



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA**

TESIS

**“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE
HIDROGENO PARA PRODUCIR UN COMBUSTIBLE
ALTERNATIVO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN
INTERNA”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CHRISTIAN JAVIER SALAS ARENAS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRONICO**

LIMA - PERÚ

2016

CERTIFICADO

En mi carácter de asesor y como miembro del comité designado para revisar la tesis titulada: **CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA PRODUCIR UN COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA LA FACULTAD DE MECATRÓNICA**, PRESENTADO POR EL EGRESADO **SALAS ARENAS CHRISTIAN**, La hemos encontrado satisfactoria y recomiendo que sea aceptada como requisito parcial para optar al grado de Ingeniero en Mecatrónica.

Ing.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICADO DE AUTORIA

El presente trabajo titulado: **“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO PARA PRODUCIR UN COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA** , presentado por el egresado **SALAS ARENAS CHRISTIAN**, es reconocido como inédito y corresponde a la autoría de los citados.

SALAS ARENAS CHRISTIAN

DEDICATORIA

A DIOS

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

A MIS PADRES

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy en toda mi educación, tanto académica como la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado en el buen camino hasta ahora, en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia, a mi padre Celestino Salas, mi madre Maritza Arenas, mis hermanos; Por siempre haberme dado fuerza y apoyo incondicional y que me han ayudado y apoyado hasta donde estoy ahora.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
ABREVIATURA.....	xii
SIMBOLOGÍA.....	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
OZONO Y ESMOG	17
LLUVIA ÁCIDA.....	18
EFFECTO INVERNADERO: CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO	18
OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN (DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA)	
CAMPO.....	19
CONCEPTOS DEL CAMPO CIENTÍFICO DEL ESTUDIO	19
ASPECTO.....	20
ESPACIAL	20
TEMPORAL	20
OBJETIVOS.....	20
OBJETIVO GENERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	21
JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	21
JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	21
JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	21

CAPÍTULO I

1.1 GENERALIDADES DE LOS COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	22
1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HIDROGENO	27
1.3 USOS DEL HIDRÓGENO	28
1.4 PRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO	29
1.5 EL AGUA, DATOS GENERALES SOBRE ESTE COMPUESTO QUÍMICO	34
1.6 ELECTRÓLISIS	35
1.7 EL GENERADOR DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS	40
1.8 MODELOS DE GENERADORES DE HIDRÓGENO POR PROCESO DE ELECTRÓLISIS.....	41

CAPÍTULO II

2.1 CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO.....	47
2.2 DESARROLLO DEL PROCESO DE ARMADO.....	48
2.2.1 PRIMERA FASE DE ARMADO DEL GENERADOR	48
2.2.2 SEGUNDA FASE DE ARMADO DEL GENERADOR.....	63
2.2.3 TERCERA FASE DE ARMADO DEL GENERADOR	68
2.3 MONTAJE DEL GENERADOR EN UN VEHICULO.....	71

CAPÍTULO III

3.1 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	73
3.1.1 PRUEBAS REALIZADAS EN EL EQUIPO GENERADOR DE HIDRÓGENO EN LA OBTENCIÓN DE UN COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	73
3.1.2 HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH)	73
3.1.3 BICARBONATO DE SODIO (NaHC03)	74
3.1.4 HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH).....	74
3.2 RENDIMIENTO GRÁFICO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL EQUIPO GENERADOR DE HIDRÓGENO EN LA OBTENCIÓN DE UN	

COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	74
3.2.1 HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 25%	74
3.2.2 HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 27%	76
3.2.3 HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 50%	77
3.2.4 BICARBONATO DE SODIO (NaHC03) AL 7.5%	79
3.2.5 BICARBONATO DE SODIO (NaHC03) AL 5%	80
3.2.6 BICARBONATO DE SODIO (NaHC03) AL 8.4 %	81
3.2.7 HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) AL 40, 50, 98%.....	83
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	90

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Comparación de algunos combustibles alternativos contra lo combustibles tradicionales basados en petróleo usados en la Industria del transporte.....	23
Cuadro N° 2. Característica técnicas del amperímetro	64
Cuadro N° 3. Característica técnicas del voltímetro.....	65
Cuadro N° 4. Pruebas realizadas con hidróxido de potasio (KoH) al 25%	75
Cuadro N° 5. Rendimiento gráfico con hidróxido de potasio (KoH) al 25%	75
Cuadro N° 6. Pruebas realizadas con hidróxido de potasio (KoH) al 27%	76
Cuadro N° 7. Rendimiento gráfico con hidróxido de potasio (KoH) al 27%	76
Cuadro N° 8. Pruebas realizadas con hidróxido de potasio (KoH) al 50%	77
Cuadro N° 9. Rendimiento gráfico con hidróxido de potasio (KoH) al 50%	78
Cuadro N° 10. Pruebas realizadas con bicarbonato de sodio (NaHC03) al 7.5%	79
Cuadro N° 11. Rendimiento gráfico con bicarbonato de sodio (NaHC03) al 7.5%	79
Cuadro N° 12. Pruebas realizadas con bicarbonato de sodio (NaHC03) al 5%	80
Cuadro N° 13. Rendimiento gráfico con bicarbonato de sodio (NaHC03) al 5%	80
Cuadro N° 14. Pruebas realizadas con bicarbonato de sodio (NaHC03) al 8.4%	81
Cuadro N° 15. Rendimiento gráfico con bicarbonato de sodio (NaHC03) al 8.4%	82
Cuadro N° 16. Pruebas realizadas con Hidróxido de sodio (NaOH) al 40, 50, 98%	83
Cuadro N° 17. Rendimiento gráfico con Hidróxido de sodio (NaHO) al 40,80, 98%	83
Cuadro N° 18 Cuadro comparativo de la producción de hidrogeno según los siguientes productos químicos	85

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Reformador del proceso foto catalítico por láser inducido	33
Gráfico N° 2. Diagrama simplificado del proceso de electrolysis	36
Gráfico N° 3. Producción de hidrógeno mediante un generador por el método de electrólisis.....	38
Gráfico N° 4. Generador De Hidrógeno	40
Gráfico N° 5. Generador de celdas secas	41
Gráfico N° 6. Generador de celdas húmedas	42
Gráfico N° 7. Generador de hidrogeno instalado en la sala de maquinas de un buque.....	44
Gráfico N° 8. Generador de hidrogeno para motores de combustión interna de mediana capacidad	45
Gráfico N° 9. Generador de hidrogeno pequeño instalado en un vehículo	46
Gráfico N° 10. Plancha de acero inoxidable 316L	49
Gráfico N° 11. Placa de acero	50
Gráfico N° 12. Placa acrílica perforada.....	51
Gráfico N° 13. Juntas de neopreno	52
Gráfico N° 14. Accesorios para generador de celdas secas.....	53
Gráfico N° 15. Colocación de accesorios en la placa acrílica	55
Gráfico N° 16. Colocación de juntas de neopreno	55
Gráfico N° 17. Colocación de placas de alimentación	56
Gráfico N° 18. Placas de acero inoxidable y anillos de neopreno	56
Gráfico N° 19. Generador en sentido de ensamblaje.....	57
Gráfico N° 20. Colocación de la segunda placa.....	57
Gráfico N° 21. Instalación de pernos y espárragos.....	58
Gráfico N° 22. Preparación de cabina generadora	59
Gráfico N° 23. Junta de neopreno (Dimensión)	60
Gráfico N° 24. Placa de acero inoxidable 316 L (Neutra)	60
Gráfico N° 25. Placa de acero inoxidable 316 L (Positiva, negativa)	61
Gráfico N° 26. Placa de acrílico (Dimensión).....	61
Gráfico N° 27. Manguera de transporte de agua	62
Gráfico N° 28 Envase de amortiguamiento.....	62
Gráfico N° 29 Adecuación del tablero electric.....	63

Grafica N° 30. Amperímetro Siemens	64
Grafico N° 31. Voltímetro	65
Grafico N° 32. Interruptor de dos posiciones	66
Grafico N° 33. Base plástica para las placas-pernos	67
Grafico N° 34. Gráfico de instalación eléctrica.....	68
Grafico N° 35. Interruptor de alimentación.....	69
Grafico N° 36. Depósito de amortiguamiento de celdas húmedas	70
Grafico N° 37. Arrestallamas	71
Grafico N° 38. Generador instalado en un motor	72
Grafico N° 39. Generador instalado en un vehículo.....	72

ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
Cm	Centímetros
Cm ³	Centímetros Cúbicos
Fig	Figura
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
Kg/m ²	Kilogramos por metro Cuadrado
m	Metros
m ³	Metros Cúbicos
mm	Milímetros
ppm	Partes por Millón
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
°K	Grados Kelvin
°	Grados
di	Diámetro interior
de	Diámetro exterior
e	Energía por unidad de masa
MJ/Kg	Muja julios x Kg

SIMBOLOGÍA

Al	Aluminio
Ba	Bario
Ca	Calcio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Hierro
Be	Berilo
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
H ₂	Hidrogeno
H ₂ O	Agua
KoH	Hidrogeno de Potasio
Mo	Molibdeno
Na	Sodio
Mg	Magnesio
NaOH	Hidróxido de Sodio
Ni	Niquel
NH ₃	Amoniaco
NO ₂	Bióxido de Nitrógeno
P	Fósforo
Pb	Plomo
Sb	Antimonio
Si	Silicio
Sn	Estaño
V	Vanadio
Zn	Zinc
NaHCO ₃	Bicarbonato de Sodio

RESUMEN

Ante la contaminación ambiental existente generada por los combustibles orgánicos o fósiles, el hidrógeno es un combustible limpio cuando se quema con aire y produce emisiones no contaminantes. El método general utilizado fue analítico-acción, el objetivo general fue construir un generador de hidrógeno para producir un combustible alternativo que no atente contra el medio ambiente. Los resultados alcanzados indican que: Las ventajas principales del uso del hidrógeno es su ausencia de emisiones contaminantes.

El hidrógeno no es una energía primaria, es solo un vector para su transporte y utilización. Para producir hidrógeno hay que utilizar una fuente de energía primaria u otra forma de energía derivada como la electricidad. Actualmente, en gran escala, se emplea el gas natural, el petróleo y el carbón vía gasificación. En escala menor, la electrolisis. El almacenamiento del hidrógeno gas no presenta dificultades pero requiere un gran desarrollo en su aplicación a la automoción en forma líquida. En relación a identificar el proceso de funcionamiento de un Generador de Hidrógeno, podemos mencionar que los mismos se han diseñado como alternativas inocuas a las botellas de hidrógeno de alta presión. Solo se necesitará disponer de agua desionizada y un suministro eléctrico para producir hidrógeno durante semanas y de forma ininterrumpida. Se han definido 3 grandes fases para la construcción de un generador de Hidrógeno. Primera fase: cortes y ensamblado, Segunda fase: armado del tablero eléctrico del generador de hidrogeno, Tercera fase: instalación eléctrica del generador de celdas. Una vez construido se expone el funcionamiento del generador de Hidrógeno, en donde la generación del hidrógeno es evidente a una presión de 1bar aproximadamente.

PALABRAS CLAVES: GENERADOR DE HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE ALTERNATIVO, PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación académica, previo al grado de ingeniero Mecatrónico, es de carácter experimental y tiene como principal propósito el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un generador de hidrógeno, (combustible limpio), para el laboratorio de pruebas de la Facultad de Mecatrónica en la Universidad Alas Peruanas; con la finalidad de que las nuevas generaciones de estudiantes, cuenten con una herramienta más en su proceso de formación.

Todo el enfoque y desarrollo de esta investigación se centra en la interrogante fundamental que da sentido y forma a todos nuestros planteamientos: ¿El generador de

Hidrógeno en el laboratorio de pruebas de la Facultad de Mecatrónica, se constituirá en una herramienta adecuada para que se continúe investigando en la sustitución de combustibles de alta contaminación, por combustibles limpios, (hidrógeno) para los motores de combustión interna?.

Esta pregunta, se presta a múltiples respuestas y a variados planteamientos, pero en el caso que me ocupa, cabe destacar que para lograr mi cometido, apliqué un tratamiento de la misma, en forma sistemática, metodológica y de razonamiento lógico, acorde con mi formación recibida en las aulas universitarias. Cabe señalar, que la propuesta nace de la necesidad apremiante que tiene nuestra sociedad, el País y la humanidad en general, para enfrentar el tema de la contaminación ambiental que está ocasionando serios problemas a la convivencia del ser humano y al resto de seres vivos.

Todo este problema es ocasionado por la utilización de combustibles fósiles en los diferentes tipos de motores de combustión interna, que se utilizan para todas las actividades que desarrolla el hombre en el mar, tierra y aire. La sociedad de consumo y el modernismo que se inicia con la Revolución Industrial, en Europa en 1750, con la invención de la máquina a vapor y la posterior invención del motor de combustión interna, ha determinado que prácticamente todas las actividades industriales, usan la fuerza motriz necesaria para los procesos de conversión de materia prima en bienes de consumo, este tipo de motores que usan combustibles derivados del petróleo.

También este tipo de motores, son utilizados masivamente por la sociedad mundial para su movilidad diaria individual, la transportación pública terrestre y aérea, en fin los motores de combustión interna, están presentes hasta en la maquinaria agrícola, generadores de energía eléctrica, etc. El consumo de los derivados del petróleo para los motores de combustión interna ha dado como resultado una contaminación atmosférica agresiva en todo el planeta, especialmente en las megas ciudades con alto nivel de industrialización.

Por este motivo, el presente estudio experimental, podría encontrar algún accionamiento que pueda sustituir eficazmente a los combustibles existentes para los motores de combustión interna, concitando un gran número de líneas de investigación, cuyos resultados se encuentran en el umbral de la competitividad. Aunque no pueden descartarse otras tecnologías (acumuladores, turbinas de gas, motores duales, etc.), el motor eléctrico alimentado por pilas de combustible es, probablemente, la alternativa que en estos momentos parece más próxima a ser implantada comercialmente. Se han realizado muchas investigaciones sobre combustibles alternativos, la elección del mismo, ayudará fundamentalmente a los vehículos del futuro lo que ocupa un lugar preferente entre los problemas a solventar.

El hidrógeno, cuya combustión no tiene consecuencias sobre la atmósfera, sería sin duda el combustible importante en motores de combustión interna, pero no sólo es importante la adecuación tecnológica, los aspectos de la logística de distribución pueden llegar a ser decisivos en su selección. Su principal ventaja es que su combustión produce solo agua, lo que significa que no emite gases de efecto invernadero, como ocurre con los combustibles fósiles e incluso con la biomasa. Esto le hace particularmente apropiado para sustituir a los derivados del petróleo, la sustitución de éstos, sin embargo, tiene el grave inconveniente de no ser un combustible primario, hay que producirlo con otros. Su importancia radica en que es buen vector para transportar energía, la posibilidad de su almacenamiento le hace competir favorablemente con la electricidad en algunos casos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De la revisión bibliográfica acerca del problema de la contaminación ambiental

debido al uso de combustibles derivados del petróleo, en los motores de combustión interna, el planteamiento del problema, es el siguiente: históricamente encontramos que desde 1700 los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural se han utilizado para impulsar el desarrollo industrial y las comodidades de la vida moderna, pero ha sido imposible evitar efectos colaterales indeseables. Desde la tierra para cultivo, hasta el agua para consumo humano y el aire que respiramos, el ambiente ha pagado un costo muy elevado. Efectos como el smog, la lluvia ácida, el calentamiento global y el cambio climático se deben a la combustión de los fósiles.

La fuente más grande de contaminación del aire son los motores de los vehículos, los cuales liberan contaminantes que se agrupan como hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO).¹

OZONO Y ESMOG

El smog está constituido sobre todo de ozono ubicado al nivel del suelo (O_3), pero también contiene numerosas sustancias químicas, entre las que se hallan monóxido de carbono (CO), partículas en suspensión, tales como hollín y polvo, y compuestos orgánicos volátiles (COV) como benceno, butano y otros hidrocarburos. El ozono dañino ubicado al nivel del suelo no debe confundirse con la alta capa de ozono útil de la estratosfera, y que protege a la Tierra de los dañinos rayos ultravioleta del Sol.

El ozono ubicado al nivel del suelo es un contaminante con varios efectos adversos para la Salud.² Otro de los grandes contaminantes del smog es el monóxido de carbono, un gas venenoso incoloro, inoloro e insípido producido sobre todo por los motores de combustión y que se acumula en grandes cantidades en áreas con congestión de tránsito. El smog también contiene partículas suspendidas como polvo y hollín emitidas por autos e instalaciones industriales. Estas clases de partículas irritan los ojos y los pulmones porque contienen ácidos y metales.

