



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE
AUTOMATIZACIÓN**

Tema:

**“CELDA SECA ELECTROLÍTICA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO
CON AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA MUEBLES LEÓN”**

Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Gestión e implementación de sistemas de energía alternativa.

AUTOR: Sr. Edgar Fabián Rivera Guzmán

TUTOR: Ing. Wiliam Griswold López Gordon Mg.

Ambato – Ecuador

Diciembre – 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de (tutor) del Trabajo de Investigación sobre el tema: “CELDA SECA ELECTROLÍTICA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA MUEBLES LEÓN”, de señor Edgar Fabián Rivera Guzmán estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Diciembre, 2015

EL TUTOR

Ing. Wiliam Griswold López Gordon Mg.

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “CELDA SECA ELECTROLÍTICA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA MUEBLES LEÓN”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Diciembre, 2015

Edgar Fabián Rivera Guzmán

CC: 0202073276

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato Diciembre, 2015

Edgar Fabián Rivera Guzmán

CC: 0202073276

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Víctor Hugo Andaluz Ortiz e Ing. Rosa Estefanía Almache Hernández, revisaron y aprobaron el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado : “CELDA SECA ELECTROLÍTICA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA MUEBLES LEÓN”, presentado por el señor Edgar Fabián Rivera Guzmán de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Fabián Rodrigo Salazar Escobar Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Víctor Hugo Andaluz PhD.

DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Rosa Estefanía Almache Mg.

DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Fausto y Marlene por brindarme día a día su apoyo incondicional y ser ejemplos de superación y perseverancia en mi vida.

A mi hijo Ián quién en este último año ha sido y seguirá siendo una razón más para luchar y cumplir mis propósitos.

A mis hermanos y familia en general a quienes siempre supieron valorar mi esfuerzo y dedicación

Edgar Fabián

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro padre creador por ser mi luz que ha guiado mi camino en mi diario vivir y brindarme salud vida y energía para salir siempre adelante en todo lo que me he propuesto

A mis padres por su apoyo y dedicación ilimitados.

A mi esposa quien fue mi sustento y apoyo fundamental para elaborar el proyecto

A mi docente tutor Ing. William López. Al Ing. Edison Jordán, al PhD Manolo Córdova quiénes supieron guiarme de manera desinteresada en el desarrollo del proyecto y a todos los docentes de la FISEI e institución por brindarme la preparación integral necesitada.

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xviii
ACRÓNIMOS	xix
INTRODUCCIÓN	xxiii
CAPITULO I	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación.....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPITULO II.....	5

MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes investigativos.	5
2.2 Fundamentación teórica.	7
2.2.1 Las aguas residuales.	7
2.2.2 El hidrógeno.	8
2.2.3 Celdas de hidrógeno.	10
2.2.4 Celdas húmedas de hidrógeno.	10
2.2.5 Celdas secas de hidrógeno.	11
2.2.6 Electrolisis.	11
2.3 Propuesta de solución.	12
CAPITULO III.....	13
METODOLOGÍA	13
3.1 Modalidad de la investigación.	13
3.2 Recolección de la información.	13
3.2.1 Recolección.	13
3.2.2 Observación.	13
3.2.3 Experimentación.	14
3.3 Procesamiento y análisis de datos.	14
3.4 Desarrollo del proyecto.	14
CAPITULO IV	15
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	15
4.1 Recolección de las aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia.	15
4.2 Caracterización de las aguas residuales.	16
4.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).	16
4.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DBO).	16

4.2.3 Sólidos suspendidos totales (SST).	17
4.2.4 Elementos contaminantes.	17
4.2.5 Cadmio (Cd).	17
4.2.6 Cobre (Cu).	18
4.2.7 Cromo (Cr).	18
4.2.8 Mercurio (Hg).	19
4.2.9 Plomo (Pb).	20
4.2.10 Níquel (Ni).	20
4.2.11 Potencial hidrogeno (pH).	21
4.2.12 Concentración hidronio-iónica en las aguas.	21
4.3 Parámetros de diseño de la celda seca electrolítica.	22
4.3.1 Material conductor.	22
4.3.2 Material aislante.	25
4.3.3 Electrolito.	28
4.3.4 Energía suministrada (voltaje y corriente)	28
4.3.5 Conductividad.	30
4.4 Diseño de la celda seca electrolítica.	30
4.4.1 Diseño en Solid Works de las partes y pieza de la selva seca electrolítica. ...	31
4.4.2 Cálculo del área de las placas de acero inoxidable (electrodos positivos – negativos, neutros y aislantes).	37
4.4.3 Cálculo del volumen de contención del electrolito en la celda.	39
4.4.4 Cálculo de la cantidad de carga necesaria para la electrolisis.	39
4.4.5 Cálculo de la producción de hidrógeno.	41
4.4.6 Cálculo de caudal de hidrógeno.	42
4.4.7 Cálculo de la producción de Oxígeno.	42
4.4.8 Cálculo de caudal de Oxígeno.	43

4.4.9	Electrolisis de los demás elementos presentes en las aguas residuales.	44
4.4.10	Cálculo de la conductividad del electrolito.	48
4.4.11	Cálculo de la conductividad del electrodo.	48
4.4.12	Potencia consumida.	49
4.4.13	Energía consumida.	49
4.4.14	Eficiencia del generador de hidrógeno.	50
4.5	Ensamblaje de la celda seca electrolítica de hidrógeno mediante los parámetros seleccionados.	50
4.6	Realización de pruebas de funcionamiento de la celda seca electrolítica con las aguas residuales de la Empresa Muebles León.	59
4.6.1	Prueba con bicarbonato de sodio (NaHCO ₃).	59
4.7	Cuantificación de la cantidad de hidrógeno obtenido.	62
4.7.1	Sensor HY-ALERTA™ 500.	63
4.7.2	Sensor HY-ALERTA™ 2600.	64
4.7.3	Sensor de hidrógeno LD6000 H ₂ para la detección de gas trazador.	65
4.7.4	Sensor Honeywell SPXCDULNG1.	65
4.7.5	Sensor de gas MQ – 2.	66
4.7.6	Sensor de gas MQ – 8.	67
4.7.8	Comparación de los sensores de hidrógeno.	68
4.7.9	Selección del sensor de hidrógeno.	68
4.7.10	Linealización del sensor.	69
4.5.11	Adquisición y visualización de los datos obtenidos con el sensor.	73
CAPÍTULO V		81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		81
5.1	Conclusiones	81
5.2	Recomendaciones.	82

Bibliografía	83
Anexo 1. Recolección de la información	87
Anexo 2. Resultados obtenidos de las aguas residuales.....	88
Anexo 3. Extracto de la norma UNE-EN 10020.....	89
Anexo 4. Distribución del acero inoxidable.....	90
Anexo 5. Data sheet sensor MQ-8.	91
.....	92
Anexo 6. Electrodo neutro	92
Anexo 6. Acumulación de los elementos acuerdo en los electrodos.	93
Anexo 7. Daños del material	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de la muestra	15
Tabla 2 Propiedades del cadmio	17
Tabla 3 Propiedades del cobre	18
Tabla 4 Propiedades del cromo.....	19
Tabla 5 Propiedades del Mercurio	19
Tabla 6 Propiedades del plomo.....	20
Tabla 7 Propiedades del níquel.....	20
Tabla 8 Propiedades mecánicas del platino	22
Tabla 9 Propiedades del AISI 304	23
Tabla 10 Propiedades del AISI 316	24
Tabla 11 Comparación de materiales.....	24
Tabla 12. Potenciales de electrodo estándar [19].	29
Tabla 13: Resumen de los elementos diseñados en SolidWorks 2010 de la celda seca electrolítica.....	36
Tabla 14. Herramientas y materiales para la construcción del generador	54
Tabla 15 Comparación de los sensores de hidrógeno	68
Tabla 16 Relación ppm vs. R_s/R_o	70
Tabla 17 Relación ppm vs. tiempo	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Aguas residuales [11]	8
Fig. 2 Celdas de hidrógeno [14].....	10
Fig.3 Celdas húmedas [14]	11
Fig. 4 Celda seca de hidrógeno [14]	11
Fig. 5 Recolección de las aguas residuales	16
Fig. 6 Escala de valores del pH.....	21
Fig. 7 Etilvinilacetato.....	26
Fig. 8 Neopreno	26
Fig.9 Acrílico	27
Fig. 10 Electrolito	28
Fig. 11 Partes principales de la celda seca electrolítica	31
Fig. 12 Electrodo.....	32
Fig.13 Electrodo neutro.	32
Fig.14. Diferencia de potencial.....	33
Fig.15 Juntas aislantes	34
Fig.16 Láminas: frontal y posterior	34
Fig.17 Pernos, tuercas y arandelas de la celda.....	35
Fig. 18 Carcasa posterior y aislante	51
Fig. 19 Carcasa, electrodo, junta.....	51
Fig.20 Carcasa, Electrodo positivo, Electrodo neutro, aislantes	52
Fig. 21 Diseño de ensamble celda seca electrolítica.....	52
Fig.22 Configuración de los electrodos	53
Fig. 23 Diseño de ensamble celda seca electrolítica.....	53
Fig. 24 Cortes de los electrodos	55
Fig. 25 Perforaciones de los electrodos	55
Fig.26 Corte y perforación láminas de acrílico.....	56
Fig.27 Corte láminas de neopreno	56
Fig.28 Ajustes finales de las placas de acero Inoxidable.....	57

Fig.29 Inicio ensamble celda seca	57
Fig.30 Ensamble de los electrodos	58
Fig.31 Colocación de carcasa posterior	58
Fig.32 Celda seca electrolítica	59
Fig. 33 Electrolito (mezcla de agua y bicarbonato de sodio).....	60
Fig. 34 Diagrama de conexión del sistema	60
Fig. 35 Voltaje y corriente suministrada.....	61
Fig. 36 Producción de Hidrógeno	61
Fig. 37 Explosión del hidrógeno.....	62
Fig. 38 Detector de fugas de hidrógeno / antideflagrante / de pared [21]	63
Fig.39 Sensor HY-ALERTA™ 2600 [23].....	64
Fig. 40 Sensor de hidrógeno LD6000 h2 [25]	65
Fig. 41 Sensor Honeywell [26]	66
Fig. 42 Sensor MQ-2 [27].....	67
Fig. 43 Sensor MQ-8	69
Fig.44 Curva de sensibilidad del sensor.....	69
Fig. 45 Curva de sensibilidad del sensor MQ-8.....	71
Fig. 46 Circuito divisor de voltaje	72
Fig. 47 Arduino UNO	73
Fig. 48 Get Finite Analog Sample	74
Fig. 49 Diagramas de bloques del VI	74
Fig. 50 Waveform Chart	75
Fig. 51 Colocacion del sensor en el interior del contenedor.....	75
Fig. 52 407 ppm de hidrógeno generado	76
Fig. 53 716 ppm de hidrógeno generado	76
Fig.54 Combustión del Hidrógeno.....	77
Fig.55 Electrodos después de la electrolisis	78
Fig.56 Corrosión cavernosa [29]	79

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se basa en la utilización de las aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia para obtener hidrógeno, este proceso se forja mediante el fenómeno electroquímico llamado electrolisis; en cual se separan los diferentes elementos presentes en las aguas residuales, es ahí que se obtiene el Hidrógeno en su estado natural como fuente de energía alternativa, para ello se efectúa la caracterización de las aguas y así determinar parámetros que sirvan de soporte al diseño del prototipo de la celda seca electrolítica; además se procede a su construcción con un rango de eficiencia aceptable, posteriormente se llevan a cabo pruebas experimentales para la obtención del elemento y finalmente cuantificar la cantidad de hidrógeno alcanzado con las aguas residuales y establecer las conclusiones significativas del proyecto de investigación.

ABSTRACT

This research project is based on the use of wastewater from electroplating's processes to get hydrogen, this process is forged by means of the electrochemical phenomenon called electrolysis; in which the different elements present in the wastewater are separated and get hydrogen in its natural state as a source of alternative energy, for a wastewater characterization is performed and determine parameters that serve as support to design prototype the electrolytic dry cell; also it proceeds to its construction with a range of acceptable efficiency, subsequently carried out experimental tests for obtaining element and finally quantify the amount of hydrogen got with sewage and set the research project's significant conclusions.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AISI.- Es una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos. Es la más común en los Estados Unidos.

Aislante.- Material que no conduce la electricidad.

Ánodo.- Polo positivo del generador en el cual se conecta la carga positiva.

Cátodo.- Polo negativo del generador en el cual se conecta la carga negativa.

Electrodo.- Es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.

Electrolito.- Es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico.

Gas.- Se utiliza como combustible para producir energía térmica mediante un proceso de combustión.

Hidrógeno.- Elemento químico de peso atómico 1 con mayor presencia en el universo.

Neutro.- Se aplica al cuerpo que tiene la misma cantidad de electricidad positiva y negativa.

Sensor.- Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Solución.- Es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí.

ACRÓNIMOS

A_{en}- Área electrodo neutro.

A_{ent}- Área electrodo neutro total.

A_{epn}- Área electrodo positivo y negativo.

A_{epnt}- Área electrodo positivo y negativo total.

AISI- American Iron and Steel Institute.

A_{la}- Área lamina aislante.

A_{Tla}- Área total lámina aislante.

C- Culombio

^o*C*- Grado centígrado

cal/gr- Caloría sobre gramo

Cd- Cadmio.

CH- Concentración Hidronio-Iónica.

C_{3H₆O₃}- Ácido láctico.

CH₂O₂- Ácido fórmico.

CO₂- Dióxido de Carbono.

Cr- Cromo.

Cu- Cobre.

dH- Densidad del hidrógeno.

dO- Densidad del Oxígeno.

DBO- Demanda bioquímica de Oxígeno.

DQO.- Demanda química de Oxígeno.

E.- Energía

EC.- Conductividad eléctrica del electrolito

F.- Constante de Faraday

EVA.- Etil vinil acetato.

H₂.- Hidrógeno diatómico.

H₂O₂.- Agua Oxigenada

Hg.- Mercurio.

HNO₃.- Ácido Nítrico.

H₃PO₄.- Ácido Fosfórico.

H₂SO₄.- Ácido Sulfúrico.

I.- Corriente

K.- Conductividad del electrodo

K(OH).- Hidróxido de Potasio.

LPM.- Litros por minuto

M.- Masa molar

m.- Masa de la sustancia

mg/l.- miligramo sobre litro.

ml.- mililitro.

n.- Número de valencia

nc.- Número de celdas

NaHCO₃.- Bicarbonato de sodio.

Na(OH).- Hidróxido de Sodio.

Ni.- Níquel.

O.- Oxígeno

P.-Potencia

Pb.- Plomo.

pH.- Potencial de hidrógeno.

PMMA.- Polimetilmetacrilato

ppm.- partes por millón.

PWM.- Pulse-width modulation.

Q.-Carga eléctrica

QH.- Caudal del Hidrógeno.

Qo.- Caudal de Oxígeno.

QTH.- Caudal total de hidrógeno.

QTO.- Caudal total de Oxígeno.

R.- Resistencia

s.- Segundo

SST.- Sólidos totales disueltos.

t.- Tiempo transcurrido

TDS.- Total de sólidos disueltos

TRH .- Tiempo de retención hidráulica

UNE.- Una norma Española.

$\mu S/cm.$ - Micro Siemens sobre centímetro

V- Voltaje

V_c- Volumen de la celda.

V_H- Volumen de hidrógeno.

V_O- Volumen de Oxígeno.

V_{TH}- Volumen total de hidrógeno.

V_{TO}- Volumen total de Oxígeno.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha volcado la atención en la producción del hidrógeno, por ser un combustible limpio y renovable, el cual posee un alto rendimiento energético (122 KJ/g, 2.75 veces más alto que los combustibles hidrocarbonados), siendo el agua el único producto resultante [1].

En la búsqueda enfática para obtener nuevas tecnologías que aprovechen de manera eficiente y responsable los recursos naturales; se han descubierto diversas formas de adquirir energía amigable con el ambiente, es así que existe la curiosidad de incursionar en el tema de las energías renovables con la elaboración del presente proyecto de investigación denominado **“Celda seca electrolítica para la obtención de Hidrógeno con aguas residuales de la empresa muebles León”** el cual surge en la necesidad de no desechar las aguas residuales y más bien utilizarlas en la generación de Hidrógeno molecular; debido a que estas aguas contaminan el medio ambiente y ocasionan daños irreversibles a la salud, problemáticas y justificaciones que son descritas con mayor énfasis y profundidad en el Capítulo I.

En el Capítulo II se redactan algunos temas de carácter energético y medio ambiental que son abordados en varios trabajos de investigación presentes en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial; y ofrecen un soporte para la construcción del marco teórico.

En el Capítulo III se puntualiza la esencia del desarrollo del trabajo de investigación y la forma de extraer la información requerida para el progreso del proyecto.

En el Capítulo IV se encuentra el desarrollo del trabajo de investigación con el progreso y avance de todos los objetivos propuestos.

En el Capítulo V finalmente se presentan los efectos y resultados de la investigación mediante las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

“CELDA SECA ELECTROLÍTICA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA MUEBLES LEÓN”

1.2 Planteamiento del problema.

Hoy en día en el mundo Industrial y moderno, se puede observar un abuso en la explotación de los recursos fósiles no renovables, sobre todo en la utilización del petróleo como fuente para la producción de combustibles; aplicados en diversos tipos de motores de combustión interna, casos que son más notorios en aquellos países industrializados; razón por la cual conlleva a una escasez inminente de dichos recursos y sobre todo al efecto contaminante que es producido por la combustión misma de los carburantes al momento de su utilización.

Es así que grandes científicos de escala mundial tratan de buscar nuevas fuentes de energía, en especial renovables y que no ocasionen daño alguno al medio ambiente, adentrándose de esta manera al uso del hidrógeno debido a que es el elemento con mayor presencia en el planeta; aunque no en su estado único sino más bien se encuentra formando parte de algún compuesto en especial como es el agua (H_2O), sea esta pura o resultante de algún proceso industrial como las aguas residuales, entre otros.

En América Latina existe un bajo índice en el desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno; sin embargo existen países en cual dan lugar a su obtención como Brasil constituyéndose en el líder en programas de I&D (Investigación y Desarrollo) sobre la energía del H_2 , el más importante es el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno, seguido de Argentina participando alrededor de 120 investigadores en el área con su centro bandera es la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado, México constituye el tercer país de la región en avanzar hacia la economía del H_2 dentro de sus acciones principales se ubica la Red Nacional del Hidrógeno. Los demás países de la región están a la zaga de los anteriores y sus

acciones de I&D (Investigación y Desarrollo) sobre las tecnologías del H₂ responden más a iniciativas particulares y aisladas que planes y acciones concertadas, siendo la ausencia de información sobre ellas su rasgo distintivo [2]. También observándose de esta manera en Latinoamérica el uso excesivo de los combustibles fósiles, produciendo grandes emisiones de CO₂ a nuestra atmosfera.

En el Ecuador es evidente el poco uso del hidrógeno como combustible alternativo; el cual hace obligatorio buscar nuevas formas de obtener dicho elemento; para ayudar así al cambio climático y a la reducción de gases de efecto invernadero que afectan continuamente al planeta, se considera además la importancia de tener en cuenta estas nuevas formas de producción de energías limpias y renovables con la utilización de aguas residuales como combustible principal.

