencia térmica efectiva versus fracción de adición de hidrógeno a diferente relación de equivalencia*



*Nota.* Adaptado de Research on combustion and emission characteristics of a lean burn gasoline engine with hydrogen direct-injection, por (Du, Xiumin Yu, Wu, Dong, & Gu, 2016), International Journal of Hydrogen Energy, 3240-3248

En los efectos de emisión de escape con respecto al hidrogeno, (Jhanga, Kang-Shin Chen, Lin, & Cheng, 2016) las características de emisión de las operaciones con hidrógeno marcaron niveles más bajos de CO, HC y  $CO_2$  emisiones en comparación con los motores de combustión interna encendido por chispa alimentados con combustibles de hidrocarburos como la gasolina. De hecho, debido a la carencia de elementos de carbono en el hidrógeno, se espera que la combustión de hidrógeno produzca solo emisiones de  $NO_x$ . Además, una baja temperatura de los gases de escape, especialmente a velocidades más bajas del motor en comparación con la gasolina, el uso de hidrógeno en el motor de encendido por chispa dio como resultado características de emisión notables y favorables al medio ambiente.

**Tabla 2**

*Efectos del hidrógeno como combustible del motor SI – Emisiones de escape*

Motor: especificaciones	Tipo de combustible	Hidrogeno fracción en combustible tasa	Emisiones de escape			
			Nox	Cox	CO2	HC
Solo cilindro, 45, puerto de inyección, SI, WC, RC, relación: 11:1	Comprimido: gas natural (GNC) + Hidrogeno	0 %, 10%, 20%, 30% 50%, 70%, y 100% por volumen.	N / A	N / A	N / A	N / A
Solo cilindro, 45, puerto de inyección, SI, WC, RC, relación: 11:1	Comprimido: gas natural (GNC) + Hidrogeno	0 %, 10%, 20%, 30% 40%, y 100% por volumen. 0%, 5%, 10%, Y 15%	para mayor % H2 mezcla, excepto 10% H2	para 100% H2 Generalmente con mayor % H2 mezcla	Comparable para mezclado combustibles con GNC, pero ↓ para 100 % H2	↑ para mayor relación H/C mezclar, pero ↓ para el 100 % H2
Tres cilindros, 45, 796 cc, WC, SI	Comprimido: gas natural (GNC) + Hidrogeno	POR ENERGIA- 0%, 14-25- 30% por vol.	Generalmente ↑ con mayor %H2mezcla para todo φ	para φ inferior a 0,9, ↓ con mayor % H2 mezclar para φ mayor que 0.9	N / A	Generalmente ↑ con mayor %H2mezcla para todo φ
Cuatro cilindros, 45 multipunto, (MPFI), (WC)	Gasolina + Hidrogeno	0%, 2%, 4%, 5%, 8%, y 10% por	↑ con mayor % H2 mezcla	↓ con mayor % H2mezcla	N / A	↓ con mayor % H2 mezcla

---

**Fuente:** (Teoha, y otros, 2022)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

#### **1.4. Funcionamiento de un motor de combustión interna encendida por compresión a base de hidrogeno**

Según (Teoha, y otros, 2022) un diseño del sistema de inyección de hidrógeno se centra principalmente en el inyector, ya que es de importancia para determinar el rendimiento del motor. Además de dotar con un equipo básico para el almacenamiento y la entrega del hidrógeno gaseoso al múltiple de admisión, el inyector de hidrógeno está diseñado para tener un buen tiempo de respuesta para una mejor operación con la ayuda de actuador rápido controlado por electroválvula., mencionan también que, al agregar combustible de hidrógeno al combustible Diesel convencional, el rendimiento del motor puede mejorar significativamente.

La mayoría de los investigadores afirman que la potencia y la eficiencia térmica de los motores impulsados por hidrógeno han mejorado drásticamente. Esto se debe al mayor poder calorífico del combustible de hidrógeno, lo que asegura un proceso de combustión más completo, lo que se traduce en una mayor potencia.

Dentro de las características de combustión de este motor de encendido a compresión según el análisis experimental ejecutado por (Deb, Sastry, Bose, & Banerjee, 2015) sobre el comportamiento de la combustión identificaron que la presión máxima del cilindro y la HRR máxima aumentaron con el incremento de la relación de adición de hidrógeno, especialmente para el nivel de hidrógeno del 42 %, encontraron que las características de combustión eran contrarias en diferentes condiciones de carga del motor, por lo que tanto la presión máxima del cilindro como la HRR máxima eran mejores en cargas altas del motor. Notaron también que la adición de hidrógeno contribuyó al aumento de la presión máxima del cilindro y la HRR

máxima, debido al proceso de combustión más corto atribuido a la alta velocidad de la llama del hidrógeno. Además, los aumentos en la presión máxima dentro del cilindro y la HRR máxima fueron también observado bajo la condición de funcionamiento de alta carga del motor.

**Tabla 3**

*Efectos del hidrógeno como combustible para motores de CI – Emisiones de escape*

Motor: especificaciones	Tipo de combustible	Hidrogeno fracción en combustible tasa	Emisiones de escape			
			Nox	CO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	HC
Motor de servicio pesado equipado con EGR Cuatro cilindros, 45, WC, aspiración natural motor diésel CR de 17:1	Diésel + Hidrógeno	Hasta el 98%	↓a baja carga, pero↑en alto carga	N / A	N / A	N / A
	Diésel + Hidrógeno	0%, 2,47%, 3,64%, 4,87% por energía fracción	↓a baja carga, pero↑en alto carga	↓a baja velocidad, ↑a alta velocidad	N / A	THC↑en bajo velocidad, en alta velocidad
Seis cilindros, directa inyección	Diésel + Hidrógeno	0%,0,6%, 1,2% por vol.	↓en reposo y carga baja, en medio y carga alta	↓en todas las cargas	↓en absoluto cargas	THC↑en absoluto cargas excepto inactivo
1.3L, mono cilíndrico, 45, motor WC	Diésel + Hidrógeno	0-90% por fracción de energía	↑en alto carga, en bajo carga	↓en todas las cargas	↓en absoluto cargas	THC↓en bajo carga

**Fuente:** (Teoha, y otros, 2022)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### 1.5. Baterías de hidrogeno implementadas en motores a combustión interna

De acuerdo a (Kendall, Ye, & Liu, 2023) la unión de pila de combustible de hidrógeno/batería de litio el vehículo que se demostró en el Reino Unido en 2008 se muestra un rendimiento óptimo a un costo mínimo. Otros vehículos, tal como el Toyota Mirai, usaban baterías de níquel e hidruro metálico al principio, pero en la actualidad se han desplazado al litio,

mientras que los supercondensadores también se pueden utilizar para almacenar la energía eléctrica.

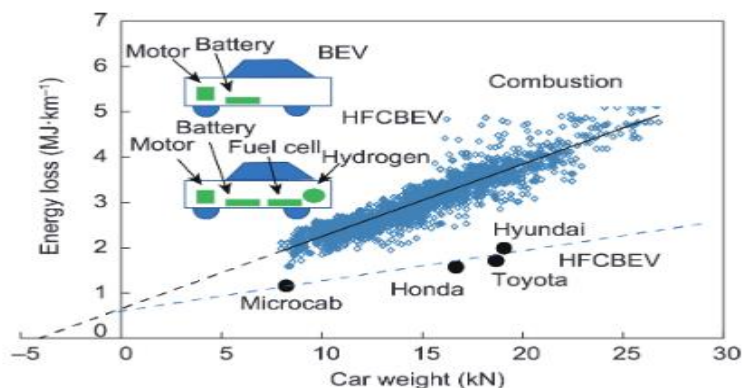
La adición de celdas de combustible de hidrógeno con baterías proporciona una ventaja beneficiosa al problema de la transición de los vehículos de combustión a los eléctricos: los vehículos eléctricos de batería de celda de combustible de hidrógeno (HFCBEV) tienen un mayor alcance y un reabastecimiento de combustible más rápido que los vehículo eléctrico de batería (BEV) y, en consecuencia, son buenos para taxis, furgonetas, camiones y autobuses que realizan turnos de dieciocho horas en largas distancias como 500 km.

En la gráfica de la Fig. 3 se da a conocer que los vehículos de gasolina funcionan con motores de combustión interna; estas pérdidas de energía (graficadas en la línea superior) son en comparación con los de los recientes HFCBEV (en la línea inferior). El gráfico muestra que el vehículo de combustión supera rangos elevados de pérdidas ante los HFCBEV con el mismo peso. (Kendall, Ye, & Liu, 2023) Sin embargo, los HFCBEV se necesita producir millones necesarios para reducir los costos a niveles de coches de combustión.



**Figura 3**

*Vehículos propulsados por pila de combustible/hidrógeno: disipación de energía*



*Nota.* Adaptado de The Hydrogen Fuel Cell Battery: Replacing the Combustion Engine in Heavy Vehicles, por (Kendall, Ye, & Liu, 2023), Engineering, 39-41

### 1.6. Análisis de energía de un motor de encendido por chispa alimentado con hidrógeno

Según (Soedolora, Gürbüz, & HakkiAkçay, 2019) el análisis experimental sobre la utilización de combustible de hidrógeno en motores de combustión interna demostrar la utilización de la primera ley de la termodinámica para estudiar el rendimiento del motor, la primera ley de la termodinámica, da a conocer, el análisis de la energía, analiza solo la cantidad de la conversión de energía mientras se contabilizan las entradas y salidas de energía, así como los cambios de forma. Para comprender la calidad de la transformación de energía es importante beneficiarse de la segunda ley de la termodinámica. Es así que se puede ver el rendimiento y las limitaciones del motor en condiciones reales de funcionamiento.

En la investigación de (Soedolora, Gürbüz, & HakkiAkçay, 2019) nos muestran que el motor utilizado en el marco del presente estudio es un motor refrigerado por aire, de cuatro tiempos, encendido por chispa con una culata de cilindro tipo L modificada. Las especificaciones más esenciales del motor se indica en la tabla 4. En el proceso, el hidrogeno se inyecta en el

colector de admisión a una presión de unos 5 bar. El motor se operó con el acelerador completamente abierto, bajo una mezcla pobre. Los análisis experimentales se realizan a una velocidad constante del motor de 1600 rpm. La presión en el cilindro que depende del ángulo del cigüeñal se mide mediante un detector de presión piezoeléctrico (Kistler 6052-C) y un codificador de eje (Kistler 2618-B). Los caudales máxicos del combustible de hidrógeno y el aire de admisión se miden utilizando caudalímetros térmicos Aalborg-GFC67 y Aalborg-GFM77, respectivamente.

**Tabla 4**

*Especificaciones técnicas del motor estudiado*

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
<b>Diámetro interior del cilindro</b>	85.7 mm
<b>Ataque</b>	82.6 mm
<b>Poder máximo</b>	8.82 Kilovatios
<b>Tuerca máxima</b>	25 nm
<b>Velocidad máxima del motor</b>	3600 minutos
<b>Razón de equivalencia</b>	0.6

**Fuente:** (Soedolora, Gürbüzb, & HakkiAkçay, 2019)

**Elaborado:** (Guiracocho & Banegas, 2023)

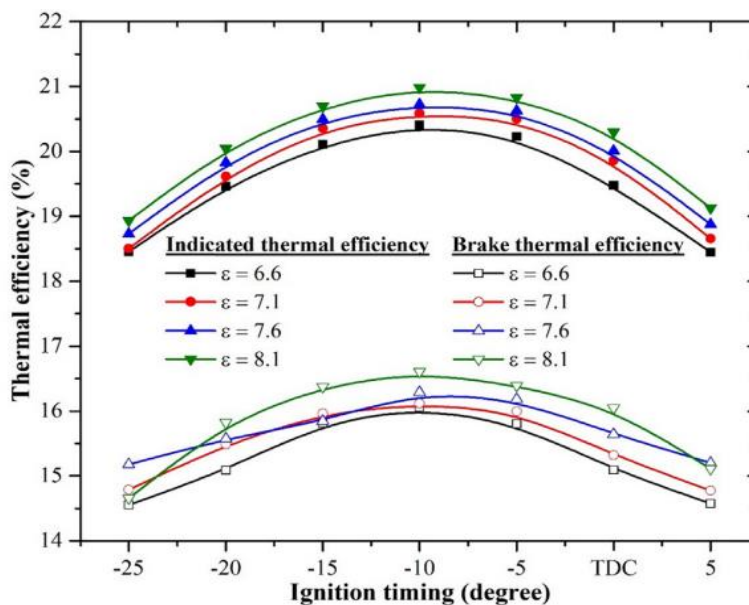
Al final del presente estudio, se aplican la primera y segunda ley de la termodinámica a un motor de combustión interna de encendido por chispa de cuatro tiempos alimentado con hidrógeno. Durante la corrida de varios experimentos aplicados donde el motor se operó con siete configuraciones diferentes de tiempo de encendido. (-25, -20, -15, -10, -5, 0 y 5) y cuatro relaciones de compresión distintas (6.6, 7.1, 7.6 y 8.1). De tal manera, el rendimiento energético y exergético del motor se puede demostrar en función del tiempo de encendido y la relación de compresión. Para cada relación de compresión, la eficiencia térmica del freno alcanza su punto

máximo en el tiempo de encendido de -10, mientras que, en los valores de tiempo de encendido más bajo y más alto, el valor de la relación de compresión de 7.6 es el punto ideal.

Por otro lado, también se muestra los valores máximo y mínimo de la eficiencia térmica indicada: 20,984 % máximo y 18,445 % mínimo, se puede apreciar lo dicho en la figura 4 según esta investigación.

#### Figura 4

*Eficiencia térmica indicada y variación de la eficiencia térmica del freno con el tiempo de encendido y la relación de compresión*



*Nota.* Adaptado de “Análisis de energía y exergía de un motor SI alimentado con hidrógeno: efecto del tiempo de encendido y la relación de compresión”, por (Soedolora, Gürbüz, & HakkiAkçay, 2019), 4-13

Con respecto a la eficiencia exergética indicada que alcanza su punto máximo en el valor de tiempo de encendido de -10 y alcanza el mínimo en el valor de tiempo de encendido de -25. Al final en el análisis exergético, los valores de eficiencia exergética indicados más alto y más bajo son 21,304 % y 18,726 %, respectivamente. Es así que la investigación de (Soedolora,

Gürbüz, & HakkıAkçay, 2019) demuestran la mejora de eficiencia energética en relación de encendido y compresión en un motor alimentado con hidrogeno, analizando que es mucho mejor que cualquier otro combustible para un buen funcionamiento del motor ya que el aumento de la relación de compresión en un 1,5 % produce un aumento máximo de la presión en el cilindro de aproximadamente 250 kPa.

**Tabla 5**

*Comparación del estudio actual presentado respecto a estudios anteriores.*

	<b>Estudio actual</b>	<b>Arbitrario</b>	<b>Arbitrario</b>	<b>Arbitrario</b>
<b>Tipo de hidrogeno</b>	Hidrogeno	Metano	Gasolina	Hidrogeno+Gasolina
<b>Razón de equivalencia</b>	0.6	0.8	0,69	0,69
<b>Índice de compresión</b>	8.1	12		
<b>Eficiencia energética</b>	16,86%	59,40%	46,55%	42,10%
<b>Eficiencia térmica</b>	16,60%	32,90%	20,61%	22,88%

**Fuente:** (Soedolora, Gürbüz, & HakkıAkçay, 2019)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### **1.7. Nivel de producción de hidrogeno con el comportamiento de una celda de hidrogeno tipo seca**

Una de las celdas más importantes utilizadas como combustibles alternos son las celdas de hidrógeno, debido a que esta es la más idónea en la generación de energía limpia, debido a que su desarrollo de obtención de hidrógeno es sencillo. Esta sucesión se basa en la electrolisis del agua, la cual consiste en circular corriente eléctrica por las placas de la celda, así separando el hidrógeno y el oxígeno del agua. Según (Sanisaca & Minchala, 2022) la celda tipo seca cuenta con dos estructuras, lo cual el primero hace referencia a un generador o una celda tipo seca y el segundo a una red de gas. Cada estructura se detalla en la tabla 6.

**Tabla 6***Parámetros de la celda de hidrogeno tipo seca*

<b>Sistema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Característica</b>	<b>Cantidad</b>
Generador	Laterales	Placas de acrílico Espesor: 6mm Acero Inox 316L	2
	Electrodos positivos	Espesor: 3mm Acero Inox 316L	1
	Electrodos negativos	Espesor: 3mm Acero Inox 316L	2
	Electrodos neutros	Espesor: 3mm Goma EPDM	6
	Juntas	Espesor: 3mm Acero Inox	10
	Elementos de sujeción: Pernos, Tuercas y arandelas		10
	Burbujeador	Capacidad de 2L	1
	Depósito de electrolito	Capacidad de 2L	1
	Manguera	Transparentes Reforzadas	5mm
	Red de gas	Racor en L	Racor Instantáneo Forma L Para tubos de 1/2 in Termo deformable
Racor en T		Racor instantáneo Forma T Para tubos de 12mm Termo deformable	1

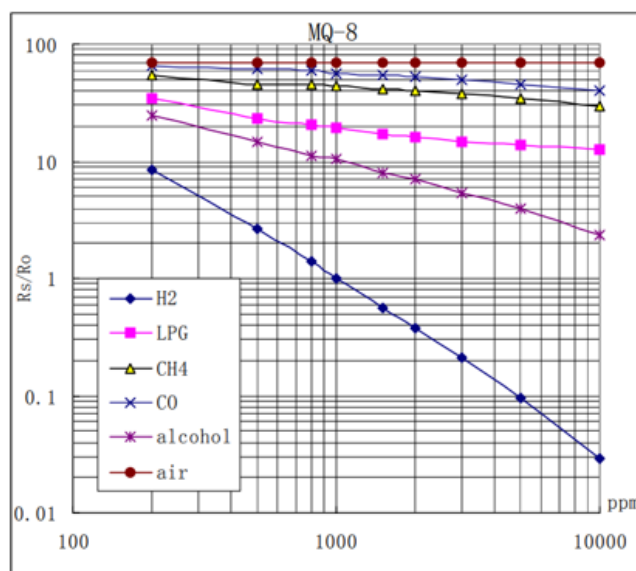
**Fuente:** (Sanisaca & Minchala, 2022)**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

En base a esta investigación de producción de hidrogeno mediante una celda tipos seca, existe sensores que ayudan con la medición de hidrogeno, el sensor MQ – 8 es el seleccionado en esta evaluación esto debido a que su fabricación va dirigida a la cuantificación de hidrógeno

presente en el ambiente. Este sensor emite la señal de la resistividad, esta señal recibida no presenta de forma directa la cantidad de ppm de hidrógeno que hay en el ambiente, de modo que debe ser transformada, de lo mismo que existen distintos métodos, pero el más adecuado y utilizado es el método de lineación que hace referencia a hallar una aproximación lineal a una función por medio de puntos.