¹ ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 86

² ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 87

Otro de los grandes contaminantes del smog es el monóxido de carbono, un gas venenoso incoloro, inoloro e insípido producido sobre todo por los motores de combustión y que se acumula en grandes cantidades en áreas con congestión de tránsito. El smog también contiene partículas suspendidas como polvo y hollín emitidas por autos e instalaciones industriales. Esta clase de partículas irritan los ojos y los pulmones porque contienen ácidos y metales.

LLUVIA ÁCIDA

Los combustibles fósiles son mezclas de varias sustancias químicas, entre las que se hallan pequeñas cantidades de azufre que reaccionan con el oxígeno para formar dióxido de azufre (SO_2), un contaminante del aire. La fuente principal de SO_2 son las centrales eléctricas que queman carbón mineral con alto contenido de azufre.

Los óxidos de azufre y los óxidos nítricos reaccionan en lo alto de la atmósfera con vapor de agua y otras sustancias químicas, en presencia de luz solar, para formar ácidos sulfúrico y nítrico. Estos ácidos normalmente se disuelven en las gotas de agua suspendidas en las nubes o la niebla, volviéndolas tan ácidas como el jugo de limón, para después ser transportadas del aire al suelo por la lluvia o la nieve. Este fenómeno se conoce como lluvia ácida.³

EFEECTO INVERNADERO: CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

El efecto invernadero también se experimenta a gran escala en la Tierra, cuya superficies calienta durante el día como resultado de la absorción de energía solar y se enfría por la noche al irradiar parte de su energía hacia el espacio en forma de radiación infrarroja. El dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua y algunos otros gases como el metano y los óxidos de nitrógeno actúan como una sábana y mantienen caliente a nuestro planeta durante la noche al bloquear el calor que éste irradia. Por consiguiente, se les llama “gases de efecto invernadero”, de los cuales el CO_2 es el principal componente.

³ ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. Nº 88

Comúnmente, el vapor de agua se elimina de esta lista dado que desciende en forma de lluvia o nieve como parte del ciclo del agua; por lo tanto, las actividades humanas para producir agua (por ejemplo, quemar combustibles fósiles) no marcan la diferencia en su concentración dentro de la atmósfera (que sobre todo se debe a la evaporación de ríos, lagos, océanos, etc.).

Sin embargo, el CO₂ es diferente, porque las actividades de la gente sí marcan una diferencia en la concentración de esta sustancia en la atmósfera. Aunque el efecto invernadero hace posible la vida en la Tierra, ya que éste la mantiene caliente (cerca de 30°C más caliente), pero las cantidades excesivas de estos gases de efecto invernadero perturban el delicado equilibrio al atrapar demasiada energía, lo que causa el incremento de la temperatura promedio del planeta y cambios en el clima de algunos lugares.

Estas consecuencias indeseables del efecto invernadero se denominan calentamiento global o cambio climático global. El cambio climático global se debe al uso excesivo de combustibles fósiles como carbón, derivados del petróleo y gas natural en las centrales

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

CAMPO

Química, Química-Física y Termodinámica

CONCEPTOS DEL CAMPO CIENTÍFICO DEL ESTUDIO

- **La química.** Es la ciencia experimental que estudia los fenómenos químicos, entendiéndose por tales, las modificaciones que sufren los cuerpos en su naturaleza o modo de ser. Se diferencian los fenómenos químicos de los físicos, pues en estos últimos no hay variación en la materia.⁴
- **Química-Física.** La Química trata de la materia y sus transformaciones y la física se refiere a la energía y sus transformaciones. Muchos problemas tanto en química como en física están relacionados con interacciones entre la energía y la materia, éstos son los problemas que constituyen la base fundamental del objeto de la química-física.

⁴ <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/quimica#ixzz2lqekCMQ2>

Se ha dicho que la química trata de la combinación de los átomos y la física de la fuerza entre ellos, por lo tanto la combinación atómica implica fuerzas atómicas y uno de los fines de la química-física es ver hasta donde las interacciones químicas observadas entre átomos y moléculas se pueden interpretar mediante las fuerzas existentes en el interior de los átomos y las que hay entre ellos. ⁵

- **Termodinámica.** La termodinámica es la ciencia de la energía. Se considera a la energía como la capacidad para causar cambios. El principio de la conservación de la energía que expresa, que durante una interacción, la energía puede cambiar de una forma a otra pero su cantidad permanece constante, es decir la energía no se crea ni se destruye. ⁶

ASPECTO

Producción de hidrógeno como combustible limpio.

ESPACIAL

Laboratorio de la Facultad de Mecatrónica de la Universidad Alas Peruanas.

TEMPORAL

2013 - 2014.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Producir hidrógeno, experimentalmente, en base a la electrólisis del agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir el generador de hidrogeno para el laboratorio de la Facultad de Mecatrónica.
- Realizar varias pruebas en el generador de hidrógeno, usando en el electrolito tres compuestos químicos, mezclados individualmente con el agua: hidróxido de potasio KOH, bicarbonato de sodio NaHCO_3 ; e, hidróxido de sodio NaOH.

⁵ GLASSTONE Samuel ´ Tratado de Química-Física sétima edición, Aguilar S.A., Madrid. Pág. IX.

⁶ CENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 2

- Demostrar que el hidrógeno producido en las pruebas, sirve en calidad y cantidad, para ser utilizado en un motor de combustión interna.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

▪ JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La justificación teórica se fundamenta en el hecho de que el generador experimental de hidrógeno será una importante herramienta para mejorar el conocimiento teórico de los estudiantes de la Facultad de Mecatrónica.

▪ JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Mediante la construcción y puesta en marcha a nivel experimental, del generador de hidrógeno en el laboratorio de la Facultad de Mecatrónica, de la UAP, permitirá a los estudiantes, observar y valorar, gracias a los indicadores cualitativos y cuantitativos, la importancia del hidrógeno para ser usado como combustible limpio en los motores de combustión interna.

▪ JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

El funcionamiento de los motores de combustión interna, que usan como combustible derivados de petróleo, generan una contaminación atmosférica agresiva en todo el planeta, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, de los cuales el CO₂ es el principal componente. Por lo tanto el proyecto propuesto para la construcción de un generador de hidrógeno a fin de producir un combustible alternativo en motores de combustión interna, se justifica totalmente, porque el hidrógeno está clasificado científicamente, en la categoría de los combustibles limpios.

▪ JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El presente proyecto tiene su justificación económica en los resultados de diferentes estudios internacionales, según el proyecto HyWays, financiado por la Comunidad Económica Europea, 2008: "La energía del hidrógeno podría reducir un 40% el consumo de petróleo en el transporte por carretera para el año 2050, que propone una hoja de ruta para superar los obstáculos y potenciar la competitividad en este sector clave".⁷

⁷ http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-ecoinnovation/policiesm/eu/171_es.

CAPÍTULO I

1.1 GENERALIDADES DE LOS COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

1.1.1 COMBUSTIBLES Y COMBUSTIÓN

Cualquier material que puede quemarse para liberar energía recibe el nombre de combustible. La mayoría de los combustibles conocidos se componen principalmente de hidrógeno y carbono. Reciben el nombre de combustibles hidrocarburos y se denotan por la fórmula general C_nH_m . Los combustibles hidrocarburos existen en todas las fases, y algunos son el carbón, la gasolina y el gas natural.

La mayor parte de los combustibles hidrocarburos líquidos son una mezcla de numerosos hidrocarburos y se obtienen del petróleo crudo mediante destilación. Los hidrocarburos más volátiles se vaporizan primero, formando lo que se conoce como gasolina. Los combustibles menos volátiles que se obtienen durante la destilación son el **queroseno**, el diesel y el combustóleo.

Aunque los combustibles hidrocarburos líquidos son mezclas de muchos hidrocarburos diferentes, por conveniencia suelen considerarse como un solo, hidrocarburo. Por ejemplo, la gasolina se trata como octano $C_{12}H_{26}$. Otro hidrocarburo líquido común es él es el alcohol metílico, CH_3OH al que también se le llama metanol y se usa en algunas mezclas de gasolina. El gas natural (combustible hidrocarburo gaseoso), que es una mezcla de metano y cantidades más pequeñas de otros gases, algunas veces se trata como metano. CH_4 , por simplicidad.

El gas natural es producido en pozos de gas o pozos de petróleo ricos en gas natural. Principalmente está compuesto de metano, pero también contiene pequeñas cantidades de etano, propano, hidrógeno, helio, dióxido de carbono, nitrógeno, sulfato de hidrógeno y vapor de agua. El gas licuado de petróleo (LPG. por sus siglas en inglés *liquefied petroleum gas*) es un subproducto del procesamiento del gas natural o

de la refinación del petróleo crudo. Consiste principalmente de propano.

Los vehículos son una fuente importante de contaminantes del aire, como óxidos nítricos, monóxido de carbono e hidrocarburos, así como el dióxido de carbono, y por ende existe un creciente cambio en la industria del transporte para sustituir los combustibles tradicionales basados en petróleo (como la gasolina y el combustible diesel) por combustibles alternativos de quema limpia más amigables con el ambiente, como el gas natural, alcoholes (etanol y metanol), gas licuado de petróleo (LPG) e hidrógeno. El uso de autos eléctricos también está al alza.⁸

CUADRO N° 1

COMPARACIÓN DE ALGUNOS COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS CONTRA LOS COMBUSTIBLES TRADICIONALES BASADOS EN PETRÓLEO USADOS EN LA INDUSTRIA DEL TRANSPORTE

Combustible	Contenido Energético	Equivalencia,* en gasolina,
Gasolina	31 850	1
Diesel ligero	33170	0.96
Diesel pesado	35800	0.89
LPG (gas licuado de petróleo, Principalmente propano.	23410	1.36
Etanol (o alcohol etílico)	29420	1.08
Metanol (o alcohol metílico)	18210	1.75
CNG (gas natural comprimido, Principalmente metano, a 200 atm)	8080	3.94
LNG (gas natural licuado, Principalmente metano)	20490	1.55

* Cantidad de combustible cuyo contenido es igual a la energía contenida en 1 litro de gasolina.

Fuente: ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica

Elaboración: Menéndez Vera Ed, Pérez Bravo Ángel y Rivero Egúez Jorge

⁸ ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 772

Una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía recibe el nombre de combustión. El oxidante empleado con mayor frecuencia en los procesos de combustión es el aire, por obvias razones (es gratuito y se consigue fácilmente). El oxígeno puro, O_2 , se emplea como oxidante sólo en algunas aplicaciones especializadas, como el corte y la soldadura, donde no se puede utilizar aire."En una base molar o volumétrica, el aire seco está compuesto por 20.9 % de oxígeno, 78.1 % de nitrógeno, 0.9 por ciento de argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, helio, neón e hidrógeno. En el análisis de los procesos de combustión, el argón en el aire se trata como nitrógeno, en tanto que los gases que existen en cantidades muy pequeñas se descartan. De modo que el aire seco puede considerarse aproximadamente como 21% de oxígeno y 79 % de nitrógeno en números molares.⁹

Las temperaturas de ignición mínimas aproximadas de varias sustancias del aire atmosférico son 260 °C para la gasolina, 400 °C para el carbón, 580 °C para el hidrogeno, 610 °C para el monóxido de carbono y 630 °C para el metano. Además, las proporciones del combustible y del aire deben estar en un nivel adecuado para que comience la combustión.¹⁰

1.1.2 MÁQUINAS TÉRMICAS

Las máquinas térmicas difieren bastante entre sí, pero es posible caracterizarlas a todas de la siguiente manera:

- a) Reciben calor de una fuente a temperatura alta (energía solar, horno de petróleo, reactor nuclear, etc.).
- b) Convierten parte de este calor en trabajo (por lo general en la forma de una flecha rotatoria).

⁹ ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 773.

¹⁰ ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 774.

- c) Rechazan el calor de desecho hacia un sumidero de calor de baja temperatura (la atmósfera, los ríos, etc).
- d) Operan en un ciclo.¹¹

1.1.3 CICLOS DE POTENCIA DE GAS

Los dispositivos o sistemas que se usan para producir una salida neta de potencia se llaman a menudo motores o máquinas térmicas, y los ciclos termodinámicos en los que operan se llaman ciclos de potencia.

Los ciclos termodinámicos se pueden también clasificar como ciclos de gas y ciclos de vapor, dependiendo de la fase del fluido de trabajo. En los ciclos de gas, el fluido de trabajo permanece en la fase gaseosa durante todo el ciclo, mientras que en los ciclos de vapor, el fluido de trabajo existe en fase de vapor durante una parte del ciclo y en fase líquida durante otra parte.

Las máquinas térmicas se clasifican como las de combustión interna y las de combustión externa, dependiendo de cómo se suministra calor al fluido de trabajo. En las máquinas de combustión externa (como son las plantas termoeléctricas que usaban vapor de agua) el calor se suministra al fluido de trabajo desde una fuente externa como un quemador, un pozo geotérmico, un reactor nuclear o incluso el Sol. En las máquinas de combustión interna (como los motores de automóvil), esto se hace quemando el combustible dentro de los límites del sistema.

1.1.4 CICLO DIÉSEL: EL CICLO IDEAL PARA LAS MÁQUINAS DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN

El ciclo Diesel es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes. El motor por compresión fue propuesto por Rudolph Diesel, en la década de 1890.

¹¹ ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 282

En los motores de encendido por chispa (motores de gasolina), la mezcla de aire y combustible se comprime hasta una temperatura inferior a la temperatura de autoencendido del combustible y el proceso de combustión se inicia al encender una bujía.

En los motores por compresión (motores diesel) el aire se comprime hasta una temperatura que es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, y la combustión inicia al contacto, cuando el combustible se inyecta dentro de este aire caliente. Por lo tanto, en los motores diesel la bujía y el carburador son sustituidos por un inyector de combustible.

El proceso de inyección de combustible en los motores diesel empieza cuando el émbolo se aproxima al PMS y continúa durante la primera parte de la carrera de potencia. Por lo tanto, en estos motores el proceso de combustión sucede durante un periodo más largo. Debido a esta mayor duración, el proceso de combustión, en el ciclo Diesel ideal se obtiene como un proceso de adición de calor a presión constante.¹²

La mayor eficiencia y el menor costo de combustible de los motores diesel los convierte en la opción más indicada para aplicaciones que requieren cantidades relativamente grandes de potencia, como los motores de locomotoras, las unidades de generación de electricidad de emergencia, grandes barcos y pesados camiones.

En los motores de ignición y compresión de alta velocidad, se inyecta combustible en la cámara de combustión con una rapidez mucho mayor en comparación con los primeros motores diesel. El combustible inicia su ignición en una etapa avanzada del ciclo de compresión y, en consecuencia, parte de la combustión tiene lugar casi a volumen constante. La inyección de combustible continúa hasta que el pistón alcanza el centro muerto superior, y la combustión del combustible mantiene alta la presión hasta bien entrado el ciclo de expansión.

¹² ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 504

Así, el proceso completo de combustión se puede modelar mejor como la combinación de procesos a volumen constante y a presión constante. El ciclo ideal basado en este concepto recibe el nombre de ciclo dual.¹³

1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HIDROGENO

La investigación bibliográfica acerca de las características físicas y químicas del hidrógeno, determina que es el primer elemento de la tabla periódica; es un gas incoloro inodoro e insípido, compuesto de moléculas diatómicas, H₂. El átomo de hidrógeno, símbolo H, consta de un núcleo de unidad de carga positiva y un solo electrón. Tiene número atómico 1 y peso atómico de 1.00797 gr/mol. Es uno de los constituyentes principales del agua y de toda la materia orgánica. Existen 3 isótopos del hidrógeno: el protio, de masa 1, que se encuentra en más del 99.98% del elemento natural; el deuterio, de masa 2, que se encuentra en la naturaleza aproximadamente en un 0.02%, y el tritio, de masa 3, que aparece en pequeñas cantidades en la naturaleza, pero que puede producirse artificialmente por medio de varias reacciones nucleares.¹⁴

El hidrógeno común tiene un peso molecular de 2.01594 uma. El gas tiene una densidad de 0.071 g/l a 0°C y 1 atm. Su densidad relativa, comparada con la del aire, es de 0.0695. El hidrógeno es la sustancia más inflamable de todas las que se conocen. El hidrógeno es un poco más soluble en disolventes orgánicos que en el agua. Muchos metales absorben hidrógeno. La adsorción del hidrógeno en el acero puede volverlo quebradizo, lo que lleva a fallas en el equipo para procesos químicos.