La Empresa Muebles León de la ciudad de Ambato ubicado en la Provincia de Tungurahua; se encuentra en proceso de implementación de un sistema de tratamiento de sus aguas residuales para luego desecharlas en las alcantarillas; se conoce que las aguas residuales de los procesos de galvanoplastia contaminan el ecosistema y es una de las que causan grandes impactos al medio ambiente por los metales e insumos químicos que suelen emplearse, y son descargados en los diferentes efluentes. Estos tóxicos como el cromo, níquel no biodegradables contaminan el agua, los terrenos agrícolas y alimentos, también muchos de estos son considerados cancerígenos; por ende aquellas empresas dedicadas a este tipo de actividad se encargan de realizar estudios que solo tratan de mejorar la calidad del agua mas no aprovecharla de alguna manera, peor aún como carburante para la generación de algún tipo de energía renovable y limpia; lo cual induce a la generación de impactos ambientales.

1.3 Delimitación.

Área académica: Mecánica.

Línea de investigación: Mecánica.

Sublínea de investigación: Gestión e implementación de sistemas de energía alternativa.

Delimitación espacial: La presente investigación se realizará en la ciudad de Ambato (haciendo uso de las aguas residuales de la Empresa Muebles León que se originan del desprendimiento de agua de los materiales tratados en los diferentes tanques).

Delimitación temporal: El proyecto tendrá una duración de seis meses a partir de su aprobación por el H. Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4 Justificación.

Los continuos cambios climáticos suscitados en las últimas décadas han llevado a las personas a tomar conciencia e interés sobre el uso de nuevas energías alternativas; que sirvan de soporte energético y que no contaminen el planeta, desertando el uso de recursos fósiles que ocasionan daños irreversibles al medio ambiente, provocan emisiones de CO₂, daños a la capa de ozono, entre otros deterioros notables en la actualidad.

La construcción de celdas de hidrógeno sean estas secas o húmedas se han puesto en marcha gracias a la iniciativa de investigadores, que a través de electrolisis y otros métodos han logrado aumentar el nivel de obtención del mismo, el avance tecnológico continuo ha permitido reemplazar la explotación de los recursos fósiles por fuentes de energía de carácter más limpio y eficiente.

Es imprescindible revelar la importancia considerable que posee la producción de hidrógeno, hay que tener en cuenta que su combustión no genera gases contaminantes y además posee múltiples aplicaciones como son: la generación de combustibles alternativos para motores de combustión interna, pilas de combustible, para la síntesis de los plásticos del poliéster y del nailon, entre otras; reduciéndose considerablemente la explotación de recursos no renovables y ayudar a coexistir con el medio ambiente.

El presente trabajo se enfoca a la fabricación de una celda electrolítica para la producción de hidrógeno; con aguas residuales del proceso de galvanoplastia de la empresa muebles León; beneficiándose de esta manera aquellas empresas dedicadas a este tipo de actividad y puedan reutilizar sus aguas como fuente energética para generar combustión, ayudar al medio ambiente y en general a las personas que consumen

alimentos que son nutridos con este tipo de aguas; ofreciendo así un entorno natural menos contaminado.

La generación de hidrógeno procura recurrir a un tipo de energía que coexista con el medio ambiente, sea limpia y aún más eficiente que los combustibles habituales que se usan a diario, mediante la construcción de una celda seca de Hidrógeno mediante el uso de aguas residuales de los procesos de galvanoplastia para la generación de hidrógeno a nivel experimental; se reconocerá el aprovechamiento de la celda electrolítica con dichas aguas, contribuyendo con menos contaminación al medio ambiente y obteniendo un nuevo tipo de combustible; demostrando así la completa factibilidad para la realización del proyecto.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

Construir celda seca electrolítica para la obtención de hidrógeno con aguas residuales de la empresa Muebles León.

1.5.2 Objetivos Específicos.

Caracterizar las aguas residuales de los procesos de galvanoplastia con ensayos del laboratorio en muebles León.

Diseñar la celda seca electrolítica para generar hidrógeno utilizando aguas residuales.

Ensamblar la celda electrolítica de hidrógeno mediante los parámetros seleccionados.

Cuantificar la cantidad de hidrógeno obtenida como fuente de energía alternativa.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos.

Explorando tesis, revistas, artículos científicos, entre otros argumentos relacionados a la investigación propuesta se han logrado encontrar los siguientes temas:

Implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna; cuya principal conclusión dice: A partir del resultado obtenido en las pruebas, se analizaron los beneficios económicos, ambientales y técnicos del sistema dual-fuel; dando como resultado:

Ahorro de gasolina del 23,5%.

Reducción de gases contaminantes (CO: 2%; NO: 46% y HC: 51%).

Incremento de potencia del 2,4%.

Incremento del torque del 4,4%.

Combustión más eficiente en revoluciones altas y medias.

Limpieza de cámaras de combustión: nula [3].

Generando hidrógeno para producir corriente eléctrica cuya principal conclusión dice: Los resultados han sido mejores de lo esperados, pues si con una monocelda se obtiene casi 1 voltio, con la creación de varias monoceldas en serie, es decir lo que sería una pila, podríamos obtener un alto voltaje [4].

Estudio sobre la aplicación de hidrógeno como combustible alternativo a bordo de buques detallando como importante lo siguiente: A lo largo del trabajo hemos podido observar como el hidrógeno puede, en un futuro no muy lejano, formar parte de nuestras vidas. Aunque a día de hoy esta realidad nos parezca un tanto descabellada, ya en su día Julio Verne, en el libro de “La isla misteriosa” nos hablaba de él con la cita: “la agua, que se descompondrá por medio de la electricidad, y entonces se habrá transformado en una fuerza poderosa y manejable. Yo creo que la agua será empleada un día como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, empleados individualmente, suministrarán una fuente inagotable de calor y luz, en una intensidad

que el carbón no es capaz de dar. Creo entonces, que cuando los depósitos de carbón se hayan agotado, nos calentaremos con agua. El agua será el carbón del futuro [5].

La tecnología del hidrógeno, una oportunidad estratégica para la perdurabilidad del sector energético en Colombia cuya principal conclusión dice: La crisis energética vivida por Colombia a principios de la década de los noventa, permitió el desarrollo de una gran infraestructura energética nacional en torno a las fuentes hidrológicas, aspecto que ha sido clave para la actual capacidad de exportación de energía eléctrica. Las inversiones en hidroeléctricas siguen avanzando y ha llevado a posicionar a Colombia como uno de los mayores exportadores de energía eléctrica en toda Latinoamérica [6].

Producir hidrógeno a partir de luz solar y aguas residuales; detallando como importancia lo siguiente: Tanto las células de combustible microbianas como las células foto-electroquímicas pueden ser usadas solas para producir gas hidrógeno. Ambas, sin embargo, requieren de un pequeño voltaje adicional para superar la barrera energética termodinámica y lograr la reducción de protones a hidrógeno [7].

Obtienen energía renovable a partir de aguas residuales cuya principal conclusión dice: Los resultados han sido muy positivos y se ha conseguido intensidades de corriente y velocidades de producción de hidrógeno muy elevadas a partir de la depuración de estas aguas residuales. A largo plazo, la celda alimentada con residuos lácteos dio los mejores resultados tanto en términos de intensidad de corriente, como en producción de hidrógeno y en recuperación de electrones en el cátodo, y todo ello con un voltaje aplicado de sólo 0.8 V [8].

Producción de hidrógeno a partir de aguas residuales; cuya principal conclusión dice: Es factible producir hidrogeno a partir de las aguas residuales de la industria tequilera. Las mejores condiciones encontradas en esta investigación, se obtuvieron a 35°C, TRH de 6h, pH de 5.5 y carga orgánica de 5 g/L. Los bajos resultados en la tasa máxima de producción de hidrógeno están asociados con la presencia de bacterias metanogénicas, que afectan la eficiencia en la producción de hidrógeno [9].

2.2 Fundamentación teórica.

2.2.1 Las aguas residuales.

Se denominan aguas residuales a aquellas que resultan después de haber sido utilizadas en nuestros domicilios, en las fábricas, en actividades ganaderas, etc. Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas: llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas y en ocasiones algunas sustancias muy tóxicas (Ver Fig. 1) [10].

Estas aguas residuales, antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles. Todavía existen muchos pueblos y ciudades de nuestro país que vierten sus aguas residuales directamente a los ríos, sin depurarlas. Esta conducta ha provocado que la mayoría de los seres vivos que vivían en esos ríos hayan desaparecido [10].

Al agua contaminada se le llama aguas negras y son desechadas por los hogares como cuando nos bañamos, lavamos ropa, trastos, etc, así como por las industrias donde las aguas negras van acompañadas de desechos químicos. El agua que entra a los hogares e industrias no siempre tiene la misma calidad al salir después de haber sido usada. La mayor parte del agua que se destina a estos lugares (hogares, industrias y oficinas) debe de ser tratada antes de ser regresada al ambiente. La naturaleza tiene una habilidad asombrosa para "limpiar" pequeñas cantidades de agua de desecho y contaminación, pero si se hiciese cargo de los miles de millones de galones de agua y drenaje que el hombre origina diariamente, no tendría la capacidad suficiente para hacerlo. Las instalaciones de tratamiento de aguas reducen la contaminación en las aguas de desecho a un nivel que la naturaleza puede manejar [10].

El agua al ser usada por el hombre, muchas veces se convierte en agua de desecho y drenaje. Las substancias que se pueden encontrar son desechos humanos, restos de comida, aceites, jabones y químicos. En los hogares, también se incluye agua usada en los fregaderos de cocina, en las regaderas, tinas de baño, lavadores de ropa y lavadores de loza. Las oficinas e industrias también contribuyen a aumentar la cantidad de agua que debe de ser tratada [10].



Fig. 1 Aguas residuales [11]

Las aguas de desecho también incluyen escurrimientos de tormenta. Aunque algunas personas asumen que el agua que corre por las calles cuando llueve está bastante limpia, en realidad no es así. Sustancias contaminantes que se desprenden de las mismas calles, estacionamientos y techos de casas y edificios, pueden causar daño a nuestros ríos y lagos [10].

2.2.2 El hidrógeno.

El hidrógeno es el elemento más ligero de la naturaleza, así como el más abundante en el universo, totalizando más del 70%. Se halla en las estrellas jóvenes, en polvo interestelar y en las enormes nubes de gas suspendidas en el espacio, pero la mayor parte de él se encuentra formando diversos compuestos químicos. Presenta muy baja solubilidad en líquidos, pero una alta solubilidad en metales, especialmente en paladio [12].

El Hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido y no es tóxico, también se quema en el aire formando una llama azul pálido casi invisible. Es el más ligero de los gases conocidos en función a su bajo peso específico con relación al aire. Por esta razón, su manipulación requiere de cuidados especiales para evitar accidentes [12].

El Hidrógeno es particularmente propenso a fugas debido a su baja viscosidad y a su bajo peso molecular (peso molecular = 2.016). Es un combustible con un alto contenido energético, que proporciona 28.6696 Kcal por cada gramo, frente a 11.953 Kcal/gr del gas natural, 10.780 Kcal/gr de la gasolina, 10.932Kcal/gr del butano y 10.0792 Kcal/gr del propano [12].

Usos: El empleo más importante del hidrógeno es en la síntesis del amoníaco. La utilización del hidrógeno está aumentando con rapidez en las operaciones de refinación del petróleo, como el rompimiento por hidrógeno (*hydrocracking*), y en el tratamiento con hidrógeno para eliminar azufre. Se consumen grandes cantidades de hidrógeno en la hidrogenación catalítica de aceites vegetales líquidos insaturados para obtener grasas sólidas. La hidrogenación se utiliza en la manufactura de productos químicos orgánicos. Grandes cantidades de hidrógeno se emplean como combustible de cohetes, en combinación con oxígeno o flúor, y como un propulsor de cohetes impulsados por energía nuclear [13].

Propiedades: El hidrógeno común tiene un peso molecular de 2.01594. 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.

A temperaturas ordinarias el hidrógeno es una sustancia poco reactiva a menos que haya sido activado de alguna manera; por ejemplo, por un catalizador adecuado. A temperaturas elevadas es muy reactivo [13].

Aunque por lo general es diatómico, el hidrógeno molecular se disocia a temperaturas elevadas en átomos libres. El hidrógeno atómico es un agente reductor poderoso, aun a la temperatura ambiente. Reacciona con los óxidos y los cloruros de muchos metales, entre ellos la plata, el cobre, el plomo, el bismuto y el mercurio, para producir los metales libres. Reduce a su estado metálico algunas sales, como los nitratos, nitritos y cianuros de sodio y potasio. Reacciona con cierto número de elementos, tanto metales como no metales, para producir hidruros, como el NaH, KH, H₂S y PH₃. El hidrógeno atómico produce peróxido de hidrógeno, con oxígeno. Con compuestos orgánicos, el hidrógeno atómico reacciona para generar una mezcla compleja de productos; con etileno, C₂H₄, por ejemplo, los productos son etano, C₂H₆, y butano, C₄H₁₀. El calor que se libera cuando los átomos de hidrógeno se recombinan para formar las moléculas de hidrógeno se aprovecha para obtener temperaturas muy elevadas en soldadura de hidrógeno atómico [13].

2.2.3 Celdas de hidrógeno.

La celda electrolítica que se ilustra en la Fig. 2 transforma una corriente eléctrica en una reacción química de oxidación-reducción que no tiene lugar de modo espontáneo. En muchas de estas reacciones se descompone una sustancia química por lo que dicho proceso recibe el nombre de electrolisis. También se la conoce como cuba electrolítica. A diferencia de la celda voltaica, en la celda electrolítica, los dos electrodos no necesitan estar separados, por lo que hay un sólo recipiente en el que tienen lugar las dos semireacciones.

La electrólisis se consigue mediante las llamadas celdas electrolíticas, que son láminas de acero. Hay dos tipos de celdas: celdas húmedas y secas.

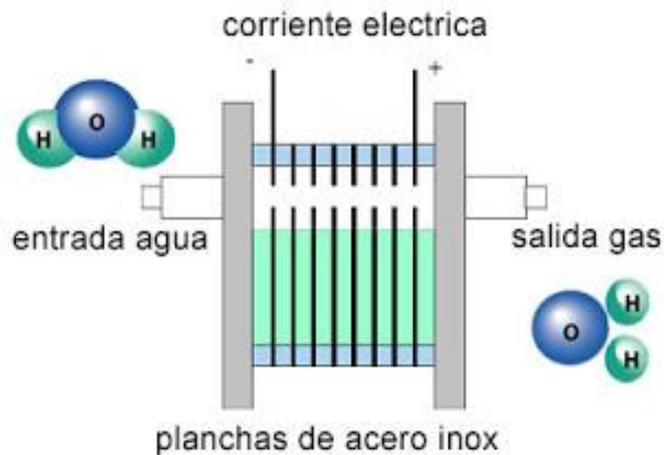


Fig. 2 Celdas de hidrógeno [14]

2.2.4 Celdas húmedas de hidrógeno.

Son las más sencillas de ensamblar. Estas celdas están formadas por láminas de acero y por aislantes de plástico. De este tipo también existen en espiral de acero. En la Fig. 3 se puede observar este tipo de celda.



Fig.3 Celdas húmedas [14]

2.2.5 Celdas secas de hidrógeno.

Son un diseño y prototipo más eficiente que una celda sumergida o húmeda. El agua transita en el interior de la celda seca y sale convertida en gas hidrógeno y oxígeno. Estas celdas son recomendadas para construir por ser más eficientes (ver Fig. 4).

Las placas pueden ir conectadas al polo positivo al negativo o a ninguno siendo neutra. Existen distintas configuraciones dependiendo del número de celdas.



Fig. 4 Celda seca de hidrógeno [14]

2.2.6 Electrolisis.

Electrolisis es el proceso donde se emplea una determinada cantidad de energía eléctrica haciéndola pasar a través de una sustancia en solución o fundida ocasionando en ella cambios químicos. La electrolisis se lleva a cabo en un dispositivo conocido como celda electrolítica [15].

Las celdas electrolíticas están constituidas por un recipiente; el cual contiene al electrólito y debe ser de un material que no reaccione con éste, dos electrodos (uno funciona como cátodo y el otro como ánodo) quienes permiten el paso de la corriente eléctrica. Una fuente de voltaje y un amperímetro [15].

Una celda electrolítica consta de un líquido conductor llamado electrolítico además de dos electrodos de composición similar. La celda como tal no sirve como fuente de energía eléctrica, pero puede conducir corriente desde una fuente externa denominada acción electrolítica. Se usa en electro deposición, electro formación, producción de gases y realización de muchos procedimientos industriales, un ejemplo es la refinación de metales. Si debido al flujo de la corriente los electrodos se tornan desiguales, es posible que ocurra una acción voltaica [15].

2.3 Propuesta de solución.

El siguiente proyecto de investigación plantea construir una celda seca electrolítica para la obtención de hidrógeno con aguas residuales de la empresa Muebles León.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación.

La presente investigación se contextualiza en la modalidad de investigación Bibliográfica - Documental, porque los hechos serán estudiados en primera instancia en base de libros y documentos presentados en internet, para la obtención de conocimientos en lo relativo al tema de celdas secas para producir hidrógeno; información que servirá de manera recomendable en la ejecución del proyecto.

También se efectuará una investigación experimental ya que está compuesta por un conjunto de actividades técnicas y mecánicas que se emplearán para la manufactura y obtención de los resultados finales sobre el tema a investigar; debido a que la responsabilidad del total desempeño corresponde al investigador.

3.2 Recolección de la información.

Las Técnicas empleadas en la presente investigación serán: la recolección, observación y la experimentación.

3.2.1 Recolección.

Para la recolección de información se utilizará numerosos manuales, guías y libros de mecánica, química aplicada entre otros como la Web para una correcta recolección de la información necesaria y que el proyecto desempeñe el trabajo señalado; además se recogerán las aguas residuales de la empresa para los ensayos correspondientes.

3.2.2 Observación.

Se observará el comportamiento y nivel de producción de hidrogeno de la celda electrolítica, los datos serán obtenidos a través de la recopilación de la información existente, sin realizar intervenciones en su comportamiento.

3.2.3 Experimentación.

La experimentación será utilizada para conocer el grado de aceptación del trabajo realizado con sus respectivas pruebas; al generar nuevos carburantes de combustión interna que ahorren energía, sean eficientes y sobre todo no ocasionen daño al medio ambiente.

3.3 Procesamiento y análisis de datos.

- Análisis y recolección de datos obtenidos mediante documentos, las técnicas e instrumentos de Investigación planteada anteriormente; las mismas que sean de ayuda para la elaboración del proyecto.
- Consideración y revisión de la información recogida, con el propósito de rechazar la información y los datos innecesarios; que no sean de utilidad para la correcta preparación del proyecto.
- Interpretación de los resultados, con apoyo del marco teórico.
- Conclusiones y recomendaciones.