### Figura 5

*Curva característica hidrógeno en función a la relación  $R_s/R_o$  por ppm.*



*Nota.* Adaptado de “Evaluación del comportamiento de una celda de hidrógeno tipo seca mediante la adquisición de datos determinando el nivel de producción del hidrógeno”, por (Sanisaca & Minchala, 2022)

Para la adquisición y visualización de datos (Sanisaca & Minchala, 2022) vincularon el sensor MQ-8 a una placa Arduino UNO, ya que entre estos dos sistemas se da una compatibilidad que permite conectar dichos elementos. Arduino Uno es una placa de microcontrolador que tiene 14 pines de entrada y salida digital y 6 entradas analógicas. El Arduino se puede alimentar desde un puerto USB tipo B o desde una conexión de alimentación

externa. La programación de la placa junto con los sensores se realiza en lenguaje C dentro de la interfaz IDE de Arduino.

Con la primera corrida experimental que realiza (Sanisaca & Minchala, 2022) se demuestra que a carga lenta se identifica 675 valores registrados total que muestra el sensor MQ-8, dentro de una fase de 12 minutos. Dentro de este tiempo está contemplado el calentamiento del sensor y la finalización, obteniendo los datos estadísticos de la tabla 7.

### **Tabla 7**

*Valores estadísticos de la primera corrida experimental a carga lenta*

<b>Valor estadístico</b>	<b>Valor</b>
<b>Mínimo</b>	3
<b>Máximo</b>	22869
<b>Media</b>	5474
<b>Media recortada</b>	4884

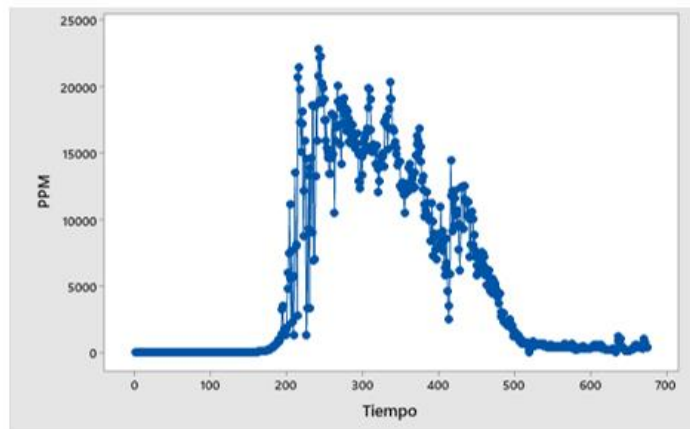
**Fuente:** (Sanisaca & Minchala, 2022)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

Se puede identificar que la gráfica de la figura 6 muestra una fase de baja producción de hidrógeno desde el tiempo 0 hasta el 200, que está asociada a la fase de calentamiento del sensor, pero después de esta fase se puede observar un aumento en la producción, llegando a un punto máximo de producción de 22869 ppm y finalmente producción. la cantidad de hidrógeno disminuye debido a las sales en el electrolito. Comienza la fase de oxidación, deteniendo la reacción electrolítica.

## Figura 6

*Dispersión de PPM vs Tiempo corrida experimental a carga lenta.*



*Nota.* Adaptado de “Evaluación del comportamiento de una celda de hidrógeno tipo seca mediante la adquisición de datos determinando el nivel de producción del hidrógeno “, por (Sanisaca & Minchala, 2022), Universidad Politécnica Salesiana,80

El diseño experimental realizado a carga lenta nos da como mejores resultados en la producción de hidrógeno, dado a que la generación se da de una manera más gradual, comenzando con un amperaje baja y aumentando gradualmente conforme se va consumiendo el electrolito, además la generación se da por un periodo más largo, ya que el impacto no es instantáneo.

Otra corrida experimental es a carga rápida que cuenta con un número total de 306 valores registrados por el sensor MQ-8, dentro de una fase de 6 minutos, obteniendo los siguientes datos estadísticos, como se visualiza en la tabla 8.



**Tabla 8**

*Valores estadísticos de la primera corrida experimental a carga rápida*

Valor estadístico	Valor
<b>Mínimo</b>	0 ppm
<b>Máximo</b>	14138 ppm
<b>Media</b>	879 ppm
<b>Media recortada</b>	392 ppm

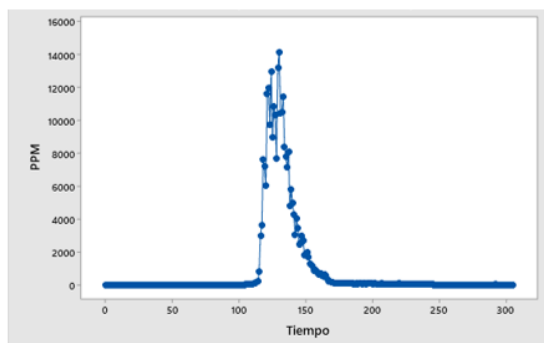
**Fuente:** (Sanisaca & Minchala, 2022)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

El comportamiento de la generación de hidrógeno a carga rápida a través del tiempo se presenta en la figura 7, en donde se visualiza que se presenta una etapa alta de calentamiento del electrolito, por ende, no se obtiene ningún valor de generación de hidrógeno. Una vez que alcance la etapa de calentamiento, la producción de hidrógeno es elevada por un corto periodo de tiempo alcanzando su pico máximo en 14138 ppm, y luego comienza su descendimiento ya que a altas corrientes oxidan las sales en menor tiempo.

**Figura 7**

*Dispersión de PPM vs Tiempo corrida experimental a carga rápida.*



*Nota.* Adaptado de “Evaluación del comportamiento de una celda de hidrógeno tipo seca mediante la adquisición de datos determinando el nivel de producción del hidrógeno”, por (Sanisaca & Minchala, 2022), Universidad Politécnica Salesiana, 87

El diseño experimental realizado a carga rápida muestra un resultado de una producción de hidrógeno admisible, el inconveniente de este diseño experimental es que presenta la alimentación de corriente inicial alta con respecto a la carga lenta, lo que nos da como resultado una degradación del electrolito más instantánea con respecto a la prueba a carga lenta, por lo tanto, el tiempo de muestreo va a disminuir. Dentro de esta corrida se puede demostrar un comportamiento similar, teniendo fases de calentamientos bajos y un crecimiento inesperado en la producción, llegando a su punto máximo y disminuyendo a la par.

Finalmente (Sanisaca & Minchala, 2022) realizaron una última corrida experimental a pulsos de carga, donde consta de un total de 260 valores registrados por el sensor MQ-8, dentro de una fase de 4 minutos. El listado de datos se toma en cortas fases de tiempo esto se debe a que al momento alimentar una corriente extremadamente alta la reacción se produce de manera explosiva, así calentando excesivamente el generador de hidrógeno, por lo que se obtiene los datos presentados en la tabla 9.

### **Tabla 9**

*Valores estadísticos de la primera corrida experimental a pulsos de carga.*

<b>Valor estadístico</b>	<b>Valor</b>
<b>Mínimo</b>	0 ppm
<b>Máximo</b>	7290 ppm
<b>Media</b>	787 ppm
<b>Media recortada</b>	492 ppm

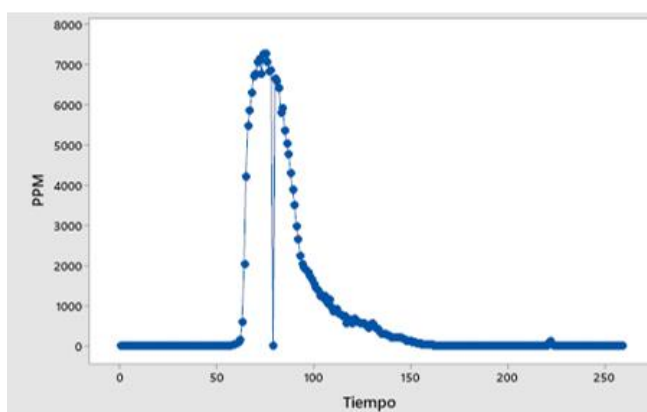
**Fuente:** (Sanisaca & Minchala, 2022)

**Elaborado:** (Guiracochoa & Banegas, 2023)

El comportamiento de la generación de hidrógeno mediante una corrida experimental a pulsos de carga a través del tiempo encontramos que se presenta una etapa de calentamiento corta y presentando una elevación en la generación de hidrógeno de golpe, alcanzando las 7290 ppm y disminuye en un corto periodo de tiempo, como se ilustra en la figura 8.

### Figura 8

*Dispersión de PPM vs Tiempo corrida experimental a pulso de carga.*



*Nota.* Adaptado por “Evaluación del comportamiento de una celda de hidrógeno tipo seca mediante la adquisición de datos determinando el nivel de producción del hidrógeno”, por (Sanisaca & Minchala, 2022), Universidad Politécnica Salesiana

El diseño experimental a pulsos de carga con respecto a las corridas es la menos indicado a ser admisible por parte de las baterías Truper, esto se ve reflejado en que la producción de hidrógeno es demasiado baja, teniendo un valor máximo de 7270 ppm entre las tres tomas de muestras, esto se debe principalmente a que la alimentación de corriente es excesivamente alta, ya que se inicia de una corriente de alimentación de 40 A, lo que difiere directamente en la degradación de las sales presentes en el electrolito, obteniendo una oxidación casi instantánea al momento de suministrar la corriente.

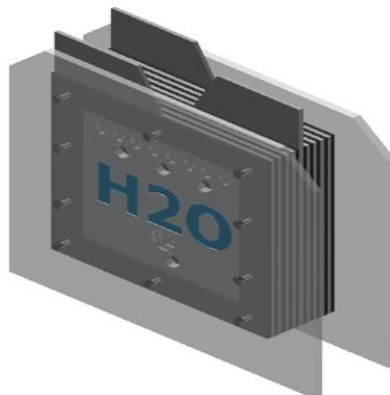
### 1.8. Generador de hidrogeno en un motor de cuatro tiempos

Según (Pesántes & Tacuri, 2021) para adaptar un generador de hidrogeno en un motor de cuatro tiempos se debe considerar el flujo masico y producción de gas como criterios especiales para el diseño de dicho generador, ya que es fundamental encontrar el gasto masico de combustible en función a la altitud que se encuentra la ciudad donde se halle el vehículo de combustión interna, por otro lado la producción de gas es de vital importancia ya que se basa en la conductividad del electrolito y el volumen de hidrogeno que se desprenderá por las celdas de combustión interna, este estudio ayudaran en la reducción de gases contaminantes a la atmosfera.

El diseño del generador se basa en dos placas que van centradas en los extremos del generador estas sirven como aislador del flujo eléctrico, al tener que ser un material aislante y resistente se optó por material acrílico de 4 mm de grosor el cual nos brinda una correcta visibilidad de lo que está sucediendo dentro del generador, en cuanto a las dimensiones de las placas de material acrílico son 200 x 300 x 4 mm. El orden de las placas de este diseño es de:  $-nnnnn + nnnnn -$  de esta manera se tendrá una mayor cantidad de producción de hidrógeno ya que en el proceso de electrolisis este es generado por los polos negativos y el polo positivo es el encargado de generar oxígeno, mediante este orden de las placas se logrará obtener más hidrógeno ya que esta configuración posee dos placas con carga negativa. En la figura 9 se puede observar el diseño de la celda seca.

**Figura 9**

*Diseño de la celda seca*

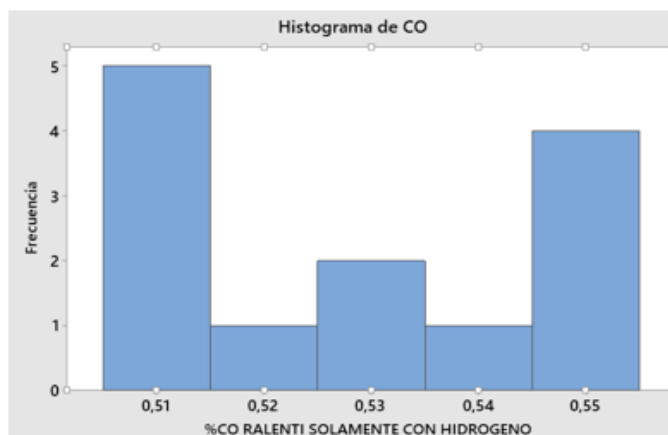


*Nota.* Adaptado por “Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos como fuente alternativa de combustible”, por (Pesántes & Tacuri, 2021), Universidad Politécnica Salesiana

Dentro del procesamiento de la información se desarrolla en tres estados de carga (ralentí, media carga, límite de carga) con diferentes estequiometrias de combustible alterno como es el, hidrógeno, las técnicas que posibilitan un mejor y rápido procesamiento de la información son realizadas a través de software de análisis estadístico, permitiendo un análisis correcto con informaciones investigadas. En la figura 10 se puede visualizar la dispersión incompatible, con una mayor frecuencia en valores de 0.51% y pocas muestras con valores entre 0.52% y 0.54% lo cual sugiere una mejor combustión por parte del hidrógeno y una disminución considerable en la emisión de gases al ambiente.

## Figura 10

*Histograma de monóxido de carbono en ralentí únicamente con Hidrogeno*



*Nota.* Adaptado por “Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos como fuente alternativa de combustible”, por (Pesántes & Tacuri, 2021), Universidad Politécnica Salesiana

Los hidrocarburos son mayormente de 106 con un pico de frecuencia de 7, pocos valores llegan a 108 ppm, esto es beneficioso gracias a la sustitución de alimentación de hidrogeno en vez de gasolina. Se muestra también la eficiencia de combustión del hidrógeno con valores de CO<sub>2</sub> entre 9.9% y 10%.

En otra prueba que realizan (Pesántes & Tacuri, 2021) con el motor en condiciones normales de funcionamiento alimentado solamente con hidrógeno ( $H_2$ ) la media de valores obtenidos de CO es 0.5285% y HC de 106.615 ppm, lo que indica que existe una reducción notable de monóxido de carbono emitido al ambiente, que en comparación con los límites establecidos por la normativa los valores están por debajo de los límites así como también con valores de emisión de motocicletas que tienen integrado AECS (Sistema Avanzado de Control de Emisiones) su valor de porcentaje de CO limite es de 0.5.

**Tabla 10***Comparación normativa ecuatoriana respecto a muestras obtenidas del estudio*

<b>Cilindrada</b>	<b>TODAS</b>	
<b>Normativa ecuatoriana</b>	C0 (%V)	HC (ppm)
<b>Límites establecidos</b>	3.5	2000
<b>Ralentí con gasolina</b>	3.42	332.231
<b>Ralentí con hidrógeno</b>	0.5285	106.615
<b>Ralentí con gasolina e hidrógeno</b>	1.959	215,462

**Fuente:** (Pesántes & Tacuri, 2021)**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### 1.9. Conceptos básicos de diseño de experimentos por mezclas

El diseño por mezcla se ha convertido en una herramienta indispensable para los científicos y experimentadores modernos. El concepto es relativamente simple, pero su aplicación en situaciones reales puede ser compleja.

La mezcla de diseño está relacionada con la investigación experimental y se refiere a la manipulación intencional de los factores para observar el efecto que tiene un fenómeno particular. Esto significa que el experimentador formulará diferentes combinaciones de variables que podrán ser sometidas a prueba con el objetivo de descubrir cómo estos factores interactúan entre sí y cómo afectan al resultado final.

En esta guía se dará una visión general sobre algunos conceptos básicos de diseño por mezclas. Aquí se explicará lo que significa el diseño por mezclas, qué tipos existen, las ventajas y desventajas, así como algunas consideraciones clave que deben tenerse en cuenta al diseñar un experimento por mezclas. Ofrecerá conceptos practicables desde el punto de vista empírico y profundizaremos en los principios fundamentales del diseño de experimentos por mezclas.

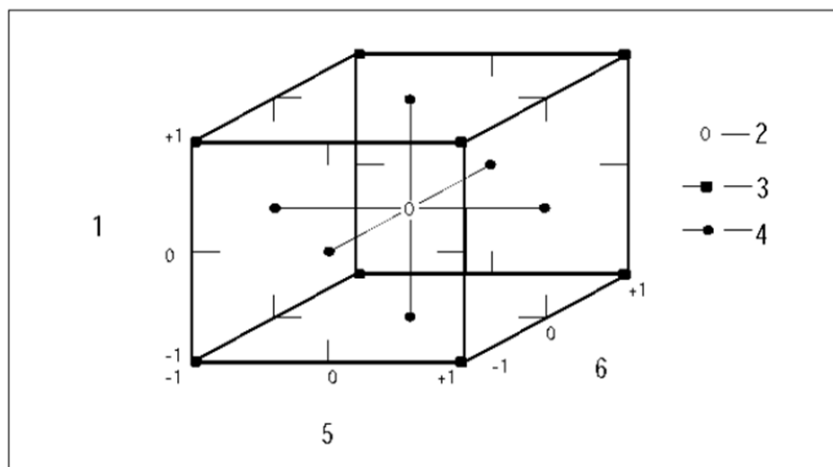
### 1.10. Tipos de diseño por mezclas

Este experimento depende únicamente de los ingredientes y no de las cantidades absolutas. Es aplicable a productos que comprenden una mezcla de dos o más ingredientes para minimizar el desempeño de varias combinaciones o mezclas. Este diseño de experimentos está en la forma Simplex.