1.2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS

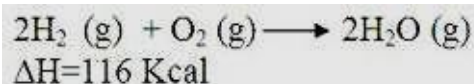
Nombre	Hidrógeno
Número atómico	1
Valencia	1
Estado de oxidación	+1
Electronegatividad	2.1
Radio covalente (Å)	0,37
Radio iónico (Å)	2,08

¹³CENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012, pág. N° 505

¹⁴<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/htm#ixzz2HtaXgyM>

Radio atómico (Å)	-
Configuración electrónica	1s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	13,65
Masa atómica (g/mol)	1,00797
Densidad (g/ml)	0,071
Punto de ebullición (°C)	-252,7
Punto de fusión (°C)	-259,2
Descubridor	Boyle en 1671

Es capaz de combinarse con la mayoría de los elementos cuando se tienen las condiciones adecuadas. El hidrógeno tiene gran afinidad con el oxígeno, con el cual se combina en frío muy lentamente, pero en presencia de una llama o de una chispa eléctrica lo hace casi instantáneamente con explosión. Por esto, las mezclas de hidrógeno y aire deben manejarse con mucha precaución. La reacción es:



La ecuación anterior nos indica la gran cantidad de energía desprendida por la reacción.

Una propiedad muy importante del hidrógeno es su poder reductor. En efecto, a altas temperaturas el hidrógeno reacciona con algunos óxidos reduciéndolos.

1.3 USOS DEL HIDRÓGENO¹⁵

- Se utiliza para el procesar combustibles fósiles.
- Se utiliza para producir amoníaco utilizado en los productos comunes de limpieza del hogar.
- El hidrógeno se utiliza como un agente hidrogenante para producir metanol y convertir aceites y grasas no saturada insalubres en aceites y grasas saturadas.
- El punto triple del hidrógeno (la temperatura a la que los 3 estados, sólido, líquido y gaseoso están en equilibrio) puede utilizarse para calibrar algunos termómetros.

¹⁵ <http://es.scribd.com/doc/11562376/Aplicacione-Del-Hidrogeno>

- El tritio, un isótopo radioactivo de hidrógeno, se produce en las reacciones nucleares. Se puede utilizar para fabricar bombas de hidrógeno y actúa como una fuente de radiación en pinturas luminosas. En las ciencias biológicas, el tritio se utiliza a veces como un marcador isotópico.
- El hidrógeno (ya sea utilizado por sí solo o combinado con nitrógeno) se utiliza en plantas de fabricación de muchos productos para determinar si hay fugas, inclusive detectar fugas en los envases de alimentos.
- El hidrógeno se utiliza como refrigerante rotor en generadores eléctricos.
- El hidrógeno en estado gaseoso se usa como un gas de protección en la soldadura de hidrógeno atómico.
- También se usa en la producción de ácido clorhídrico, utilizado ampliamente en las industrias químicas.
- El gas de hidrógeno se utiliza para reducir muchos minerales metálicos.
- Puede ser utilizado para crear agua.

1.4 PRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO

Ante la imperiosa necesidad que tiene la humanidad, para mitigar el impacto ambiental causado por la acumulación atmosférica de dióxido de carbono, gas de efecto de invernadero que produce calentamiento global, y, que proviene del funcionamiento de los motores de combustión interna, que utilizan combustibles derivados del petróleo, la comunidad científica internacional, al momento, despliega un sinnúmero de investigaciones y estudios, que permitan encontrar un método para la obtención de hidrógeno, que sea seguro, ecológico y a la vez mucho más barato que el combustible tradicional.

A continuación, se describen varios de estos métodos:

▪ **Producción Biológica de Hidrógeno**¹⁶

La producción biológica de hidrógeno se lleva a cabo en un biorreactor basado en la producción de hidrógeno de las algas. Las algas (específicamente la *chlamydomonas reinhardtii* y *chlamydomonas moewusii*) producen hidrógeno bajo ciertas condiciones.

¹⁶ http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/39128/hidrogenasa

Ésta es una reacción que ocurre naturalmente y que puede ser manipulada para nuestro beneficio. Existen microorganismos fotosintéticos capaces de redirigir parte de la energía solar captada durante la fotosíntesis hacia la producción de hidrógeno en un proceso que se conoce como fotobiólisis.

- **Producción Fotobiológica con Luz Solar¹⁷**

Esta producción implica la utilización de la luz solar, de un componente biológico, de catalizadores y de un sistema controlado. Organismos, algas y bacterias específicas, producen hidrógeno como subproducto de sus procesos metabólicos. Estos organismos viven generalmente en agua y dividen el agua en sus componentes elementales.

- **Producción de Hidrógeno por Medio de La Hidrogenasa¹⁸**

La hidrogenasa es una proteína perteneciente al grupo de enzimas que catalizan reacciones originalmente en los sistemas biológicos, transformándolo en dos átomos de hidrógeno separados cargados positivamente (lon hidrógeno) de tal manera que éste se encuentra listo para reaccionar con cualquier otro elemento con afinidad que se le presente. ¹⁹

- **Producción de Hidrógeno a partir de residuos mediante fermentación**

El aprovechamiento energético de residuos por métodos biológicos se suele circunscribir a la producción de metano en procesos de digestión anaerobia. Sin embargo, existen procesos biológicos, como la denominada fermentación oscura, que permiten obtener hidrógeno en lugar de metano como subproducto final de la conversión anaerobia de la materia orgánica.

20/ 21

Actualmente, la valorización energética de residuos orgánicos y biomasa mediante procesos biológicos se realiza, fundamentalmente, mediante la denominada digestión

¹⁷ http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/39128/hidrogenasa

¹⁸ http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/39128/hidrogenasa

¹⁹ http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/39128/hidrogenasa

²⁰ <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1182046>

²¹ **Autores:** J. M. Valero, E. López, J. Antoñanzas, A. Egizabal, M. Belsue, N. Arrien, Ingeniería química, ISSN 0210-2064, N°. 423, 2005, págs. 175-181 anaeróbica o biometanización. Como resultado de este proceso se genera biogás, una mezcla de metano y dióxido de carbono, con un poder calorífico aproximado de 5.500 kcal/m³, que puede ser transformado en energía eléctrica y calorífica.

- **Producción por organismos fotosintéticos**

Son tres los procesos potencialmente utilizables para la generación de hidrógeno a partir de residuos por microorganismos fotosintéticos: la producción por bacterias fotosintéticas, la producción por algas y la producción combinada, las cuales se detallan a continuación:

- a) ***Generación de hidrógeno a partir de residuos por bacterias fotosintéticas.***

Algunas bacterias fotosintéticas son capaces de producir grandes cantidades de hidrógeno a partir de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, como ácidos orgánicos (láctico, succínico y butírico) o alcoholes. Este hecho hace que estos organismos sean potencialmente utilizables para la producción de hidrógeno a partir de residuos. En este sentido, *Rhodobacterspharoides* ha sido utilizada para la generación de hidrógeno a partir de aguas residuales de la industria de refinado de azúcar y de aguas residuales de la industria alimentaria.

- b) ***Generación de hidrógeno a partir de residuos por algas.***

El uso potencial de las algas verdes como generadores de hidrógeno a partir de residuos proviene del hecho de que algunos de estos organismos son capaces de producir hidrógeno por fermentación en condiciones anaeróbicas utilizando almidón como fuente reductora. Aunque el sistema habitualmente utilizado para generar el hidrógeno consta de dos etapas, la primera consiste en asimilar CO₂ por fotosíntesis bajo condiciones de iluminación y la segunda en utilizar este almidón en condiciones de oscuridad y generar el hidrógeno.

- c) ***Generación combinada algabacteria fotosintética***

Teniendo en cuenta que las algas son capaces de generar hidrógeno produciendo ácidos orgánicos, mientras que las bacterias fotosintéticas necesitan dichos ácidos orgánicos para la síntesis de hidrógeno, ambos procesos son susceptibles de ser combinados, de tal forma que las algas generasen hidrógeno y ácidos orgánicos y alcoholes de forma anaeróbica en la oscuridad a partir de la materia orgánica presente en un residuo, y las bacterias fotosintéticas

emplearan dichos compuestos orgánicos en generar hidrógeno en condiciones de iluminación anaeróbica.

d) Sistemas Mixtos

El sistema fermentativo de generación de hidrógeno tiene como limitación la no conversión completa de la materia orgánica presente en el residuo en CO₂ e hidrógeno.

Esto sucede debido a que se trata de un sistema fermentativo, que debe mantener el balance de oxidación-reducción final del proceso. Por lo tanto, una vez realizado el proceso de fermentación se obtiene un residuo con una elevada proporción de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, que pueden bien ser recuperados como subproductos valorizables, bien utilizados en una segunda etapa de producción de hidrógeno. Esta segunda etapa podría consistir en la utilización de bacterias fotosintéticas, que, como ya se ha descrito anteriormente, tienen la capacidad de utilizar los ácidos orgánicos y alcoholes para su metabolismo y generar hidrógeno a partir de ellos.

▪ **Producción de Gas de Síntesis**²²

Una idea innovadora basada en un proceso foto catalítico por láser inducido, produjo una mezcla rica en hidrógeno usando el tipo-p de NiO. Esto se ha desarrollado al reformar el metanol a temperatura ambiente. Se observó una mezcla con hidrógeno (>70%) y del monóxido de carbono (<30%) junto con una concentración pequeña de metano (<2%). No se observó producto líquido en cantidades significativas para el metanol.

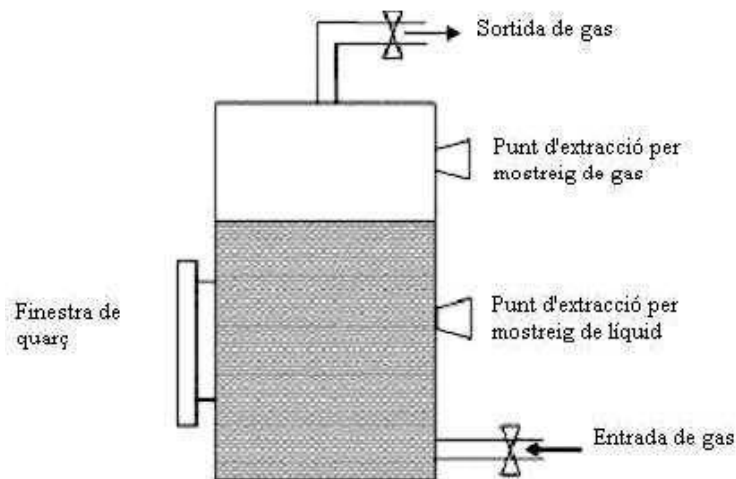
El efecto de alargamiento de cadena en la composición de la producción de los syngas se estudió usando alcoholes más altos como el etanol, propanol y el isopropanol como materia de base. Para alcoholes con más carbonos, se observó una disminución significativa de la producción del CO y el aumento del cociente H₂/CO con el aumento en la longitud de cadena y su complejidad.

²²<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7538/2/Anexo%20I%20hidrogeno.pdf>.

El efecto de la adición del agua en la producción del hidrógeno también se estudió irradiando las mezclas del metanol y del agua en las mismas condiciones que el metanol puro. La mezcla de metanol con agua, entra en el reformador por debajo en forma de gas, entra en contacto con el catalizador, a través de la ventana de cuarzo, se introduce un rayo láser que descompone la mezcla en dos elementos, uno gas y otro líquido. Por la parte superior del reformador está la salida del gas resultante, con la composición antes mencionada, conforme se demuestra en el gráfico N°1.

GRÁFICO N° 1

Reformador del Proceso Foto Catalítico por Láser Inducido



FUENTE: Escuela Técnica Superior De Cataluña 2009´ España

ELABORACIÓN: Menéndez Vera Edison, Pérez Bravo Ángel y Rivero

Egüez Jorge

- **Descomposición termal del agua**

En una planta de energía solar termal (mediante el aprovechamiento del calor del sol, no sólo de energía luminosa) con un colector central con dos paneles solares, una central eléctrica de 10MW en California (EEUU), las temperaturas pueden alcanzar los 3.000 °C.²³

Calentando el agua a 2.000 °C se descompone en hidrógeno y oxígeno. Este método es considerado como interesante y barato para producir hidrógeno. En otra variante de este método diferentes investigadores también están experimentando con el uso de catalizadores para reducir la temperatura de disociación.

Un problema central es la separación de gases a altas temperaturas para impedir la recombinación, a fin de evitar la combinación accidental del hidrógeno con el oxígeno, cuya reacción química es fuertemente exotérmica (explosiva), que puede causar grandes catástrofes.

1.5 EL AGUA, DATOS GENERALES SOBRE ESTE COMPUESTO QUÍMICO²³

El agua (H₂O) es el compuesto más abundante en la superficie de la Tierra, que cubre aproximadamente el 70 por ciento del planeta, el agua tendría un nombre sistemático de monóxido de dihidrógeno. El agua se encuentra naturalmente en los tres comunes estados de la materia y es esencial para la vida en la Tierra. Esta reacciona fácilmente con los orgánicos carbocationes. La densidad del agua es de aproximadamente un gramo por centímetro cúbico.

Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas.

²³<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7538/2/Anexo%20I%20El%20hidrogeno.pdf>

Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación, y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua como el que se vierte en los mares mediante su curso sobre la tierra, en una cantidad aproximada de 45.000 km³ al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km³ anuales al causar precipitaciones de 119.000 km³ cada año.

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante.

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre, incluida la humana. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre. Sin embargo estudios de la FAO, estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego.

1.6 ELECTRÓLISIS

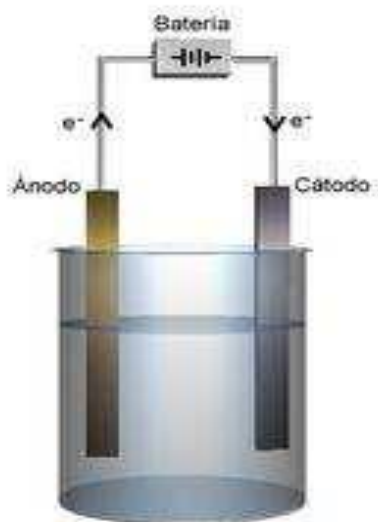
La **electrólisis** es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación).²⁴

La Electrólisis consiste en la descomposición mediante una corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos. La palabra electrólisis procede de dos radicales, electro que hace referencia a electricidad y lisis que quiere decir ruptura. En el proceso se desprenden el oxígeno(O) y el hidrogeno (H).(ver Gráfico N°2)

²⁴http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water

GRÁFICO N° 2

Diagrama simplificado del proceso de electrolisis



Fuente: wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis

Elaboración: El Autor.

Es importante hacer varias consideraciones:

- Nunca deben unirse los electrodos, ya que la corriente eléctrica no va a conseguir el proceso y la batería se sobrecalentará y quemará.
- Debe utilizarse siempre corriente continua (energía de baterías o de adaptadores de corriente), nunca corriente alterna (energía del enchufe de la red).
- La electrólisis debe hacerse de tal manera que los dos gases desprendidos no entren en contacto, de lo contrario producirían una mezcla peligrosamente explosiva (ya que el oxígeno y el hidrógeno resultantes se encuentran en proporción estequiométrica).
- Una manera de producir agua otra vez, es mediante la exposición a un catalizador. El más común es el calor; otro es el platino en forma de lana fina o polvo. El segundo caso debe hacerse con mucho cuidado, incorporando cantidades pequeñas de hidrógeno en presencia de oxígeno y el catalizador, de manera que el hidrógeno se quemé suavemente, produciendo una llama tenue.

Lo contrario nunca debe hacerse.

La cantidad de producto que se forma durante una electrólisis depende de:

- La cantidad de electricidad que circula a través de la pila electrolítica.
- De la masa equivalente de la sustancia que forma el electrolito.

Tras efectuar múltiples determinaciones, Faraday enunció las dos leyes que rigen la electrólisis y que son:

- **Primera Ley de Faraday:** La masa depositada por electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado.²⁵
- **Segunda Ley de Faraday:** Si varias celdas electrolíticas conectadas en serie y provistas de electrodos inertes son atravesadas por la misma cantidad de corriente eléctrica, las cantidades de sustancia depositadas en cada electrodo son proporcionales a los equivalentes-gramo de las sustancias depositadas.

Se denomina equivalente electroquímico de una sustancia a la masa en gramos de dicha sustancia depositada por el paso de un culombio. De acuerdo con esta definición podemos escribir:

$$m = P I t / (6500 n)$$

Dónde:

m : Masa en gramos que se han depositado

P : Peso atómico del elemento

n : Número de electrones intercambiados

I : Intensidad de la corriente en amperios

t : Tiempo en segundos

6500 : Es el factor de equivalencia entre el Faraday y el Culombio.

²⁵<http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis>

❖ **Electrólisis del agua**

Es la descomposición de agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica a través del agua. Este proceso se usa raramente en aplicaciones industriales debido a que el hidrógeno puede ser producido a menor costo por medio de combustibles fósiles.