3.4 Desarrollo del proyecto.

- Recolección de las aguas residuales obtenidas en Muebles León.
- Caracterización de las aguas residuales con ensayos del laboratorio.
- Determinación de los parámetros de diseño de la celda seca electrolítica.
- Diseño de la celda seca electrolítica para generar hidrógeno utilizando aguas residuales.
- Ensamblaje de la celda seca electrolítica de hidrógeno mediante los parámetros seleccionados.
- Realización de pruebas de funcionamiento de la celda seca electrolítica construida con las aguas residuales.
- Cuantificación de la cantidad de hidrógeno obtenida.
- Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos en los experimentos realizados.
- Desarrollo del informe final.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El presente capítulo tiene como propósito fundamental aprovechar las aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia para obtener hidrógeno mediante: la caracterización de las aguas residuales, el diseño y construcción de un prototipo de celda una seca electrolítica el cual pueda ser utilizada a nivel experimental para finalmente cuantificar la cantidad de hidrógeno obtenido en ppm.

4.1 Recolección de las aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia.

Se procede a la recolección de las aguas residuales tomadas en la etapa final de galvanoplastia (Cromado y Nivelado), que es en donde se recolectan todas las aguas que son derramadas en la superficie de la empresa como se muestra en la Fig. 5; para ello se efectúa un muestreo simple con dos envases de vidrio de 250ml; la recolección se realizó el día 13 de Marzo del 2015; (Ver Tabla 1 y Anexo 1).

Tabla 1. Información de la muestra

Matriz		Agua				
Código de Laboratorio	Código de Muestreo	Referencia	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84	Observaciones
A-0894	ML001	Agua Muestra Simple	13/03/15	16:01	7651769860098	Ninguna Observación

La muestra tomada se envía al laboratorio para su respectivo análisis y determinar en mg/l la cantidad de contaminantes presentes en las aguas.



Fig. 5 Recolección de las aguas residuales

4.2 Caracterización de las aguas residuales.

Luego se realizan los siguientes ensayos de laboratorio DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), Sólidos suspendidos totales, elementos contaminantes tales como: Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo, Níquel; los ensayos de estos parámetros sirven de soporte para demostrar que aquellas aguas son contaminadas y por último el pH (Potencial de Hidrógeno) dato de interés para el diseño de la celda seca electrolítica.

4.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Es uno de los ensayos más significativos en la cual se puede determinar la cantidad de Oxígeno consumido o demandado por los microorganismos especialmente bacterias, hongos y plancton para degradar o transformar la materia orgánica biodegradable en un periodo de cinco días y a 20°C; en el análisis realizado se puede observar una demanda bioquímica de oxígeno de 4600 mg/l.

4.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La demanda química de oxígeno es aquel parámetro que determina la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas; mediante medios químicos que se encuentran disueltas o en suspensión en una muestra líquida determinada. Se utiliza para medir el

grado de contaminación y concentración de materia orgánica presente y está expresada en miligramos de oxígeno diatómico por litro; en el ensayo efectuado en las aguas residuales se observa una concentración de 8050 mg/l.

4.2.3 Sólidos suspendidos totales (SST).

Este parámetro corresponde a la cantidad de sólidos que son retenidos después de realizar la filtración, es decir el residuo no filtrable de la muestra de las aguas residuales; estos sólidos pueden estar constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión o coloidal; una vez efectuado el análisis se puede observar una acumulación de dichos sólidos de 22mg/l.

4.2.4 Elementos contaminantes.

Son aquellos elementos químicos que pueden causar algún daño irreversible o destruir una superficie o entorno con la cual entren en contacto.

Entre estos elementos contaminantes se encuentran:

- Cadmio
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Plomo
- Níquel

4.2.5 Cadmio (Cd).

Es uno de los metales químicos más tóxicos existentes (Ver Tabla 2); se encuentra en minas de zinc y se emplea en la empresa especialmente en el proceso de recubrimiento de algunas partes de los muebles tales como los respaldos, los travesaños entre otros; existiendo así en el proceso una concentración de 0,02 mg/l.

Tabla 2 Propiedades del cadmio

Cadmio	
Símbolo; valencia	Cd; 2

Masa atómica	112,411 u
Densidad	8650 kg/m ³
Punto de fusión	594,22 K (321 °C)
Punto de ebullición	1041 K (768 °C)
Conductividad eléctrica	13,8 × 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	96,8 W/(K·m)

4.2.6 Cobre (Cu).

Es un metal de color rojizo y brillo metálico que junto con la plata y el oro (Ver Tabla 3), forma parte de la llamada familia del cobre, se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de la electricidad; en el ensayo realizado de las descargas de las aguas residuales de la empresa se encontró una cantidad de 154,78 mg/l.

Tabla 3 Propiedades del cobre

Cobre	
Símbolo; valencia	Cu; 1,2
Masa atómica	63,536 u
Densidad	8960 kg/m ³
Punto de fusión	1357,77 K (1084,62 °C)
Punto de ebullición	2835 K (2562 °C)
Conductividad eléctrica	58,108 × 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	400 W/(K·m)

4.2.7 Cromo (Cr).

Es un metal de transición de característica frágil, gris acerado y brillante, es muy resistente frente a la corrosión y a la oxidación (Ver Tabla 4). El cromo es utilizado en la empresa principalmente para aportar cierta resistencia a la corrosión y un acabado brillante en las partes de los muebles fabricados; en el ensayo se pudo obtener 1300 mg/l de dicho elemento, siendo el elemento con más presencia en el análisis de aguas realizado.

Tabla 4 Propiedades del cromo

Cromo	
Símbolo; valencia	Cr; 6
Masa atómica	51,9961 u
Densidad	7140 kg/m ³
Punto de fusión	2130 K (1857 °C)
Punto de ebullición	2945 K (2672 °C)
Conductividad eléctrica	7,74·10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	93,7 W/(K·m)

4.2.8 Mercurio (Hg).

Es un metal líquido pesado de color plateado el cual a temperatura ambiente es un líquido inodoro (Ver Tabla 5), no suele ser buen conductor del calor, aunque si de la electricidad, el mercurio suele ser fuente de contaminación en cadenas alimenticias que al ser ingerido puede provocar daños irreversibles al cuerpo humano e incluso la muerte; en el ensayo realizado en las aguas de la empresa se puede encontrar una cantidad menor a 0,002 mg/l del elemento.

Tabla 5 Propiedades del Mercurio

Mercurio	
Símbolo; valencia	Hg; 1,2
Masa atómica	200,59 u
Densidad	13579,04 kg/m ³
Punto de fusión	234,32 K (-39 °C)
Punto de ebullición	629,88 K (357 °C)
Conductividad eléctrica	1,04 × 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	8,34 W/(K·m)

4.2.9 Plomo (Pb).

Es un metal pesado de densidad relativa, de color plateado con tono azulado (Ver Tabla 6), el plomo puede ser altamente tóxico para la flora y la fauna acuática; en el ensayo se observa una concentración de 37.10mg/l.

Tabla 6 Propiedades del plomo

Plomo	
Símbolo; valencia	Pb; 2,4
Masa atómica	207,2 u
Densidad	11340 kg/m ³
Punto de fusión	600,61 K (327 °C)
Punto de ebullición	2022 K (1749 °C)
Conductividad eléctrica	4,81 × 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	35,3 W/(K·m)

4.2.10 Níquel (Ni).

El níquel es un metal plateado y buen conductor de la electricidad (Ver Tabla 7); que en la empresa lo utilizan para el niquelado; proceso que consiste en cubrir el material con una capa de Níquel con el propósito de mejorar la corrosión del material y brindarle propiedades decorativas.

Tabla 7 Propiedades del níquel

Níquel	
Símbolo; valencia	Ni; 2,3
Masa atómica	58,71 u
Densidad	8908 kg/m ³
Punto de fusión	1728 K (1455 °C)
Punto de ebullición	2730 K (2457 °C)
Conductividad eléctrica	14,3 × 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	90,7 W/(K·m)

4.2.11 Potencial hidrogeno (pH).

El pH es aquella medida de acidez o alcalinidad de una solución determinada (Ver Fig. 6), que indica la concentración de iones de hidrógeno positivo que se encuentran presentes en la misma; es decir la acidez del agua presentes en determinadas disoluciones; el pH es considerado como un contaminante secundario según la USEPA el cual debe ir en rangos de 6,5 hasta 8,5; en el análisis de las aguas residuales se obtuvo un pH de 5,66.

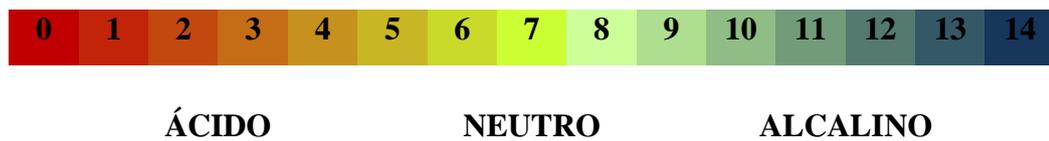


Fig. 6 Escala de valores del pH

En la Fig. 6 se observa la escala del pH dividida en tres categorías que van en valores desde 0 hasta 6,5 considerados ácidos; mismos que se van alejando del valor neutro que es 7 y desde 8 hasta 14 que es la escala máxima son considerados alcalinos, resultando en las aguas residuales un pH ácido de valor 5,66.

En el Anexo 2 se observa el resumen de los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio de las aguas residuales.

4.2.12 Concentración hidronio-iónica en las aguas.

El agua es una sustancia anfiprótica, que puede actuar como ácido al ceder un 1 protón H^{+1} (ión de hidrógeno, que es el átomo de hidrogeno que ha perdido 1 e^{-}) y que también puede actuar como base al recibir el protón H^{+1} , al mismo tiempo y consigo mismo entre dos moléculas de agua: una que actúa como ácido y la otra como base. Como resultado de esta transferencia del protón, el agua se ioniza, formando el ión oxidrilo y el ión hidronio [16].

En las aguas residuales obtenidas que viene a ser el electrolito se encuentra alterada la concentración hidronio-iónica del agua y se produce entonces una solución acuosa de clase ácida.

Para el cálculo de la concentración del ión hidronio se aplica el cologaritmo del potencial hidrógeno de las aguas residuales con (1) presentada a continuación [17]:

$$cH = \text{colog pH} \quad (1)$$

$$cH = \text{colog } 5.66$$

$$cH = 2,1877 \cdot 10^{-6}$$

4.3 Parámetros de diseño de la celda seca electrolítica.

Para el diseño de la celda seca electrolítica; utilizando aguas residuales para obtener hidrógeno se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Material conductor
- Material aislante
- Electrolito
- Energía (corriente y voltaje) y
- Conductividad.

4.3.1 Material conductor.

El material conductor necesita tener una alta resistencia a la corrosión; entre estos materiales están el níquel (Ni), el platino los cuales se pueden observar sus propiedades en las Tablas 7 y 8, pero además de estos materiales también se pueden construir celdas a partir del acero.

Tabla 8 Propiedades mecánicas del platino

Platino	
Símbolo; valencia	Pt; 2,4
Masa atómica	195.084 u
Densidad	21450 kg/m ³
Punto de fusión	1769 °C
Punto de ebullición	4098 K (3825 °C)
Conductividad eléctrica	9,5× 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	71,6 W/(K·m)

De acuerdo a la calidad de acero la norma UNE EN 10020:2001 que se indica en el Anexo 3; encargada de clasificarlos según su composición química y definir los distintos tipos de acero; los cataloga de la siguiente manera:

- Aceros no aleados,
- Aceros inoxidable y
- Aceros aleados

Debido a sus propiedades y por tener una elevada resistencia a la corrosión el acero inoxidable es el mejor para este tipo de celda; sus contenidos de cromo y otros metales que forman parte de su composición, mismos que inciden en todas las clasificaciones con bajos porcentajes que van desde 13% hasta el 25% de cromo (Ver Anexo 4) [18].

Existen tres tipos de aceros inoxidables como se observa en el Anexo 4 que pueden ser austenítico, ferrítico y martensítico, seleccionando de estos el austenítico por su contenido de cromo y la alta resistencia a la corrosión; los cuales poseen varias aleaciones y concentraciones de elementos entre ellos el molibdeno y el níquel; los cuales ayudan al acero inoxidable a ser aún más resistente, encontrando así el AISI 304 y AISI 316 cuyas propiedades se aprecian en las Tablas 9 y 10 respectivamente.

Tabla 9 Propiedades del AISI 304

AISI 304	
Resistividad Eléctrica	70-72(μOhmcm)
Módulo de Elasticidad	190-210(GPa)
Densidad	8000 kg/m ³
Dureza Brinell	160-190
Punto de fusión	1400-1455 °C
Propiedades químicas	18Cr-8Ni-2 Mn
Conductividad térmica	16,3(W/m*K)
Coefficiente expansión térmica	18× 10 ⁶ K ⁻¹

Tabla 10 Propiedades del AISI 316

AISI 316	
Resistividad Eléctrica	70-78(μOhmcm)
Módulo de Elasticidad	190-210 (GPa)
Densidad	8000 kg/m ³
Dureza Brinell	160-190
Punto de fusión	1370-1400 °C
Propiedades químicas	18Cr-12Ni- 2,5Mo
Conductividad térmica	16,3(W/m*K)
Coefficiente expansión térmica	16-18× 10 ⁶ K ⁻¹

Comparación de los materiales citados.

En la Tabla 11 se observan las principales características de los materiales a tener en cuenta para el diseño de la celda seca electrolítica, resultando la mejor opción en cuanto a propiedades físicas, mecánicas y químicas el níquel o el acero inoxidable AISI 316; pero también se puede observar propiedades parecidas en el acero inoxidable AISI 304 y además posee un bajo costo y fácil obtención en el mercado.

Tabla 11 Comparación de materiales

Material	Propiedades químicas	Conductividad térmica	Punto de fusión	Precio	Nivel de obtención
Níquel	-----	90,7 W/(K*m)	1455 °C	460 \$/m ²	Difícil
Platino	-----	71,6 W/(K*m)	1769 °C	120\$/cm ²	Difícil
AISI 304	18Cr-8Ni-2Mn	16,3W/(K*m)	1400-1455 °C	120 \$/m ²	Fácil
AISI 316	18Cr-12Ni-2,5Mo	16,3W/(K*m)	1370-1400 °C	210 \$/m ²	Difícil

Selección del material conductor adecuado para el diseño.

Se selecciona el acero inoxidable AISI 304 tomando en cuenta las propiedades físicas, mecánicas y químicas y además por su bajo costo y obtención accesible al momento de comprarlo.

4.3.2 Material aislante.

Para la construcción de la celda seca electrolítica se tienen cuenta dos tipos de material aislante: el primero que va a cumplir a función de separador de las placas de acero inoxidable y el segundo que va a estar localizado en los dos extremos para dar mayor robustez y proporcionen un mejor agarre de la celda.

Tomando en cuenta estas cualidades primero se empieza por el separador de las placas de acero inoxidable que deben ser polímeros por sus propiedades aislantes, térmicas y eléctricas; clasificándose según su comportamiento al incrementarse la temperatura que es la aplicable en: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

En estas tres clasificaciones se encuentran los más conocidos:

El etilvinilacetato el cual se presenta en la Fig. 7 o también conocido como EVA o foami; que es de tipo termoplástico utilizado en trabajos manuales, detallando sus principales características a continuación.

- Diversos grosores y tamaños
- Fácil de cortar y pegar.
- Posee una baja absorción de agua.
- Es lavable.
- No causa daños a medio ambiente.
- No es tóxico.
- Se puede reciclar o incinerar.
- Fácil maleabilidad al calor.
- Diversas aplicaciones en manualidades e industriales.



Fig. 7 Etilvinilacetato

El neopreno presentado en la Fig. 8 que corresponde a los elastómeros plásticos, posee un comportamiento elástico que puede ser deformado con facilidad sin romper sus enlaces o modificar su estructura, sus principales características son:

- Resistente a la degradación.
- Muestra una resistencia tolerable a solventes y agentes químicos.
- Resistente a la flexión y la torsión.
- Alta durabilidad.
- Tiene un coeficiente de transmisión de calor muy bajo.
- Fácil de cortar y pegar.
- No posee absorción de agua.

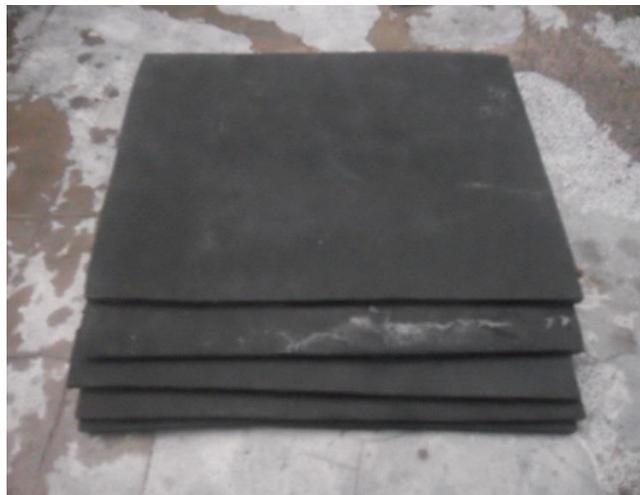


Fig. 8 Neopreno

Ahora se comienza a la elección de material aislante que se localiza en los dos extremos de la celda, para esto se escoge como más común y conocido al polímero acrílico, el cual se lustra en la Fig. 9; conocido también como PMMA, sobresaliendo frente a otros materiales por sus propiedades requeridas para el diseño de la celda seca electrolítica; propiedades detalladas a continuación:

- Alta resistencia química en soluciones acidas o alcalinas
- Material transparente
- No contiene contaminantes tóxicos
- Resistencia a la intemperie
- Estabilidad Dimensional
- Excelente aislante eléctrico
- Termoformado

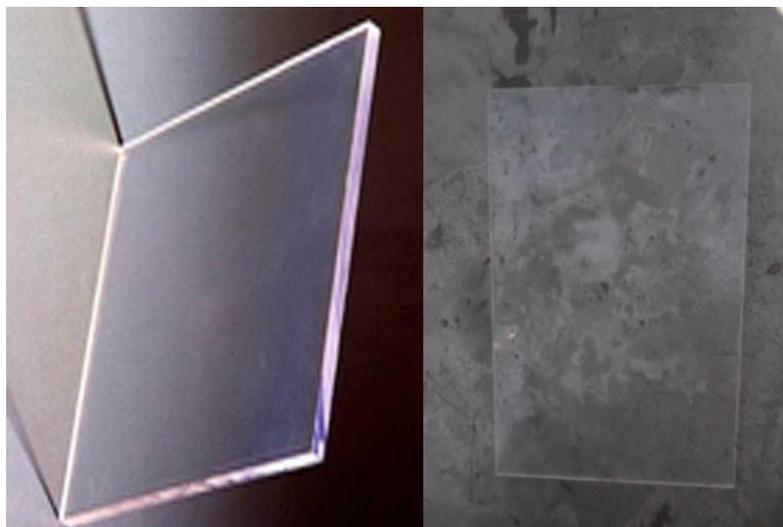


Fig.9 Acrílico

Selección del material aislante adecuado para el diseño.

Para la separación de las placas de acero inoxidable AISI 304 se utiliza el neopreno, presentando este las mejores características para el diseño y construcción de la celda seca electrolítica; además este también es utilizado como empaque para ciertos elementos mecánicos y por último en la cubierta de los extremos de la celda se utiliza el acrílico.

4.3.3 Electrolito.

Existen diferentes sustancias que se pueden usar como electrolito para generar hidrógeno; su función principal es conducir la electricidad aplicando el voltaje correspondiente, los electrolitos más usados para este tipo de celdas suelen ser el hidróxido de potasio $K(OH)$, el hidróxido de sodio $Na(OH)$, entre otros; para nuestro caso simplemente se utilizará las aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia de la empresa muebles León (Ver Fig. 10).