Para dos componentes el espacio de la mezcla de una línea recta, para una mezcla de tres componentes, el espacio mezcla es un triángulo equilátero, y para una mezcla de cuatro componentes es un tetraedro. Esto surge de la región del “diseño para la región de la mezcla constreñida” “comparada con el “diseño de la región del factor no constreñido” del diseño central compuesto de las Figuras 11, 12 y 13.

**Figura 11**

*Diseño compuesto central para 3 factores, cada uno a 3 niveles: -1, 0, +1.*



*Nota.* Adaptado por “Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria”, por Ramírez, E. J. P., López, R. R., Borbón, M. I. R., & Mandujano, H. A. T. (2016), Cultura científica y tecnológica, (56).

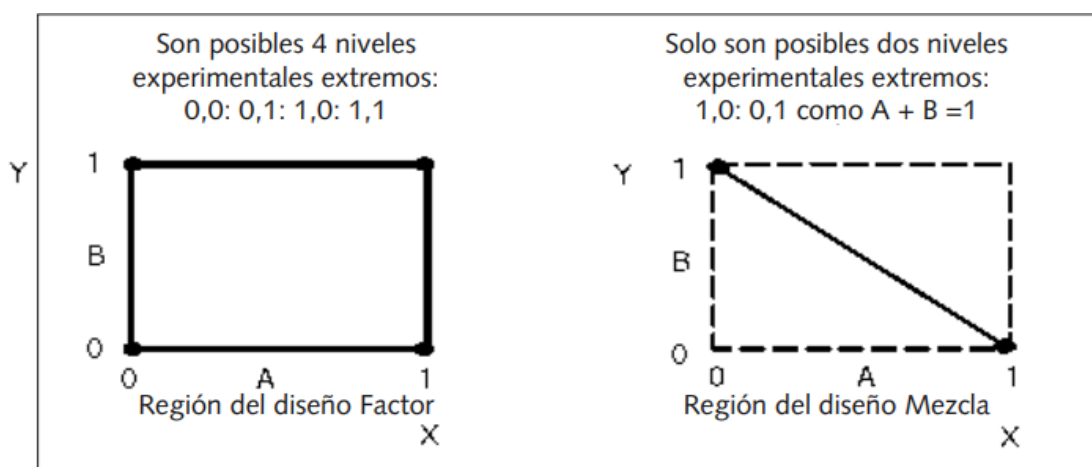


Siendo:

1. Factor A
2. puntos centrales
3. puntos factoriales
4. puntos axiales
5. Factor B
6. Factor C

**Figura 12**

*Diferencia fundamental en diseños para dos factores independientes comparando una mezcla de dos - componentes.*



*Nota.* Adaptado por “Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria”, por Ramírez, E. J. P., López, R. R., Borbón, M. I. R., & Mandujano, H. A. T. (2016), Cultura científica y tecnológica, (60).

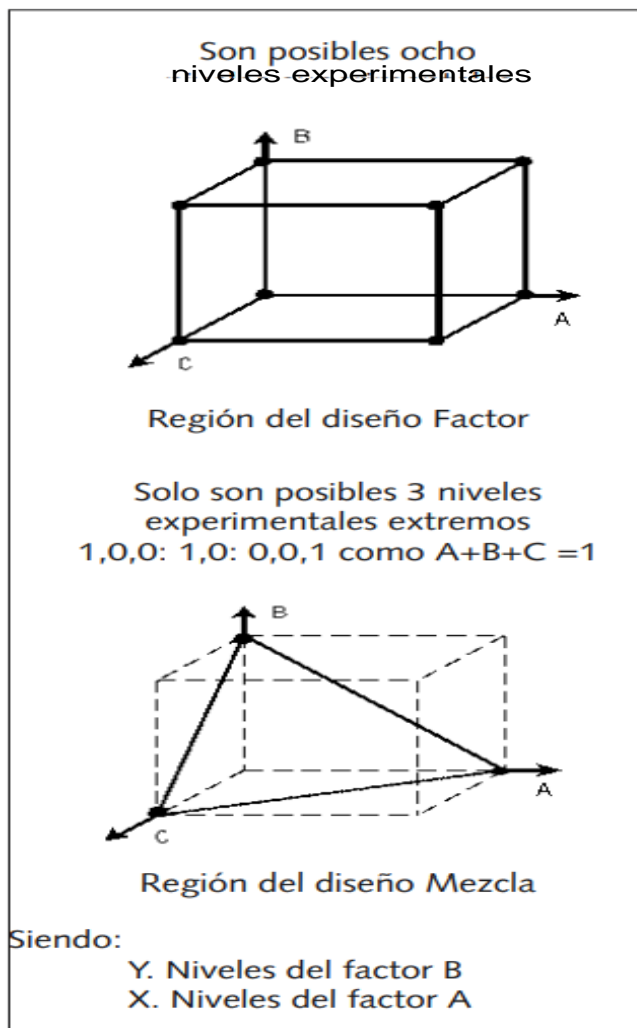
Siendo:

Y: Niveles del factor B

X: Niveles del factor A

### Figura 13

*Diferencia fundamental en diseños para tres factores independientes comparado con una mezcla de tres - componentes.*



*Nota.* Adaptado por “Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria”, por Ramírez, E. J. P., López, R. R., Borbón, M. I. R., & Mandujano, H. A. T. (2016), Cultura científica y tecnológica, (65).

Para las figuras 11 y 12, los niveles de los factores para el diseño mezcla están expresados en forma estándar. Por ejemplo, 1,0,0, Nos indica que la mezcla sea A pura sin contener B o C. Para determinar las porciones actuales en la mezcla es necesario referirse a la

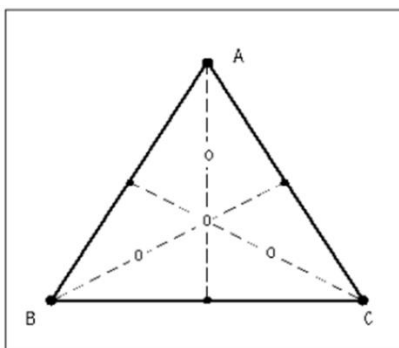
porción más baja con los constriñendo simultáneamente a cualquiera de los dos a la porción más alta o la porción total de la mezcla hecha por la suma de los componentes en el experimento.

Por ejemplo, supongamos El combustible en una mezcla de propelentes tiene la siguiente proporción constreñida:  $0.2 \leq \text{combustible} \leq 0.4$  Luego se normalizan a  $1=0.4$ , normaliza a  $0=0.2$ , y la normalización  $0.5 =0.3$ .

Hay diseños disponibles para tratamientos de diseño integral. La mezcla se debe a Cornell un diseño típico para una mezcla de tres componentes el centroide simplex aumenta gráficamente como se ve en la figura 14. El diseño centroide simplex es un diseño mezcla popular con 6 puntos de distancia en el alcance, otros 3 puntos axiales ubicados en el centro del camino entre los centroides y los vértices y un punto en el centro.

#### Figura 14

*Diseño simplex con 10 puntos aumentados para tres- componentes*



*Nota.* Adaptado por “Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria”, por Ramírez, E. J. P., López, R. R., Borbón, M. I. R., & Mandujano, H. A. T. (2016), Cultura científica y tecnológica, (65).

Según (Gomez, Romero, Molina, Terrazas, & Nuñez, 2015) El diseño de experimentos de mezclas con restricciones donde se región de estudio experimental es un polígono irregular. Se usan los extremos de la región restringida como la base del diseño, junto con puntos entre el centroide global y el centroide de la región experimental.

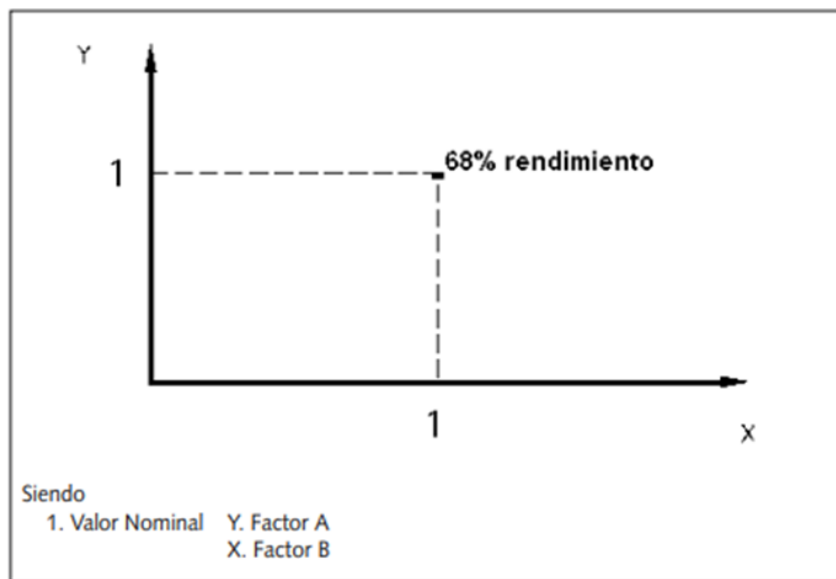
### **1.11. Diseño operación evolutiva (EVOP)**

El diseño de Operación Evolutiva (EVOP) es una técnica utilizada en la industria para mejorar continuamente los procesos de producción. Se basa en la idea de que las variaciones naturales ocurren espontáneamente en la industria y que las variantes necesitan ser introducidas a través de cambios en los niveles de los factores. La EVOP convoca a reemplazar la operación en línea convencional de un proceso, especialmente fijando valores predeterminados para los parámetros significativos para la operación de los procesos y mantener el proceso en control estadístico. Esto requiere que se hagan pequeños cambios (perturbaciones) en los niveles de los factores, evaluar el efecto y luego mejorar el desempeño.

La EVOP es una técnica para uso rutinario en los procesos industriales y tiene diferentes diseños, como el EVOP Box y el EVOP Simplex. Los diseños de superficie de respuesta y los diseños mezcla también son importantes en el proceso evolutivo de mejora continua. La figura 15 muestra el diseño de la EVOP Box para la maximización del experimento. Los factores A y B se fijan en sus valores nominales para dar un rendimiento del proceso del 68%. La figura muestra las combinaciones básicas de los dos factores, A y B, que son las esquinas de un cuadrado con el agregado de un punto central que representa los valores nominales. Este diseño se utiliza para introducir pequeños cambios en los niveles de los factores, evaluar el efecto y mejorar el desempeño del proceso en la industria.

**Figura 15**

*Factores A y B fijados en el valor nominal para dar 68% para el rendimiento del proceso*



*Nota.* Adaptado por “Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria”, por Ramírez, E. J. P., López, R. R., Borbón, M. I. R., & Mandujano, H. A. T. (2016), Cultura científica y tecnológica, (72).

## **Capítulo II. APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA MEZCLA DE HIDROXIDO DE SODIO Y AGUA DESTILADA EN HIDROGENO**

### **2.1.Introducción**

En este apartado se plantea el proceso y la metodología a usar para llevar a cabo el proyecto. Se plantea la reconstrucción de la celda tipo seca del sistema de producción de hidrogeno, así mismo los procesos de manufactura y materiales utilizados para el rediseño de la celda, se mostrarán los procesos de preparación del electrolito con las distintas proporciones de mezclas experimentales y el proceso adecuado para las pruebas y toma de datos mediante un software que permita la visualización de la cantidad de gas hidrógeno producido por la mezcla de hidróxido de sodio y agua destilada. Además, se establecen los factores de estudio y las medidas adecuadas.

### **2.2. Metodología del desarrollo**

Para el cumplimiento de los objetivos del proyecto el trabajo se evidencia en tres partes, en la primera parte se presenta la metodología experimental mediante recursos técnicos que darán paso a la obtención de datos referentes a la evaluación de generación de hidrogeno mediante mezclas.

La segunda parte se presenta la metodología estadística que se basara en definir variables de estudio que ayudaran a contrastar conclusiones más cercanas a los valores funcionales correctos para cada variable en una colección de diseño experimental por mezclas.

La tercera parte se presenta con la metodología analítica, en la cual, se reflejará el análisis de resultados obtenidos del desarrollo experimental por mezclas que se podrán bajo el estudio con el fin de determinar la mezcla más adecuada de funcionamiento de la celda tipo seca de hidrógeno.

### **2.2.1. Ejecución del proyecto**

El proyecto se desarrolla de la siguiente manera:

- Rediseño de la celda de hidrogeno tipo seca.
- Diseño experimental por mezclas.
- Exposición de valores y factores a interés de estudio.
- Evaluación de los datos y estimación de importancia de las variables medidas.
- Análisis de los resultados.

### **2.3.Rediseño de la celda tipo seca de hidrogeno**

#### **2.3.1 Características funcionales de la celda tipo seca de hidrogeno**

La celda tipo seca debe tener una configuración de conjunto de placas que garantice el 100% de hermeticidad ya que es uno los aspectos más importantes que debe tener el diseño para una buena generación de hidrogeno. Además, la celda tipo seca debe tener los siguientes aspectos:

- El número de placas de material de acero inoxidable debe contar con un máximo de 7 celdas, cada una funcionando con 12 voltios.
- Contener mínimo 2 y máximo 5 placas neutrales con superficie grande así se creará una celda eficiente y de calidad.
- Correcto ensamble con pernos de acero y un empaque de caucho que garantice una apropiada configuración de placa a placa para una buena hermeticidad.
- Conductos de entrada y salida de diámetros apropiado para el correcto flujo de electrolito.
- Placas a los extremos del conjunto de celdas de material aislante y resistente.

### 2.3.2. Diseño de la celda

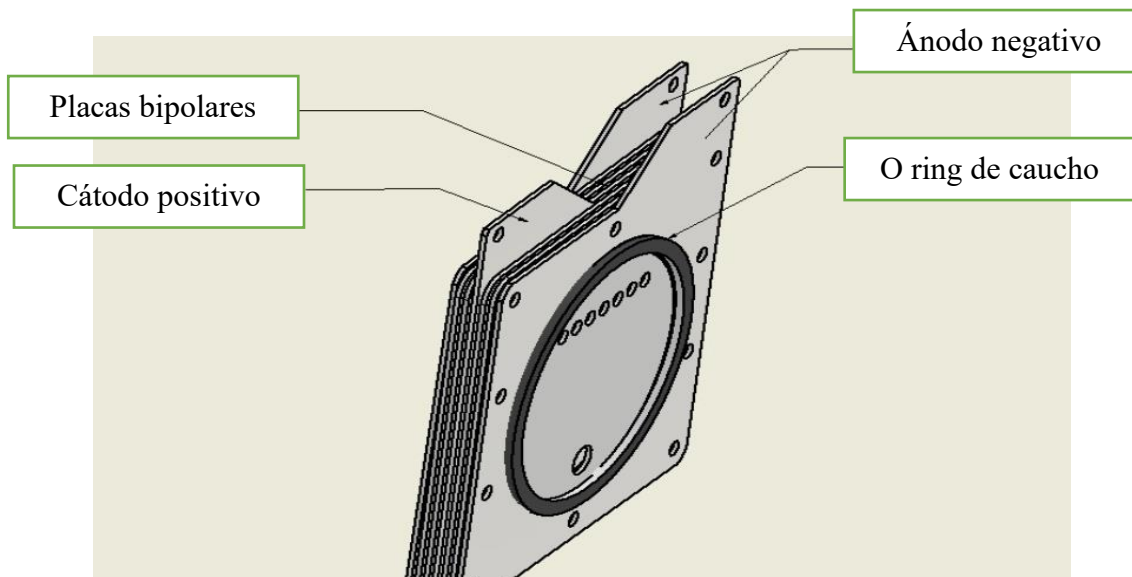
Para el diseño de la celda tipo seca se aplican técnicas CAD, mediante las cuales se diseña cada componente y posteriormente se realiza el ensamblaje para visualizar el producto final que está constituido por los siguientes elementos:

- 5 placas bipolares neutras.
- 2 placas que servirán de electrodos una negativa y otra positiva.
- 2 placas de material policarbonato a los extremos de las celdas que servirán de tapas que deben ser transparentes para visualizar el flujo y comportamiento del electrolito según la mezcla.
- 8 anillos o-ring que hermetizaran las cámaras de electrolito entre placas.
- 2 conductos, uno para el ingreso del electrolito y otro de salida de hidrogeno.

En la figura 16 se muestra los componentes de la celda tipo seca. En el anexo 2 se presenta los planos donde se puede ver en detalle sus dimensiones.

**Figura 16**

*Diseño de celda tipo seca*



**Fuente:** Autores



## 2.4. Manufactura de los elementos de la celda tipo seca

Para la manufactura de los componentes de la celda de hidrógeno tipo seca se aplica diferentes procesos de manufactura con el propósito de garantizar su correcto funcionamiento, durabilidad, y hermeticidad, en la tabla 11 se presenta una matriz en la que se detallan los procesos aplicados a cada elemento.