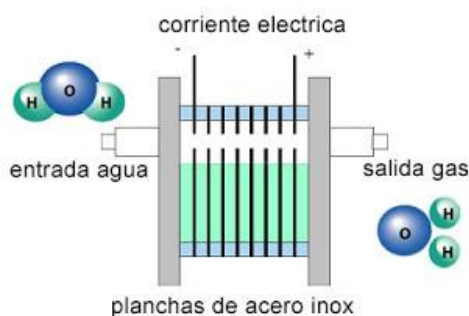
El volumen de hidrógeno generado es el doble que el de oxígeno, y ambos son proporcionales al total de carga eléctrica que fue enviada por el agua. Sin embargo, en varias celdas las reacciones del lado competidor dominan, resultando en diferentes productos.²⁶ La electrólisis de agua pura requiere una gran cantidad de energía extra en forma de sobrepotencial para romper varias barreras de activación.

1.7 EL GENERADOR DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS²⁷

El generador de hidrógeno por electrólisis, diseñado para producir hidrógeno como proveedor de combustible limpio a los motores de combustión interna, se basa en el proceso de descomposición del electrolito (agua destilada + compuesto químico), al paso de la corriente eléctrica (corriente directa) en iones H_2 y O_2 , que se desprenden en forma de gas por el ánodo (O_2) y por el cátodo (H_2).

GRÁFICO Nº 3

Producción de Hidrógeno Mediante Un Generador por El Método de Electrólisis



Fuente: Escuela Técnica Superior De Cataluña - España 2009.
Elaboración: El Autor.

²⁶Alma Sánchez, <http://www.angelfire.com/me2/ciberquimia/electrolisis.htm>

²⁷http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis_del_agua

- 1°. Proceso de electrólisis.
- 2°. Agua + Hidróxido potásico.
- 3°. Oxígeno (a través del cátodo).
- 4°. Hidrógeno (a través del ánodo).
- 5°. Separación de gases.
- 6°. Oxígeno en forma de gas
- 8°. Hidrógeno en forma de gas
- 9°. Agua.

Las celdas de hidrógeno se consideran una excelente fuente de energía desde el punto de vista del medio ambiente. Una de las mayores ventajas del uso de las celdas de hidrógeno es el bajo nivel de emisiones, son un candidato ideal para utilizarlo como generadores (véase en la gráfico N°3), donde no es posible utilizar generadores que perjudican el medio ambiente, siendo esto uno de los principales motivos por lo que se ha impulsado tanto su investigación y desarrollo.

Al utilizar el hidrógeno, el único producto de la reacción es el vapor de agua, y uno de los objetivos perseguidos con esto es obtener Vehículos con cero Emisiones. Otras tecnologías de celdas de combustibles, usando metanol o gasolinas reformadas, que estrictamente no se consideran como de cero emisiones han demostrado que sus emisiones de CO₂, son significativamente menores que a las de un motor de combustión interna y solo existen rastro de otros contaminantes.

En lo que respecta a producción de los posibles combustibles empleados, es factible el uso de energía renovable, como la solar, la biomasa, y no necesariamente mediante el proceso de electrolisis. Estos aspectos unidos a una mayor eficiencia colocan a la electrolisis como una de los procesos más viables, para el sistema de propulsión de los vehículos del futuro y la generación de energía, disminuyendo los impactos negativos de estas actividades humanas.

➤ **Eficiencia del generador de hidrógeno**

La celda de hidrógeno no es una máquina térmica, por este motivo no está limitada por ningún ciclo, la cual ofrece la posibilidad de lograr eficiencias de conversiones mayores de las que se obtendrían de los generadores térmicos. Dependiendo del tipo y diseño de celda, muestran diferentes variaciones de eficiencia que van del 40% al 60%, teniendo una eficacia de las celdas de

hidrógeno que es aproximadamente constante a intervalos de 25 al 100%.

➤ **Beneficio para el transporte**

Después de un siglo de constantes mejoras, el motor de combustión interna aun convierte en promedio solamente el 16% de la energía de la gasolina para hacer mover las ruedas de un auto. En los vehículos con celdas de hidrógeno se espera un alcance de eficiencia energética de 40% a 50% y muy posiblemente mayores, dada esta importante mejora de eficiencia energética los vehículos equipados con celdas de combustibles de hidrógeno ofrecen reducciones sustanciales de gases con efecto invernadero.

➤ **Generador de hidrógeno por electrólisis.**

El Laboratorio de Energía Alternativa de la Universidad de Antioquia desarrolló un generador de hidrógeno por electrólisis del agua, el cual es un punto de partida muy importante para el desarrollo de esta tecnología en nuestro medio y contribuir así en la producción de energía por métodos no convencionales que aportan para el desarrollo de nuestra sociedad. En el gráfico N°4 se muestra un esquema del generador de hidrógeno.

GRÁFICO N° 4
Generador De Hidrógeno



Fuente: Laboratorio de Energía Alternativa de la Universidad de Antioquía - Colombia

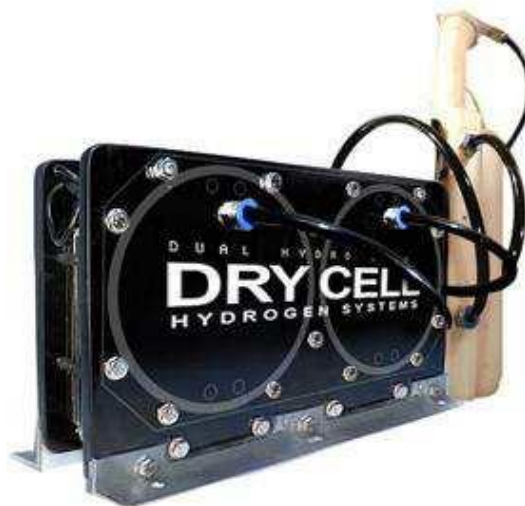
El generador como se observa en el gráf..N° 4 está compuesto de 6 celdas electrolíticas fabricadas en forma modular con el fin de facilitar el montaje y desmontaje en la investigación de nuevos materiales para diafragmas, electrodos y la cantidad de celdas para determinar la eficiencia del sistema.

1.8 MODELOS DE GENERADORES DE HIDRÓGENO POR PROCESO DE ELECTRÓLISIS

Existen dos tipos de generar hidrógeno por electrólisis y estas son:

Celda Seca (DryCell), es un electrolizador, es decir, es un dispositivo utilizado para generar Gas Hidroxi mediante el principio de electrólisis del agua, este autocontiene la solución dentro de sí, es un generador de tipo compacto ya que lo que sale del él son dos mangueras por la cuales se alimenta de agua y a su vez conducen el hidrógeno a un recipiente receptor que actúa de amortiguamiento. Ver gráfico N°5.

GRÁFICO N° 5
GENERADOR DE CELDAS SECAS



FUENTE: 2hho.Com/Hho_Plans.Htm

Celda Húmeda (WetCell), también electrolizador, es una cuba electrolítica y contiene tanto la solución como el electrodo múltiple dentro de sí, como muestra la gráfico N°6

GRÁFICO N°6 GENERADOR DE CELDAS HÚMEDAS



FUENTE: 2hho.Com/Hho_Plans.Htm

- **Generador de Celdas Secas versus Generador de Celdas Húmedas.**
Los generadores de celdas secas son realmente una mejora de diseño sobre el tipo de celda húmedo. El resultado final de gas Hidroxi es el mismo en ambos tipos, la diferencia se basa en el recipiente que contiene electrolito, su alimentación y electrodos de placa.
- **Ventajas del Diseño de Celdas Húmedas**
El mantenimiento que se le da a las placas es mucho más factible debido a su facilidad en el desmontaje y desarmado de las placas, no necesita de ningún recipiente adicional que le esté suministrando agua ya que las placas trabajan de forma sumergida en todo momento, y su costo es mucho más bajos que el diseño de un generador de celdas secas.
- **Desventajas del Diseño de Celdas Húmedas**
Se genera más calor a través de las placas por corriente (amperaje) por lo cual el positivo de electrodos (ánodos) se corroe más debido a que el oxígeno ataca a la superficie del metal (corrosión). La generación de calor se produce porque el volumen completo de solución de electrolito está

siendo sometido a una corriente para el proceso de electrólisis. Esta corriente genera más calor que eventualmente se convierte en vapor; lo que significa que posiblemente este vapor puede reemplazar cierto volumen de gas de hidrógeno.

El segundo inconveniente es que necesitamos más corriente para el volumen completo de electrolito en el recipiente, y pueda originarse el proceso de electrólisis. La mayor corriente será retirada del sistema de carga del vehículo, se desperdicia más combustible. Esto es exactamente lo contrario de lo que se supone el generador hidrógeno tiene que lograr. El tercer inconveniente es que las placas de ánodo que recogen oxígeno con su superficie completa inmersa en el electrolito se corroerá con mayor rapidez, y estas se manifestarán con cierta oxidación, lo que significa que eventualmente se corroe más allá de sus límites y que deba ser sustituido.

- ***Diseño de Celdas Secas***

Cada placa de la celda que representa el ánodo y el cátodo (electrodos) están selladas por una junta tórica. Las conexiones eléctricas están conectadas al perímetro exterior de cada placa, lo que significa que las conexiones permanecen limpias y secas. Estas placas están atornilladas juntas desde el borde del perímetro seco, mediante arandelas de tipo nylon para evitar una escasez de las polaridades. El electrolito es alimentado por gravedad o con una bomba (en ciertos casos) por un tanque externo (reservorio) que puede colocarse en cualquier lugar pero, más arriba que el generador de celda seca.

- **Ventajas del Diseño de Celdas Secas**

Debido a su limitada alimentación de electrolitos el consumo de corriente (amperaje) es mínima con respecto al diseño de celdas húmedas, a su vez no genera temperaturas elevadas en su funcionamiento lo cual ayuda enormemente al control del amperaje, además su diseño compacto garantiza que sus placas estén sumergidas en el proceso.

- **Desventajas del Diseño de Celdas Secas**

El diseño seco debe de ser totalmente desmantelado para limpieza y mantenimiento, como cambio de junta de sello y anillos metálicos de cada celda, lo cual conlleva a utilizar más tiempo en su mantenimiento en comparación con un diseño de celdas húmedas, además de necesitar más precisión para el armado y la alineación de las dimensiones de orificios de las placas metálicas y las juntas de neopreno para que exista una alta impermeabilidad

GRÁFICO N° 7

GENERADOR DE HIDROGENO INSTALADO EN LA SALA DE MÁQUINAS DE UN BUQUE



Fuente: Rm. Generadores de Hidrogeno

La investigación desplegada para llevar adelante el presente proyecto académico, permitió encontrar toda una serie de proyectos experimentales, que están llevando adelante, investigadores de todo el mundo, como el que se muestra en el gráfico N°7 El día 20 de Diciembre del 2012, se terminó de instalar en Alicante, España, un generador de hidrógeno por electrólisis, en

la sala de máquinas de un barco.

Cabe destacarse, que a diferencia de las grandes empresas, que producen hidrógeno para ser vendido en recipientes de almacenaje de alta peligrosidad, los proyectos como el de la gráfica, producen sólo el hidrógeno que necesita el motor a partir del momento de la ignición.

GRÁFICO N° 8

GENERADOR DE HIDROGENO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE MEDIANA CAPACIDAD



Fuente: Rm. Generadores De Hidrogeno

El generador de hidrógeno por electrólisis de la presente gráfica, tiene una capacidad de abastecimiento para un motor de los de tipo tractomula tráiler, a diferencia del que aparece en el gráfico N°8, que es para un motor marino de gran capacidad.

GRÁFICO N° 9

GENERADOR DE HIDROGENO PEQUEÑO INSTALADO EN UN VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA



Fuente: Rm. Generadores De Hidrogeno

La gran ventaja del generador de hidrógeno por electrólisis, de los que se demuestran en el gráfico N°9, es que pueden instalarse muy cerca del motor de combustión interna. El Hidrogeno es generado, al momento de la ignición, por lo tanto no requiere de tanque de almacenamiento lo que hace de este sistema muy seguro y sin riesgos.

CAPÍTULO II

2.1 CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO

Los generadores de hidrógeno por electrólisis, para ser instalados junto a los motores de combustión interna, de acuerdo con su capacidad, utilizan la energía eléctrica y el agua desionizada H_2O dosificada con KOH , en el laboratorio para producir hidrógeno in situ, presión (hasta 1 psi), de forma continua y segura. Frente al hidrógeno embotellado, el uso de este prototipo de generadores de hidrógeno, son más seguros, más económicos, más fáciles, cómodos y requiere menos espacio.

2.1.1 APLICACIONES Y VENTAJAS:

- Elimina el riesgo inherente a almacenar botellas de hidrógeno a alta presión.
- Evita la inversión en una instalación de hidrógeno a presión y sus engorrosos.
- Procesos administrativos de legalización y mantenimiento.
- Evita los costes de alquiler de botellas y reguladores.
- Evita la dependencia de un proveedor de hidrógeno externo.
- Elimina la posibilidad de parada por agotamiento imprevisto de las botellas.
- Evita los tiempos no productivos de sustitución de las botellas y sus riesgos asociados.
- Produce solo el hidrógeno que se necesita en el momento en que se requiera.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Agua	: Desionizada
Producción H_2	: 1,2 lt/min; 72 lt/h
Presión H_2	: Hasta 3 psi
Pureza H_2	: >65%
Salida H_2	: Del arrestallamas.

Salida O₂	: Venteo atmosférico
Refrigeración	: Por aire natural
Mantenimiento	: Limpieza con ácido acético (vinagre)
Alimentación	: 24 Voltios DC
Consumo eléctrico	: < 45 Amperios.
Consumo de agua	: 0.25 cm ³ /h.
Capacidad Depósito agua	: 1 lt.
Regulación	: Presión de salida, regulado con llave de cierre
Dimensiones	: 23 cm x 20 cm x 20 cm.
Peso	: 08 kg.

2.1.3 SEGURIDAD:

Para evitar problemas en el proceso de producción de hidrógeno en el generador por electrólisis, se utiliza los siguientes instrumentos de medición de los diferentes factores que se desarrollan en el proceso.

- Nivel de agua (medida visual)
- Sobre presión (manómetro)
- Sobre temperatura (termómetro)
- Sobre voltaje (Voltímetro)
- Sobre intensidad de campo (Amperímetro)

2.2 DESARROLLO DEL PROCESO DE ARMADO

En el desarrollo del proceso de armado se toma en cuenta el diseño del generador de hidrógeno.

2.2.1 PRIMERA FASE DE ARMADO DEGENERADOR DE HIDROGENO:

Se procede a cortar la plancha de acero inoxidable 316 L, donde se extrae las placas que van a funcionar como ánodo y cátodo en el generador, serán cuadradas de (230x 230mm, e=1mm).

GRÁFICO N° 10
PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 316 L



Fuente: El Autor

La plancha de acero (ver gráfico N°10) posee las siguientes características:

Acero inoxidable aleado al Cromo-Níquel-Molibdeno. La adición de Molibdeno le confiere una alta resistencia a la corrosión por picado (pitting). No es templable ni magnético. Gran resistencia a la acción corrosiva de reactivos químicos (en especial al ácido sulfúrico) y a la atmósfera marina. Su aplicación es frecuente en la industria alimenticia, papelera y construcción.

El grado 316 L, tiene un bajo contenido de carbono, lo cual aumenta la temperatura de resistencia a la corrosión intergranular, además de mejorar su soldabilidad. De esta plancha metálica se elaboran las placas (ver gráfico N°11) mediante el uso de una moladora con disco de corte, ya que se requiere darle cortes rectos de 160 X 160 mm y 1 mm de espesor. Para esto se requiere 25 placas metálicas con estas características y dimensiones.

GRÁFICO N° 11

PLACAS DE ACERO



Fuente: El Autor

➤ **El diseño del generador cuenta con:**

Seis camaras generadores, que cada camara generadora se compone de 01 placa que se desempeña como cátodo, 01 como ánodo y tres placas como neutras de 7,56 cc de las cuales la mitad de este volumen es designado para H₂O y la otra mitad para gas hidrogeno. Quiere decir que el generador tiene un volumen total de 453,8304 c.c. para H₂O y 453,8304 c.c. para gas hidrogeno, siendo este unificadamente de 907.66 cc. Se incorporan 25 placas metálicas (04 placas cátodo, 03 ánodo y 18 neutras), las mismas que son denominadas en este proyecto “placas de alimentación”. (ver gráfico N°11)

➤ **Placa Acrílica**

En el funcionamiento del generador es importante notar el comportamiento de la generación, ya que de esta forma se puede diagnosticar cualquier anomalía reflejada en la producción, como por ejemplo ver el estado de las placas metálicas o la cantidad de sedimento que existe en el generador.

Además se cortan las placas acrílicas de forma cuadrada con dimensiones (200 mm x 200 mm, espesor =12mm) que toma lugar como el armazón del generador seco sujeta por 08 pernos.

A estas placas acrílicas se les realizan perforaciones de las siguientes medidas:

- Dos, perforaciones roscables de 15mm de diámetro y maquinado con machuelo M15, para la salida/entrada de H₂O y gas hidrógeno.
- Ocho, perforaciones lisas de 7mm de diámetro, para los tornillos de sujeción y conexión de ánodo y cátodo.