Fig. 10 Electrolito

4.3.4 Energía suministrada (voltaje y corriente)

Para conocer la corriente consumida en el proceso electrolítico; necesita emplearse las leyes de Faraday, que es una unidad internacional electrolítica de cantidad de carga que equivale exactamente a 96496 c/mol; y es la cantidad de electricidad transportada por cada equivalente químico de un ión; o dicho de otra forma, Faraday es la cantidad de electricidad que se necesita para que se deposite o se libere un equivalente químico de cualquier ión; para ello es indispensable tener en cuenta la primera ley de Faraday enunciada en (2) y (3) respectivamente:

$$Q = It \quad (2)$$

$$m = \frac{Mit}{nF} \quad (3)$$

El voltaje suministrado en la celda generadora tendrá como guía la Tabla 12 que consta de una lista de potenciales de electrodos estándar, necesarios para determinar la cantidad de voltaje que se deben suministrar a los electrodos de acuerdo a las distintas reacciones.

Tabla 12. Potenciales de electrodo estándar [19].

Elemento	Reacción de electrodos	Potencial de reducción en Volts
Li	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3,045
K	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2,905
Ca	$\text{Ca}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2,870
Na	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2,714
Mg	$\text{Mg}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2,370
Al	$\text{Al}^{+3} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1,660
Zn	$\text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0,763
Cr	$\text{Cr}^{+3} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,740
Fe	$\text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0,440
Cd	$\text{Cd}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0,403
Ni	$\text{Ni}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,250
Sn	$\text{Sn}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0,140
Pb	$\text{Pb}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0,126
H ₂	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0,000
Cu	$\text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0,337
I ₂	$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	+0,535
Hg	$\text{Hg}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	+0,789
Ag	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+0,799
Br ₂	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	+1,080
Cl ₂	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	+1,360
Au	$\text{Au}^{+3} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+1,500
F ₂	$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	+2,870
H ₂ O	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,229
H ₂ O	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,776

4.3.5 Conductividad.

La conductividad es aquella variable que se inspecciona en varios sectores, el cual va desde la industria química a la agricultura. Dicha variable está relacionada con el conjunto de sales disueltas en un líquido y analíticamente es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.

La conductividad está determinada por la solución que se usa como electrolito para la generación del Hidrógeno; para ello se utiliza (4):

$$TDS = (0.64)(EC) \quad (4)$$

Además para convertir de mg/l a ppm se utiliza (5).

$$1\text{ppm} = 1\text{mg/L} \quad (5)$$

Además de esto se tiene en cuenta la celda generadora; en donde también es necesario calcular la conductividad para establecer el paso de corriente eléctrica a través de la celda electrolítica, para eso se tiene en cuenta: el área de las placas, la longitud de la celda (ancho de la celda), el voltaje y corriente aplicando (6):

$$K = \frac{1}{R} * \frac{l}{A} \quad (6)$$

4.4 Diseño de la celda seca electrolítica.

La celda seca electrolítica está formada por varias partes como se detalla en la Fig. 11, una vez ya determinados los parámetros principales que inciden en el diseño y construcción se procede a efectuar su bosquejo; diseñando cada una de las piezas, teniendo en cuenta su material, tamaño y forma; para esto se optó con la ayuda del programa SolidWorks 2010; software que permite modelar virtualmente piezas mecánicas, conjuntos y extraer de ellos tanto planos competentes como alguna información requerida para la manufactura.

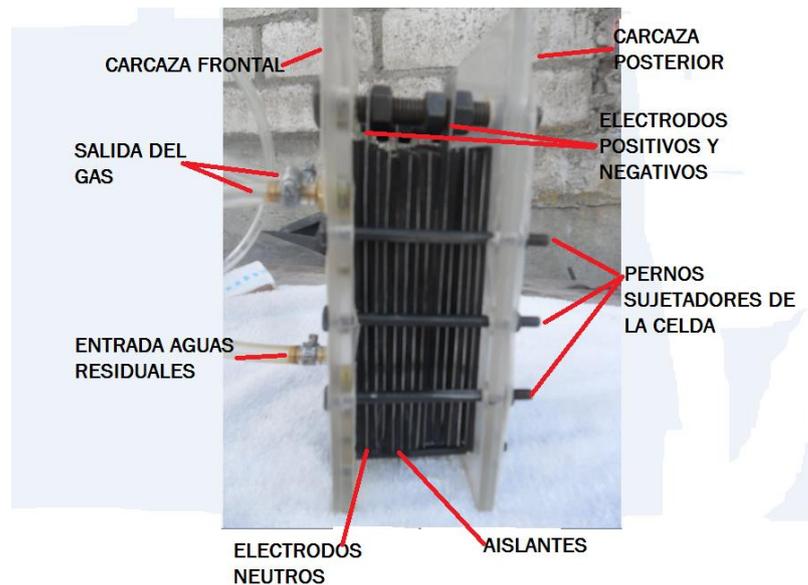


Fig. 11 Partes principales de la celda seca electrolítica

4.4.1 Diseño en Solid Works de las partes y pieza de la selva seca electrolítica.

Las primeras piezas en diseñar son los electrodos positivos y negativos indicados en la Fig. 12; que constan de cuatro placas de acero inoxidable AISI 304; dos placas que harán de polos positivos y dos placas de polos negativos, las medidas de los electrodos son de 12*16 cm cada una con 1mm de espesor, además poseen tres orificios de ½ de plg uno en la parte central inferior de las placas que es por donde ingresa el electrolito (aguas residuales) y dos en la parte superior que es la salida del hidrógeno; los electrodos constan de un saliente en la esquina superior de 3*3 cm.

Los salientes poseen una agujero en su centro de ½ plg. (1,27cm) en el cual se introducirán los pernos correspondientes para fijar y formar con ellos los ánodos (+) y cátodos (-) de la celda. Todos los detalles se observan en el Anexo 8.

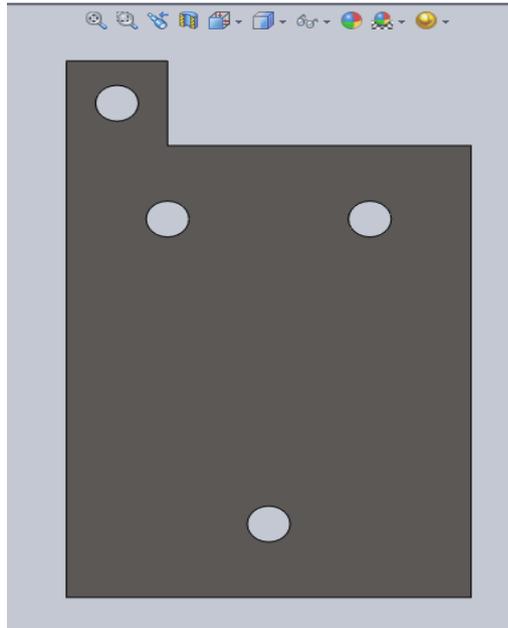


Fig. 12 Electrodo

Luego se procede al diseño de las placas neutras como se ilustra en la Fig. 13; con la misma calidad de acero inoxidable AISI 304, estas electrodos neutros tienen una medida de 12*16 cm con 1 mm de espesor, de igual forma que los electrodos (positivo y negativo) y con la misma medida; consta con tres orificios: uno ubicado en la parte inferior para el ingreso de las aguas residuales y los otros dos localizados en la parte superior para la salida del gas Hidrógeno; medidas que son detalladas en el anexo 9.

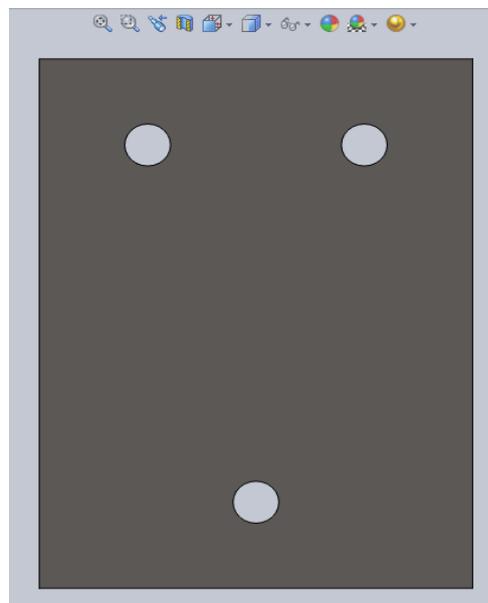


Fig.13 Electrodo neutro.

Las placas neutras ilustradas en la Fig. 14; se utilizan para reducir el potencial de acción o voltaje que está presente en los cuatro electrodos; es decir, si solo se coloca una placa neutra y al aplicar un voltaje determinado de 10 o 12 voltios la diferencia de potencial entre electrodos será la misma; pero aplicando más electrodos neutros la diferencia de potencial se irá reduciendo entre electrodo positivo y negativo, para esto se utiliza tres placas neutras entre cada electrodo; existiendo así 3 saltos de voltaje, finalmente se obtiene los 10 voltios aplicados divididos para los 3 saltos; obteniendo así una diferencia de potencial de 3,33 voltios entre cada electrodo positivo y negativo; este voltaje es suficiente para disociar las moléculas presentes en las aguas de acuerdo con la Tabla 12.

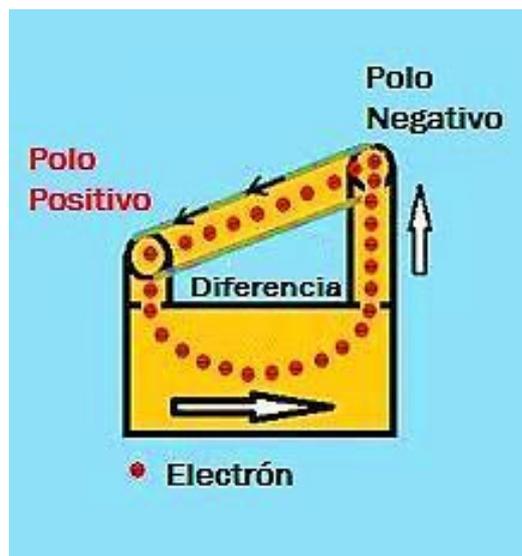


Fig. 14. Diferencia de potencial

Posteriormente se diseña el aislante o las juntas constituidas de neopreno detallado en la Fig. 15; material seleccionado para este tipo de trabajo, las mismas que se aplican para separar cada una de las placas de acero y no se produzca un arco eléctrico, estas láminas de neopreno poseen las mismas medidas que los electrodos; es decir 12*6 cm pero con 2 mm de espesor y con un borde de 1 cm al contorno de la hoja, en total se emplean 14 láminas de neopreno. Las medidas se detallan en el anexo 10 del presente informe de investigación.

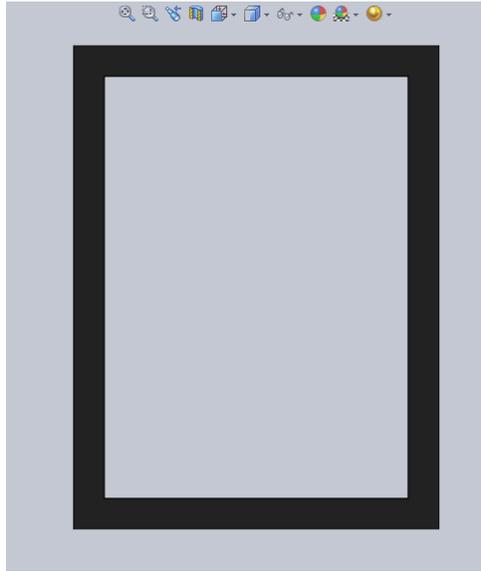


Fig.15 Juntas aislantes

Una vez culminado con la parte central de la celda se empieza a diseñar las cubiertas de los extremos de la celda que están formadas de acrílico de color transparente para poder observar el proceso en el interior de la celda (Ver Fig. 16).

Además de esto la placa de acrílico frontal posee tres orificios de $\frac{1}{2}$ plg. uno colocado en la parte inferior; el cual es la entrada del electrolito (aguas residuales) y los dos agujeros superiores son la salida del gas hidrógeno; con estos dos orificios el gas fluye con mayor disposición.

En los Anexos 11 y 12 se observan los detalles de la Fig. 16.

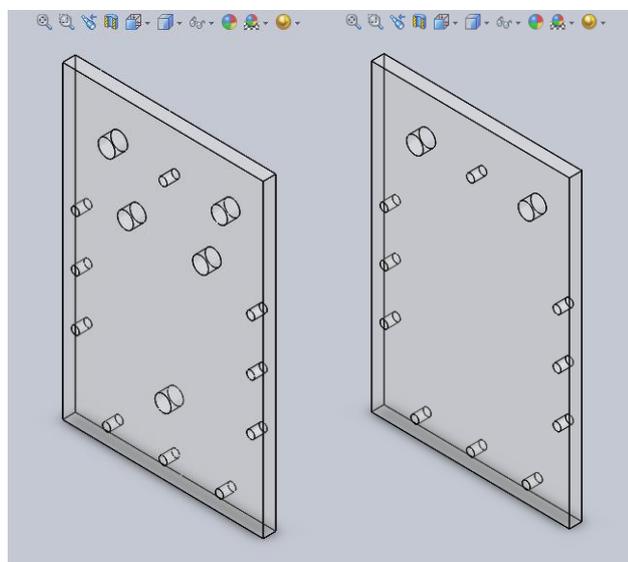


Fig.16 Láminas: frontal y posterior

Son dos láminas de acrílico de 16*24 cm con 1cm de espesor, el cual también sirve de aislante y dota de mayor corpulencia a la celda generadora.

Estas láminas conservan 10 agujeros de $\frac{1}{4}$ plg. (0,635cm) en sus contornos y dos de $\frac{1}{2}$ plg. (1,27cm) en las esquinas superiores, estos agujeros se utilizan para sujetar mediante pernos de $\frac{1}{2}$ plg el conjunto de placas conductoras y aislantes, y estos dos últimos agujeros para colocar los pernos que se utilizan como ánodo y cátodo para la conexión eléctrica de la celda.

Por último para la sujeción de las piezas de la celda se utilizan 10 pernos de $\frac{1}{4}$ plg y 2 pernos de $\frac{1}{2}$ plg con 4 pulgadas de largo cada uno, también se emplean tuercas para tener un mejor ajuste de las placas y las arandelas correspondientes a cada perno (Ver Fig. 17).

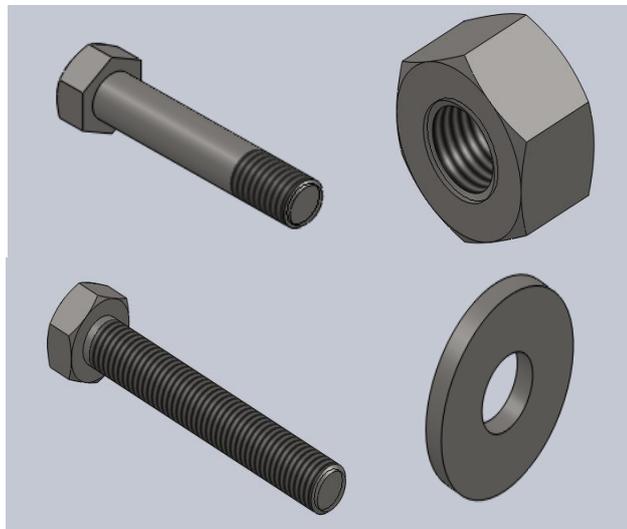
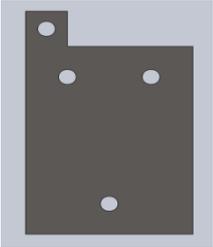
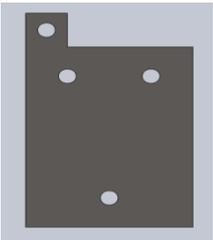
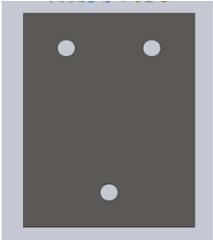
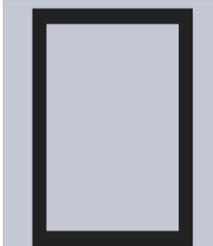
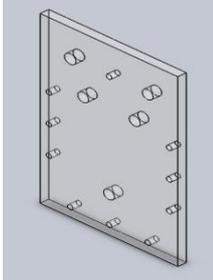
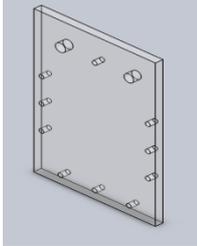
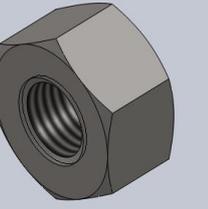


Fig.17 Pernos, tuercas y arandelas de la celda

Una vez concluido el bosquejo de las piezas y partes que componen la celda se procede a realizar los cálculos correspondientes (Ver Tabla 13).

Tabla 13: Resumen de los elementos diseñados en SolidWorks 2010 de la celda seca electrolítica.

Ítem	Detalle	Cantidad	Dimensiones	Imagen
1	Electrodo positivo acero inoxidable (AISI304)	2	Ancho: 12cm Alto: 16cm Espesor: 1mm Saliente:3*3 cm	
2	Electrodo negativo acero inoxidable (AISI304)	2	Ancho: 12cm Alto: 16cm Espesor: 1mm Saliente:3*3 cm	
3	Electrodo neutro acero inoxidable (AISI304)	9	Ancho: 12cm Alto: 16cm Espesor: 1mm	
4	Láminas aislantes de Neopreno	14	Ancho: 12cm Alto: 16cm Espesor: 2mm	
5	Lámina frontal de acrílico	1	Ancho: 16cm Alto: 24cm Espesor: 1cm	

6	Lámina posterior de acrílico	1	Ancho: 16cm Alto: 24cm Espesor: 1cm	
7	Pernos	10	¼ de diámetro de pulgada 7 cm de largo	
8	Pernos	2	½ de diámetro de pulgada 7 cm de largo	
9	Tuercas	12		
10	arandelas	12		

4.4.2 Cálculo del área de las placas de acero inoxidable (electrodos positivos – negativos, neutros y aislantes).

Electrodos positivos – negativos.

$$A = ba \tag{7}$$

El área se calcula con (7); para ello se tiene también en cuenta el área del saliente del electrodo y la diferencia del área de los cuatro orificios encontrados en la placa.

$$A_{epn} = ba + b_s a_s - 4\pi r^2$$

$$A_{epn} = (12)(16) + (3)(3) - 4\pi(0,635)^2$$

$$A_{epn} = 195,9329 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Cálculo del área total de los electrodos positivos - negativos:

$$A_{epnt} = 195,9329(4) \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{epnt} = 783,7316 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Electrodos neutros.

$$A = ba$$

Utilizando (7) se calcula el área total del electrodo y se resta el área de los tres agujeros presentes.

$$A_{en} = ba - 3\pi r^2$$

$$A_{en} = (12)(16) - 3\pi(0,635)^2$$

$$A_{en} = (12)(16) - 3,8003$$

$$A_{en} = 188,1996 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Cálculo del área total de los electrodos neutros:

$$A_{ent} = 188,1996(9) \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{ent} = 1693,7964 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Total de áreas de las placas.

$$A_t = A_{epnt} + A_{ent}$$

$$A_t = 783,7316 + 1693,7964$$

$$A_t = 2477,528 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Láminas aislantes.

$$A_{la} = ba$$

$$A_{la} = (12)(16) - (11)(15)$$

$$A_{la} = 192 - 165$$

$$A_{la} = 27 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Cálculo del área total de las láminas aislantes:

$$A_{Tla} = (27)(14) \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{Tla} = 378 \text{ [cm}^2\text{]}$$

4.4.3 Cálculo del volumen de contención del electrolito en la celda.

Para efectuar el cálculo del volumen se realiza de los espacios vacíos dejados por las láminas aislantes y se calcula utilizando (8).

$$V_c = bap \tag{8}$$

$$V_c = (11)(15)(0,3)$$

$$V_c = 49,5 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Se calcula el volumen total

$$V_c = (49,5)(14) \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_c = 693 \text{ [cm}^3\text{]}$$

4.4.4 Cálculo de la cantidad de carga necesaria para la electrolisis.

La electrolisis en el sistema consiste en dividir el agua en Hidrógeno y Oxígeno haciendo pasar corriente eléctrica a través de los electrodos cátodo (negativo) y ánodo (positivo); entonces al entrar en contacto la corriente en los electrodos y con las aguas residuales; se presenta el desprendimiento de los dos gases y los diferentes elementos

caracterizados en dichas aguas; es así que por el cátodo se obtiene el gas Hidrógeno dado a su carga positiva y por el ánodo se desprende el Oxígeno por su carga negativa.