**Tabla 11**

*Procesos de manufactura de los elementos rediseñados de la celda de hidrogeno tipo seca*

Elemento	Cantidad	Material	Medida	Proceso de manufactura			
				Corte	Perforación	Desbaste	Roscado
Placas de ánodo negativo	2	Acero inoxidable	25 x 20 x 3mm	Si	Si, Se perfora 18 agujeros de 10 mm y un agujero de 20 mm en la placa de 400 mm <sup>2</sup>	Si, Se realiza un desbaste radial de 159 mm y un 1mm de profundidad en las 2 caras de la placa.	NO
Placa de cátodo positivo	1	Acero inoxidable	25 x 20 x 3mm	Si	Si, Se perfora 18 agujeros de 10 mm y un agujero de 20 mm en la placa de 400 mm <sup>2</sup>	Si, Se realiza un desbaste radial de 159 mm y un 1mm de profundidad en las 2 caras de la placa.	NO
Placas bipolares	4	Acero inoxidable	20 x 20 x 3mm	Si	Si, Se perfora 17 agujeros de 10 mm y un agujero de 20 mm en la placa de 400 mm <sup>2</sup>	Si, Se realiza un desbaste radial de 159 mm y un 1mm de profundidad en las 2 caras de la placa.	NO
Placa externa	1	Acrílico	24x24x3mm	Si	Si, Se perfora 10 agujeros de 10 mm y	Si, Se realiza un desbaste radial de 159	NO

Placa externa	1	Acrílico	24x24x3mm	Si	un agujero de 20 mm en la placa de 576 mm <sup>2</sup>	mm y un 1mm de profundidad en la cara interna de la placa.	NO
Entrada y salida de ductos	3	Bronce	r. exterior=25 mm r interno=20 mm longitud=40 Mm	Si, realiza un corte radial y longitudinal	Se realiza un SI, se perfora de forma radial 1 mm en la longitud de 40 mm	NO	SI, Se realiza un proceso de roscado en un radio de 20mm
Tuerca	3	Bronce	r. exterior=25 mm longitud=10 mm	Si, realiza un corte radial y longitudinal	Se realiza un SI, se perfora de forma radial 20 mm en la longitud de 10 mm	NO	SI, Se realiza un proceso de roscado interno en un radio de 20 mm
O ring	8	Caucho	r. exterior= 159mm	NO	NO	NO	NO

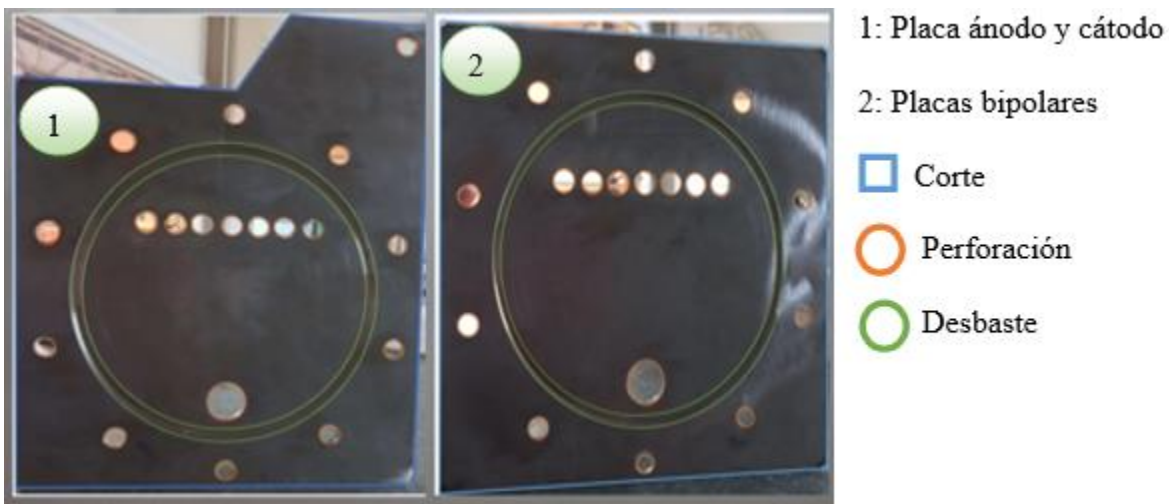
---

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

En la figura 17 se indica el resultado de la manufactura de la placa ánodo, cátodo y neutral, en la que se especifican los procesos aplicados:

**Figura 17**

*Manufactura de las placas de acero inoxidable*

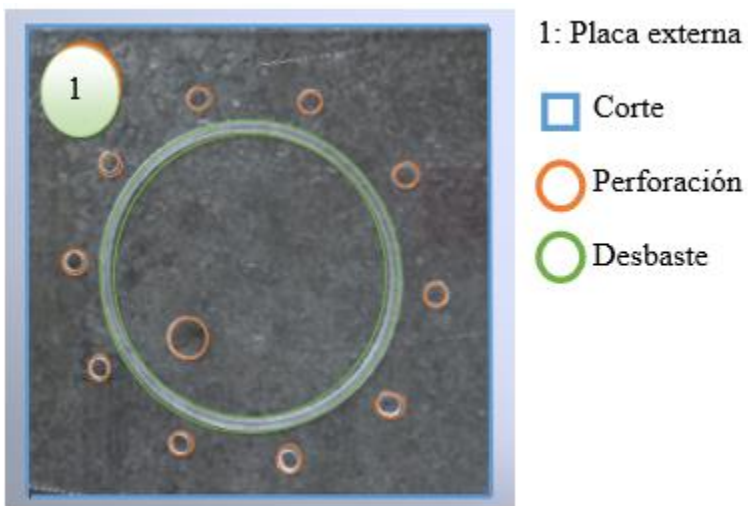


**Fuente:** Autores

En la figura 18 se identifica la manufactura de la tapa posterior y delantera.

**Figura 18**

*Manufactura en la placa de acrílico*



**Fuente:** Autores

En la figura 19 se muestra la manufactura del elemento de conducto.

### Figura 19

*Manufactura del elemento de conducto de salida y entrada*



1: Conducto de entrada y salida

2: Proceso de roscado

3: Tuerca

**Fuente:** Autores

## 2.5. Ensamblaje de la celda de hidrogeno tipo seca

Una vez fabricados todos los componentes se procede al armando de la celda, para lo cual se aplica el proceso de ensamblaje mecánico permanente que consiste en sujetador cada pieza mediante un perno y tuerca roscado que une cada elemento de un conjunto de piezas con sujeción de larga durabilidad a través de un torque específico.

### 2.5.1. Proceso de ensamble

A continuación, se describe el proceso de ensamblaje de los componentes:

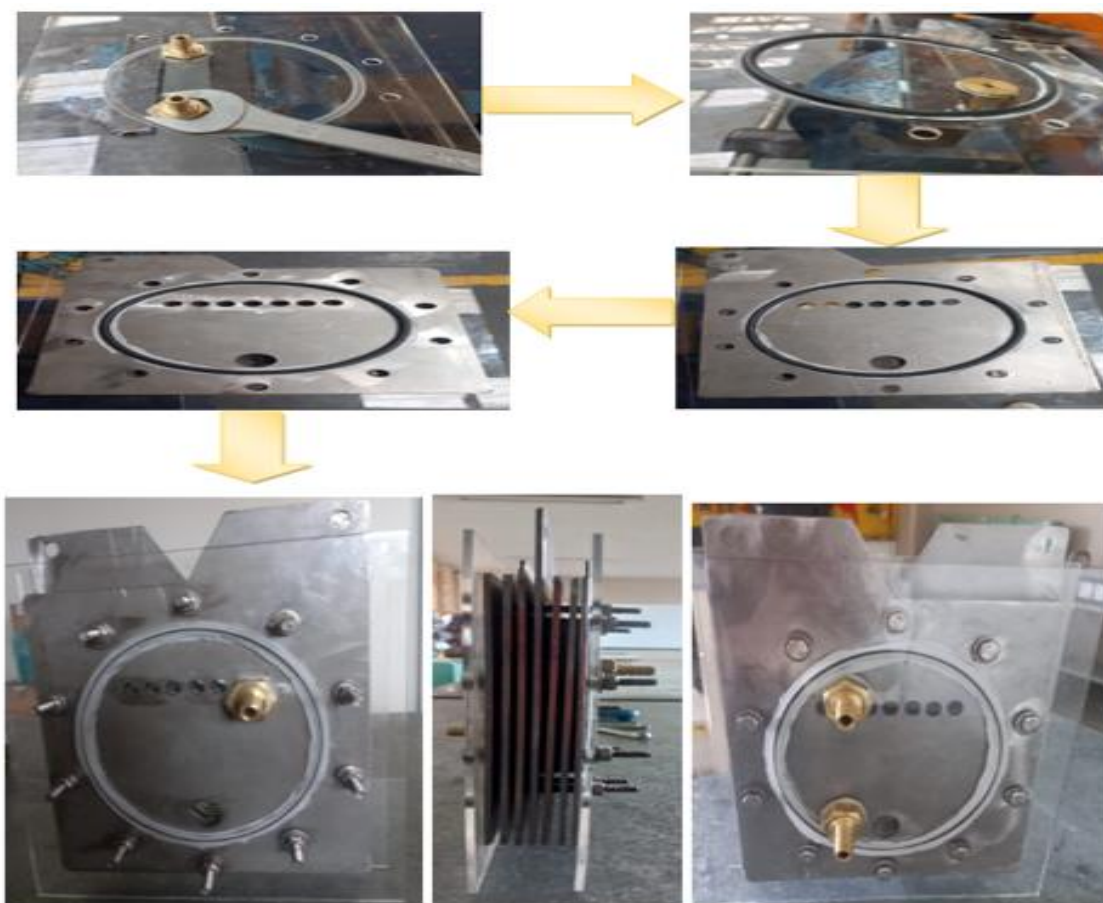
1. Se colocan el conducto de ingreso de electrolito en la placa lado cátodo.
2. Se colocan el conducto de salida de hidrógeno de electrolito en la placa lado ánodo.
3. Ubicar el o-ring en el desbaste de 1mm de profundidad de la placa de acrílico.
4. Colocar la placa de ánodo negativo haciendo coincidir con él o-ring.

5. Ubicar las placas bipolares haciendo coincidir con él o-ring y los orificios de 10 mm de todas las placas.
6. Ubicar el cátodo positivo, este electrodo positivo tiene la función de reducir el oxígeno del aire.
7. Sujetar el conjunto de placas (celda), con ayuda de las tuercas y pernos, el ensamble debe ser preciso dando un ajuste de apriete exacto de 15 lb/pie de forma secuencial en él o ring de cada placa.

En la figura 20 se identifica el proceso de ensamblaje.

### Figura 20

*Ensamble del rediseño de la celda tipo seca*



**Fuente:** Autores

## **2.6. Proceso experimental de preparación del electrolito**

La metodología de las 5 M se utiliza para evaluar y mejorar diferentes aspectos del experimento, incluyendo la:

Maquinaria/equipos utilizados

Mano de obra involucrada

Materiales/insumos utilizados

Medios ambientales considerados

Métodos/procedimientos utilizados

A continuación, se describen cada una de estas etapas para la aplicación de la presente investigación.

### **2.6.1. Maquinaria/equipos utilizados**

Los equipos a utilizar para el desarrollo del experimento son los siguientes:

- Batería plomo ácido.
- Cargador de batería.
- Computadora.
- Maqueta generadora de hidrógeno.
- Pinzas amperimétricas.
- Balanza gramera.

#### **2.6.1.1. Batería plomo ácido**

Para el funcionamiento del generador de hidrógeno se necesita una fuente de energía la cual es una batería plomo ácido de 12 voltios.

En la figura 21 se observa la batería utilizada para el experimento. Dicha batería alimenta el generador con la energía necesaria para generar el hidrógeno, en la tabla 12, se describen sus características técnicas.

### Figura 21

*Batería plomo ácido*



**Fuente:** Autores

### Tabla 12

*Datos técnicos de la batería plomo-ácido*

Características	Datos
Marca	SOLITE
Modelo	CMF60L
Voltaje	12
Capacidad (Ah)	60
Número de placas	13
Potencia de Arranque (A)	550
Peso (Kg)	15.4

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### 2.6.1.2. Cargador de batería

El cargador de baterías se utiliza para suministrar corriente continua a las baterías de ácido-plomo la cual se utilizará en la maqueta.

En la figura 22 se puede observar el cargador de baterías de marca Truper utilizado, en la tabla 13, se describen sus características técnicas.

#### Figura 22

*Cargador de batería marca TRUPER*



**Fuente:** Autores



**Tabla 13***Datos técnicos del cargador de batería.*

<b>Características</b>	<b>Datos</b>
Marca	Truper
Voltaje /Frecuencia de entrada	120 Vca/ 60 Hz
CCA	Amperaje en frío
Corriente de entrada	1.2/ 4.3/ 12.8/30 A
Corriente de salida	2/20 continuos
140 A Intermitentes	3 seg. max. encendido/ 360 seg. min. apagado
Voltaje de salida	12 Vcc
RC	Capacidad de reversa
Peso	13.2 kg
Ancho	25.5 cm
Altura	62.5 cm

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)**2.6.1.3. Computadora**

La computadora es utilizada para realizar la programación del software para la medición del nivel de hidrógeno que produce la celda, almacenamiento de datos y análisis de resultados. En la figura 23 se visualiza la computadora a utilizar, en la tabla 14 están sus características técnicas.

**Figura 23***Panel de control en computadora***Fuente:** Autores**Tabla 14***Datos técnicos de la computadora*

<b>Características</b>	<b>Datos</b>
Modelo	Hp
Sistema operativo	Windows 8.1 64 bytes
Peso (g)	1910
Disco duro	Disco duro de 1 TB y 5400 RPM

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

#### **2.6.1.4. Maqueta generadora de hidrógeno**

La maqueta generadora de hidrógeno con una celda tipo seca, se utiliza para la generación de hidrogeno basada en una mezcla de agua destilada con hidróxido de sodio.

Componentes de la maqueta:

- Celda tipo seca.

- Depósito para la mezcla.
- Burbujeador.
- Mangueras.
- Arduino uno
- Interruptor ON/OFF.

### Figura 24

#### *Generador de hidrogeno*



**Fuente:** Autores

#### **2.6.1.5. Pinza amperimétrica**

La función de la pinza amperimétrica en este experimento es la medir el consumo de corriente DC para el funcionamiento de la celda de hidrógeno. En la figura 25 se observa la pinza amperimétrica utilizada, en la tabla 15 se presenta sus características.

**Figura 25***Pinza amperimétrica***Fuente:** Autores**Tabla 15***Datos técnicos de la pinza amperimétrica*

<b>Características</b>	<b>Datos</b>
Marca	KIWEETS
Modelo	HT206D T-RMS
Medición de corriente	(AC/DC) hasta 1000A
Medición de voltaje	(AC/DC) hasta 600V
Pantalla	LCD retroiluminada de 6000 cuentas

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

#### **2.6.1.6. Balanza gramera**

En este experimento se lo utilizó con el fin de controlar el gramaje del hidróxido de sodio que se utilizaría luego en la mezcla con el agua destilada. En la figura 26 se presenta la gramera utilizada, en la tabla 16 se detallan sus características técnicas.

**Figura 26***Balanza gramera***Fuente:** Autores**Tabla 16***Datos técnicos gramera*

<b>Características</b>	<b>Datos</b>
Marca	OHAUS
Modelo	PR822N/E
Capacidad máxima	1500 g
Display	5 dígitos
Batería	9VDC (Batería AA x 6 unidades)

**Elaborado:** (Guiracocha & Banegas, 2023)**2.6.2. Mano de obra involucrada**

Para el desarrollo de este experimento se requiere el uso de equipos, métodos técnicos y el manejo de sustancias químicas; todo esto nos sirve para la obtención de datos sobre la generación de hidrógeno.

**Tabla 17***Capacidades y cualidades que debe tener el personal para el experimento*

<b>Procesos</b>	<b>Metodologías</b>	<b>Competencias</b>
Proceso de preparación de la mezcla.	Mediante el método de disolución de componentes.	Capacitados y cualificados con conocimientos en química y el manejo de equipos de laboratorio.
Proceso de diseño experimental.	Método de diseño de experimentos.	Conocimiento en software Minitab.
Proceso de aplicación de pruebas.	Mediante la toma de datos que recibe la computadora mediante el Arduino. Instalación y uso de equipos de medición.	Conocimiento en el manejo de programas como LabVIEW y Arduino uno. Conocimiento en manejo de equipos tales como el cargador de batería, computadora, pinza amperimétrica y el generador de hidrógeno.
Proceso de análisis de resultados.	Método de estadística descriptiva para la interpretación de gráficas y resultados.	Capacidades en estadística descriptiva.

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)**2.6.3. Materiales e insumos utilizados**

Los materiales que se utilizaron para la generación de hidrógeno fueron los siguientes:

- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Agua destilada.
- Tomatodo de 600 ml.
- Botellas plásticas.
- Depósito para el hidróxido de sodio.
- Pinza de laboratorio.
- Mandil u overol

**Figura 27***Insumos ocupados en la mezcla***Fuente:** Autores**2.6.3.1. Características del hidróxido de sodio**

En la tabla 18 se muestra concretamente las propiedades que contiene este componente químico que se va a ocupar para las mezclas proporcionales.

**Tabla 18***Características del hidróxido de sodio*

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Fórmula molecular	NaOH
Peso molecular (g/mol)	40.0
Estado físico	Sólido
Punto de fusión(C)	3. 18 puro
Presión de vapor (mmHg)	0 puro
Gravedad específica (Agua=1)	2.13; puro
PH	14; solución 5%

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### 2.6.3.2. Características del agua destilada

En la tabla 19 se presenta las propiedades necesarias que contiene el agua destilada para ser un reactante de mezcla adecuado en la homogenización de la disolución.

**Tabla 19**

*Características del agua destilada*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
PH	5 y 8
Conductividad eléctrica	Max, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 298 K (25°C) <3
resistencia eléctrica	Min, M.cm a 298 K (25°C) 4.0
Potencial de hidrógeno	PH. A 298 K (25°C) 5-8
Carbono orgánico total	(TOC), máx., $\mu\text{g}/\text{L}$ 200
Sodio	Max, $\mu\text{g}/\text{L}$ 10
Cloruros	Max, $\mu\text{g}/\text{L}$ 10
Sílice	Max, $\mu\text{g}/\text{L}$ 500

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### 2.6.3.3. Características de los elementos utilizados en la preparación del electrolito

En la tabla 20 se muestra las características especiales que debe contener cada elemento para el proceso de preparación del electrolito.