Las dos perforaciones de 15 mm estarán separadas 40 mm de un lado de la placa, donde se alojan las espigas de bronce M15 x 42 mm., que tiene como finalidad conducir tanto el H₂O como el gas hidrogeno producido (ver gráfico N°12).

GRÁFICO N° 12
PLACA ACRÍLICA PERFORADA



Fuente: El Autor

A continuación citamos ciertas características de las placas acrílicas:

- Alta resistencia al impacto, de unas 10 a 20 veces la del vidrio.
- Resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. No hay un envejecimiento apreciable en 10 años de exposición exterior.
- Excelente aislante térmico y acústico.
- Ligera en comparación con el vidrio (aproximadamente la mitad), con una densidad de unos 1190 kg/m³ es sólo un poco más pesado que el agua.
- De dureza similar a la del aluminio: se raya fácilmente con cualquier objeto metálico.
- De fácil combustión, no se apaga al ser retirado del fuego. Sus gases tienen olor afrutado y crepita al arder. No produce ningún gas tóxico al arder por lo que lo podemos considerar un producto muy seguro para elementos próximos a las personas al igual que la madera.
- Gran facilidad de mecanización y moldeo.

➤ **Juntas de Neopreno**

Para asegurar la hermeticidad de cada cámara generadora y que a la vez funcione como aislante eléctrico, resistente a la temperatura y más que todo no se degrade con la solución alcalina, se toma en consideración las juntas de neopreno que suple con las necesidades requeridas (ver gráfico N°13). La obtención de este producto es factible, es de bajo costo y con buenas prestaciones, lo suficiente como para generar sin inconvenientes.

GRÁFICO N° 13
JUNTAS DE NEOPRENO



Fuente: El Autor

La junta de neopreno posee las siguientes características físicas químicas:

- Nombre: Neopreno ó Policloropreno
- Punto de Fusión: -130°C
- Solubilidad en Agua: 0.002115 gr/ml
- Densidad: 1230 Kg/m³
- Temperatura de Fusión: 80°C
- Compresibilidad: 480×10^{-12} Pa⁻¹
- Constante Dieléctrica: 6,5 - 8,1 Hz

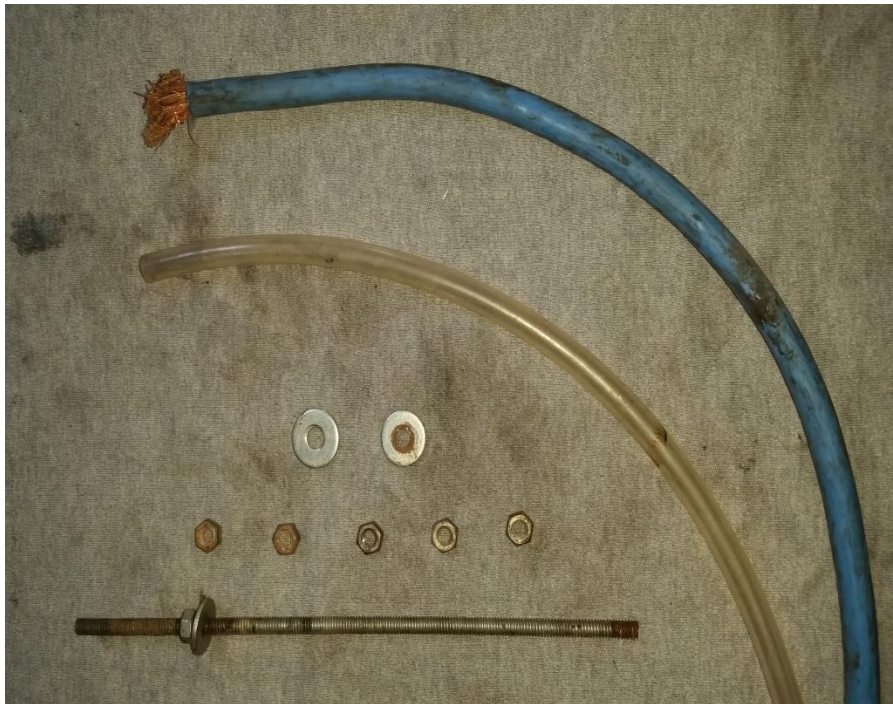
➤ **Accesorios de los cuales se compone el generador son:**

- Ocho (08), pernos tipo esparrago M6, 1 x 230mm, de 7 pasos en 10mm.
- Treinta y seis (36), tuercas hexagonal para perno M 6,1, de dimensión (h=5,5mm x 11mm).
- Treinta (30), Arandelas de monel de (Di= 7,4mm, De= 20mm, E= 1,4mm).
- Dos (02) espigas de bronce M15. (ver gráfico N°14).

GRÁFICO N° 14

ACCESORIOS PARA EL GENERADOR DE CELDAS SECAS





Fuente: El Autor.

Manguera de Policloruro de Vinilo (P.V.C.) flexible atóxica, color traslúcido. Características Generales de la manguera de policloruro:

- Atóxica.
- Resistente a los agentes atmosféricos y a los hidrocarburos.
- Temperatura recomendada de uso: -15°C a $+60^{\circ}\text{C}$.
- Diámetro interior 9 mm.
- Espesor 2 mm.
- Peso 0,85 Kg/m.
- Presión de trabajo 10 psi.

Una vez adquirido los materiales se procede a ensamblar las placas del generador como

Se muestra en la gráfica N°15. Las espigas de bronce M15 se enroscan en los orificios maquinados de la placa acrílica, los que tendrán como finalidad, permitir el paso de entrada y salida del H₂O y gas hidrógeno.

GRÁFICO N° 15
COLOCACIÓN DE ACCESORIOS EN LA PLACA ACRÍLICA



Fuente: El Autor.

Luego se ensambla, colocando los anillos de neopreno como base, asentados en plancha acrílica (Ver gráfico N°16) , para luego montar la primera placa de alimentación conexión con el esparrago del ánodo, ajustado respectivamente con la tuerca hexagonal esparrago M 6,1; y de esta manera se forman las primeras cámaras generadoras. (Ver gráfico N° 17).

GRÁFICO N° 16
COLOCACIÓN DE JUNTAS DE NEOPRENOS



Fuente: El Autor

GRÁFICO N° 17
COLOCACIÓN DE PLACAS DE ALIMENTACIÓN



Fuente: El Autor.

A continuación se procede con el ensamble, con la diferencia de que hay que colocar las placas metálicas, hasta formar 25 filas (graf. N°18), (en sentido de ensamble, ver gráfica 19a y 19b) de cámaras generadoras.

GRÁFICA N° 18
PLACA DE ACERO INOXIDABLE Y ANILLO DE NEOPRENO



Fuente: El Autor.

GRÁFICO N° 19A Y GRÁFICO N° 19B

GENERADOR EN SENTIDO DE ENSAMBLE GENERADOR EN SENTIDO DE OPERACIÓN



Fuente: El Autor.

En la fila veinticinco de las cámaras generadoras, en esta última ya no van placas de alimentación, sino la segunda placa acrílica, teniendo como resultado el generador. (Ver gráfico N°20).

GRÁFICO N° 20 COLOCACIÓN DE LA SEGUNDA PLACA ACRÍLICA



FUENTE: El Autor.

Al colocar la placa acrílica se procede a pasar los pernos espárragos M6, 1 x 230mm, de 7 pasos/cm, por cada uno de los orificios de las placas, con sus respectivas arandelas de monel de (Di= 7,4mm, De= 120mm, E= 1,4mm) (gráf. N°21). Siendo estos pernos los que mantienen unidas las juntas de neopreno con las placas metálicas, garantizando la hermeticidad.

GRÁFICO N° 21 INSTALACIÓN DE PERNOS ESPÁRRAGOS

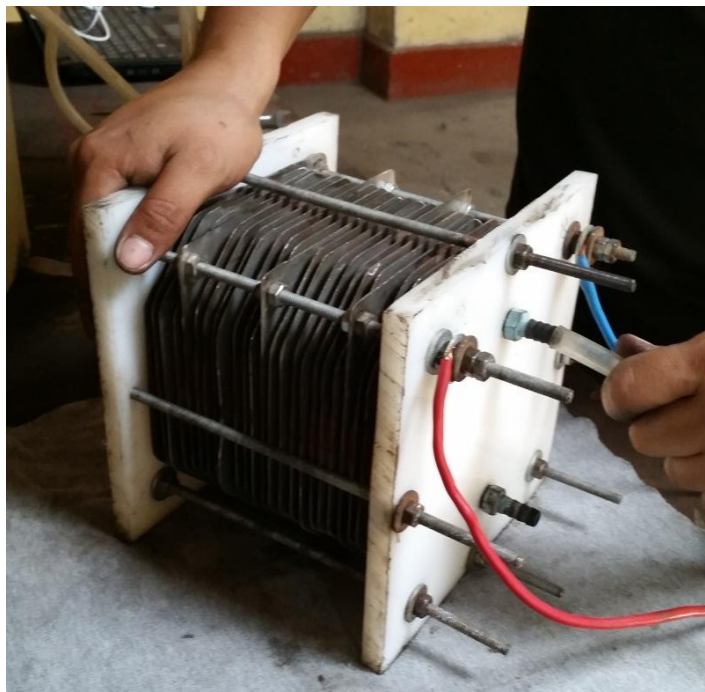


Fuente: El Autor.

Para finalizar la cabina generadora, se provee el ajuste necesario, tomando como referencia la altura aproximada de 4mm entre las placas metálicas, garantizando un sello hermético en cada una de las cámaras de generación, de tal forma que mantenga como máximo una presión de 5 psi, realizándolo por medio de una prueba hidrostática. Las mangueras son instaladas a presión en las espigas de bronce que se encuentran roscadas a las placas de acrílico, que canalizan el agua que se encuentra en el depósito o recipiente hacia el generador de pilas secas (Ver gráfico N°22).

GRÁFICO N° 22

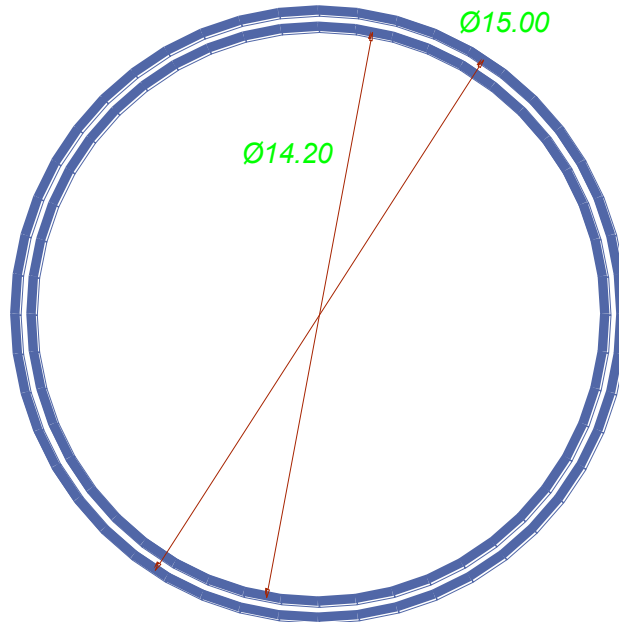
PREPARACIÓN DE CABINA GENERADORA



Fuente: El Autor.

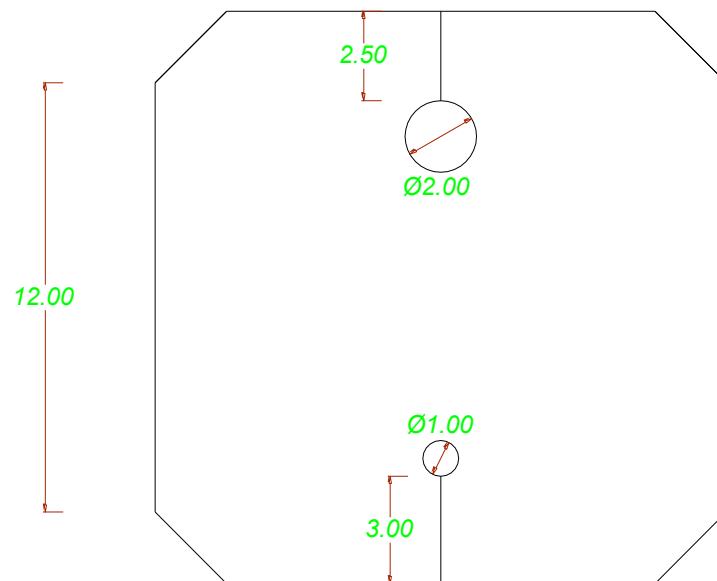
Para que el generador se mantenga abastecido con solución acuosa es importante contar con un depósito o reservorio, el cual provea constantemente de H_2O a las cámaras de generación (gráf. N°23). Este a su vez se encarga de cumplir dos (02) importantes tareas una es de recibir el gas hidrógeno producido por el proceso electrolítico o electrólisis, y la segunda, es que, naturalmente se ofrece de amortiguación a los impactos que pueden ser producidos por un incorrecto manejo del generador o imperfecto del mismo, en el gráfico N°24 se muestra el depósito, donde se puede visualizar que el H_2O se encuentra en el 50 % del volumen del recipiente y los siguiente 50% es ocupado por el hidrógeno generado, que como consecuencia de la misma presión se canaliza por la manguera transparente de 0.9 x 100cm que posa en la parte central del reservorio.

GRÁFICO N° 23
JUMTA DE NEOPRENO (Dimensión)



Fuente: El Autor

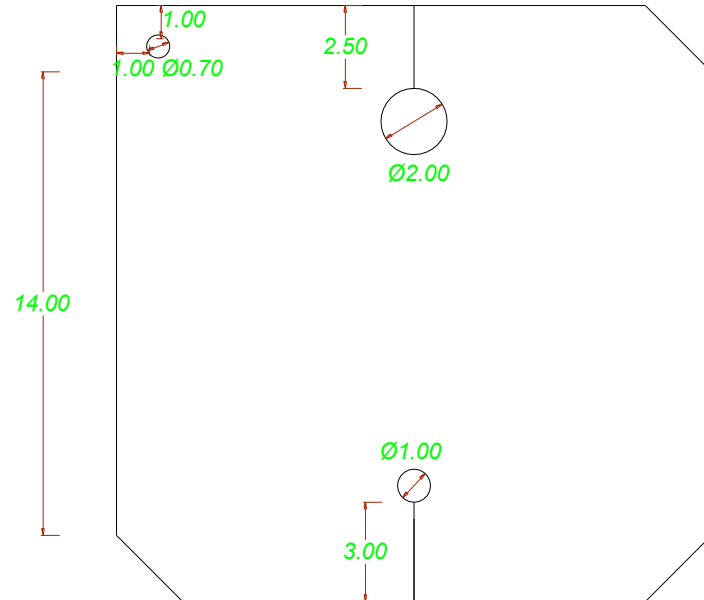
GRÁFICO N° 24
PLACA DE ACERO INOXIDABLE 316 L (Neutra)



Fuente: El Autor

GRÁFICO N° 25

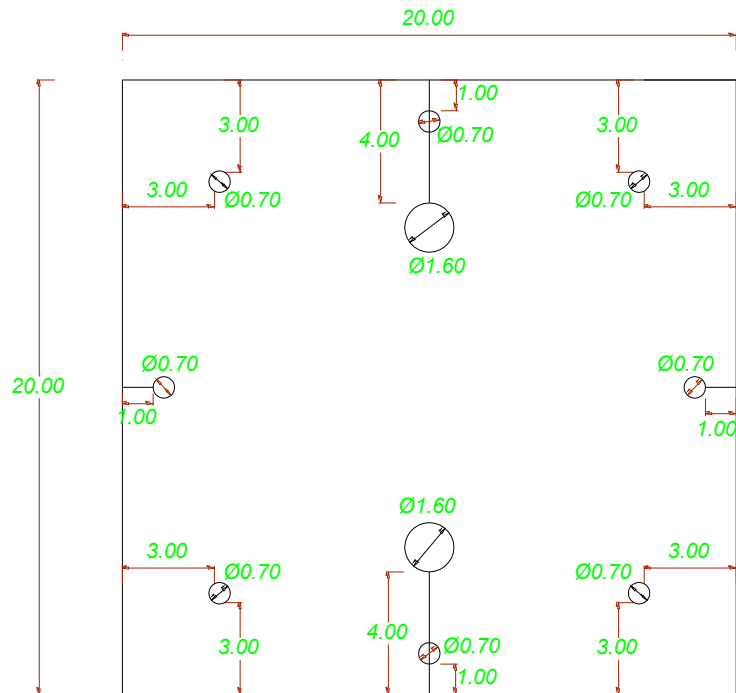
PLACA DE ACERO INOXIDABLE 316 L (Positiva, negativa)



Fuente: El Autor

GRÁFICO N° 26

PLACA DE ACRILICO (Dimensión)



Fuente: El Autor

GRÁFICO N° 27
MANGUERAS DE TRANSPORTE DE AGUA



Fuente: El Autor.