Las siguientes reacciones se expresan analíticamente en la siguiente forma:

Reacción en el cátodo:



es decir;

2 moléculas de Hidrógeno + 2 electrones produce Hidrógeno diatómico

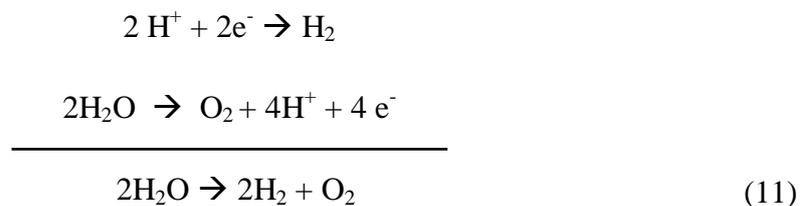
Reacción en el ánodo:



es decir;

2 moléculas de agua produce Oxígeno diatómico + 4 moléculas de Hidrógeno + 4 electrones.

Se iguala (9) y (10) para obtener la relación estequiometria (11):



Al calcular la producción de gas generado primer es necesario tener el voltaje y la corriente necesaria; datos equivalentes a 12[V] y 8[A] respectivamente.

Cálculo de la cantidad de carga que atraviesa el sistema haciendo uso de (2):

$$Q = It$$

$$Q = (8)(60)$$

$$Q = 420 [\text{A*s}]$$

Se transforma a coulomb mediante (12).

$$1A*s = 1C \quad (12)$$

$$Q = 420A * s * \frac{1C}{1A * s}$$

$$Q = 420 [C]$$

4.4.5 Cálculo de la producción de hidrógeno.

Con la cantidad de energía que atraviesa el sistema se procede a calcular los gramos de hidrógeno generados utilizando (13).

La cantidad de hidrógeno producido depende del número de electrones disponibles; es decir 1 mol de H = 2F; ver (9), por lo tanto se puede escribir:

$$\text{Gramos de H} = (420 C) * \left(\frac{1F}{96496 C/mol} \right) * \left(\frac{1mol H}{2F} \right) * \left(\frac{1,00797g/mol}{1mol H} \right)$$

$$\text{Gramos de H} = 0,0021936 [g] \quad (13)$$

Se obtiene en un intervalo de 60s y con una corriente de 8 amperios una cantidad de 0,0021936 g de Hidrógeno.

Luego se calcula el volumen obtenido mediante (14) de la densidad.

$$dH = \frac{mH}{VH} \quad (14)$$

Despejando el volumen se obtiene:

$$VH = \frac{mH}{dH}$$

Reemplazando valores:

$$VH = \frac{0,0021936 g}{0,0000899g/ml}$$

$$VH = 24,4004 [ml] \text{ de hidrógeno}$$

Se obtiene un volumen de 24,4004 [ml] desprendidos por cada semicelda; pero en total en la celda electrolítica existen 12 semiceldas entonces se obtiene un volumen total en la celda de:

$$V_{TH} = V_H n_c [ml]$$

$$V_{TH} = (24,4004)(14)$$

$$V_{TH} = 341,6056 [ml]$$

4.4.6 Cálculo de caudal de hidrógeno.

$$QH = \frac{VH}{t} \quad (15)$$

$$QH = \frac{24,4004 \text{ ml}}{1 \text{ min}}$$

$$QH = 24,4004 \text{ ml/min}$$

Caudal total en la celda

$$Q_{TH} = Q_H n_c$$

$$Q_{TH} = (24,4004)(12)$$

$$Q_{TH} = 292,8048 \text{ ml/min}$$

4.4.7 Cálculo de la producción de Oxígeno.

Al igual que en los cálculos para obtener hidrógeno y con la cantidad de energía atravesando el sistema se procede a calcular los gramos de Oxígenos generados.

La cantidad de Oxígeno producido también depende del número de electrones disponibles; es decir $0,5 \text{ mol de O} = 2F$; ver (10), por lo tanto se puede escribir:

$$\text{Gramos de O} = (420 \text{ C}) * \left(\frac{1F}{96496 \text{ C/mol}} \right) * \left(\frac{1 \text{ mol O}}{4F} \right) * \left(\frac{15,9994 \text{ g/mol}}{1 \text{ mol O}} \right)$$

$$\text{Gramos de O} = 0,017409 \text{ [g]} \quad (16)$$

Se logra en un intervalo de 60s y con una corriente de 8 amperios una cantidad de 0,03482 g de Oxígeno.

Cálculo del volumen de oxígeno obtenido mediante (17).

$$d_o = \frac{m_o}{V_o} \quad (17)$$

Despejando el volumen se obtiene:

$$V_o = \frac{m_o}{d_o}$$

Reemplazando valores:

$$V_o = \frac{0,017409 \text{ g}}{0.001429 \text{ g/ml}}$$

$$V_o = 12,1829 \text{ [ml]} \text{ de Oxígeno}$$

Se obtiene un volumen de 12,1829 [ml] desprendidos por cada semicelda; pero en total en la celda electrolítica existen 14 semiceldas entonces presenta un volumen total en la celda de:

$$V_{TO} = V_o n_c \text{ [ml]}$$

$$V_{TO} = (12,1829)(14)$$

$$V_{TO} = 170,5606 \text{ [ml]}$$

4.4.8 Cálculo de caudal de Oxígeno.

$$Q_o = \frac{V_o}{t} \quad (18)$$

$$Q_o = \frac{12,1829 \text{ [ml]}}{1 \text{ min}}$$

$$Q_o = 12,1829 \text{ [ml]}$$

Caudal total en la celda.

$$Q_{TO} = Q_o n_c$$

$$Q_{TO} = (12,1829)(12)$$

$$Q_{TO} = 146,1948 \text{ ml/min}$$

4.4.9 Electrolisis de los demás elementos presentes en las aguas residuales.

Los 8 amperios utilizados son necesarios para disociar el Oxígeno y el Hidrógeno.

Determinar la cantidad necesaria de corriente mediante la ley de Faraday empleando (3) para separar los elementos presentes en un litro de agua residual; para ello se cuenta con el Cadmio, Cobre, Cromo hexavalente, Mercurio, Plomo y Níquel.

Electrolisis del Cadmio.

Datos:

Masa de la sustancia	$m = 0,02 \text{ mg}$
Constante de Faraday	$F = 96496 \text{ C/mol}$
Tiempo transcurrido	$t = 60 \text{ s}$
Masa molar	$M = 112,411 \text{ g/mol}$
Número de valencia	$n = 2$

$$m = \frac{M I t}{n F}$$

$$I = \frac{m n F}{M t}$$

$$I = \frac{(0,02)(2)(96496)}{(112,411)(60)}$$

$$I = 572,28 \text{ [\mu A]}$$

Electrolisis del Cobre.

Datos:

Masa de la sustancia	$m = 154,78 \text{ mg}$
Constante de Faraday	$F = 96496 \text{ C/mol}$
Tiempo transcurrido	$t = 60 \text{ s}$
Masa molar	$M = 63,536 \text{ g/mol}$
Número de valencia	$n = 2$

$$I = \frac{m n F}{M t}$$

$$I = \frac{(154,78)(2)(96496)}{(63,536)(60)}$$

$$I = 7,835 \text{ [A]}$$

Electrolisis del Cromo.

En el caso del cromo hexavalente como es uno de los elementos de mayor presencia en las aguas; se necesita saber el tiempo mínimo necesario para descomponerlo y utilizando los 10 amperios.

Datos:

Masa de la sustancia	$m = 1300 \text{ mg}$
Constante de Faraday	$F = 96496 \text{ C/mol}$
Corriente	$I = 10 \text{ A}$
Masa molar	$M = 51,9961 \text{ g/mol}$
Número de valencia	$n = 6$

$$t = \frac{m n F}{M I}$$

$$t = \frac{(1300)(6)(96496)}{(10)(51,9961)}$$

$$t = 24,126 \text{ [min]}$$

Electrolisis del Níquel.

Al igual que el cromo hexavalente el níquel también es uno de los elementos de mayor presencia en las aguas; se necesita saber el tiempo mínimo necesario para descomponerlo y utilizando los 10 amperios.

Datos:

Masa de la sustancia	$m = 2200 \text{ mg}$
Constante de Faraday	$F = 96496 \text{ C/mol}$
Corriente	$I = 10 \text{ A}$
Masa molar	$M = 58,71 \text{ g/mol}$
Número de valencia	$n = 3$

$$t = \frac{m n F}{M I}$$

$$t = \frac{(2200)(3)(96496)}{(10)(58,71)}$$

$$t = 18,079 \text{ [min]}$$

Electrolisis del Mercurio.

Datos:

Masa de la sustancia	$m = 0,01 \text{ mg}$
Constante de Faraday	$F = 96496 \text{ C/mol}$
Tiempo transcurrido	$t = 60 \text{ s}$
Masa molar	$M = 200,59 \text{ g/mol}$
Número de valencia	$n = 2$

$$I = \frac{m n F}{M t}$$

$$I = \frac{(0,01)(2)(96496)}{(200,59)(60)}$$

$$I = 0,1603 \text{ [mA]}$$

Electrolisis del Plomo.

Datos:

Masa de la sustancia	$m = 37,10 \text{ mg}$
Constante de Faraday	$F = 96496 \text{ C/mol}$
Tiempo transcurrido	$t = 60 \text{ s}$
Masa molar	$M = 207,2 \text{ g/mol}$
Número de valencia	$n = 4$

$$I = \frac{m n F}{M t}$$

$$I = \frac{(37,10)(4)(96496)}{(207,2)(60)}$$

$$I = 1,152 \text{ [A]}$$

Los datos obtenidos dan a conocer que se obtienen corrientes no superiores a los 5; energía que puede variar dependiendo de la experimentación que se realizará posteriormente; además se observa que con 10 A son necesarios para descomponer el Cromo Hexavalente y el níquel pero en un tiempo máximo de 25 para el cromo y 18 minutos para el níquel.

4.4.10 Cálculo de la conductividad del electrolito.

Con la ecuación 4 de conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos se calcula la conductibilidad de las aguas residuales provenientes de los procesos de fabricación de muebles:

$$TDS = (0.64) EC$$

$$EC = \frac{TDS}{0,64}$$

$$EC = \frac{22 \text{ mg/L}}{0,64}$$

$$EC = 33,375 [\mu\text{S/cm}]$$

4.4.11 Cálculo de la conductividad del electrodo.

Para ello se tiene la ecuación 4 y los siguientes datos:

Corriente: $I = 8 [A]$

Voltaje: $V = 12 [V]$

Ancho de la semicelda: $L = 0,2 [cm]$

Área de la semicelda: $A_s = ?$

Resistencia: $R = ?$

Cálculo del área de la semicelda.

$$A_s = A_{en} - A_{la} \quad (19)$$

$$A_s = 188,1996 [cm^2] - 27 [cm^2]$$

$$A_s = 161,1996 [cm^2]$$

Luego se calcula la resistencia para obtener la conductancia mediante la ley de Ohm con (20).

$$V = I R \quad (20)$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{12 [V]}{8[A]}$$

$$R = 1,25 [\Omega]$$

Ahora se calcula la conductividad del electrodo con (6).

$$K = \frac{1}{R} \frac{L}{As}$$

$$K = \frac{1}{1,25 [\Omega]} \frac{0,2 [cm]}{161,1996 [cm]^2}$$

$$K = 992,5583 \mu S/cm$$

4.4.12 Potencia consumida.

Corriente: $I = 8 [A]$

Voltaje: $V = 12 [V]$

$$P = VI \quad (21)$$

$$P = (12)(8)$$

$$P = 96 W$$

4.4.13 Energía consumida.

$$E = P t \quad (22)$$

$$E = (96)(60)$$

$$E = 5760 [Ws]$$

$$E = 5760 [Ws] \left(\frac{1 [h]}{3600 [s]} \right)$$

$$E = 1.6 [Wh]$$

La potencia y energía consumida por el generador es similar a utilizar un televisor a color de 14 plg. o simplemente un radio grabador pequeño; estos electrodomésticos son de uso diario los cuales no demandan una alta cantidad de energía; entendiéndose así un uso de la celda sin preocupación alguna de uso excesivo de energía.

4.4.14 Eficiencia del generador de hidrógeno.

Según International HHO Institute ha determinado los elementos y los métodos adecuados para determinar matemáticamente la producción de hidrógeno en Litros Por Minuto LPM que origina una celda electrolítica, de igual manera se puede calcular la eficiencia real por pérdida de energía durante el transcurso de electrolisis [20].

Es así que se emplea (23) para el cálculo de eficiencia de generador.

$$\text{Eficiencia} = \frac{(774400) (\text{LPM})}{(\text{Voltaje}) (\text{Amperios}) (\text{Tiempo de Prueba en Segundos})} \quad (23)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{(774400)(541.6062)}{(11,17)(8)(60)}$$

$$\text{Eficiencia} = 79,44\%$$

La eficiencia de la celda seca es aproximadamente del 80%; considerado en un rango aceptable.

4.5 Ensamblaje de la celda seca electrolítica de hidrógeno mediante los parámetros seleccionados.

Concluido el diseño de las partes que componen la celda seca electrolítica en Solid Works 2010. Se procede a efectuar un ensamble inicial de la celda en el mismo programa mediante la siguiente configuración de los electrodos positivos, negativos y neutros:

$$+nnn-nnn+nnn-$$

Antes de iniciar el acople en el software se elige la opción ensamblaje para efectuar una disposición 3D de las piezas diseñadas, luego se empieza a subir en el programa las partes diseñadas, primeramente se procede a colocar la carcasa posterior de la celda con

su respectivo aislante de neopreno como se ve en la Fig.18, para en ensamble es necesario tener todas las medidas coincidentes al igual que los agujeros para evitar problemas en el ensamble.

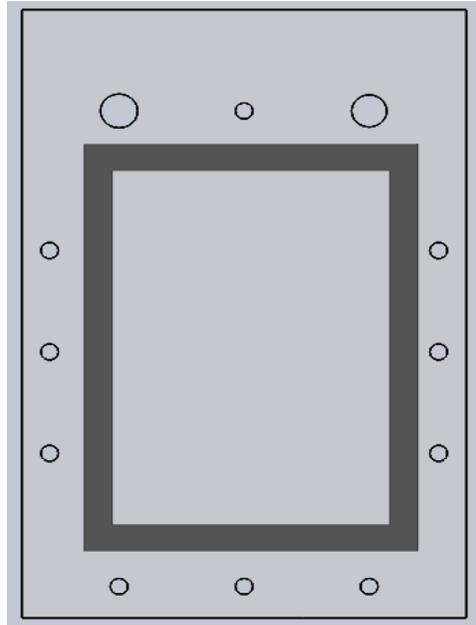


Fig. 18 Carcasa posterior y aislante

Luego con las partes anteriores ya ensambladas se coloca el electrodo positivo y su aislante correspondiente (Ver Fig. 19).

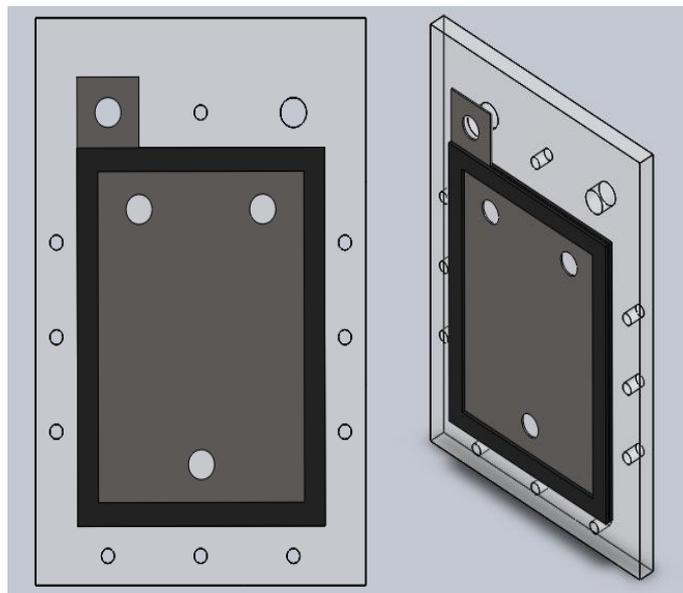


Fig. 19 Carcasa, electrodo, junta

Inmediatamente se ubican los electrodos neutros (tres en total) y sus relativos aislantes (Ver Fig. 20).

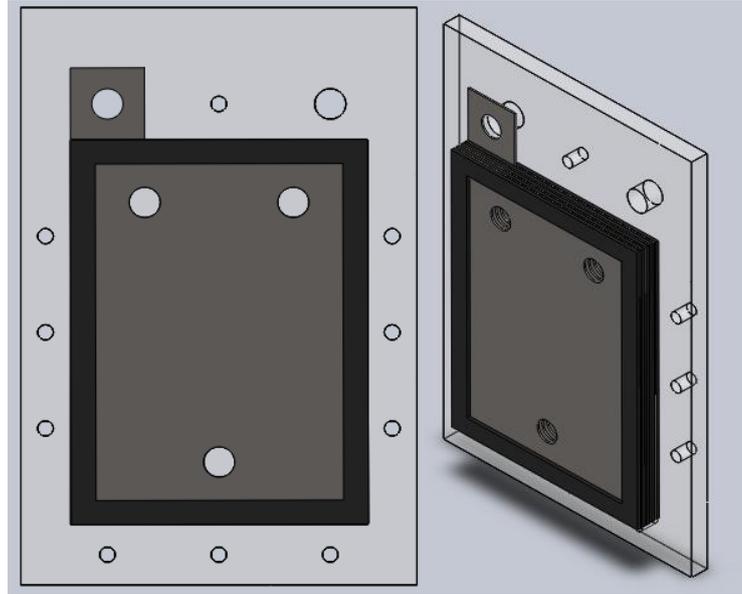


Fig.20 Carcasa, Electrodo positivo, Electrodos neutros, aislantes

Después se debe colocar el electrodo negativo con su aislante y los electrodos tres neutros con los aislantes correspondientes (Ver Fig. 21).