**Tabla 20***Características de los elementos utilizados*

<b>Elementos</b>	<b>Características</b>
Toma todo de 600 ml	Material: plástico
Botellas.	Material: plástico
Depósito para el hidróxido de sodio	Material: vidrio
Pinza de laboratorio	Material: Acero inoxidable
Mandil u overol	Material: Gabardina-100% algodón

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)**2.6.4. Medios ambientales considerados**

Este experimento se lo llevo a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca campus El Vecino dentro del taller Automotriz en los laboratorios de electricidad ciudad la cual cuenta con las siguientes condiciones ambientales indicadas en la tabla 21.

**Tabla 21***Condiciones ambientales*

<b>Condición ambiental</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ubicación geográfica	Latitud: 259' 10'' S Longitud: 7900' 41'' W	
Altura geográfica	2558	msnm
Presión atmosférica	89192	Pa
Temperatura promedio	14.7	C
Humedad relativa	77	%
Promedio anual de lluvias	878	mm

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)

### 2.6.5. Métodos/procedimientos utilizados

Para el desarrollo de esta investigación se aplicaron los siguientes métodos:

- Disolución de componentes.
- Diseño de experimentos.

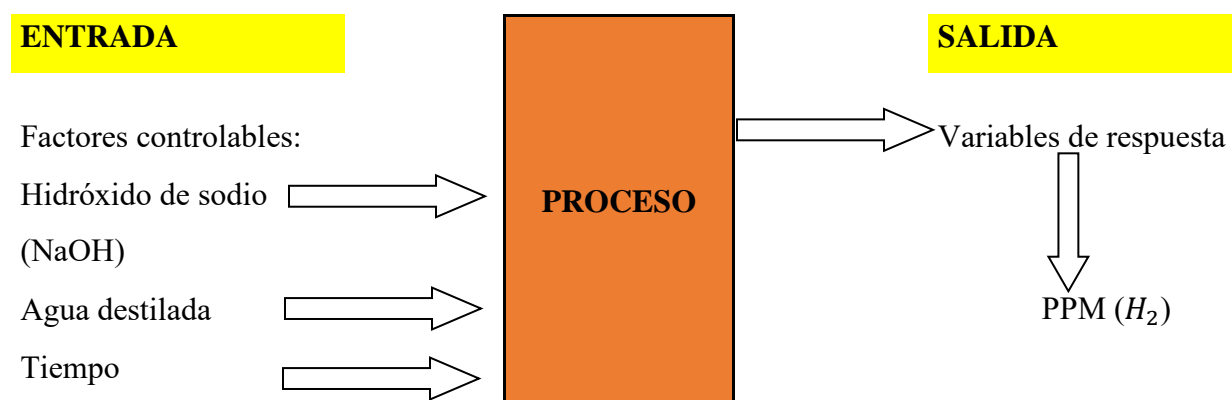
#### 2.6.5.1. Disolución de componentes

El experimento de mezcla, el cual se hizo mediante el método de disolución de componentes en este caso al mezclar el hidróxido de sodio con el agua destilada para ello se agitó la botella que cual se utilizó para la mezcla, esto para acelerar el proceso de disolución.

Para medir las cantidades de líquido se utilizó un envase de 500 ml y para medir la cantidad del hidróxido de sodio se lo realizó por medio de una balanza.

#### 2.6.5.2. Diseño de experimentos

En esta parte se presenta el método científico para el conocimiento del proceso experimental por medio de pruebas planeadas como se dio a conocer en el punto 2.9. En el siguiente diagrama se muestra cuatro variables de entrada que son factores controlables que pasarán a un proceso y tendrán salida como variables de respuesta.



En la tabla 22, se presenta los niveles, que son los valores que se asignaran a cada factor de entrada que van a ser procesadas para la obtención de resultados y los tratamientos que se basa en la combinación de los niveles a ocupar en ese diseño.

**Tabla 22***Niveles y tratamientos de factores a analizar*

Nivel de Hidróxido de sodio NaOH (gr)	Nivel de agua destilada $H_2O$ (ml)	Nivel de tiempo (min)	Tratamiento	Y
1	500	5	1	
2	500	5	1	
3	500	5	1	
4	500	5	1	
5	500	5	1	?
6	500	5	1	
7	500	5	1	
8	500	5	1	
9	500	5	1	
10	500	5	1	

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)**Etapas a usar en el diseño de experimentos**

Para que el estudio experimental tenga éxito, se procese a realizar las siguientes etapas que se deben cumplir en el diseño de experimentos.

**Planeación:** Se procede a cumplir cada actividad propuesta para el diseño, seleccionando el objetivo de estudio y las variables a controlar.

**Análisis:** Analizar que los resultados experimentales sean observaciones muestrales, evidenciando con métodos estadísticos.

**Interpretación:** Contrastar con detalle lo que sucede al momento de las pruebas del experimento conjeturando inicialmente con los resultados hasta obtener nuevos diseños muestrales.

**Control y conclusiones finales:** Toma de decisión con respecto a los resultados obtenidos del estudio para garantizar las mejoras necesarias en el proyecto.

### Prueba de hipótesis para la media a utilizar “ANOVA”

En este proyecto se va a validar que la media es igual a cierto valor  $\mu_o$ , por lo que la hipótesis a probar será:

$$H_o = \mu = \mu_o$$

$$H_A = \mu \neq \mu_o$$

En donde:

$H_o$ : Hipótesis nula

$H_A$ : Hipótesis alternativa

$\mu$ : Media

Las hipótesis presentadas servirán para el análisis de resultados finales, ya que en una hipótesis nula todos los valores de la media tendrán que ser iguales, mientras que en la hipótesis alternativa es todo lo contrario, basta con que un valor sea diferente que todos los valores de la media, estas hipótesis serán discutidas mediante estadística descriptiva donde se podrá ver el comportamiento de cada muestra experimental.

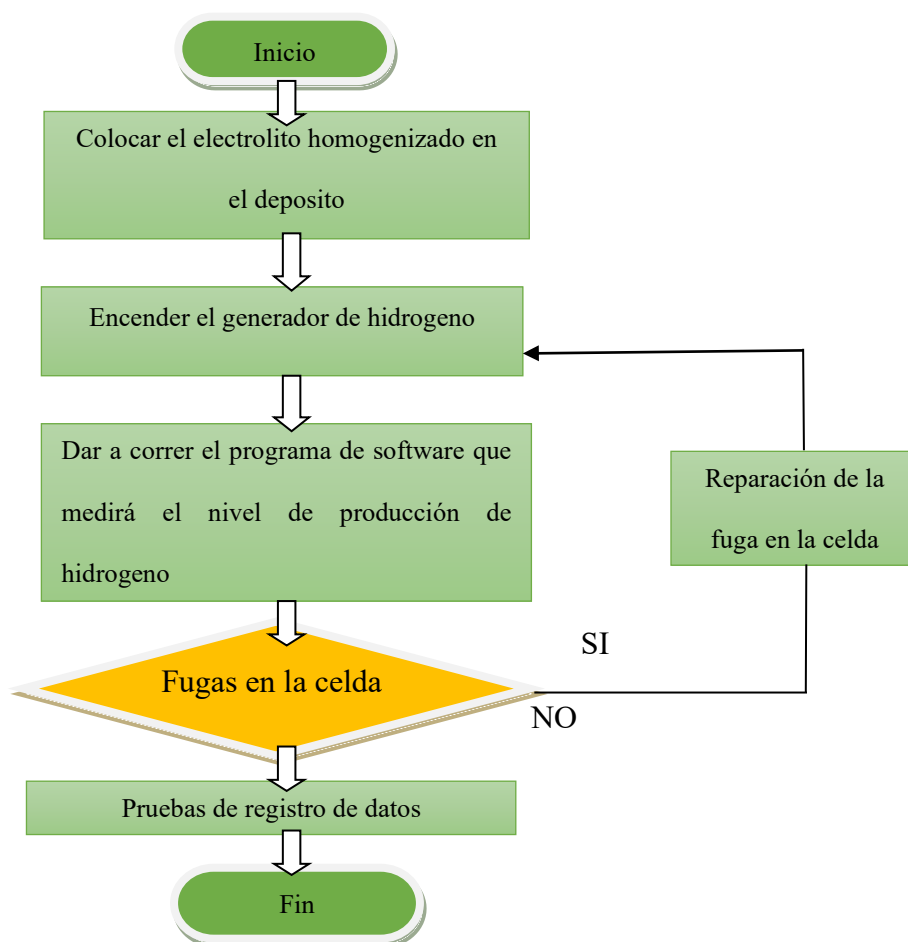
#### 2.6.6. Preparación del electrolito:

- 1.- Como primer paso se etiquetan y clasifican las botellas dependiendo la cantidad de hidróxido que se va a utilizar para cada mezcla.
- 2.- Medir los gramos de hidrógeno en una gramera dependiendo la cantidad utilizada.
- 3.- En un envase medir medio litro de agua destilada.
- 4.- Mezclar el hidróxido de sodio con el agua destilada los en los envases ya etiquetados con su respectiva cantidad.

En la figura 28 se evidencia la preparación del electrolito en el laboratorio correspondiente.

**Figura 28***Preparación del electrolito***Fuente:** Autores**2.7. Flujo de control previo a pruebas experimentales**

El flujo de control previo de procesos a pruebas experimentales ayuda a verificar que todos los elementos que van a ser utilizados para estas pruebas estén 100% funcionales sin averías, ni daños que limiten a la toma de resultados.



### 2.7.1. Proceso de pruebas experimentales:

El proceso de pruebas debe de realizarse cuidadosamente para que los resultados sean precisos y óptimos, para aquello seguimos la siguiente secuencia:

1. Conectar el cargador de baterías a un voltaje de 110 V.
2. Conectar el cargador de baterías al polo positivo y negativo de la batería de 12 V.
3. Encender el cargador de baterías y configurar una carga rápida de 20 A.
4. Energizar la celda de hidrogeno tipo seca.
5. Conectar la computadora con el Arduino.
6. Colocación del electrolito homogenizado, primera mezcla experimental.
7. Encender el generador de hidrogeno.
8. Visualizar que no exista ninguna fuga de electrolito en la celda y de igual manera ver que la luz led y del sensor y Arduino estén encendidas, ya que ahí empieza el proceso de recopilación de datos. En la figura 29 se evidencia el control.

### Figura 29

*Control de pruebas*



**Fuente:** Autores

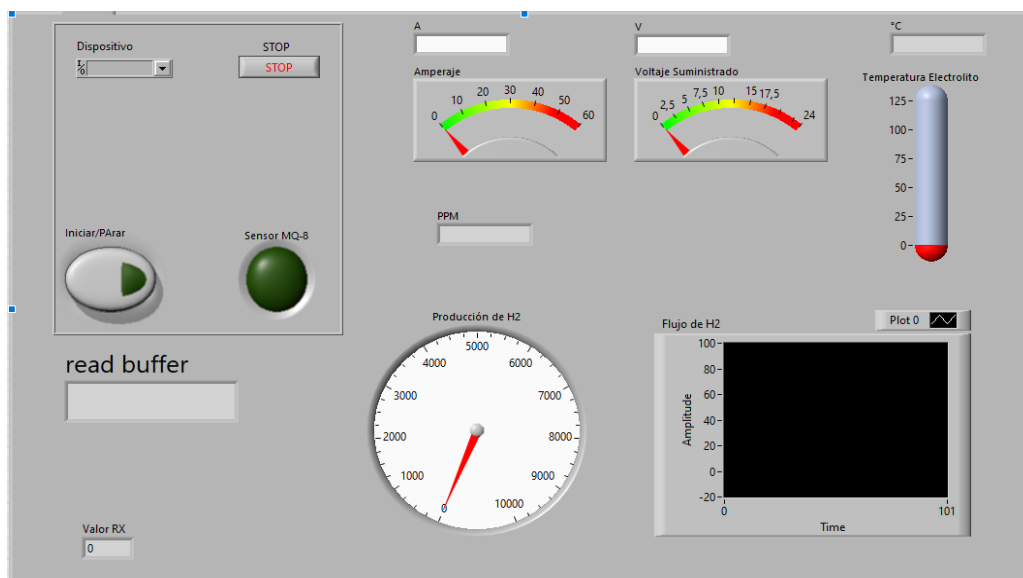
## 2.8. Registro de datos

1. Colocar la primera mezcla en el depósito.
2. Configurar en el panel de control el número de voltaje y amperios con la que el generador va funcionar.
3. Seleccionar en dispositivo el I/O COM3.
4. Dar en Run (correr) el sistema.
5. Encender el generador de hidrogeno.
6. Detener en Stop el sistema después que haya pasado 5 minutos.
7. Pulsar en el botón iniciar/parar.
8. Dar clic en el botón visualizar datos.
9. Guardar el documento en una ubicación seguro dentro del equipo.
10. Al guardar el documento, este se cerrará de forma inmediata.

Para reiniciar las pruebas:

1. Cambiar la siguiente mezcla disuelta a estudiar.
2. Pulsar el botón borrar datos.
3. Encender el generador de hidrogeno.
4. Pulsar el botón de iniciar.
5. Guardar datos registrados.

En la figura 30 se muestra los botones del panel de control descritos en la toma de datos, esto ayudara a ver el comportamiento de las diferentes mezclas experimentales como la producción de hidrogeno, la temperatura del electrolito y el flujo del hidrogeno.

**Figura 30***Panel de control en computadora***Fuente:** Autores

## 2.9. Precauciones

- Asegurar que se estén registrando los datos en la tabla del panel de control.
- Procurar tener separados todos los elementos del generador de hidrogeno (celda, batería, cargador de batería, computadora).
- Asegurar que se haya ajustado una mezcla de proporciones distintas en el depósito.
- Dejar calentar el sensor durante 5 minutos previo a la corrida del sistema.
- Precautelar que se esté midiendo el paso de corriente con ayuda de la pinza amperimétrica.
- Procure que el nivel del líquido en el burbujeador no alcance a la manquera que conecta al sensor, esto puede generar un corto en sensor.



## **CAPITULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS DETERMINANDO LA MEZCLA ADECUADA**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se muestra el estudio del diseño experimental por mezclas a través de un análisis estadístico, dando a conocer los resultados obtenidos a través de cada mezcla homogenizada y se realizara la toma de decisión de la mezcla adecuada que genera un buen nivel de producción de hidrogeno en la celda tipo seca.

### **3.2. Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de los resultados de esta investigación se determinaran la media ( $\mu$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ), error estándar de la media( $\mu_x$ ), e intervalo de confianza (IC), finalmente se realizara un análisis comparativo de las medias de producción de hidrogeno para las diferentes composiciones del electrolito.

#### **3.2.1. Análisis de la media ( $\mu$ ), desviación estándar( $\sigma$ ), error estándar de la media( $\mu_x$ ) e intervalo de confianza (IC)**

Dentro del análisis estadístico se contemplan 10 corridas experimentales con descripciones específicas como se muestra en la Tabla 23, este orden sucesivo ayuda a fundamentar a la toma de resultados finales con las mezclas homogenizadas.

**Tabla 23***Número de niveles*

<b># de niveles</b>	<b>Descripción</b>
1	1 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
2	2 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
3	3 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
4	4 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
5	5 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
6	6 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
7	7 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
8	8 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
9	9 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O
10	10 gr NaOH/500 ml H <sub>2</sub> O

**Elaboración:** (Guiracocha & Banegas, 2023)**3.2.2. Primer análisis estadístico: 1gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O**

En el primer tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=129, se identifica que existe una tendencia constante con un promedio de 837,8 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se visualiza también la desviación estándar de 181,5 que es la medida de dispersión de los valores del tratamiento realizado, en este caso de la mezcla de 1 gr de NaOH / 500 ml de agua destilada. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 16,0 este valor precisa la estimación con respecto a la media de los datos registrados, mientras más pequeño sea el valor la estimación es mejor. Gracias a estos datos obtenidos se puede representar el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 31 en donde el IC de esta muestra es de 806,5 a 869,1 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza.

**Figura 31**

*Intervalo de confianza de 1 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

## Z de una muestra: PPM

### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
129	837,8	181,5	16,0	(806,5; 869,1)

$\mu$ : media de PPM

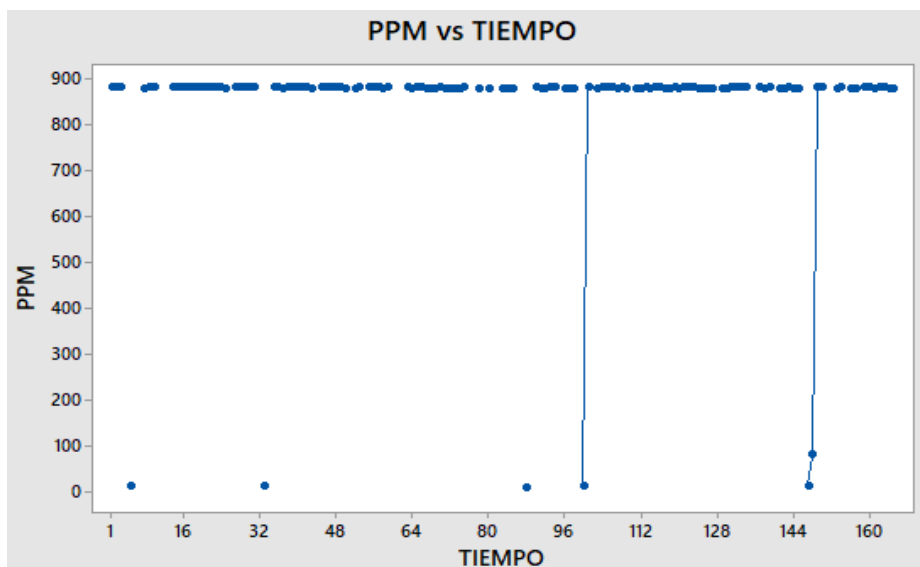
Desviación estándar conocida = 181,5

**Fuente:** Autores

Mediante estadística descriptiva se puede evidenciar la tendencia constante de la media de la primera mezcla analizada como se muestra en la figura 32, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 32**

*Comportamiento de ppm vs tiempo de 1 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.3. Segundo análisis estadístico: 2gr NaOH/500 ml $H_2O$

En el segundo tratamiento experimental con un tamaño de muestra de  $N=116$ , inferior al tamaño de muestra anterior se identifica que existe una tendencia constante con un promedio de 819,1 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se visualiza también la desviación estándar de 219,2 mayor a la medida de dispersión de los valores del tratamiento realizado en la primera corrida. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 20,4 valor mayor con respecto a la primera corrida. Se puede observar el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 33, en donde el IC de esta muestra va de 779,3 a 859,0 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, sin embargo, se observa una breve disminución de producción de hidrogeno.