GRÁFICO N° 28
AMORTIGUAMIENTO DEL GENERADOR



Fuente: el Autor.

2.2.2 SEGUNDA FASE DE ARMADO DE GENERADOR DE HIDRÓGENO:

▪ Armado del tablero eléctrico del generador de hidrógeno

En el tablero metálico, gráfico. N°25 de 25 cm x 30 cm x 15 cm. Se realizan las instalaciones eléctricas para proveer de energía al generador. Se empieza realizando modificaciones en la parte frontal superior izquierda para colocar un amperímetro marca siemens, este agujero es cuadrado de $b=65\text{ mm}$ x $h=65\text{ mm}$, en la parte superior derecha se coloca un voltímetro, el cual necesita de una perforación de $b=50\text{ mm}$ x $h=50\text{ mm}$ para ser instalado, en la parte central del tablero se inserta un interruptor para el accionamiento de los generadores, el interruptor cuyo cuerpo debe ser colocado en una base de 44 mm x 44 mm , y en su alrededor cuatro agujeros pequeños separados de 38 mm de distancia para los tornillos del interruptor.

GRÁFICO N° 29
ADECUACIÓN DE TABLERO ELÉCTRICO



Fuente: El Autor.

▪ El Amperímetro

El amperímetro, Gráfico. N° 26 permite saber a qué amperaje está trabajando el generador, la conexión del amperímetro será en serie a la carga del equipo de la siguiente manera. El polo positivo del amperímetro está conectado directamente con el polo positivo de la batería mientras que el polo negativo del amperímetro está conectado a la carga.

CUADRO N° 2
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AMPERÍMETRO

Amperímetro DC analógico
No necesitan alimentación auxiliar, solo tipo CEC 96
Cajas DIN de dimensiones 48, 72, 96 y 144 mm
Clase de precision 1,5
Medida en C.C. De 25 A... 60 A, ó... 60 Mv
Escalas intercambiables para BC48, BC72, BC96, BM 45
Sistema de alarma completamente configurable para CBC 96

FUENTE: Catalogo Del Amperímetro Adquirido

ELABORACIÓN: El Autor.

GRÁFICO N° 30
AMPERÍMETRO SIEMENS



Fuente: El Autor.

▪ **Uso del voltímetro**

Otro elemento de medición instalado en este equipo, es el voltímetro para medir el voltaje total, este tiene una escala de 0 a 30 voltios, que funciona perfectamente ya que trabaja con 12 voltios de corriente continua (ver gráfico N°27).

CUADRO N° 3
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VOLTÍMETRO

El Multímetro o voltímetro se utiliza para medir diferentes acciones de los electrones en los componentes eléctricos y electrónicos. Con este instrumento podrás medir “resistencia, corriente eléctrica y tensión eléctrica”.
1: Se presentan en una caja protectora, de tamaño no mayor de 25 pulgadas cúbicas.
2: Proveen dos terminales cuya polaridad se identifica mediante colores: Negro (-) y Rojo (+).
3: En las medidas de corriente directa (DC), la polaridad de los terminales debe ser observada para conectar apropiadamente el instrumento. Esta precaución no es necesaria para las medidas de corriente alterna (AC).
4: Poseen una llave selectora para elegir el tipo de medida a realizar. Están diseñados para hacer medidas de "resistencia, corriente eléctrica y tensión eléctrica”.
5: La medida de precaución más importante es que en las medidas de tensión y corriente se debe observar las escalas. Es conveniente utilizar siempre la escala mayor en la primera medida, luego la corregimos si es necesario.

Fuente: Catalogo Del Amperímetro Adquirido

Elaboración: El Autor.

GRÁFICA N° 31
VOLTÍMETRO



Fuente: El Autor.

- **Interruptor de una posición**

El interruptor (gráf. N° 28), permite seleccionar la alimentación tanto del generador de celdas secas, cuenta con dos posiciones distribuidas de la manera siguiente:

La primera posición acciona el relé que está conectado al generador, la energía de 24 voltios, se abastecerá desde dos baterías (conectadas en serie) de corriente continua conectado con cable #2/0, hasta llegar a una base plástica ubicada dentro del tablero eléctrico, se conecta al polo positivo y negativo un puente eléctrico, hasta un grupo de seis borneras que son 3 salidas negativas y 3 salidas positivas, para uso de múltiples puntos de alimentación.

GRÁFICO N° 32
INTERRUPTOR DE 2 POSICIONES



Fuente: El Autor.

- **Base Plástica**

La base plástica es la que soporta la caja porta fusible (gráf. N°29), el riel donde van colocadas las borneras y la base del flasher, esta, forma parte del tablero metálico, es de vital importancia ya que ella es la que soporta los elementos donde se derivan todas las

conexiones para el generador y sus dispositivos.

GRÁFICA N° 33A Y GRÁFICA N° 33B
BASE PLÁSTICA PARA LAS PLACAS Y PERNOS



Fuente: El Autor.

2.2.3 TERCERA FASE DE ARMADO DE GENERADOR DE HIDRÓGENO:

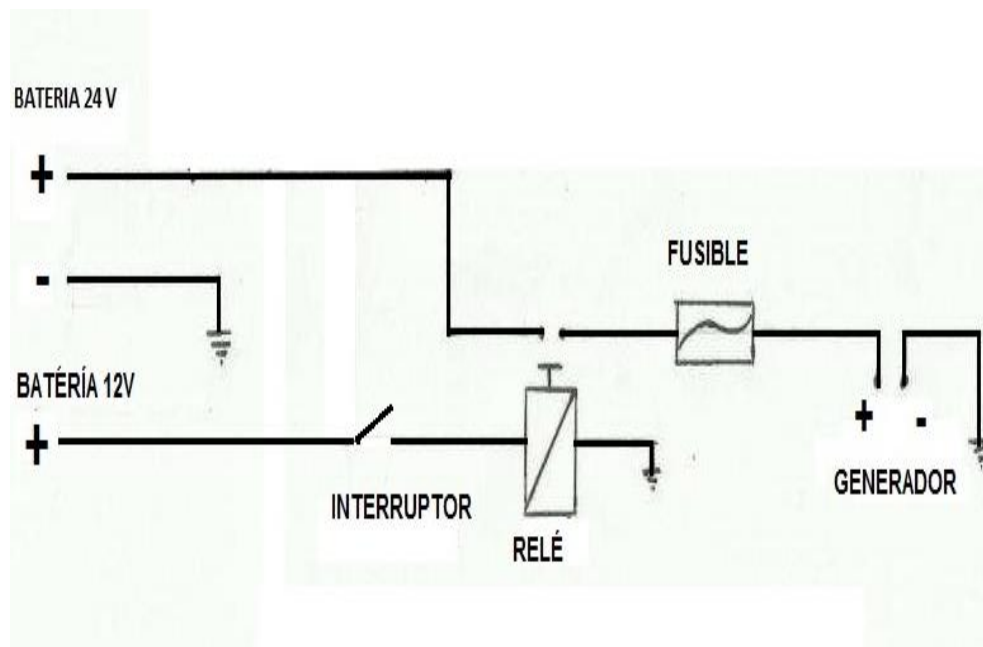
➤ Instalación eléctrica del generador

Gráfico de instalación eléctrica

Recibe alimentación de un punto positivo de las borneras ubicadas dentro del tablero eléctrico a través de un fusible de **20 A**, este a su vez envía energía directamente al interruptor de selección, accionando el relé, que dará paso a los 24 voltios directos desde las baterías hasta la alimentación del generador, alimentando a su vez a una luz testigo de color roja, que indica su activación, ver gráfico N°30.

GRÁFICO N° 34

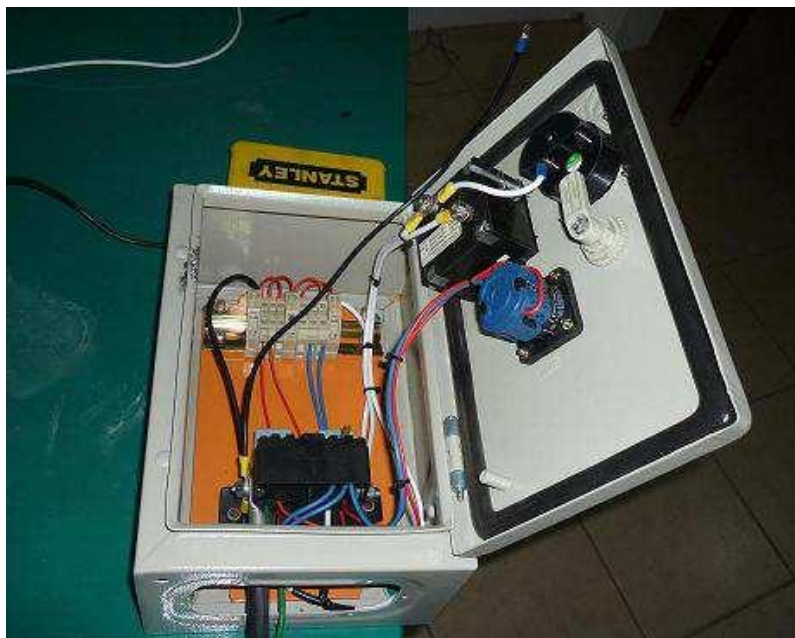
GRÁFICO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA



Fuente: El Autor.

GRÁFICA N° 35

INTERRUPTOR DE ALIMENTACIÓN



FUENTE: El Autor.

La luz piloto ubicada en este tablero es para conocer que el generador esta en Funcionamiento.

➤ **Ensamblaje del Depósito de Amortiguamiento.**

El depósito de amortiguamiento, es básicamente un envase de plástico transparente reforzado con una tapa roscable y sello de caucho para garantizar la hermeticidad del proceso (gráf. N°32), este depósito se selecciona para brindar seguridad del caso debido a las presiones y explosiones que se podrían dar en el mismo, si por alguna razón el arresta llama no cumple su función, al estar el recipiente de amortiguamiento con su correcto nivel de agua, este no permite que la auto combustión (retroceso de llama) llegue al generador. En la gráf. N°32 muestra como deberá estar lleno el recipiente, en donde el nivel de agua supera al nivel inferior de la manguera por donde sale el gas Hidrogeno.

GRÁFICO N° 36

DEPÓSITO DE AMORTIGUAMIENTO



Fuente: El Autor.

➤ Arrestallamas

Este elemento es el que impide el retroceso de llama previniendo la explosión del generador por las presiones bajas que se genera al desactivar el equipo, este dispositivo de protección es de fabricación casera, el arrestallama (gráf. N°33), está compuesto de los elementos siguientes:

- 1 Neplo de PVC de 1/2"
- 2 Bushing reductores de PVC de 1/2" – 1/4"
- Algodón industrial
- Viruta de metal
- Esferas plásticas

GRÁFICO N° 37

ARRESTALLAMAS



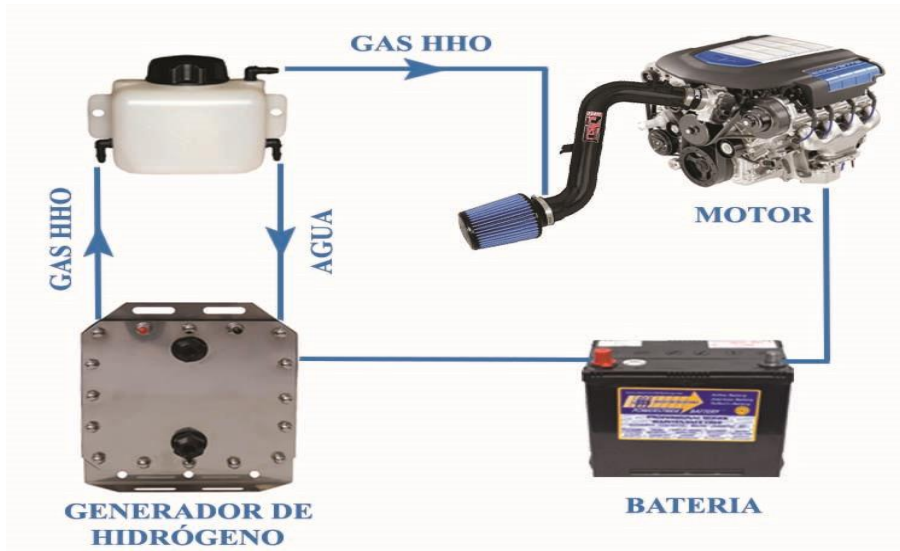
Fuente: El Autor.

2.3 MONTAJE DEL GENERADOR EN UN VEHICULO

En el desarrollo de este proceso (gráf. N°38), procedemos al montaje de acuerdo a la gráfica N°38 instalación eléctrica y montaje del generador propiamente dicho teniendo en cuenta que la salida del hidrogeno va en la toma de aire del motor.

GRÁFICO N° 38

GENERADOR INSTALADO EN UN MOTOR



Fuente: El Autor.

GRÁFICO N° 39

GENERADOR INSTALADO EN UN VEHICULO



Fuente: El Autor.

CAPÍTULO III

3.1 PRUEBAS DE RESULTADOS

3.1.1 PRUEBAS REALIZADAS EN EL EQUIPO GENERADOR DE HIDRÓGENO EN LA OBTENCIÓN DE UN COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Al concluir con la construcción del generador se procede a realizar pruebas de generación de hidrógeno tomando en consideración la utilización de 3 compuestos químicos de características diferentes que son las siguientes:

3.1.2 HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH)

Conocido también como potasa cáustica, es un reactivo peligroso que puede causar quemaduras severas en la piel, ojos, tracto respiratorio y tracto gastrointestinal, puede ser fatal si es ingerido y dañino si es inhalado. No es combustible, pero al diluirse con agua o humedad genera calor suficiente para llegar a deformar materiales como el plástico, reacciona con metales químicamente reactivos como aluminio, zinc, magnesio, cobre, acero inoxidable etc., para liberar gas hidrógeno que puede formar mezclas explosivas con el aire.

Se recomienda guardar el envase que lo contiene en un área fresca, seca y bien ventilada, protegida contra daños físicos y contra la humedad. Adicionarlo siempre lentamente y en pequeñas cantidades al realizar la dosificación y nunca utilizar agua caliente, Al trabajar con este producto se recomienda utilizar gafas de seguridad, respiradores y guantes de neopreno o hule debido a su efecto corrosivo ya que es una solución acuosa alcalina conformada por.

	1 Átomo de potasio de 69.69%
KOH	1 Átomo de oxígeno de 28.52%
	1 Átomo de hidrógeno de 1.80%

3.1.3 BICARBONATO DE SODIO (NAHC03)

El bicarbonato de sodio es un sólido blanco cristalino e inodoro, levemente irritante a la nariz, su ingestión en grandes dosis puede causar náuseas o vómitos, moderadamente irritante para los ojos y tiene un efecto insignificante en la piel. Se es recomendable almacenar el producto en un envase cerrado alejado de los ácidos, es muy estable a temperatura ambiente y presión atmosférica además se recomienda trabajar con este producto en un área con ventilación natural o forzada en espacios reducidos.

3.1.4 HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH)

Producto peligroso y altamente corrosivo que puede causar quemaduras severas en el tracto respiratorio, la piel, los ojos y el tracto intestinal además de poder producirse daños oculares permanentes. Su inhalación a corto plazo puede causar quemaduras y edema pulmonar, y el contacto directo de ojos y piel irritaciones posiblemente graves, cegueras y disturbios visuales.

Es un líquido transparente incoloro, al mezclar, agregar agua lentamente para reducir el calor generado y las salpicaduras. Al almacenarlo tener en cuenta no utilizar envases de aluminio ya que puede generar hidrógeno inflamable. En cada uno de estos compuestos se trabajó con porcentajes de concentraciones distintas para estudiar la reacción del componente y la producción de hidrógeno del mismo, y con esto determinar el producto con que trabajaremos.