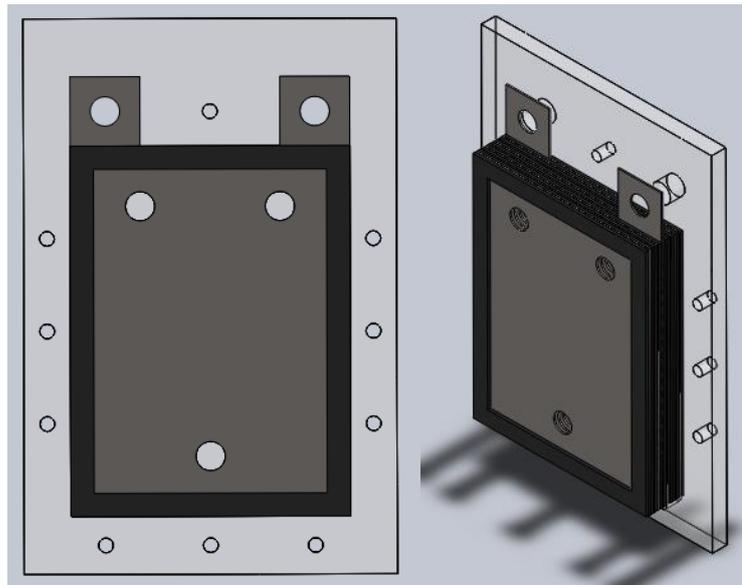


Fig. 21 Diseño de ensamble celda seca electrolítica

Posteriormente se termina el ensamble con la configuración establecida realizando una simetría de los dos ensambles anteriores; en total se han colocado dos electrodos positivos y negativos, nueve electrodos neutros y finalmente catorce aislantes de neopreno (Ver Fig. 22).

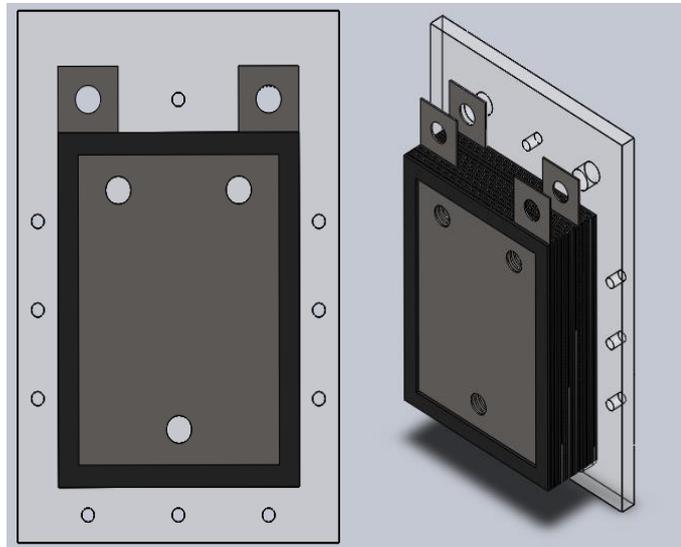


Fig.22 Configuración de los electrodos

Por último se coloca la carcasa frontal, los pernos, tuercas y arandelas correspondientes, terminado así el bosquejo del generador en Solid Works (Ver Fig. 23).

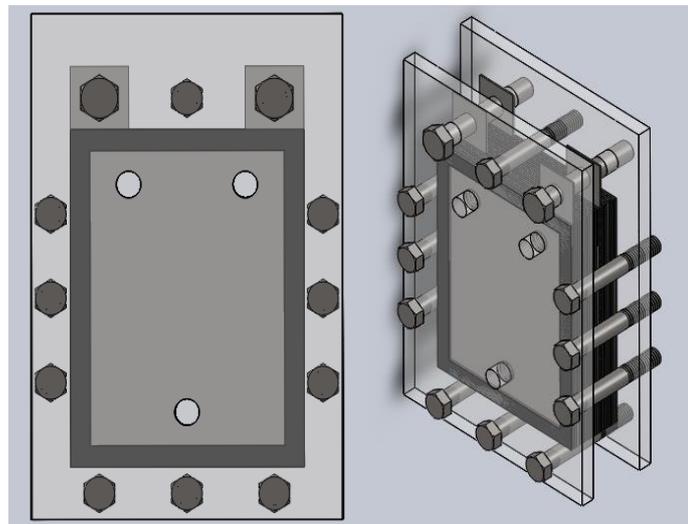


Fig. 23 Diseño de ensamble celda seca electrolítica

Una vez culminado el ensamble de la celda en Solid Works 2010 se procede a enlistar todos los materiales y herramientas necesarios para el acople completo (Ver Tabla 14).

Tabla 14. Herramientas y materiales para la construcción del generador

Detalle	Imagen	Detalle	Imagen
Plancha de acrílico		Tuercas	
Plancha de acero inoxidable AISI 304		Cinta de teflón	
Plancha de neopreno		Arandelas	
Pernos		Acoples	
Batería		Multímetro	
Martillo		Lija	

Antes de empezar la preparación de las piezas del generador es necesario tener en cuenta los principios de seguridad y las recomendaciones pertinentes para evitar daños físicos y materiales.

Se cortan en la plancha de acero inoxidable AISI 304 los electrodos positivos, negativos y neutros de acuerdo a las especificaciones detalladas en el diseño, en total se cortan 13 placas de acero; para ello se usa una cortadora de plasma, cizalladora o una fresadora (Fig. 24).



Fig. 24 Cortes de los electrodos

Luego se efectúan las perforaciones correspondientes a cada electrodo; utilizando un taladro y teniendo en cuenta los diámetros que son de $\frac{1}{2}$ plg en cada placa positiva y negativa; en esta perforación se coloca los pernos para en ellos conectar la fuente de energía (Ver Fig. 25).



Fig. 25 Perforaciones de los electrodos

De igual forma se cortan dos planchas de acrílico con medidas 16*24 cm con 8 mm de espesor. Debido a la complejidad de obtener el acrílico con dicho espesor se opta en cortar cuatro placas de 4mm de espesor cada una, para luego proceder a perforar los agujeros correspondientes en cada lámina posterior y frontal de acuerdo al diseño (Ver Fig. 26).

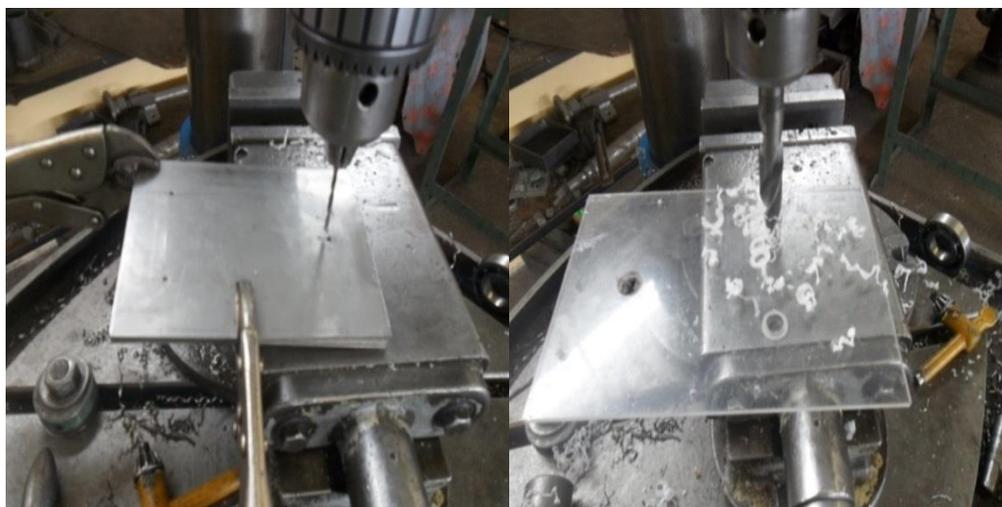


Fig.26 Corte y perforación láminas de acrílico

Posteriormente se cortan 14 láminas de neopreno 12*16cm con un borde de 1 cm; siguiendo el esquema del diseño (Ver Fig. 27).



Fig.27 Corte láminas de neopreno

Antes de empezar el ensamble es recomendable enderezar las placas con ligeros golpes para establecer uniformidad entre ellas; además se debe retirar las rebabas de las placas de acero dejadas por el corte; para esto se lija en un solo sentido los bordes cortados para evitar daños al material (Ver Fig. 28).



Fig.28 Ajustes finales de las placas de acero Inoxidable

Luego se empieza el ensamble de los electrodos sobre la carcasa frontal mediante la configuración (Ver Fig. 29):

+nnn-
nnn-
+nnn-



Fig.29 Inicio ensamble celda seca

Para ello se sigue el esquema del diseño en Solid Works 2010; es decir primero el aislante, el electrodo positivo, el aislante, luego tres electrodos neutros con su correspondiente aislante, el electrodo positivo y su aislante, seguidamente otros tres electrodos neutros y sus aislantes, para terminar la configuración se aplica una simetría de las placas y así culminar el ensamble de las placas (Ver Fig. 30).



Fig.30 Ensamble de los electrodos

Después se coloca la carcasa posterior de acrílico (Ver Fig. 31).



Fig.31 Colocación de carcasa posterior

Por último se colocan los pernos, tuercas y arandelas correspondientes para completar el apriete y queden bien sujetas todas las partes y piezas; terminando de esta manera la construcción de la celda seca electrolítica (Ver Fig. 32).

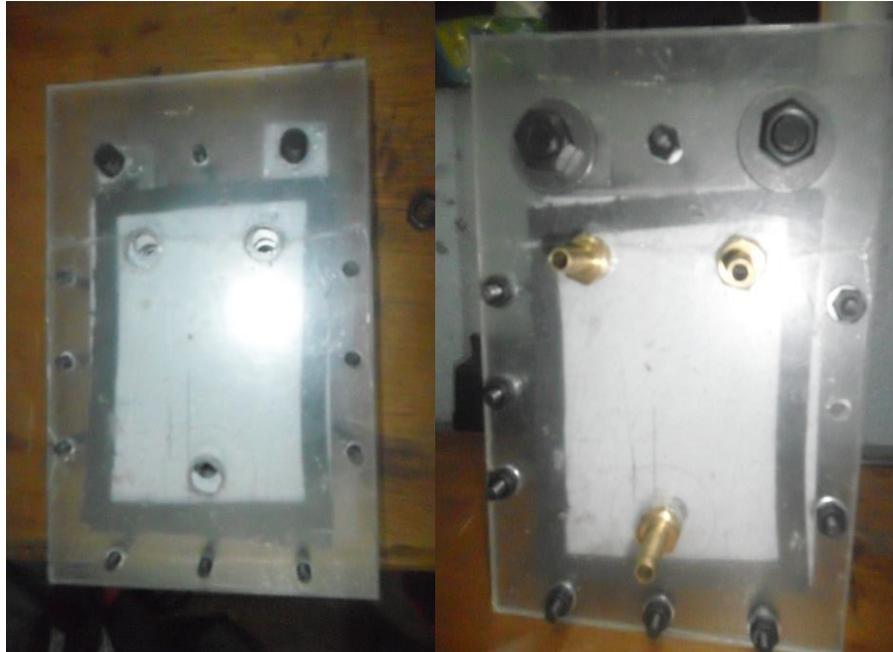


Fig.32 Celda seca electrolítica

4.6 Realización de pruebas de funcionamiento de la celda seca electrolítica con las aguas residuales de la Empresa Muebles León.

Concluido el ensamble de la celda; se verifica con la ayuda del multímetro la continuidad existente en el generador de hidrógeno para que exista una buena predisposición de la corriente al momento de producir hidrógeno.

4.6.1 Prueba con bicarbonato de sodio (NaHCO_3).

Para las pruebas de funcionamiento se utiliza primeramente una mezcla de un litro agua y 34 gramos (el equivalente a dos cucharadas) de bicarbonato de sodio NaHCO_3 para formar el electrolito; se le imparte en la celda un volumen de 250 [ml]; también se puede realizar el electrolito con una mezcla de cloruro de sodio en iguales proporciones (Ver Fig. 33).



Fig. 33 Electrolito (mezcla de agua y bicarbonato de sodio)

Antes de transmitir energía al sistema es necesario tener todas las medidas y precauciones de seguridad, asimismo se coloca el electrolito en el interior de la celda para que exista continuidad en todas las placas (positivas, negativas y neutras) que componen el generador, también se verifica la diferencia de potencial entre los electrodos (positivo y negativo).

Además de ello se procede al armado del diagrama mostrado en la Fig. 34.

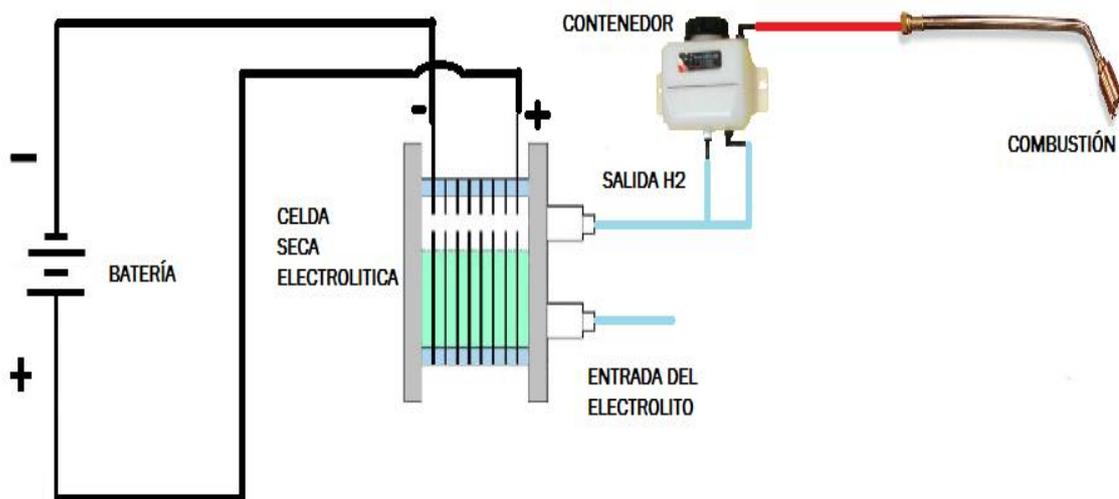


Fig. 34 Diagrama de conexión del sistema

Todas las pruebas tienen un promedio de duración de 60 a 80 segundos. Una vez terminado el armado del esquema se verifica el voltaje suministrado y además de ello la corriente consumida por el sistema; para observar la corriente se conecta el multímetro en serie a la celda generadora (Ver Fig. 35).



Fig. 35 Corriente consumida

En la primera prueba es notorio observar una baja producción de gas hidrógeno; esto significa que requiere aumentar la potencia al sistema, también no existen fugas del electrolito a través de la celda (Ver Fig. 36).



Fig. 36 Producción de Hidrógeno

En la segunda prueba se conectó una fuente con más potencia observando una producción notoria de gas hidrógeno.

En las pruebas realizadas, la generación de hidrógeno no se realizó en forma instantánea; sino que hubo un tiempo de arranque de 15 a 20 segundos para que inicie la producción del gas.



Fig. 37 Explosión del hidrógeno

Para comprobar el poder explosivo del hidrógeno se procede hacer una mezcla de agua con jabón líquido o detergente con la finalidad de colocar la salida del gas en la mezcla y generar pequeñas burbujas en un tiempo de 4 segundos; luego se arroja un fósforo sobre el recipiente; produciendo una pequeña explosión sobre el contenedor que contiene la mezcla (Ver Fig. 37).

4.7 Cuantificación de la cantidad de hidrógeno obtenido.

Al ser el hidrógeno un gas inodoro, incoloro, altamente explosivo e inflamable, resulta difícil e imprescindible su detección ya sea para medios de seguridad o simplemente para su cuantificación.

Actualmente existen múltiples sistemas de detección y cuantificación de hidrógeno existiendo sensores de carácter industrial con aplicaciones elevadas y sensores con aplicaciones pequeñas; entre estos existen:

- Sensor HY-ALERTA™ 500
- HY-ALERTA™ 2600
- Sensor de hidrógeno LD6000 H₂
- Sensor Honeywell SPXCDULNG1
- Sensor de gas MQ - 2
- Sensor de gas MQ - 8

4.7.1 Sensor HY-ALERTA™ 500.

Este sensor ilustrado en la Fig. 38 posee tecnología H₂scan empleado para la localización de escapes de gas hidrógeno de una forma rápida y eficiente. Es un instrumento móvil, hidrógeno portátil detector de fugas de la industria es capaz de responder a la más amplia gama de concentraciones de gases de hidrógeno y sin necesidad de ningún equipo periférico. El sensor de la sonda tiene una matriz de LED visual única que ayudará efectivamente vaya a la fuente de una fuga de hidrógeno donde se produce gas hidrógeno, se utiliza, transporta o almacena [21].

Con dos elementos de detección en el mismo chip semiconductor, el HY-ALERTA™ 500 puede detectar fugas de hidrógeno tan bajas como 15 ppm y no saturar o ser destruido cuando la detección de altas concentraciones de hidrógeno hasta 100%. El cable flexible permite que el sensor de la sonda de acceso a prácticamente todas las fuentes potenciales de fuga [21].



Fig. 38 Detector de fugas de hidrógeno / antideflagrante / de pared [21]

4.7.2 Sensor HY-ALERTA™ 2600.

De H2scan HY-ALERTA™ 2600 Fig. 39 a prueba de explosiones Monitor de hidrógeno Área proporciona la detección de fugas de hidrógeno específica y la medición de las concentraciones de hidrógeno tan bajas como 4.000 ppm y se puede escalar a cualquier concentración hasta un 5% de hidrógeno en volumen, una serie que representa el 10% y el 125% del límite inferior de inflamabilidad del hidrógeno [22].

Condiciones De Operación

- Rango de temperatura: 4[°C] a 60[°C]
- Temperatura de almacenamiento: -40[°C] a 50[°C]
- Calibración de fondo de gas: Aire

Opciones de interfaz

- Rango de voltaje de entrada: 90 [V_{AC}] a 260 [V_{AC}]
- Entrada de energía: 15 [W]
- Salida analógica: 4 [mA] a 20 [mA]
- Comunicación Serial: RS422
- Contactos del relé: Dos programable 5 [A], 250 [V_{DC}] / [V_{AC}]
- Relés SPDT con tanto normalmente abierto (NO) y (NC) normalmente cerrados



Fig.39 Sensor HY-ALERTA™ 2600 [23]

4.7.3 Sensor de hidrógeno LD6000 H₂ para la detección de gas trazador.

Con el sensor de hidrógeno El LD6000 que se observa en la Fig. 40 indica, la concentración exacta de hidrógeno. Los umbrales pueden ser definidos libremente y, de ser superados, se indica en forma de señal acústica y visual [24].

Debido a su estructura específica el hidrógeno penetra rápidamente casi todos los materiales, como por ejemplo el suelo, el hormigón o las baldosas y se puede detectar en la superficie con el sensor de hidrógeno conectado al LD6000 para determinar el punto de escape [24].