#### Figura 33

*Intervalo de confianza de 2 gr NaOH/500 ml  $H_2O$*

### Z de una muestra: PPM

#### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	819,1	219,2	20,4	(779,3; 859,0)

$\mu$ : media de PPM

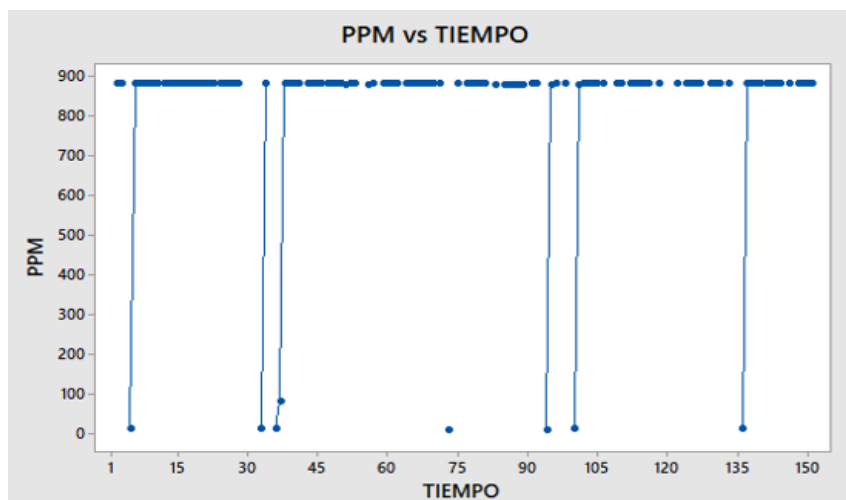
Desviación estándar conocida = 219,2

**Fuente:** Autores

Mediante estadística descriptiva se puede evidenciar la tendencia constante de la media de la segunda mezcla analizada como se muestra en la figura 34, sin embargo, se presenta una breve dispersión de caída de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 34**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 2 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.4. Tercer análisis estadístico: 3gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el tercer tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=114, inferior con 2 tamaños de muestra del segundo tratamiento, se identifica que existe una tendencia constante con un promedio de 780,3 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se visualiza también la desviación estándar de 276,1 mayor a la medida de dispersión de los valores del tratamiento realizado en la primera y segunda corrida. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 25,9 valor mayor con respecto a las dos corridas anteriores. Se puede observar el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 35, en donde el IC de esta muestra va de 729,6 a 830,9 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, sin embargo, se observa una disminución de producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.

**Figura 35**

*Intervalo de confianza de 3 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

**Z de una muestra: PPM****Estadísticas descriptivas**

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
114	780,3	276,1	25,9	(729,6; 830,9)

$\mu$ : media de PPM

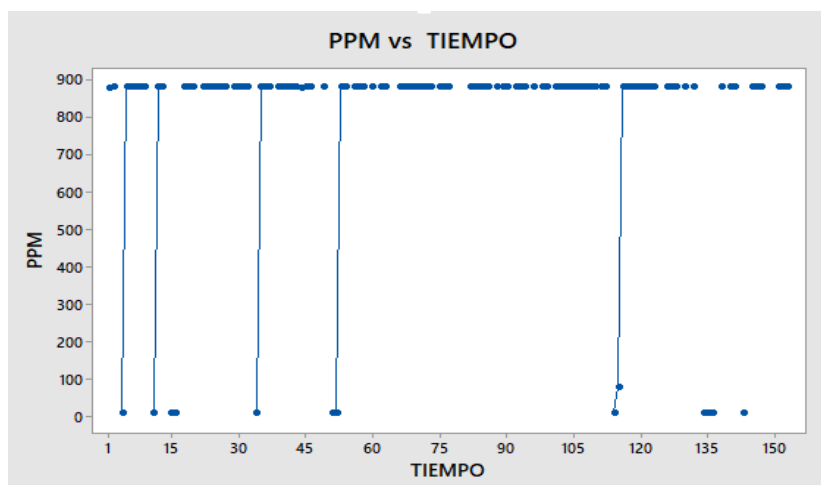
Desviación estándar conocida = 276,1

**Fuente:** Autores

Mediante estadística descriptiva se puede evidenciar la tendencia constante de la media de la tercera mezcla analizada como se muestra en la figura 36, sin embargo, se presenta una breve dispersión de caída de ppm mayor a la primera y menor a la segunda corrida, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 36**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 3 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.5. Cuarto análisis estadístico: 4gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el cuarto tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=143, mayor al tamaño de la primera, segunda y tercera corrida, se identifica que existe una tendencia constante con un promedio de 784,6 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se visualiza también la desviación estándar de 262,0. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 22,2 valor menor con respecto a la tercera corrida. Se puede observar el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 37, en donde el IC de esta muestra va de 741,5 a 827,6 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza. Se observa una diferencia de 3 ppm con respecto a la tercera corrida, de igual manera disminuye la producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.

#### Figura 37

*Intervalo de confianza de 4 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

### Z de una muestra: PPM

#### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
143	784,6	262,0	22,0	(741,5; 827,6)

$\mu$ : media de PPM

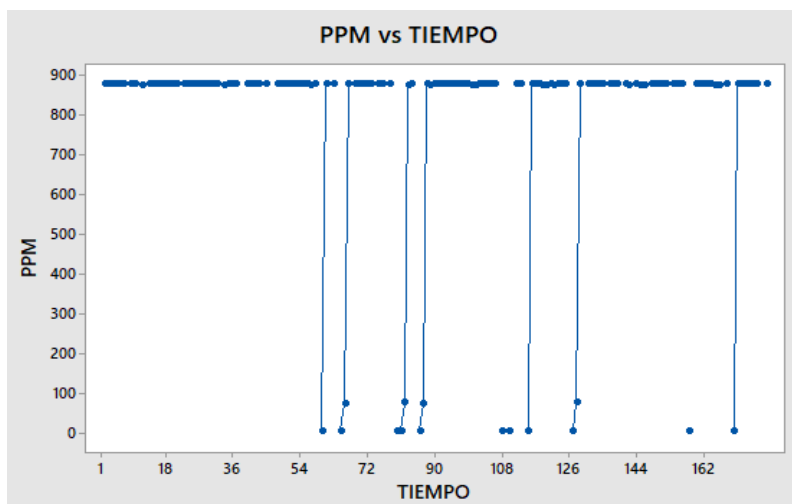
Desviación estándar conocida = 262,6

**Fuente:** Autores

En la figura 38, se muestra la tendencia constante de la media de la cuarta mezcla analizada, sin embargo, se presenta una breve dispersión de caída de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 38**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 4 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.6. Quinto análisis estadístico: 5gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el quinto tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=116, igual al tamaño de la primera corrida, se identifica que existe una tendencia de caída de nivel con un promedio de 736,3 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se visualiza la desviación estándar de 213,0, inferior a la corrida anterior. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 19,8 valor menor con respecto a la cuarta corrida. Se puede observar el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 39, en donde el IC de esta muestra va de 697,6 a 775,1 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, pero existe una disminución considerable de la producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.



**Figura 39**

*Intervalo de confianza 5 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

**Z de una muestra: PPM****Estadísticas descriptivas**

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	736,3	213,0	19,8	(697,6; 775,1)

$\mu$ : media de PPM

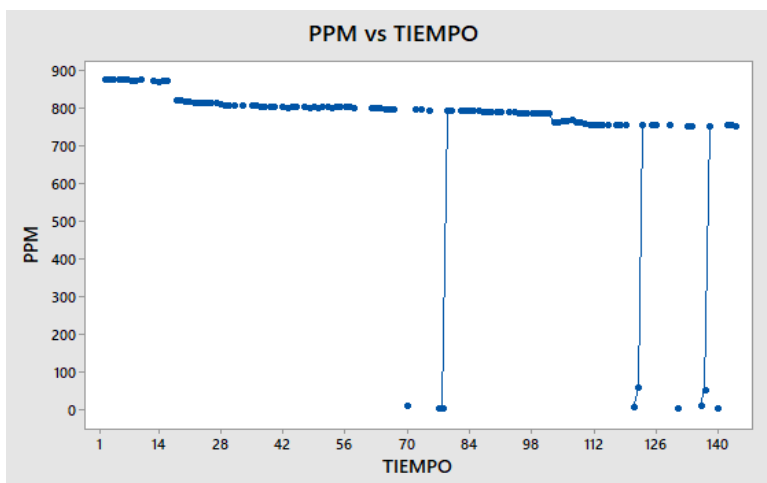
Desviación estándar conocida = 213

**Fuente:** Autores

En la figura 40, se evidencia con estadística descriptiva la caída del nivel de producción de hidrogeno de la quinta mezcla analizada, presentando considerablemente una dispersión de caída de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 40**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 5 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.7. Sexto análisis estadístico: 6gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el sexto tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=116, igual al tamaño de la primera y quinta corrida, se presenta que existe una tendencia de constante inestable del nivel con un promedio de 708,3 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se visualiza la desviación estándar de 115,1. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 10,7 valor menor con respecto a todas las corridas anteriores. Se observar el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 41, en donde el IC de esta muestra va de 687,3 a 729,2 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, pero existe una disminución considerable de la producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.

#### Figura 41

*Intervalo de confianza de 6 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

**Z de una muestra: PPM**

**Estadísticas descriptivas**

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	708,3	115,1	10,7	(687,3; 729,2)

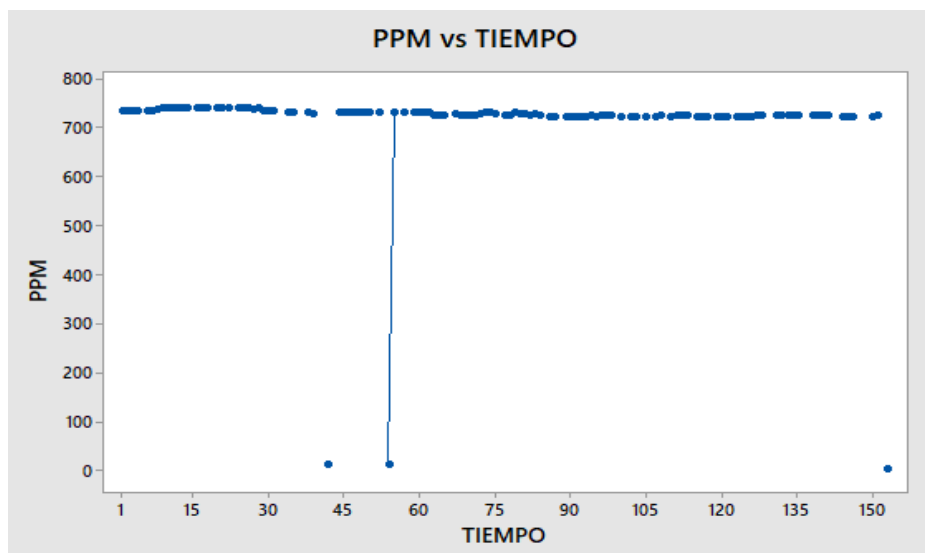
$\mu$ : media de PPM  
Desviación estándar conocida = 115,1

**Fuente:** Autores

En la figura 42, se presenta la inestabilidad del nivel de producción de hidrogeno de la sexta mezcla analizada, presentando considerablemente una dispersión de caída de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 42**

*Comportamiento de 6 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.8. Séptimo análisis estadístico: 7gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el séptimo tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=116, igual al tamaño de la primera, quinta y sexta corrida, se analiza que vuelve a estabilizarse en una tendencia constante del nivel con un promedio de 683,0 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se observa la desviación estándar de 171,5, existiendo una diferencia considerable con respecto a las demás corridas. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 15,9 valor mayor con respecto a la sexta corrida. Se observa el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 43, en donde el IC de esta muestra va de 651,8 a 714,2 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, sin embargo, existe una disminución considerable de la producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.

**Figura 43**

*Intervalo de confianza de 7 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

**Z de una muestra: PPM****Estadísticas descriptivas**

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	683,0	171,5	15,9	(651,8; 714,2)

$\mu$ : media de PPM

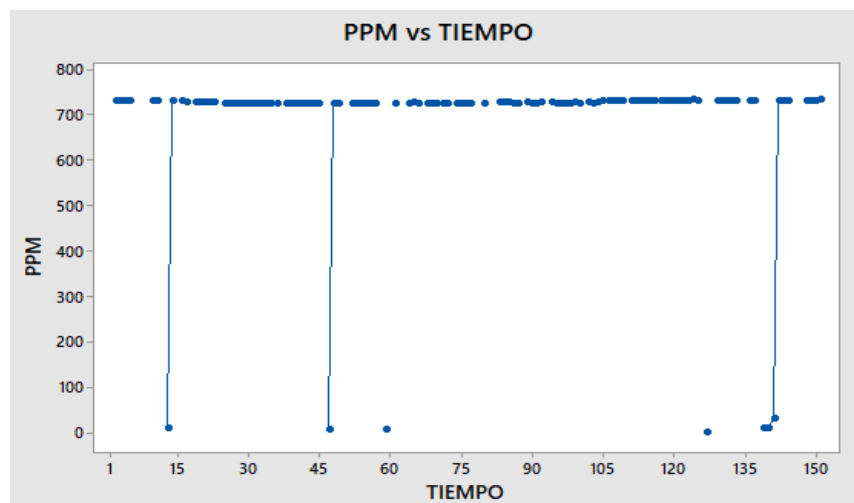
Desviación estándar conocida = 171,5

**Fuente:** Autores

Mediante la figura 44, se presenta la estabilidad del nivel de producción de hidrogeno de la séptima mezcla analizada, presentando considerablemente una dispersión de caída de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 44**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 7 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.9. Octavo análisis estadístico: 8gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el octavo tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=128, rompiéndola la igualdad de tamaño de muestra que se venía dando respecto a las 3 últimas corridas, se analiza una tendencia constante pero inestable del nivel con un promedio de 613,1 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se observa la desviación estándar de 282,8 existiendo una diferencia total con respecto a las demás corridas. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 25,0 valor mayor con respecto a la sexta y séptima corrida. Se observa el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 45 en donde el IC de esta muestra va de 564,2 a 662,1 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, sin embargo, existe una disminución considerable de la producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.

#### Figura 45

*Intervalo de confianza de 8 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

### Z de una muestra: PPM

#### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
128	613,1	282,8	25,0	(564,2; 662,1)

$\mu$ : media de PPM

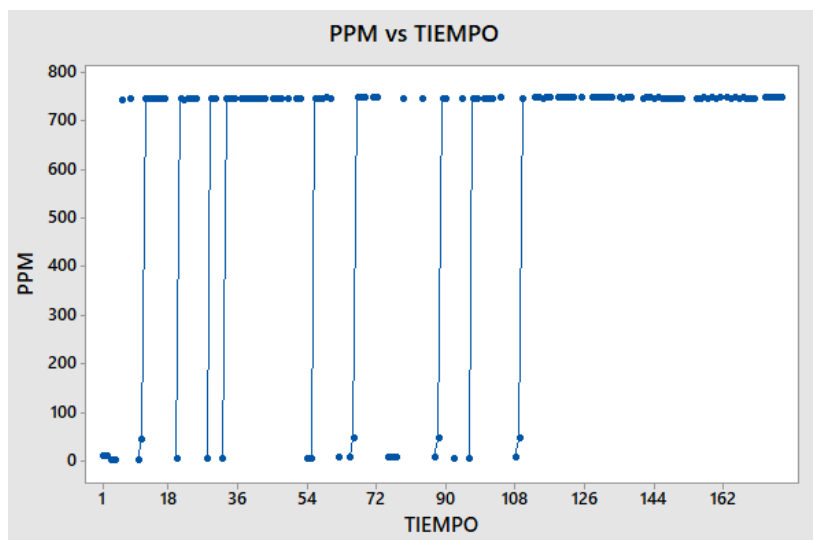
Desviación estándar conocida = 282,8

**Fuente:** Autores

En la figura 46, se presenta la estabilidad del nivel de producción de hidrogeno de la octava mezcla analizada, presentando una tendencia inestable de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 46**

*Comportamiento de 8 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.10. Noveno análisis estadístico: 9gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O

En el noveno tratamiento experimental con un tamaño de muestra de N=126, menor con 2 valores a la corrida anterior, se observa que empieza con un nivel bajo de ppm, sin embargo, se después empieza una incrementación del nivel de producción con un promedio de 683,7 ppm de producción de hidrogeno en un tiempo estimado de 5 minutos. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 14,9 valor que se asemeja a la séptima corrida. Se observa la desviación estándar 166,7. Se presenta el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 47 en donde el IC de esta muestra va de 654,6 a 712,8 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, sin embargo, con esta mezcla empieza a subir el nivel producción de hidrogeno ante las otras corridas experimentales realizadas.