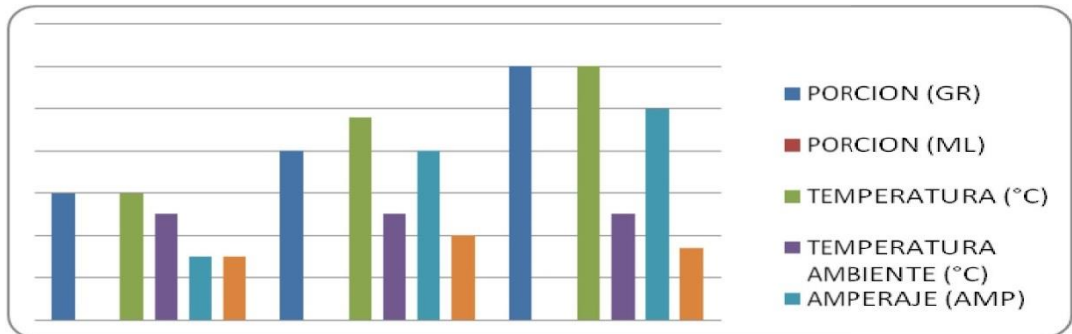
3.2 RENDIMIENTO GRÁFICO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL EQUIPO GENERADOR DE HIDRÓGENO EN LA OBTENCIÓN DE UN COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

3.2.1 HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 25%

El primer producto con el cual se empieza a realizar las pruebas ha sido el hidróxido de potasio (KOH), posteriormente se realiza una comparación utilizando la concentración de este producto al 25%, 27%, y 50%, dando como resultado lo siguiente ver cuadro N°4.

CUADRO N° 4

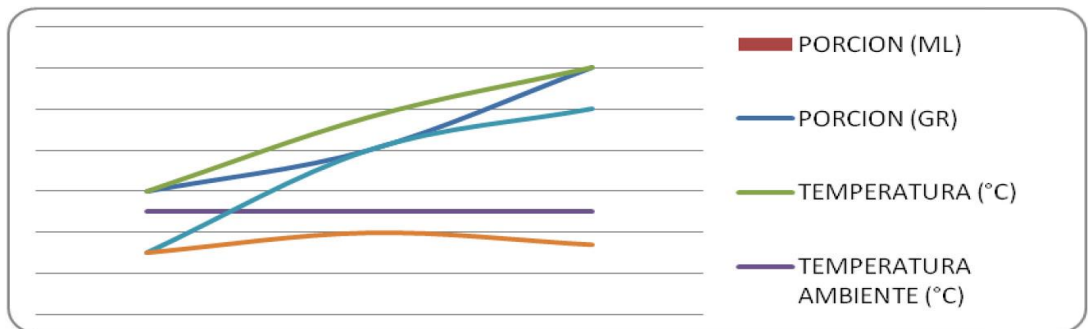
Pruebas realizadas con hidróxido de potasio (Koh) al 25% Gráfico de tendencia en barras según la producción de hidrógeno con hidróxido de potasio al 25%.



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 5

Rendimiento gráfico con hidróxido de potasio (Koh) al 25% Gráfico de tendencia en curvas según la producción de hidrógeno con hidróxido de potasio al 25%



Elaboración: El Autor.

En la primera prueba realizada con una concentración de hidróxido de potasio al 25% se dosificó 30gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 15 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 15 ml/seg de hidrógeno. En la segunda prueba realizada con una concentración de hidróxido potasio al 25% se dosificó 40gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 40 A, una temperatura de 48° C, y una producción de 20 ml/seg de hidrógeno. En la tercera prueba realizada con una concentración de hidróxido de

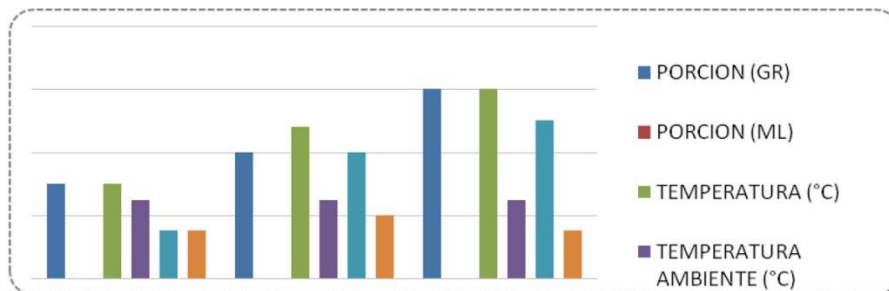
potasio al 25% se dosificó 60gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 50 A, una temperatura de 60° C, y una producción de 17 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos, con una concentración de hidróxido potasio al 25%, con 40gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, tiene 40 Amperios, y temperatura de 48° C, dando una producción de 20 ml/seg de hidrógeno (véase cuadro 4 y 5)

3.2.2 HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 27%

CUADRO N° 6

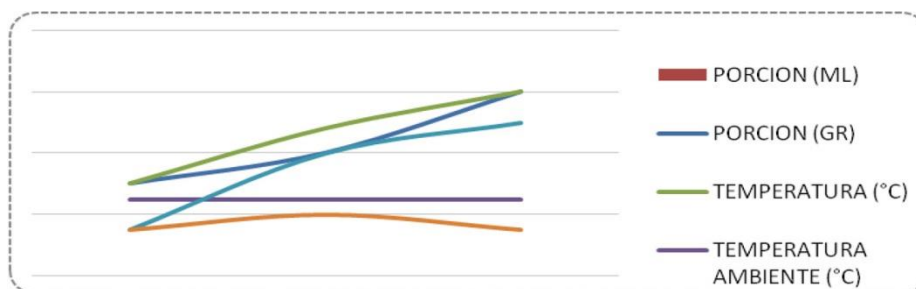
**PRUEBAS REALIZADAS CON HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH) AL 27%
GRÁFICO DE TENDENCIA EN BARRAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE
HIDRÓGENO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 27%**



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 7

**RENDIMIENTO GRAFICO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH) AL 27%
GRÁFICO DE TENDENCIA EN CURVAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE
HIDRÓGENO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 27%**



Elaboración: El Autor.

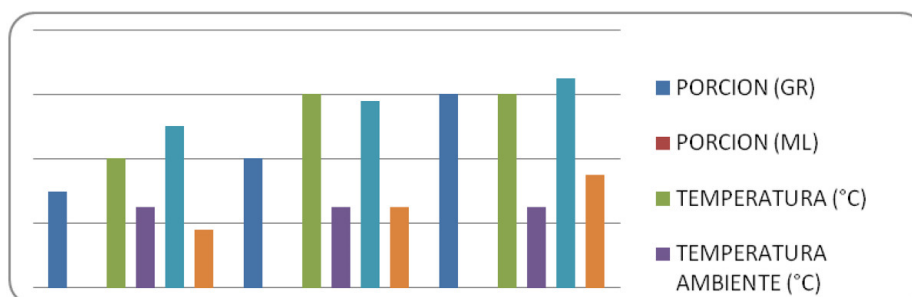
En la primera prueba realizada con hidróxido de potasio al 27% se dosificó 30gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 15 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 15 ml/seg de hidrógeno. En la segunda prueba realizada con hidróxido de potasio al 27% se dosificó 40gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 40 A, una temperatura de 48° C, y una producción de 20 ml/seg de hidrógeno. En la tercera prueba realizada con hidróxido de potasio al 27% se dosificó 60gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 50 A, una temperatura de 60° C, y una producción de 15 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos con una concentración de hidróxido potasio al 27%, se observa un comportamiento similar al Hidróxido de Potasio al 25%, la diferencia está en que al realizar la prueba 3 la **producción bajó de 17 a 15 ml/seg**. Tal como muestra con las pruebas uno, dos y tres, (Véase los cuadros 6 y 7).

3.2.3 HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 50%

CUADRO N° 8

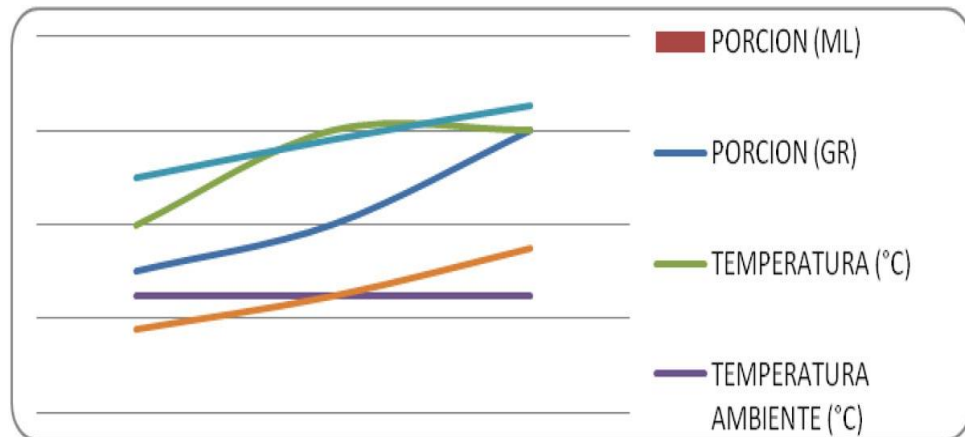
**PRUEBAS REALIZADAS CON HIDROXIDO DE POTASIO (KOH) AL 50%
GRÁFICO DE TENDENCIA EN BARRAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE
HIDRÓGENO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 50%**



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 9

RENDIMIENTO GRÁFICO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH) AL 50% GRÁFICO DE TENDENCIA EN CURVAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON HIDRÓXIDO DE POTASIO AL 50%



Elaboración: El Autor.

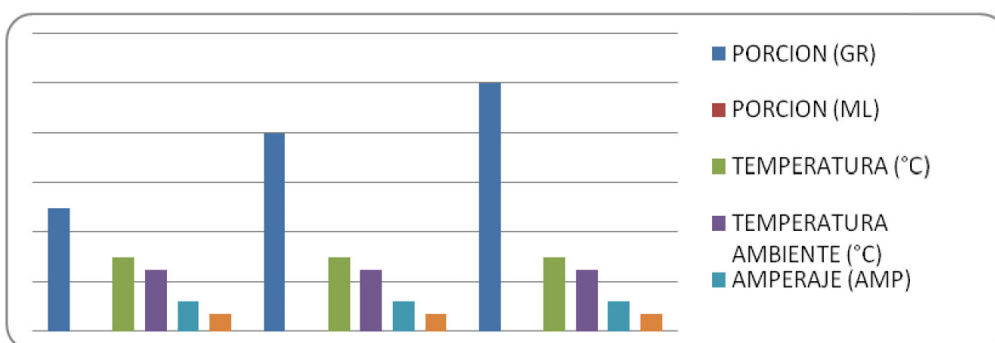
En la primera prueba realizada con hidróxido de potasio al 50% se dosificó 30gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 15 A, una temperatura de 50° C, y una producción de 18 ml/seg de hidrógeno. En la segunda prueba realizada con hidróxido de potasio al 50% se dosificó 40gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 40 A, una temperatura de 58° C, y una producción de 25 ml/seg de hidrógeno. En la tercera prueba realizada con hidróxido de potasio al 50% se dosificó 60gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 50 A, una temperatura de 65° C, y una producción de 35 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos con una concentración de hidróxido potasio, al realizar pruebas con Hidróxido de Potasio al 50%, se observa como aumenta la producción de hidrogeno, llegando hasta 35ml/seg. El efecto de esta producción se plasma en la alta demanda de amperaje de 65A, sumado a una **elevada temperatura** de producción, lo cual no es conveniente. (Véase los cuadros 8 y 9).

3.2.4 BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 7.5%

CUADRO N° 10

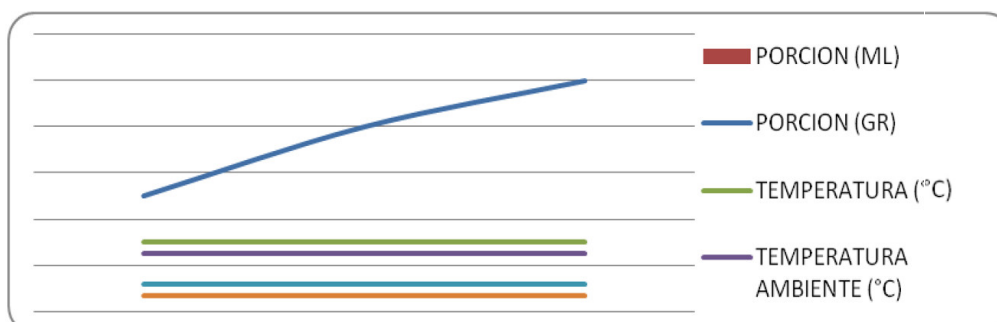
PRUEBAS REALIZADAS CON BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 7.5% GRÁFICO DE TENDENCIA EN BARRAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON BICARBONATE DE SODIO AL 7,5%



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 11

RENDIMIENTO GRÁFICO CON BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 7.5% GRÁFICO DE TENDENCIA EN CURVAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON BICARBONATE DE SODIO AL 7,5%



Elaboración: El Autor.

En la primera prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 7.5% se dosificó 50gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 7 ml/seg de hidrógeno. En la prueba segunda realizada con Bicarbonato de Sodio al 7.5% se dosificó 80gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y

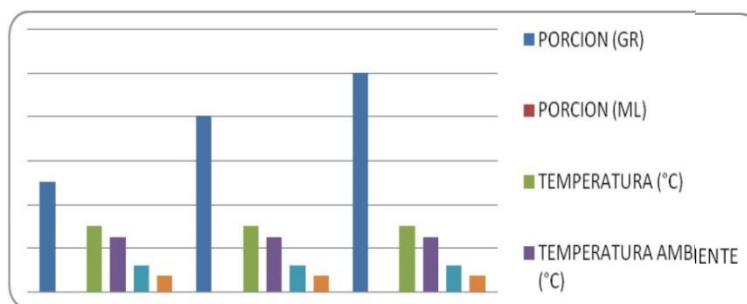
se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 7 ml/seg de hidrógeno. En la tercera prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 7.5% se dosificó 100gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 7 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos con una concentración de Bicarbonato de sodio al 7.5%, es necesario de una alta dosificación de este producto, aun así los resultados de producción fueron muy bajas, de 7 ml/seg de hidrogeno, con respecto al resultado utilizando Hidróxido de potasio. (Véase los gráficos 10 y 11).

3.2.5 BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 5%

CUADRO N° 12

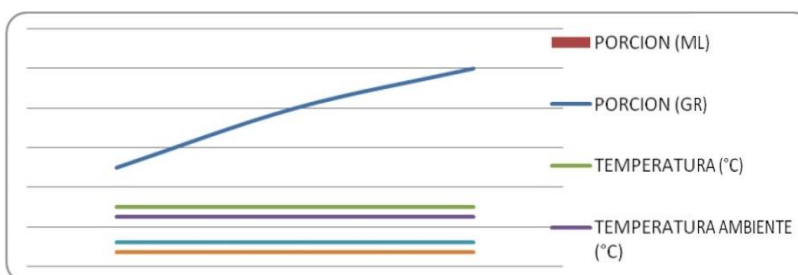
PRUEBAS REALIZADAS CON BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 5% GRÁFICO DE TENDENCIA EN BARRAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON BICARBONATE DE SODIO AL 5%



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 13

RENDIMIENTO GRÁFICO CON BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 5% GRÁFICO DE TENDENCIA EN CURVAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON BICARBONATE DE SODIO AL 5%



Elaboración: El Autor.

En la primera prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 5% se dosificó 50gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 7 ml/seg de hidrógeno.

En la segunda prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 5% se dosificó 80gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 7 ml/seg de hidrógeno.

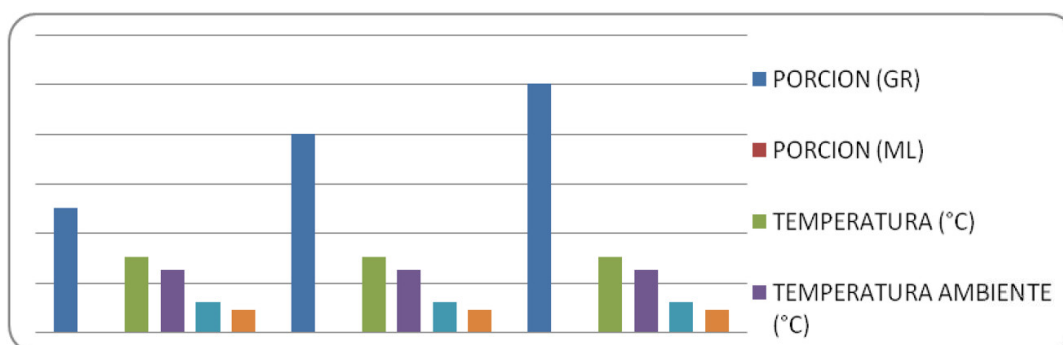
En la tercera prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 5% se dosificó 100gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 7 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos con una concentración de Bicarbonato de sodio al 5%, y los resultados fueron similares que trabajar con bicarbonato de Sodio al 7.5%, dando una baja producción de hidrógeno (Véase cuadro 12 y 13).