Características

- Rango de medición mín. 10 ppm
- Rango de medición máx. 20.000 ppm
- Sensibilidad de respuesta 1
- Resolución 1
- Tiempo de respuesta 0,5 [s]
- Peso 400 [kg]
- Precio 386,75 [€]



Fig. 40 Sensor de hidrógeno LD6000 h2 [25]

4.7.4 Sensor Honeywell SPXCDULNG1.

Detector de Gas Sensepoint Honeywell XCD que se detalla en la Fig. 41 Electroquímico con cabeza sensora de acero inoxidable y alojamiento LM25 de aluminio para el monitoreo de Hidrógeno (H₂) 1,000 ppm. Funciona tanto dentro de edificaciones como al aire libre. Incluye 2 relés de alarma y uno de falla programables,

así como una salida de 4-20 [mA] (configurable sink o source). Tarjeta Modbus RTU opcional. Disponible con UL/CSA Clase I Division 1 or ATEX IECE [26].

Precio \$1006.56



Fig. 41 Sensor Honeywell [26]

4.7.5 Sensor de gas MQ – 2.

El sensor de la Fig. 42 puede detectar una diversidad de gas inflamable, es un sensor de bajo costo para una diversidad de aplicaciones.

Características

- Usando diseño de doble panel de alta calidad, con el indicador de energía y TTL instrucciones de salida de la señal.
- La señal de conmutación que tiene una DO (TTL) de salida y la salida analógica AO.
- Tensión de salida analógica con la mayor concentración de mayor voltaje.
- Dimensiones del producto: 32 (L) * 20 (W) * 15 (H)
- Tiene una larga vida y estabilidad fiable
- Características de respuesta y recuperación rápidas
- Chip: LM393 , ZY MQ - 2 sensor de gas
- Voltaje de funcionamiento: 5 [V_{DC}]
- Detección de gases : gases combustibles , gases
- Concentración detectable :300- 10000 ppm (gas inflamable)

Propiedades eléctricas.

- Voltaje de entrada: 5[V_{DC}] Consumo de energía (corriente) : 150[mA]
- Salida DO : TTL digitales 0 y 1 (0,1 y 5 [V])
- Salida AO : 0.1- 0,3 [V] (en relación a la contaminación) , la concentración máxima de un voltaje de alrededor de 4 [V]

Precio \$ 14.00



Fig. 42 Sensor MQ-2 [27]

4.7.6 Sensor de gas MQ – 8.

Características

- Alta sensibilidad al Hidrógeno (H₂)
- Pequeña sensibilidad al alcohol, GLP, humos de cocina
- Vida estable y de largo

Aplicación

Se utilizan en la detección de fugas de gas equipos en la familia y la industria, son apropiados para detección de hidrógeno (H₂), evitar el ruido de los humos del alcohol y de cocina, GLP, CO₂ (Ver Anexo 5).

Precio: \$ 18,00

4.7.8 Comparación de los sensores de hidrógeno.

En la Tabla 15 se indica un cuadro comparativo de los seis sensores encontrados con sus principales características.

Tabla 15 Comparación de los sensores de hidrógeno

Sensor	Rango	Alimentación	Tiempo de respuesta	Precio
HY-Alerta™ 500	15 ppm a 100% en volumen de H ₂	90 [V _{AC}] a 260 [V _{AC}]	100 [ms]	\$ 890,00
HY-alerta™ 2600	4.000 ppm a 5% de h ₂ en volumen	90 [V _{AC}] a 260 [V _{AC}]	100 [ms]	\$ 720,35
LD6000	10 ppm a 20.000 ppm	90 [V _{AC}] a 260 [V _{AC}]	0,5 [s]	\$ 428,52
SPXCDULN G1	10 ppm a 1000 ppm	24[V _{DC}] nominal	0,5[s]	\$ 582,29
MQ - 2	300 ppm a 10000 ppm	5 [V]		\$ 14,00
MQ - 8	100 ppm a 10000 ppm	5 [V]		\$ 18,00

4.7.9 Selección del sensor de hidrógeno.

Según la Tabla 15 son recomendables Honeywell SPXCDULNG1, MQ – 2 y MQ – 8 debido a sus alto rango de medición, sin embargo el sensor MQ-8 sobresale entre estos tres porque posee una alta sensibilidad al hidrógeno, además de esto posee un voltaje bajo de alimentación y sobre todo un costo accesible (Ver Fig. 43).



Fig. 43 Sensor MQ-8

4.7.10 Linealización del sensor.

En la Fig. 3 del Anexo 5 se muestran las gráficas características de sensibilidad del sensor MQ-8 para diferentes gases; sobresaliendo entre ellas la del hidrógeno, entonces al efectuar la relación $R_s/R_o = 1$ se obtiene 1000 ppm; relacionando los valores del eje vertical y horizontal de muestran los datos de R_s/R_o y ppm respectivamente (Ver Fig. 44).

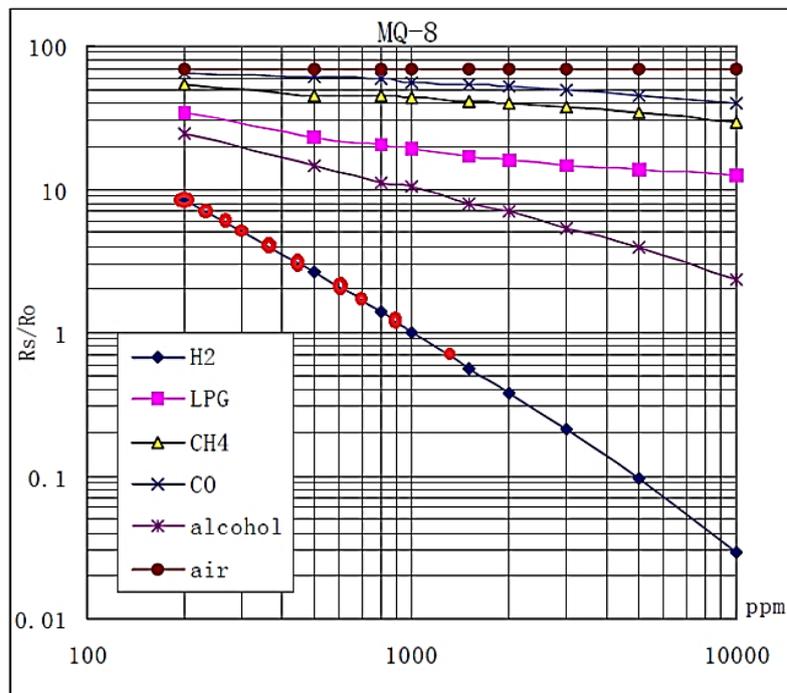


Fig.44 Curva se sensibilidad del sensor

Tabla 16 Relación ppm vs. Rs/Ro

PPM (H2)	Rs/Ro
200	8,5
300	5
400	3,5
500	2,66
600	2
700	1,7
800	1,5
900	1,3
1000	1
1600	0,56
2000	0,37
3000	0,2
4000	0,15
5000	0,095
6000	0,07
10000	0,02

Se obtiene la ecuación de la curva de sensibilidad del sensor con los valores de la Tabla 16 y con la ayuda de Microsoft Excel como se observa en la Fig. 45. También el coeficiente de correlación próximo a 1 muestra que la ecuación relaciona la mayor parte de los datos.

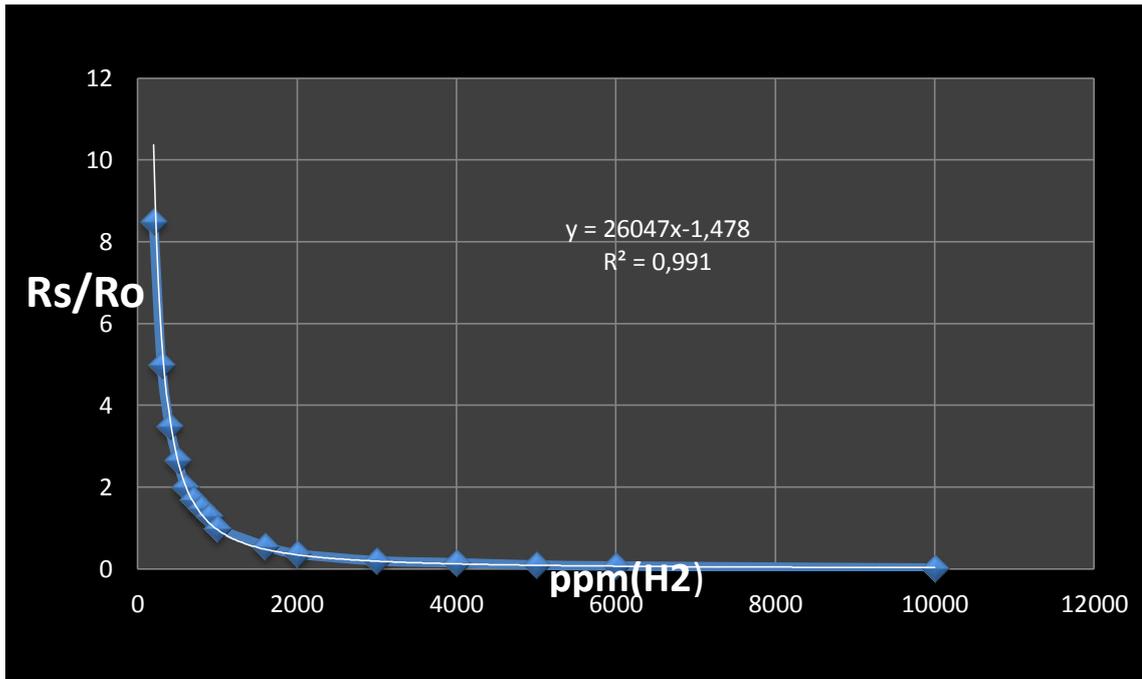


Fig. 45 Curva de sensibilidad del sensor MQ-8

Por lo tanto según la Fig. 44 se reemplaza y se obtiene la relación de R_s/R_o en función de ppm de Hidrógeno (H_2) como se observa en (24).

$$y = 26047x - 1.478$$

$$\frac{R_s}{R_o} = (26047)(ppm)^{-1.478}$$

$$R_s = (R_o)(26047)(ppm)^{-1.478} \quad (24)$$

Donde según el anexo 5:

R_s : Es la resistencia del sensor en varias concentraciones de gases.

ppm: Partes por millón de hidrógeno.

R_o : Resistencia del sensor en 1000 ppm de hidrógeno en aire limpio.

El circuito de medición proporciona un circuito divisor de voltaje como se observa en la Fig. 46. Por lo tanto mediante (25) se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

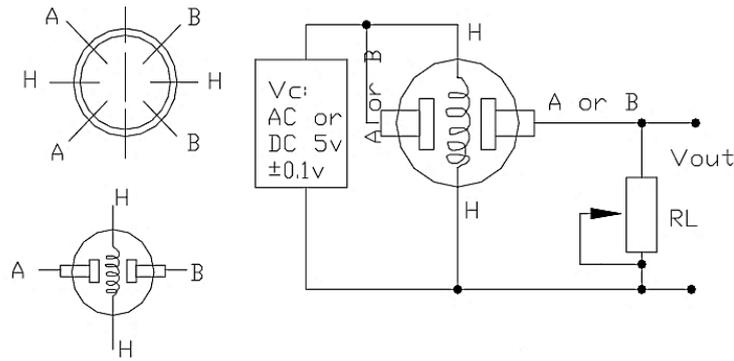


Fig. 46 Circuito divisor de voltaje

$$V_{out} = \frac{R_l}{R_s + R_l} V_{cc}$$

Donde R_s es igual:

$$R_s = \frac{(V_{cc} - V_{out})}{V_{out}} R_l \quad (25)$$

También se obtiene el dato del potenciómetro del sensor de:

$$R_l = 1,55 \text{ [K}\Omega\text{]}$$

Igualando (24) y (25) para obtener (26):

$$\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} R_L = (R_o)(26047)(ppm)^{-1.478}$$

$$\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} \frac{R_L}{R_o * 26047} = (ppm)^{-1.478}$$

$$\ln (ppm)^{-1.478} = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} \frac{10}{(R_o)(26047)} \right]$$

$$-1.478 \ln(ppm) = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} \frac{10}{(R_o)(26047)} \right]$$

$$\ln(ppm) = \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} \frac{10}{(R_o)(26047)7} \right]}{-1.478}$$

$$ppm = e^{\left[\frac{\ln \left(\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} \frac{10}{(R_o)(26047)7} \right)}{-1.478} \right]} \quad (26)$$

4.5.11 Adquisición y visualización de los datos obtenidos con el sensor.

La adquisición de los datos obtenidos mediante el sensor se lo realiza por medio de la placa electrónica basada en el ATmega328P llamado Arduino Uno. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas [28] (Ver Fig. 47).



Fig. 47 Arduino UNO

La visualización se lo realiza con la ayuda del software LabVIEW 2012; para ello se crea un VI con los parámetros principales para la adquisición de datos a través del Arduino que son: Init, Close; además de ello se utiliza la librería Get Finite Analog Sample que adquiere un número finito de muestras desde el pin de entrada analógica especificada por el usuario, esta adquisición lo puede hacer hasta 5[Khz] (Ver Fig. 48).

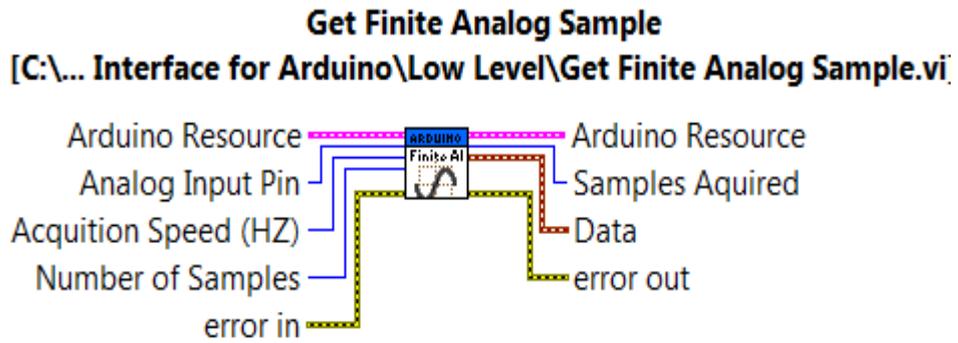


Fig. 48 Get Finite Analog Sample

En la Fig. 48 se especifica el pin de entrada analógico 0, la velocidad de adquisición se define de 1000 [Hz] y tomando un total de 100 muestras en 100 milisegundos. A los datos obtenidos se aplica (25) de linealización del sensor en una Formula Node en donde se inicializa el voltaje de entrada el cual va a ser el valor de la señal y el Rs con un valor 1[KΩ] para finalmente visualizar en un Waveform Chart; todo el esquema de diagramas de bloques se visualiza en la (Ver Fig. 49).

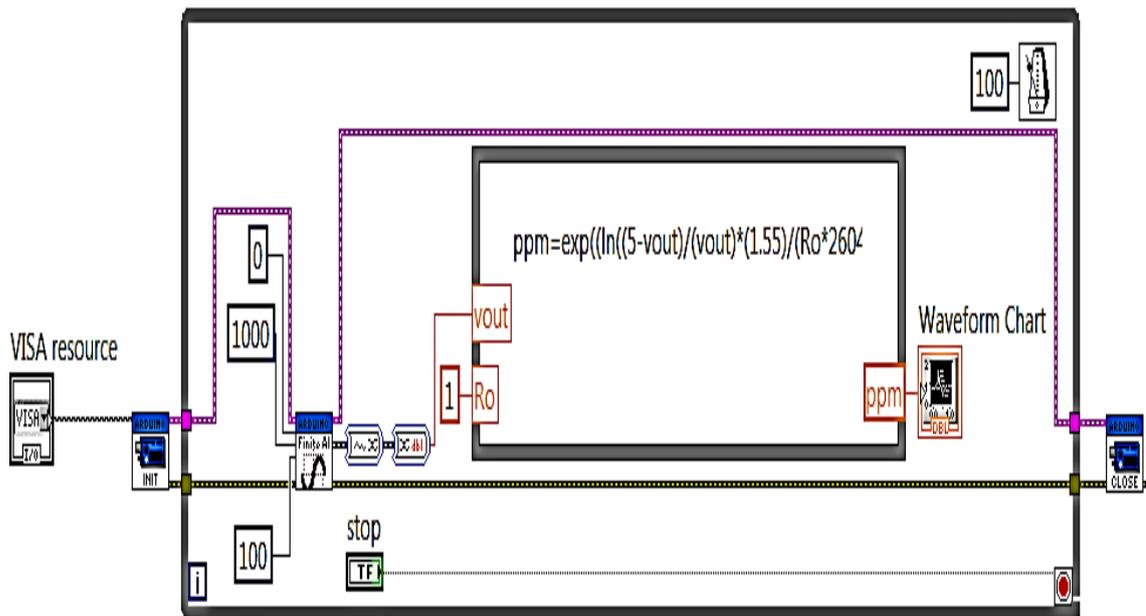


Fig. 49 Diagramas de bloques del VI

Además se tiene el Panel Frontal del VI en donde se muestra la interfaz con el usuario para visualizar los valores obtenidos (Ver Fig. 50).

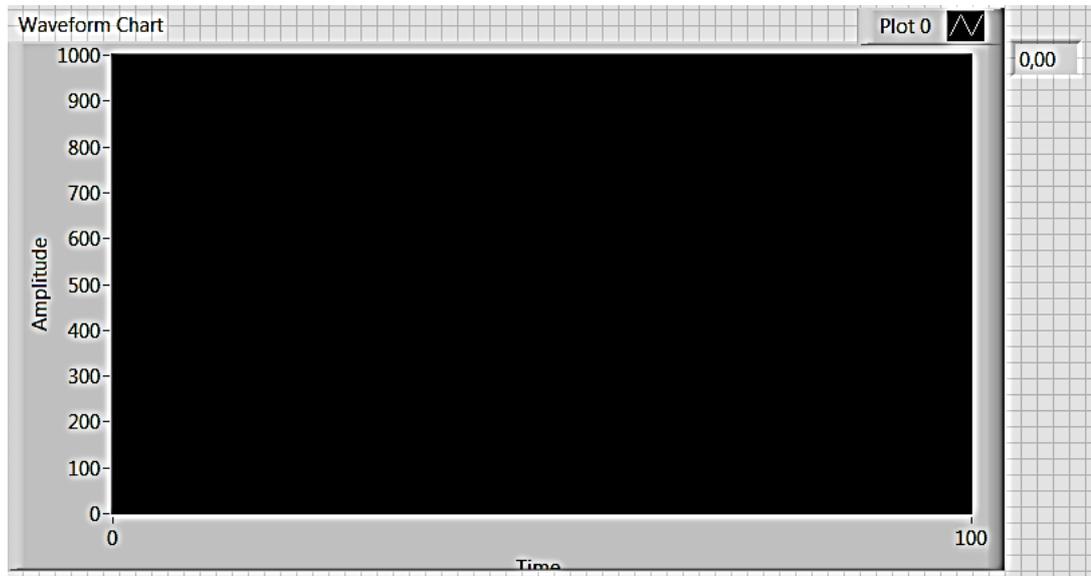


Fig. 50 Waveform Chart

El sensor MQ-8 se coloca en el interior del contenedor de hidrógeno en el lapso de 1 a 4 minutos para observar la cantidad de hidrógeno en ppm generados por la celda seca electrolítica (Ver Fig. 51).