**Figura 47**

*Intervalo de confianza de 9 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*

**Z de una muestra: PPM****Estadísticas descriptivas**

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
126	683,7	166,7	14,9	(654,6; 712,8)

$\mu$ : media de PPM

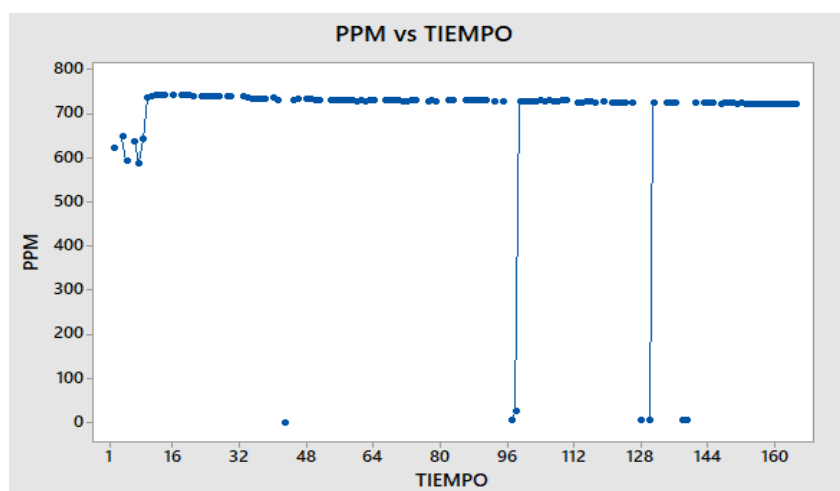
Desviación estándar conocida = 166,7

**Fuente:** Autores

En la figura 48, se presenta un bajo nivel de producción de hidrogeno de la novena mezcla analizada, sin embargo, llega a un pico alto a estabilizarse presentando una dispersión alta de ppm, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.

**Figura 48**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 9 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



**Fuente:** Autores

### 3.2.11. Decimo análisis estadístico: 10gr NaOH/500 ml $H_2O$

Finalmente, con el décimo tratamiento experimental con un tamaño de muestra de  $N=88$ , menor a todos los valores de las corridas anteriores, se observa que empieza a ascender el nivel de producción de hidrogeno con un promedio de 718,1 ppm de producción en un tiempo estimado de 5 minutos. Se observa la desviación estándar de 223,7. Se refleja el valor del error estándar de la media que es 23,8 valor mayor con respecto a la novena corrida. Se observa también el intervalo de confianza (IC), como se muestra en la figura 49, en donde el IC de esta muestra va de 671,9 a 765,4 rango en el cual se encuentra el valor real del parámetro de la mezcla con el 95% de certeza, sin embargo, con esta mezcla empieza a subir más el nivel producción de hidrogeno que la novena y las demás corridas experimentales realizadas.

#### Figura 49

*Intervalo de confianza de 10 gr NaOH/500 ml  $H_2O$*

#### Z de una muestra: PPM

##### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
88	718,6	223,7	23,8	(671,9; 765,4)

$\mu$ : media de PPM  
Desviación estándar conocida = 223,7

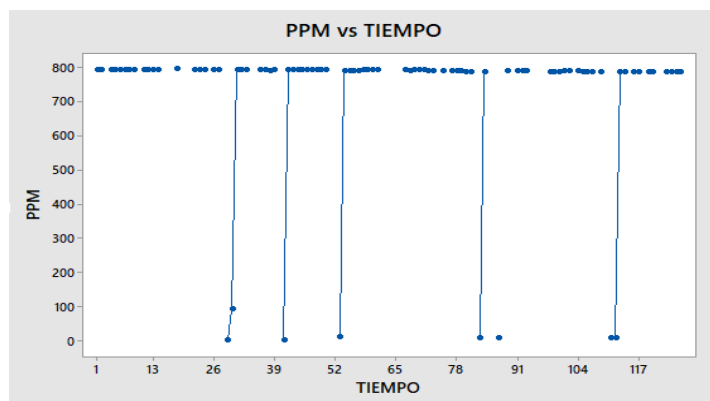
**Fuente:** Autores

Gracias a la obtención de la figura 50, se puede observar el incremento del nivel de producción de hidrogeno con respecto a las demás muestras, se observa una estabilización constante del nivel, la corrida experimental se realizó con un amperaje de 20 A en carga lenta Y 12 V de voltaje.



**Figura 50**

*Comportamiento ppm vs tiempo de 10 gr NaOH/500 ml H<sub>2</sub>O*



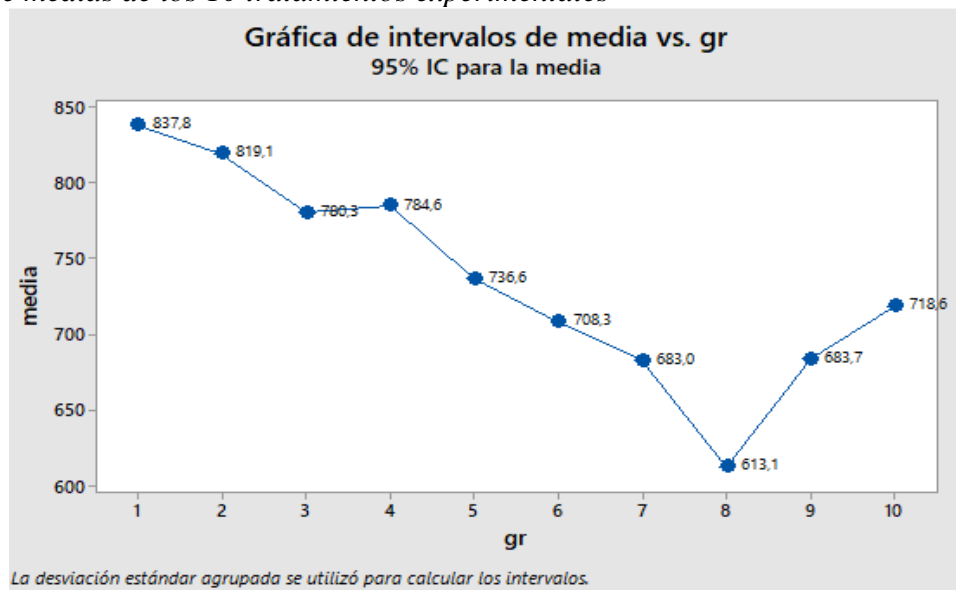
**Fuente:** Autores

### 3.3. Análisis comparativo del nivel de producción de hidrogeno respecto a las corridas experimentales

El análisis comparativo ayudara a diferenciar los niveles de producción de hidrogeno en una sola grafica media vs gramos, mediante la figura 51, observamos el comportamiento de las 10 corridas experimentales realizadas en el apartado anterior.

**Figura 51**

*Análisis de medias de los 10 tratamientos experimentales*



**Fuente:** Autores

En la gráfica propuesta media vs gramos se identifica que al realizar la primera corrida experimental con 1 gr NaOH/500ml  $H_2O$  se obtiene la media más alto del nivel de producción de hidrogeno con 837,8 ppm, desde ese pico empieza a disminuir el nivel de producción hasta llegar al punto más bajo del nivel que es el tratamiento octavó de 8 gr NaOH/500ml  $H_2O$  con un valor de 613,1 ppm, sin embargo se analiza que desde ese punto empieza a subir el nivel hasta llegar al último tratamiento que es el décimo con 10 gr NaOH/500ml  $H_2O$ , presentando así la curva característica de la evaluación del nivel de generación de hidrogeno en la celda tipo seca con 10 proporciones de mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada.

## CONCLUSIONES

Finalizando el proyecto de titulación se concluye lo siguiente:

- ❖ Se presento el estado del arte sobre el uso del hidrogeno en motores a combustión interna y el estudio del diseño experimental por mezclas, en donde se pudo presentar un artículo con respecto al efecto del hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna dando resultados efectivos.
- ❖ Se diseño la celda de hidrogeno tipo seca con ayuda del CAD Inventor Autodesk, dando así un modelo mejorado para la producción de hidrogeno, posterior al diseño se procedió a rediseñar la celda de hidrogeno tipo seca a base de procesos de manufactura, dando así un resultado de hermeticidad del 100 por ciento de efectividad, mejorando el flujo del electrolito que se generó a base proporcional de mezclas.
- ❖ Mediante la aplicación de una herramienta estadística a la base de datos, se evidencio el diseño de experimentos a base de la mezcla de hidróxido de sodio y agua destilada, demostrando así el comportamiento de las distintas mezclas, se identificó que durante las pruebas con  $1\text{ gr NaOH}/500\text{ ml H}_2\text{O}$  la tendencia de producción de hidrogeno descendió notablemente hasta llegar a la mezcla con  $8\text{ gr NaOH}/500\text{ ml H}_2\text{O}$ , con promedio de 613,1 ppm de producción de hidrogeno, siendo el tratamiento con menos producción respecto a las 10 corridas experimentales.
- ❖ Por otra parte, desde la octava corrida que es de  $8\text{ gr NaOH}/500\text{ ml H}_2\text{O}$  empezó a subir el nivel de producción de hidrogeno hasta 718,6 ppm que corresponde a la décima corrida experimental que es de  $10\text{ gr NaOH}/500\text{ ml H}_2\text{O}$ , dando un análisis del comportamiento de la mezcla y su relación con la concentración de NaOH, proporcionando una perspectiva más completa de nuestro estudio.

- ❖ Al realizar un análisis comparativo de las diez corridas experimentales y su respectivo promedio de generación de hidrógeno, podemos concluir que la mezcla más adecuada se obtiene utilizando una concentración de 1 gramo de hidróxido de sodio en 500 ml de agua destilada. Estos resultados demuestran que esta proporción específica de la mezcla proporciona un nivel adecuado de generación de hidrógeno. Esta información es valiosa para futuras investigaciones y aplicaciones que busquen maximizar la eficiencia en la producción de hidrógeno en celdas tipo seca utilizando hidróxido de sodio y agua destilada.
- ❖ Otro aspecto importante que se observa durante el análisis de las diferentes mezclas es que en la sexta mezcla que consta de 6 gramos de hidróxido de sodio en 500 ml de agua destilada, demostró tener el error estándar de la media más bajo de todas las corridas experimentales, con un valor de 10.7. Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de tener un bajo error estándar de la media, esta mezcla no garantiza un nivel alto de producción de hidrógeno. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar no solo la precisión de los resultados, sino también su relevancia en relación con los objetivos y las necesidades específicas del estudio.
- ❖ En lo personal el proyecto de titulación denominado "Evaluación del nivel de generación de hidrógeno en la celda tipo seca con mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada" tiene varios beneficios y aplicaciones potenciales como: Comprensión del comportamiento de las mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada, desarrollo de tecnologías energéticas y mejoras de la eficiencia y seguridad. En resumen, este proyecto puede contribuir al avance científico y tecnológico en el campo de las mezclas de

hidróxido de sodio y agua destilada, incluyendo aplicaciones en la generación de energía limpia y desarrollo de tecnologías más eficientes y seguras.

- ❖ La manufactura juega un papel fundamental en este proyecto, la producción eficiente y de alta calidad de los materiales hace que a través de procesos de fabricación tecnológicamente avanzados y bien planificados, ayudaron a que la celda de hidrogeno tipo seca tenga una hermeticidad eficiente sin fugas ya que al realizar un desbaste de 1 mm en la placa de acero para que él o ring descansa en ese espacio sea un empaque resistivo y hermético a diferencia con otras placas que usan un empaque de caucho de forma rectangular pero no garantizan un sellado correcto.

## RECOMENDACIONES

- Realizar a futuro un análisis de 11 gr de hidróxido de sodio en medio litro de agua destilada en adelante ya que se podrá comparar el comportamiento de la mezcla y se podrá detallar si sigue creciendo el nivel de ppm.
- En futuras investigaciones, se podrían explorar otras variables o ajustar las condiciones experimentales para optimizar tanto la precisión como la producción de hidrógeno en las mezclas de hidróxido de sodio y agua destilada.
- El diseño experimental por mezclas puede ser complejo y requiere un enfoque cuidadoso. Siempre asegurarse de tener en cuenta los principios básicos de diseño experimental y de consultar con expertos en el campo si es necesario.
- Antes de manipular el hidróxido de sodio, asegurarse de usar guantes de goma, gafas de seguridad y ropa protectora para evitar el contacto directo con la piel y los ojos. También es recomendable trabajar en un área bien ventilada para evitar la inhalación de los vapores.
- Al mezclar el hidróxido de sodio con agua destilada, añadir primero el hidróxido de sodio lentamente al agua, nunca al revés. Esto ayudará a evitar salpicaduras y reacciones violentas.
- La mezcla debe ser homogénea, se debe asegurar de agitar o mezclar bien la solución de hidróxido de sodio y agua destilada para asegurar una distribución uniforme de los ingredientes. Evita salpicaduras y derrames durante el proceso de mezcla.
- Antes de comenzar la manufactura de materiales, es importante realizar una planificación adecuada, definiendo los objetivos del proceso de fabricación.

## BIBLIOGRAFIA

- AEADE. (2022). Sector Automotriz en cifras. *AEADE*, 4-5.
- Alcántara, K. S. (2019). Un poco de todo sobre el HIDRÓGENO. *Ciencia*, 5-6.
- Deb, M., Sastry, G., Bose, P., & Banerjee, R. (2015). An experimental study on combustion, performance and emission analysis of a single cylinder, 4-stroke DI-diesel engine using hydrogen in dual fuel mode of operation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 8586-8598.
- Du, Y., Xiumin Yu, J. W., Wu, H., Dong, W., & Gu, J. (2016). Research on combustion and emission characteristics of a lean burn gasoline engine with hydrogen direct-injection. *International Journal of Hydrogen Energy*, 3240-3248.
- Gomez, M., Romero, R., Molina, R., Terrazas, S., & Nuñez, O. (2015). Uso de la metodología del diseño por mezclas en el sector agrícola. *Universidad Autonoma de la ciudad de Juarez*, 45.
- Guiracocha, B., & Banegas, D. (2023).
- Jhanga, S. R., Kang-Shin Chen, S.-L. L., Lin, Y.-C., & Cheng, C. L. (2016). Reducing pollutant emissions from a heavy-duty diesel engine by using hydrogen additions. *FUEL*, 89-95.
- Kahraman, E., Ozcanlı, S. C., & Ozerdem, B. (2007). Un estudio experimental sobre las características de rendimiento y emisión de un motor de encendido por chispa alimentado con hidrógeno. *Revista Internacional de energía del Hidrógeno*, 2066-2077.
- Kendall, K., Ye, S., & Liu, Z. (2023). The Hydrogen Fuel Cell Battery: Replacing the Combustion Engine in Heavy Vehicles. *Engineering*, 39-41.
- Nande, A., Szwaja, S., & Naber, J. (2008). Impact of EGR on Combustion Processes in a Hydrogen Fueled SI Engine. *SAE International*.
- NEWS. (2022). ¿Cuánto combustible consumieron los ecuatorianos en el 2022? *NEWS*, 5-6-7-8.

- Pesántes, 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*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana .
- Sanisaca, C., & Minchala, S. (2022). *Evaluación del comportamiento de una celda de hidrógeno tipo seca mediante la adquisición de datos determinando el nivel de producción del hidrógeno*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana .
- Soedolora, Y., Gürbüzb, H., & HakkiAkçay, I. (2019). Análisis de energía y exergía de un motor SI alimentado con hidrógeno: efecto del tiempo de encendido y la relación de compresión. *Energía*, 4-13.
- Tamayo, E., Rosales, C., Guzman, A., & Pazmiño, P. (2016). Efecto del uso de hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna. *ENFOQUE UTE*, 2.
- Teoha, Y. H., Cómob, H. G., LeC, T. D., Nguyend, H. T., Looa, D. L., Rashidmi, T., & Sher, F. (2022). Una revisión sobre la producción e implementación del hidrógeno como combustible verde en los motores de combustión interna. *ELSEVIER*, 4-5-6-12-13-14.



## ANEXOS

## Anexo 1. Datos técnicos del sensor MQ-8

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD

MQ-8

<http://www.hwsensor.com>**TECHNICAL DATA****MQ-8 GAS SENSOR****FEATURES**

- \* High sensitivity to Hydrogen (H<sub>2</sub>)
- \* Small sensitivity to alcohol, LPG,cooking fumes
- \* Stable and long life

**APPLICATION**

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of Hydrogen (H<sub>2</sub>), avoid the noise of alcohol and cooking fumes, LPG,CO.