3.2.6 BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 8.4 %

CUADRO N° 14

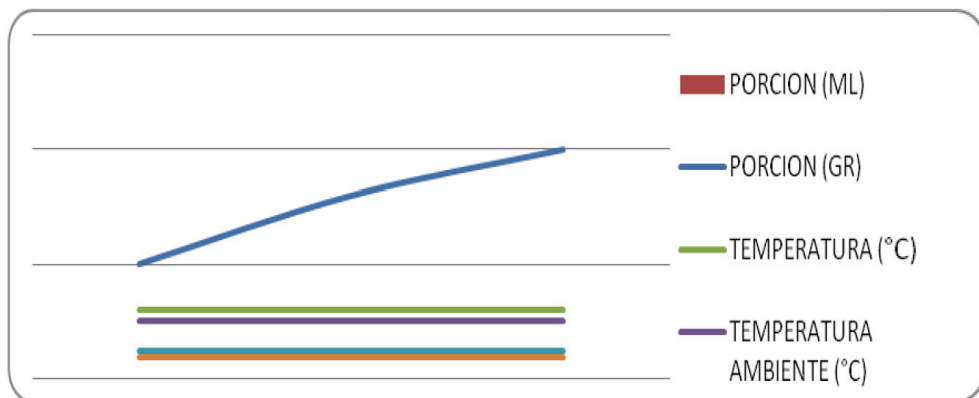
PRUEBAS REALIZADAS CON BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 8.4% GRÁFICO DE TENDENCIA EN BARRAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON BICARBONATE DE SODIO AL 8,4%



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 15

RENDIMIENTO GRÁFICO CON BICARBONATO DE SODIO (NAHC03) AL 8.4% GRÁFICO DE TENDENCIA EN CURVAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON BICARBONATE DE SODIO AL 8,4%



Elaboración: El Autor.

En la primera prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 8.4% se dosificó 50gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 9 ml/seg de hidrógeno.

En la segunda prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 8.4% se dosificó 80gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 9 ml/seg de hidrógeno.

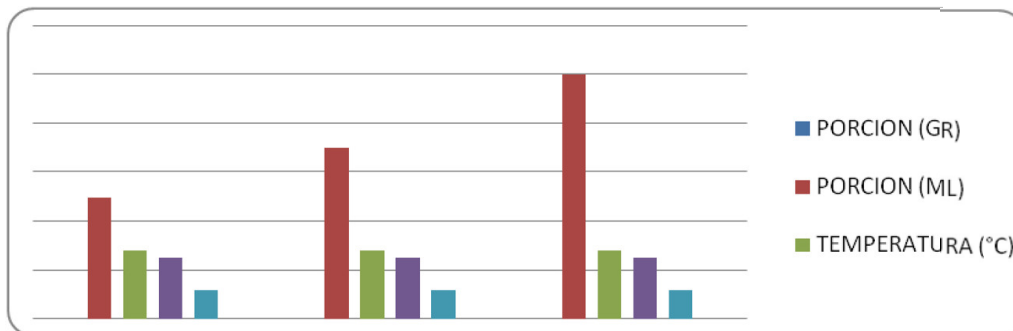
En la tercera prueba realizada con Bicarbonato de Sodio al 8.4% se dosificó 100gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 A, una temperatura de 30° C, y una producción de 9 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos con una concentración de Bicarbonato de sodio al 8.4% se obtuvo un aumento mínimo de producción, ya que pasó a producir de 7 a 9 ml/seg. (Véase cuadro 14 y 15).

3.2.7 HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH) AL 40, 50, 98%

CUADRO N° 16

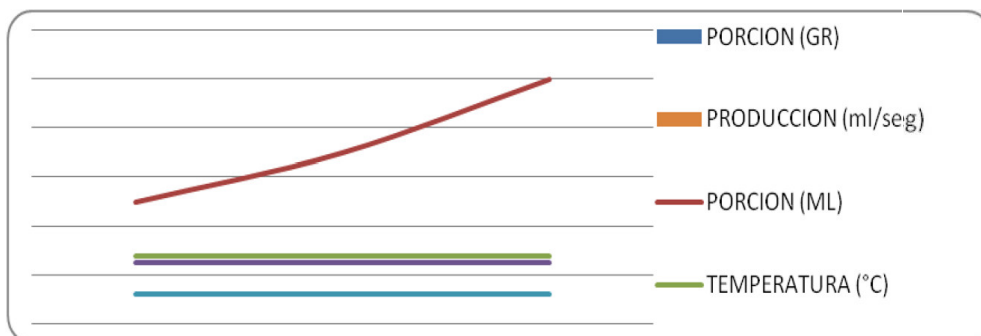
PRUEBAS REALIZADAS CON HIDROXIDO DE SODIO (NAOH) AL 40, 50, 98% GRÁFICO DE TENDENCIA EN BARRAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON HIDRÓXIDO DE SODIO AL 40, 50 Y 98%



Elaboración: El Autor.

CUADRO N° 17

RENDIMIENTO GRÁFICO CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NAHO) AL 40,80, 98% GRÁFICO DE TENDENCIA EN CURVAS SEGÚN LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON HIDRÓXIDO DE SODIO AL 40, 50 Y 98%



Elaboración: El Autor.

En la primera prueba realizada con Hidróxido de Sodio al 40, 50 y 98% se dosificó 50,gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 V, una temperatura de 28° C, y una producción de 0 ml/seg de hidrógeno.

En la prueba segunda realizada con Hidróxido de Sodio al 40, 50 y 98% se dosificó 70gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 V, una temperatura de 28° C, y una producción de 0 ml/seg de hidrógeno.

En la tercera prueba realizada con Hidróxido de Sodio al 40, 50 y 98% se dosificó 100gr de este producto diluido en 1 litro de agua destilada, y se obtuvo un amperaje de 12 V, una temperatura de 28° C, y una producción de 0 ml/seg de hidrógeno.

Conclusión: Observando en los gráficos de barra y de curvas los tres experimentos con una concentración de Hidróxido de sodio en los porcentajes de 40, 50 y 90%, dosificando con 50, 70 y 100 ml de este producto con agua destilada, no se obtiene ningún porcentaje de producción de hidrógeno.(Véase cuadro 16 y 17).

Cabe indicar que las pruebas se realizaron con nueve ensayos de cada producto dieron como resultado lo siguiente:

Al realizar pruebas con el Hidróxido de sodio (NAHO) con sus distintos porcentajes de concentraciones, no se evidenció ningún resultado, ya que la producción en sus distintas pruebas dio como resultado 0 ml/seg. De tal forma esta no es apropiada para usarla en la producción de combustible alternativo en el uso de motores de combustión interna.

Los resultados que se determinaron durante las diferentes pruebas que fueron efectuadas en el generador de hidrogeno con un inyector electrónico de cuatro orificio de un motor Volkswagen de 1500cc, se comprobó que el uso del hidróxido de potasio al 25 % con 40 gr/ltr del mismo dio como resultado de 20ml/seg del combustible alternativo (hidrogeno), siendo este producto el óptimo para ser utilizado en la producción de hidrógeno, el combustible alternativo en los motores de combustión interna. Lo que se pudo evidenciar en las otras pruebas es que al aumentar las cantidades de cada uno de los productos químicos, en especial el KOH, esta solución tiende a ser más conductora de corriente, la misma que se refleja en

intensidades y temperaturas elevadas, poniendo en riesgo los elementos del generador y de la batería, dando como resultado una baja producción de hidrógeno.

Pruebas realizadas en el equipo generador de hidrógeno en la obtención de un combustible alternativo para motores de combustión interna

CUADRO N°18

CUADRO COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

CUADRO COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE HIDROGENO SEGÚN LOS SIGUIENTES PRODUCTOS QUIMICOS									
PRODUCTO	PRESENTACION	CONCENTRACION	ENSAYO	PORCION (GR)	PORCION (ML)	TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA AMBIENTE	AMPERAJE (AMP)	PRODUCCION (ml/seg)
HIDROXIDO DE POTASIO (KOH)	GRANOS	25	PRUEBA 1	30	0	30	25	15	15
			PRUEBA 2	40	0	48	25	40	20
			PRUEBA 3	60	0	60	25	50	17
		27	PRUEBA 1	30	0	30	25	15	15
			PRUEBA 2	40	0	48	25	40	20
			PRUEBA 3	60	0	60	25	50	15
		50	PRUEBA 1	30	0	40	25	50	18
			PRUEBA 2	40	0	60	25	58	25
			PRUEBA 3	60	0	60	25	65	35
BICARBONATO DE SODIO (NAHCO3)	POLVO	7,5	PRUEBA 1	50	0	30	25	12	7
			PRUEBA 2	80	0	30	25	12	7
			PRUEBA 3	100	0	30	25	12	7
		8,4	PRUEBA 1	50	0	30	25	12	9
			PRUEBA 2	80	0	30	25	12	9
			PRUEBA 3	100	0	30	25	12	9
		5	PRUEBA 1	50	0	30	25	12	7
			PRUEBA 2	80	0	30	25	12	7
			PRUEBA 3	100	0	30	25	12	7
HIDROXIDO DE SODIO (NAOH)	LIQUIDO	40	PRUEBA 1	0	50	28	25	12	0
			PRUEBA 2	0	70	28	25	12	0
			PRUEBA 3	0	100	28	25	12	0
		50	PRUEBA 1	0	50	28	25	12	0
			PRUEBA 2	0	70	28	25	12	0
			PRUEBA 3	0	100	28	25	12	0
		98	PRUEBA 1	0	50	28	25	12	0
			PRUEBA 2	0	70	28	25	12	0
			PRUEBA 3	0	100	28	25	12	0

Elaboración: El Autor.

CONCLUSIONES

- Al efectuar distintas pruebas para la generación de hidrogeno se observa la importancia en la dosificación del KOH (hidróxido de potasio) con relación al agua utilizada, ya que una inapropiada dosificación de esta sustancia podría no generar el hidrógeno requerido, y más bien lo que obtendríamos seria vapor de agua debido a la alta temperatura e intensidad de corriente, lo que provocaría un corto circuito en las placas con daño del equipo y resultados deficientes.
- Cuando se produce el gas hidrógeno podemos encender con un fósforo o algún otro elemento incandescente, en la salida del gas del generador. Conforme se genera el gas al no contar con un sistema de cierre rápido en la salida del hidrogeno (directamente al consumo), se obtiene inconvenientes de grado mayor, como es el caso del retroceso de llama del generador, presentándose este problema al momento de dejarlo sin alimentación de energía, ya que su presión interna disminuye, quedando apenas hidrogeno en suspensión dentro del circuito, dando lugar a la auto-combustión, provocando de esta manera consumir todo el gas que internamente se encuentra creando una explosión en el generador.
- El KOH en el H₂O es una solución acuosa alcalina que ataca a los metales, provocando un desprendimiento del material que a simple vista no se demuestra, pero si permanece por un tiempo prolongado se presenta en el H₂O, un color rojizo. No obstante el material usado en este generador es muy resistente a esta solución, sin embargo también es propenso a esta contrariedad.
- El hidrógeno es gas inflamable, en presencia de fuego se inflama, produciendo un poder calorífico alto (142 KJ/gr) a diferencia de otros, que puede ser utilizada como energía, este gas conforma el 75% de la composición del universo, por lo que hay una fuente inagotable, a diferencia de la gasolina, que es obtenida mediante el refinado del petróleo y otros procesos químicos, además el hidrógeno no necesita procesos de refinado para su utilización.

RECOMENDACIONES

- Al utilizar únicamente agua destilada en la dosificación química, además precautelar que la dosificación en el generador húmedo debe ser de 40gr de KOH por cada litro de agua y 75gr de KOH por cada litro de agua en el generador seco, ya que de esta manera se obtiene buenos resultados en el proceso de producción de hidrógeno, y a su vez se extiende la vida útil del generador comprometiéndose a ser útil en las futuras investigaciones para el mejoramiento de su generación.
- Antes de encender el generador verificar la instalación eléctrica del inyector, arresta-llamas y el reservorio de amortiguación (visualmente), en este último verificar también la hermeticidad. El buen funcionamiento del inyector garantiza el cierre rápido del paso de hidrogeno, protegiendo el equipo de una auto inflamación (retroceso de llama) dentro del circuito. En caso de falla natural del inyector actuará automáticamente el arresta-llamas y el amortiguador de impacto, siendo este último el más seguro, con la diferencia de destruirse al ser provocado, dependiendo la presión que este posea.
- Limpiar periódicamente el generador, ya sea desarmándolo en el caso de celda húmeda o realizando un flushing en el de celda seca, con ácido acético (vinagre) en ambos casos, por cualquier método que se prefiera hacer, se trata de eliminar las impureza que se presenta provocada por los fragmentos metálicos desprendidos de las placas o discos metálicos, que además crea una capa de óxido en las aristas de la placa de la conexión ánodo (+), interviniendo en el rendimiento y pureza del hidrógeno. En el caso de seguir presentando mancha de oxidación en la placa usar lija de agua número 400, dependiendo su estado de corrosión y terminar el proceso con lija de agua número 1500.
- Es recomendable que en los actuales momentos se prefiera utilizar este gas hidrógeno como combustible ya que su proceso es limpio, natural, económico y sin producir emisiones contaminantes, tales como los combustibles de origen fósil que aparte de ser contaminante no son renovables a diferencia del hidrógeno, ya que posee el 75% de la composición del universo.

BIBLIOGRAFÍA

- ÇENGEL Yunez A., BOLES Michael A., Termodinámica Mc Graw Hill, séptima edición 2012,
- <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/quimica#ixzz2lqekCMQ2>
- GLASSTONE Samuel ± Tratado de Química-Física séptima edición, Aguilar S.A., Madrid. Pág. IX.
- <http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/policies-matters/eu/171es.htm>.
- BACA, Urbina, Gabriel. (2001), Evaluación de Proyectos, Cuarta Edición, McGraw-Hill, México, Pág. 383.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., Metodología de la Investigación, McGraw Hill, México, 2000. Pág. 65.
- <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm#ixzz2HtaXgKyM>
- <http://es.scribd.com/doc/11562376/Aplicaciones-Del-Hidrogeno>
- http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/39128/hidrogenasa
- http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/39128/hidrogenasa
- <http://al-quimicos.blogspot.com/2007/05/hidrogenasa.html>
- <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1182046>.
- **Autores:** J. M. Valero, E. López, J. Antoñanzas, A. Egizabal, M. Belsue, N. Arrien, Ingeniería química, ISSN 0210-2064, N°. 423, 2005 , págs. 175-181.
- Ingeniería Química, www.alcion.es,pág 188
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7538/2/Anexo%20I%20hidrogeno>.
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7538/2/Anexo%20I%20hidrogeno>.
- http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis>
- Alma Sánchez, <http://www.angelfire.com/me2/ciberquimia/electrolisis.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis_del_ag
- <https://www.google.com.ec/search?q=Generador%20de%20hidr%C3%B3geno%20escuela%20t%C3%A9cnica%20superior%20de%20catalu%C3%B1a&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:es-ES:official&client=firefox>

a&source=hp&channel=np.

- [2hho.Com/Hho_Plans.Htm](#)
- Seese Williams ± Danb William G. ± Química ± Edición Quinta
- University of Colorado Boulder
- Dpto de Energía de los USA (espejos que concentran los rayos solares y crean temperaturas muy elevadas± 1.450°C)
- Física, Mecánica y Termodinamica.
- Alonso Marcelo - Rojo Onofre - Addison - Wesley - IberoAmericana - 1979.

ANEXOS

ANEXO N° 1

DETALLE DE GASTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR

El financiamiento del proyecto se llevó a cabo con la intervención directa de los egresados, que mediante un resumen general de cotizaciones a varios proveedores para la adquisición de los materiales a utilizar, se presenta de la manera siguiente:

MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE GENERADOR DE HIDROGENO			
DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD \$ USD	PRECIO TOTAL \$ USD
Abrazaderas plásticas	50	0.3	15
Agua destilada lt	15	1.8	27
Amperímetros	2	8.9	17.8
Anillos de neoprene	23	1.8	41.4
Arrestallamas artesanal	1	6	6
Balanza	1	20	20
Batería de 12 v	2	80	160
Bornes para bacteria	2	2.5	5
Cables para baterías m	4	3.00	12
Cables para conexiones m	15	0.5	7.5
Caja de fusible	1	10	10
Caja metálica de 20cmx20cm	1	12	12
Calibrador pie de rey	1	19	19
Conectores eléctricos	6	0.3	1.8
Espárragos, tuercas y arandelas de metal	36	0.3	10.8
Fusible y porta fusible	1	6	6
Hidróxido de potasio Kg	1	6	6
Imprevistos	1	100	100
Manguera 0.6 m	3	3	9
Manómetro	1	65	65
Pegamento lt	2	15	30
Pernería en general	1	12	12
Placa acrílica (50x50cm)	1	16	16
Plancha de acero inoxidable (75 x 2,40 cm)	1	70	70
Relé	1	7	7
Socket hembra	1	5	5
Socket macho	1	5	5
Switch selector	1	24	24
Terminales tipo ojo	3	3.25	9.75
Termómetros	1	30	30
equipo de protección personal (juego)	1	20	20
Vinagre lt	4	3.5	14
Voltímetro	1	9.9	9.9
TOTAL			803..95