**SPECIFICATIONS****A. Standard work condition**

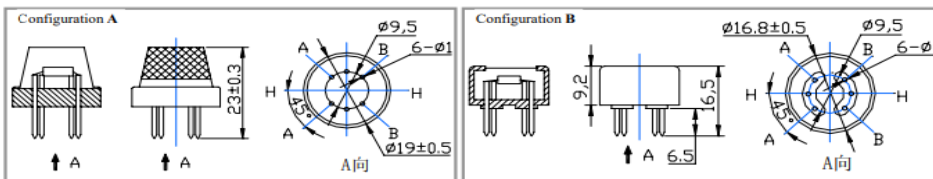
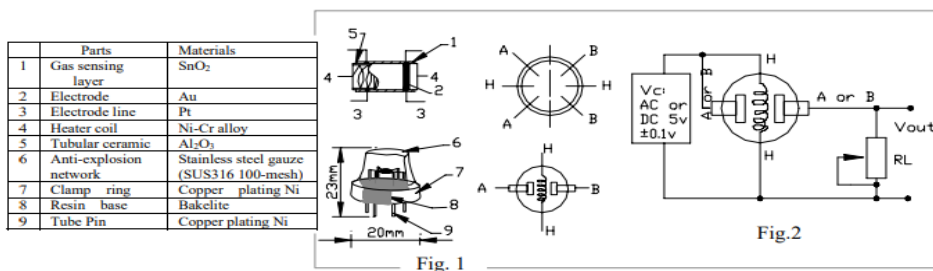
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
P <sub>L</sub>	Load resistance	10K Ω	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	31 ± 5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than800mW	

**B. Environment condition**

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T <sub>ao</sub>	Using Tem	-10℃-50℃	
T <sub>as</sub>	Storage Tem	-20℃-70℃	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

**C. Sensitivity characteristic**

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm H <sub>2</sub> )	Detecting concentration scope: 100-10000ppm Hydrogen (H <sub>2</sub> )
α (1000ppm/ 500ppmH <sub>2</sub> )	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	V <sub>c</sub> :5V±0.1 V <sub>H</sub> : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

**D. Structure and configuration, basic measuring circuit**

TEL: 86-371- 67169070 67169080 FAX: 86-371-67169090

E-mail: [sales@hwsensor.com](mailto:sales@hwsensor.com)

Structure and configuration of MQ-8 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro  $Al_2O_3$  ceramic tube, Tin Dioxide ( $SnO_2$ ) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-8 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

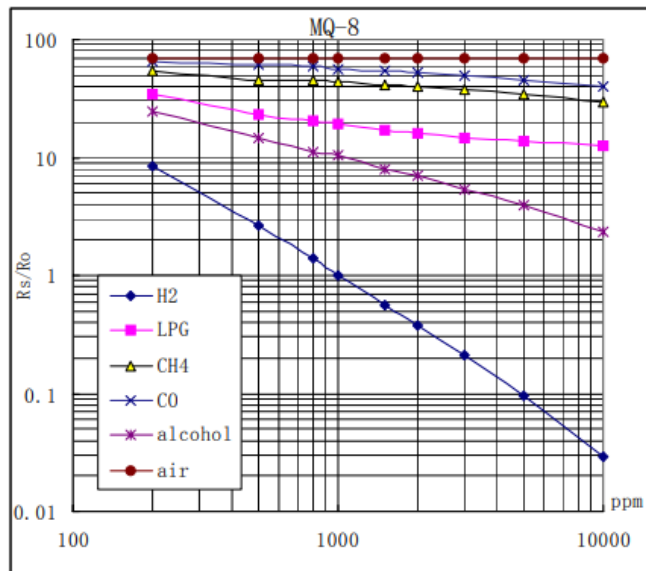


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-8

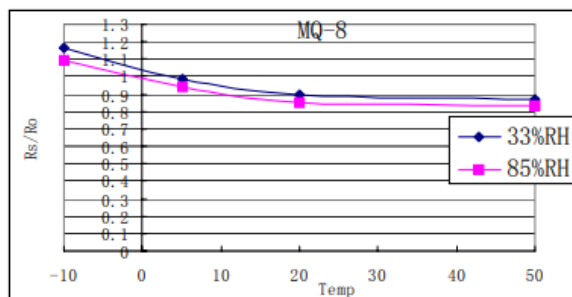


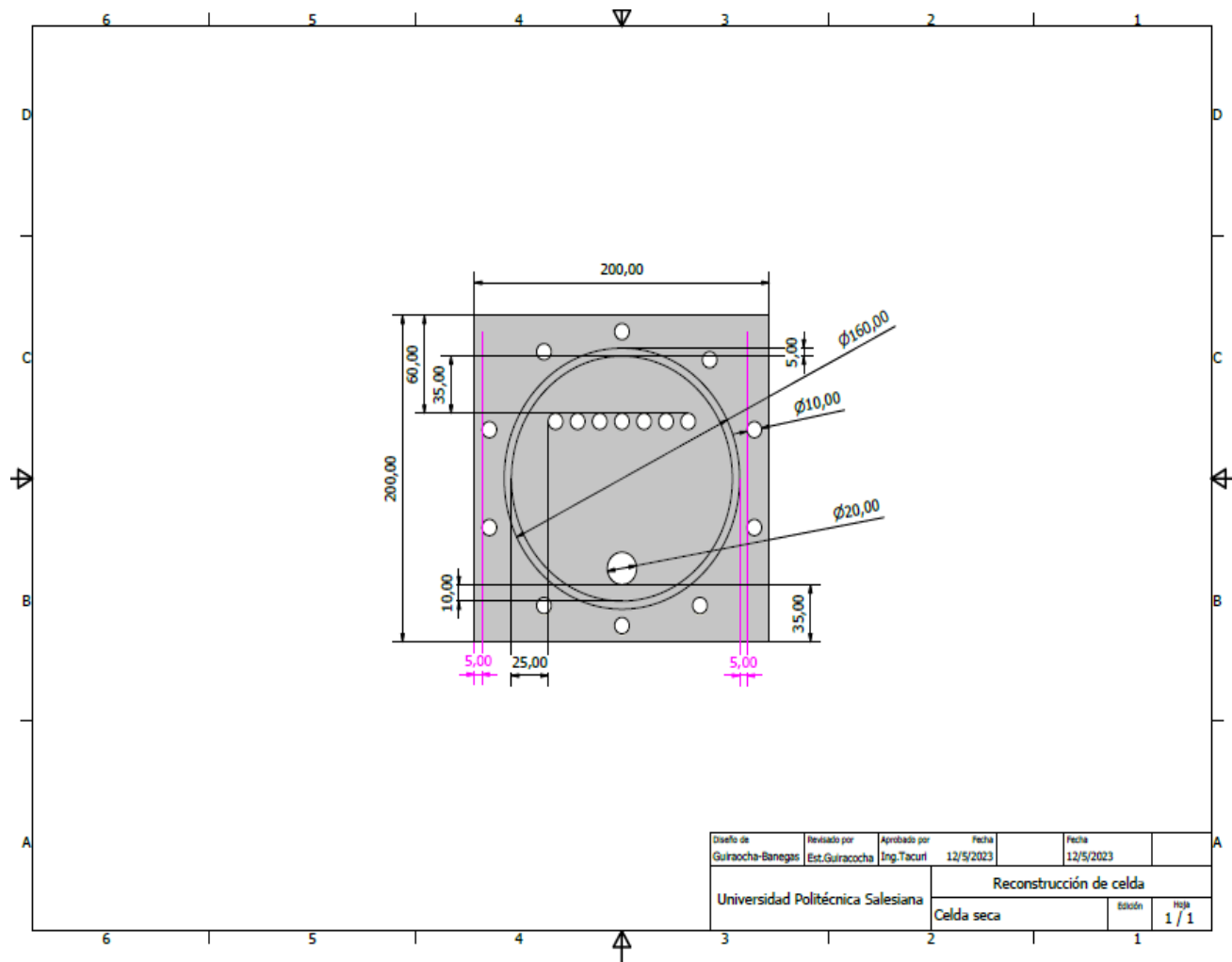
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-8 on temperature and humidity.  
 $R_o$ : sensor resistance at 1000ppm of  $H_2$  in air at 33%RH and 20 degree.  
 $R_s$ : sensor resistance at 1000ppm of  $H_2$  in air at different temperatures and humidities.

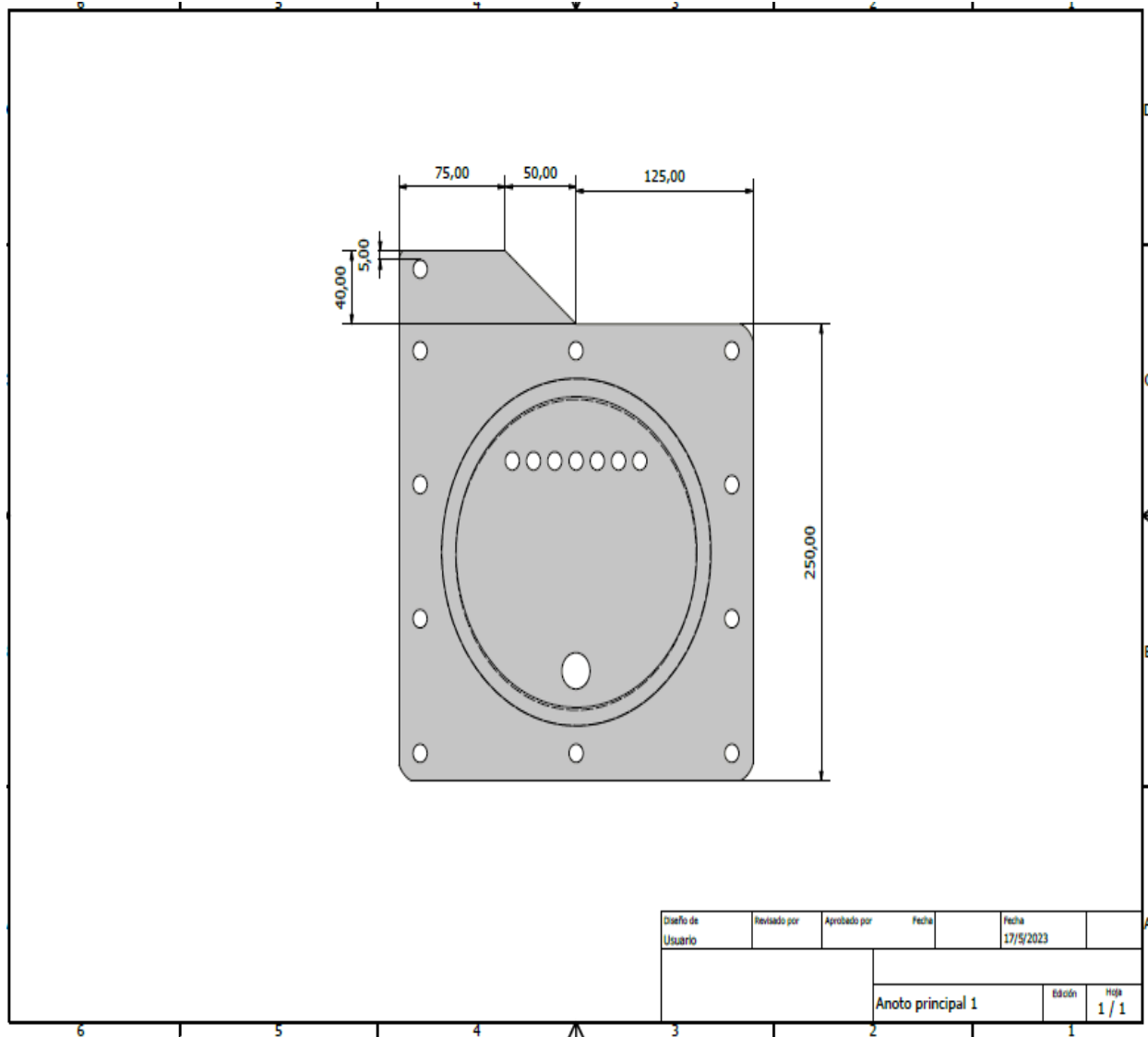
### SENSIVITY ADJUSTMENT

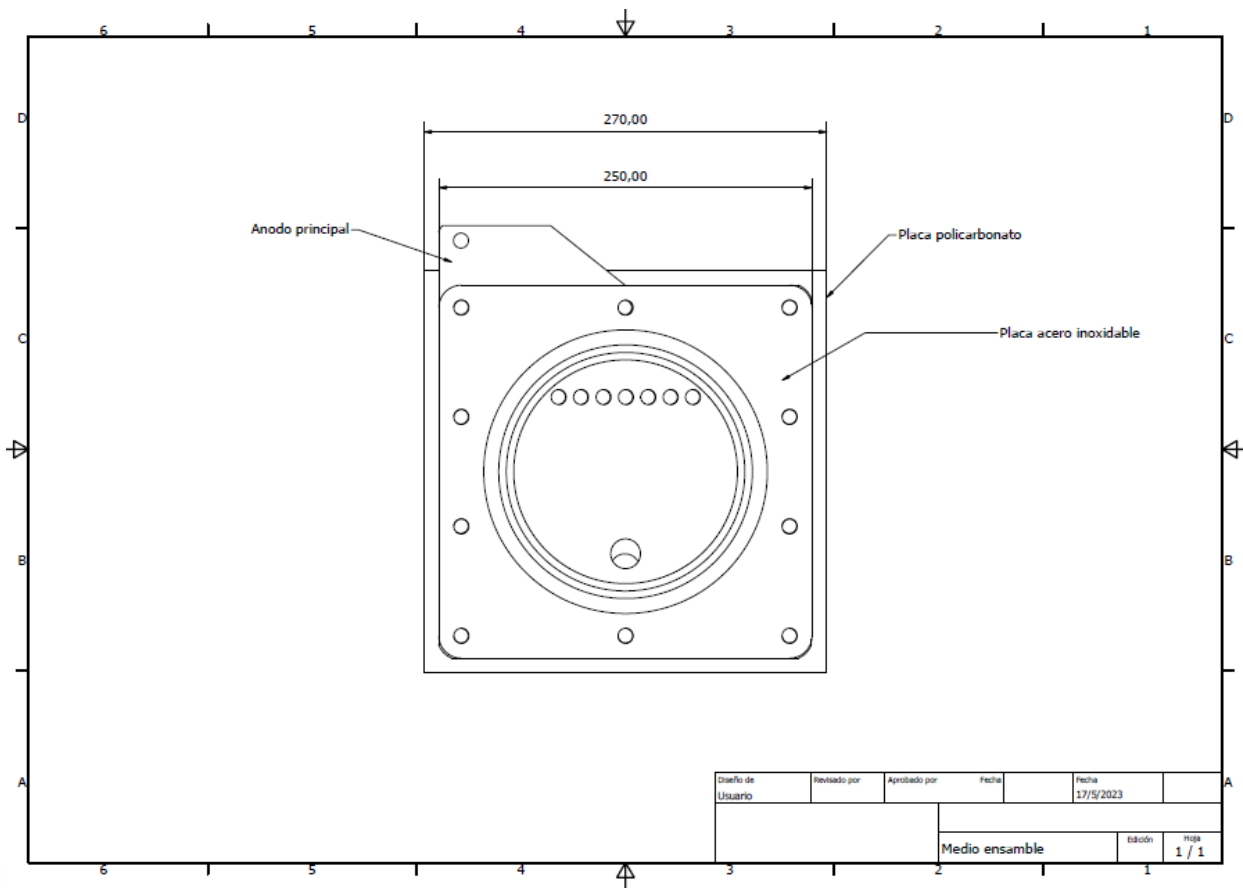
Resistance value of MQ-8 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm  $H_2$  concentration in air and use value of Load resistance ( $R_L$ ) about 10 K  $\Omega$  (5K  $\Omega$  to 33 K  $\Omega$ ).

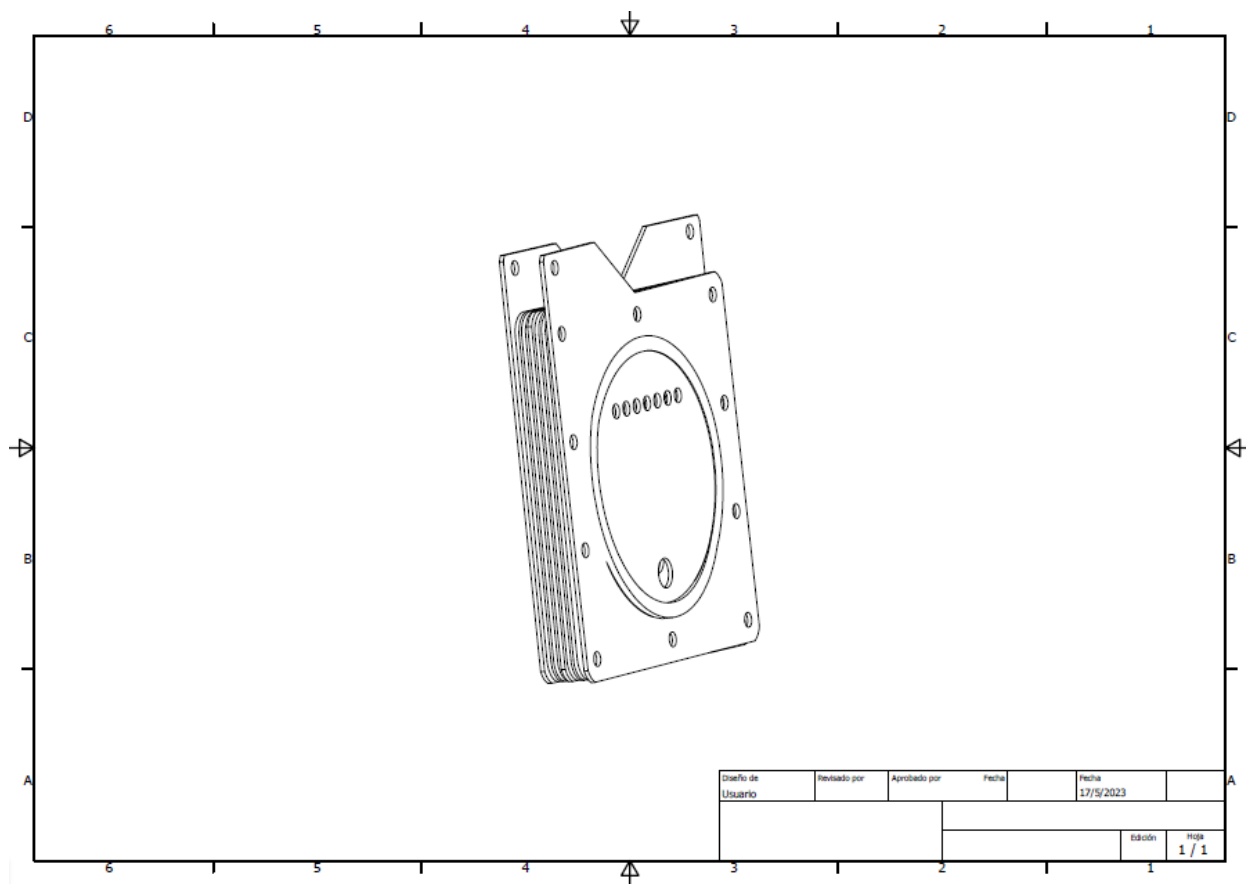
When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo 2. Diseño de la celda en el CAD Inventor Autodesk



















### Anexo 3: Registro de datos

 1 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	16 KB
 2 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	16 KB
 3 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	16 KB
 4 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	17 KB
 5 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	15 KB
 6 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	15 KB
 7 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	15 KB
 8 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	16 KB
 9 gr	23/6/2023 14:36	Hoja de cálculo d...	15 KB
 10 gr	23/6/2023 22:08	Hoja de cálculo d...	14 KB

## Anexo 4: Manufactura de los elementos





Anexo 5: Ensamble de la celda





## Anexo 6: Control de pruebas