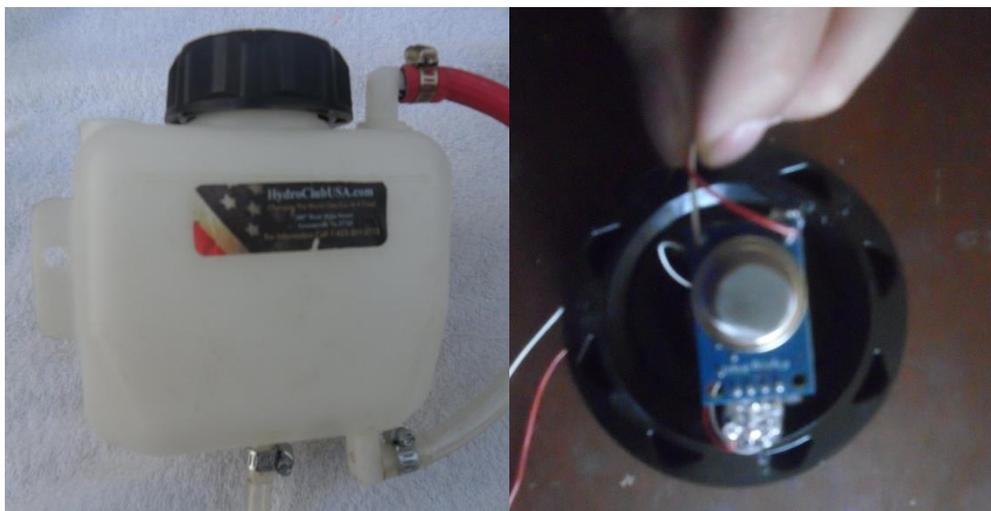


Fig. 51 Colocación del sensor en el interior del contenedor

Finalmente se efectúa la cuantificación del hidrógeno generado con aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia de la empresa; es así que en los primeros minutos se observa una producción instantánea de 407 ppm de hasta 716 ppm como se observan en Fig. 52 y Fig. 53 respectivamente.

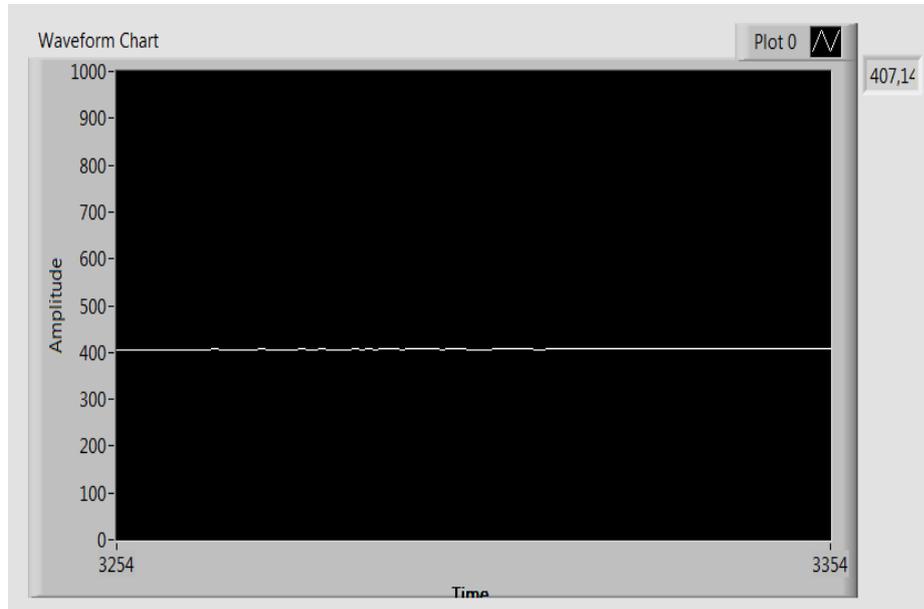


Fig. 52 407 ppm de hidrógeno generado

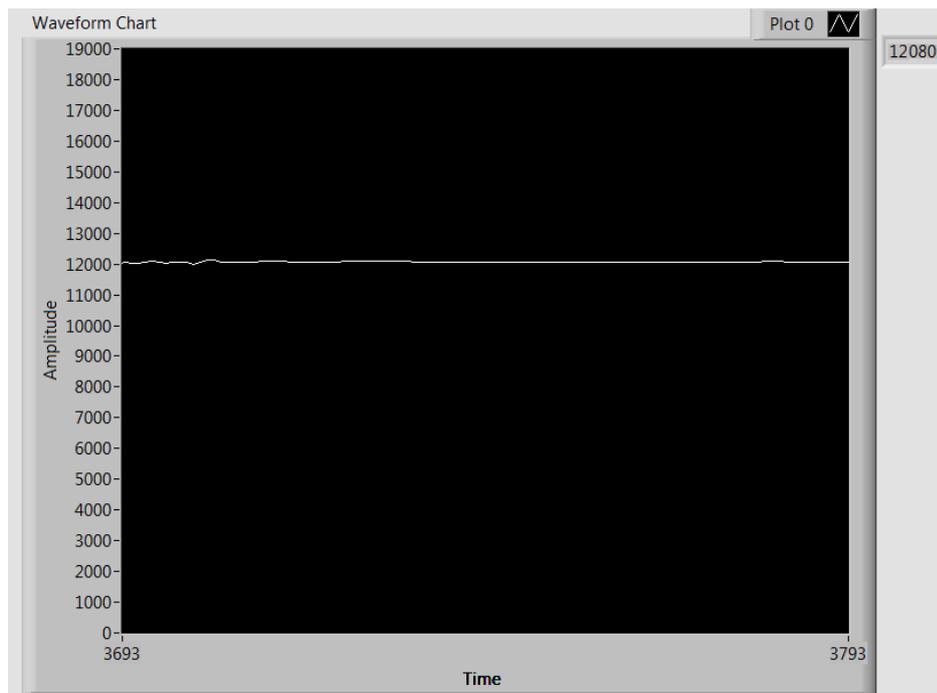


Fig. 53 12080 ppm de hidrógeno generado

A continuación se muestra en la Tabla 17 la relación entre hidrógeno producido a partir de las aguas residuales en ppm versus tiempo en minutos.

Tabla 17 Relación ppm vs. tiempo

H ₂ (ppm)	tiempo(min)
300	0,083
490	0,167
780	0,25
990	0,33
1250	0,4167
1680	0,5
2510	0,583
3734	0,67
5900	0,75
7510	0,83
10478	0,9167
12080	1

En la cuantificación del hidrógeno se tiene en cuenta el tiempo en acumular 100 ppm; el cual es en donde la celda empieza a calentarse en un período aproximado de 2 a 3 minutos para que empiece a generar hidrógeno y el sensor empieza a detectar el gas.



Fig.54 Combustión del Hidrógeno

El hidrógeno generado es combustionado al final del sistema mediante un soplete. produciendo una llama capaz de cortar madera o latas de conservas (Ver Fig. 54).

Mantenimiento y vida útil de la celda seca electrolítica.

Debido a que las aguas residuales de la empresa son contaminadas por los diferentes elementos químicos; y al realizar la electrolisis muchos de los compuestos se quedan adheridos en los electrodos positivo y negativo de acuerdo a su carga, por ello es necesario efectuar un mantenimiento periódico del generador de hidrógeno y se efectúa desarmando la celda, posteriormente se procede al lavado de todas sus partes con agua de grifo (Ver Fig.54).



Fig.55 Electrodo después de la electrolisis

El mantenimiento de la celda es necesario hacerlo una vez al mes para evitar desgastes del acero a causa de la acides del agua con un pH de 5.

El acero inoxidable AISI 304 presenta una excelente resistencia a diferentes compuestos químicos como:

Concentración de ácido fosfórico (H_3PO_4) a temperatura ambiente.

Concentración de 65% de ácido nítrico (HNO₃) en un promedio de 45 [°C].

Ácido acético en un promedio de temperatura de 45 [°C].

Ácidos lácticos (C₃H₆O₃) y fórmicos (CH₂O₂) a temperatura ambiente.

Ácido Sulfúrico (H₂SO₄).

Por ende esta calidad de acero AISI 304 resiste todas las concentraciones presentes en las aguas residuales de la empresa.

Al ser el pH una solución siempre va a perturbar la conducta corrosiva del acero inoxidable. Es por esa razón que las soluciones que poseen un pH neutro; es decir aproximadamente 7 tienden a ser menos corrosivos que aquellas soluciones que son ácidas o con un pH < 4 o también muy alcalinas con el pH > 10 Fig. 6; por ende según Fig. 55 la celda seca electrolítica no posee corrosión cavernosa.

Corrosión cavernosa

Depasivación pH en ambiente confinado NaCl 2M a 23 °C

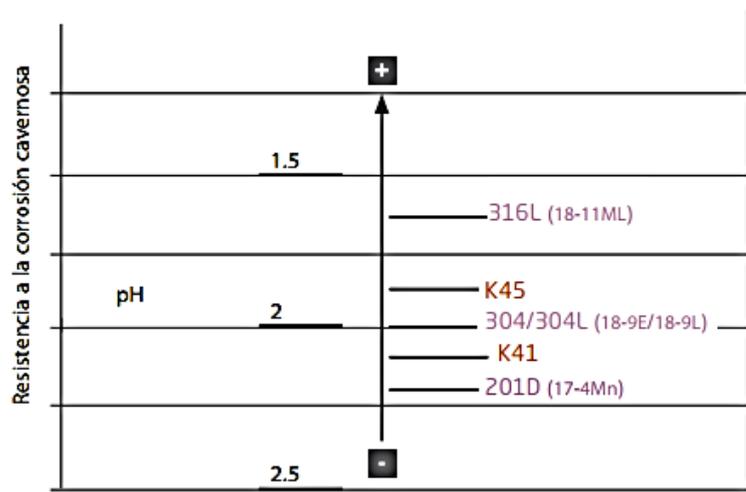


Fig.56 Corrosión cavernosa [29]

El acero inoxidable AISI 304 pese que al poseer buenas características anticorrosivas ocurrirán daños de corrosión exaltadas para aplicaciones cáusticas como el hidróxido de sodio que generalmente lo usan para conducir de mejor manera la electricidad y formar el electrolito ideal para generar Hidrógeno e incluso sufre daños trabajando a temperatura ambiente.

Al entrar en contacto con la electricidad se eleva la temperatura, mejorando la posibilidad de que suceda agrietamiento por corrosión y fatiga por corrosión en el acero, pero gracias al alto contenido de níquel que poseen las aguas residuales se reduce el agrietamiento por corrosión.

De acuerdo a la revista CHILEXPO se ha realizado trabajos experimentales en una solución de 50% de hidróxido de Sodio (NaOH) a la cual se ha añadido 2,5% de Cloro (Cl). Se logra reunir datos electroquímicos y de fatiga a causa de la corrosión en el acero inoxidable 304 exponiéndolas [30].

A ese entorno, los resultados en un periodo de cuatro meses de concentración fue no observar fallos de medidores de acero inoxidable expuestos a la solución pura NaOH. El estudio metalográfico no mostró indicación de agrietamiento por corrosión por tensión o corrosión localizada.

La temperatura promedio del análisis en la que fue expuesto el material es de 93 °C.

Es así que el tiempo de vida útil de la celda es de aproximadamente 8 meses.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se caracterizó las aguas residuales provenientes de los procesos de galvanoplastia de la empresa Muebles León obteniendo altas concentraciones de cromo y de sólidos totales disueltos en $[mg/l]$; elementos que ayudan a tener una mejor conductividad del electrolito para que exista mayor producción de gas Hidrógeno.
- Se diseñó todos los elementos y partes que conforman la celda seca electrolítica en SolidWorks 2010; con el tipo de material y medidas requeridas por la celda; se optó por electrodos de acero inoxidable positivos y negativos ya que los elementos presentes en las aguas se acumularán en cada electrodo de acuerdo al tipo de carga que posean (Ver Anexo 6).
- El ensamble de la celda constituyó un volumen de contención de 693 $[ml]$. para efectuar la electrolisis, además se realizó el ajuste adecuado de los electrodos y los aislantes con la finalidad de eliminar fugas del electrolito.
- Al realizar las primeras pruebas aplicando un voltaje de 12 voltios y en un tiempo de 1 minuto; con bicarbonato de sodio se observó una producción baja de hidrógeno de hasta 730 ppm; consumiendo una corriente de 6 $[A]$, pero al cuantificar la cantidad de gas Hidrógeno generado con aguas residuales fue visible una elevada producción de gas; generando así 12080 ppm con un consumo de 8 a 9 $[A]$.
- El gas Hidrógeno generado es proporcional al área de los electrodos que constituyen la celda y a la conductividad del electrolito colocado; pues de esto depende la cantidad de corriente que consume el sistema.

5.2 Recomendaciones

- Efectuar el maquinado y ensamble de las piezas de la celda con las precauciones de seguridad apropiadas para evitar daños a nuestra integridad física y evitar romper el material (Ver Anexo 7).
- Realizar el mantenimiento propicio de la celda de acuerdo a la ficha con la finalidad de incrementar la vida útil de los electrodos.
- Cada vez que se desarme la celda es necesario efectuar el apriete adecuado de la celda con todos sus componentes para evitar fugas de gas hacia el exterior de la celda
- Los elementos sujetadores de la celda como los pernos, arandelas y tuercas deben ser de la misma calidad de los electrodos o simplemente de acero inoxidable para evitar oxidación y corrosión.
- Al momento de generar hidrógeno no se debe producir ninguna chispa cerca del generador debido a que el hidrógeno es altamente inflamable y podría causar daños severos.

Bibliografía

- [1] A. Bedoya, J. C. Castrillón, J. E. Ramírez, J. E. Vásquez y M. Arias Zabala, Artists, *Producción biológica de hidrógeno: una aproximación al estado del arte*. [Art]. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2010.
- [2] F. Posso, «Hidrógeno 101 en el contexto latinoamericano,» 27 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://latinoamericarenovable.com/2013/03/27/hidrogeno-101-en-el-contexto-latinoamericano/>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [3] Á. . V. Benítez Gaibor y M. A. Ramos Valle, «Dspace ESPOCH,» 11 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/123456789/3053>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [4] C. Wic Baena, «Generando hidrógeno para producir corriente electrica,» IESO Vía Heraclea, Balazote-Albacete, 2012.
- [5] X. Ricón Ruiz, «DSpace Universidad Politecnica de Catalunya,» 4 septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2099.1/23353>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [6] L. G. Moreno Vallejo y C. E. Vargas Gallo, «Universidad de Nuestra Señora Del Rosario,» Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10336/4294>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [7] «NCYT Amazing,» 12 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://noticiasdelaciencia.com/not/8739/producir-hidrogeno-a-partir-de-luz-solar-y-aguas-residuales/>.
- [8] UAB, «Universitat Autònoma de Barcelona,» 2015 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.uab.cat/web/sala-de-prensa/detalle-noticia-1345667994339.html?noticiaid=1345681692138>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [9] G. Buitrón Méndez y C. Carvajal Monroy, «Producción de hidrógeno a partir de aguas residuales,» *Uman.mx Revista Digital Universitaria*, vol. 10, n° 8, 2009.
- [10] H. Perlman, «El Tratamiento de Aguas residuales,» 24 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://water.usgs.gov/gotita/wuww.html>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [11] SANITRON, «Tipos de tratamiento de aguas residuales de origen urbano,» SANITRON Ingeniería de Purificación, Noviembre 2014. [En línea]. Available: http://www.sanitronec.com/images/imagenes/Discharge_pipe.jpg. [Último

acceso: Abril 2015].

- [12] AMT-Solar, «The Energy Innovations Company,» AMT-Solar, 2012. [En línea]. Available: <http://www.amt-solar.com/index.php/es/hidrogeno/que-es-el-hidrogeno>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [13] LENNTECH, «Water Threament Solutions,» LENNTECH BV, 2013. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [14] E. Red, «Ecología Activa,» 11 Julio 2012. [En línea]. Available: http://4.bp.blogspot.com/-owpKE2p6rUo/T_5sjcdOLEI/AAAAAAAAAG5Q/V-NBh3cLYHU/s1600/celda+basica+hho+electrolisis+ecologia+activa.jpg. [Último acceso: Abril 2015].
- [15] H. A. Apez González , J. T. Cruz García y J. . A. Navarrete Negrete , «Celda Electrolítica,» Bloogger, 9 noviembre 2010. [En línea]. Available: <http://celdaelectrolitica.blogspot.com/>. [Último acceso: Febrero 2015].
- [16] V. Abril Rodriguez, «Química General,» Ambato, VHAR, 2007, p. 84.
- [17] M. Rigola Lapeña, Fundamentos de Química del agua, Barcelona: PRODUCTICA, 1990.
- [18] Dipac, «Catálogo Acero Dipac,» 06 Agosto 2010. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/35443893/catalogo-acero-dipac#scribd>. [Último acceso: Junio 2015].
- [19] A. Wesly Longman, «Potenciales de electrodo estándar,» de *Físico Química*, México, Adisson Wesly Publishing Company, Inc, 1998, p. 404.
- [20] I. H. Institute, «International HHO Institute,» International HHO Institute, 2015. [En línea]. Available: <http://www.ihhoi.org/>. [Último acceso: Junio 2015].
- [21] H.-A. (Safety), «Hydrogen is the future,» H2SCAN, 14 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.h2scan.com/products/hy-alerta/500>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [22] HY-ALERTA, «Hydrogen specific leak detection,» [En línea]. Available: <http://www.h2scan.com/specs/manuals/90000002%20R11,%20HY-ALERTAT%20500,%20HANDHELD%20LEAK%20DETECTOR%20OPERATING%20MANUAL.pdf>. [Último acceso: Agoato 2015].

- [23] H.-A. (Safety), «Hydrogen is the future,» H2SCAN, 14 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.h2scan.com/products/hy-alerta/2600>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [24] Trotec, «LD600 combi-detector,» 14 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://accurate.kiwi/Brochures/Trotec%20LD6000%20Leak%20Detection.pdf>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [25] T. Work, «Trotec products,» 11 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://www.trotec24.es/medidores/deteccion-de-fugas/audiofrecuencia-correlacion/sensor-manual-ld-6000-h2.html?rc=d394a56fff>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [26] Honeywell, «Thecnical manual,» Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.honeywellanalytics.com/~media/honeywell-analytics/products/sensepoint-xcd/documents/english/sensepoint-xcd-technical-manual.pdf?la=en>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [27] L. HANWEI ELETRONICS CO., «Gas sensors,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.seeedstudio.com/depot/datasheet/MQ-2.pdf>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [28] Arduino, «ARDUINO PRODUCTS,» Arduino/Genuino UNO, [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [29] aperan, «Acero inoxidable austenítico,» Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalDataSheet/FT%20aust%C3%A9nitiques/Espagnol/304%20304H-304D-304ED.es.pdf>. [Último acceso: septiembre 2015].
- [30] CHILEXPO, «Aleación 304,» 2014. [En línea]. Available: http://www.chilexpo.com/dinamicos/calidades/676409-304_304l_304h_esp.pdf. [Último acceso: Septiembre 2015].
- [31] A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, D. Spirjakin, A. Spirjakin y R. Passerone, «Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring,» *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 171, n° 2, pp. 398-405, 2011.

Anexos

Anexo 1. Recolección de la información



CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0315-1319	RU-49
	Revisión: 06
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: MUEBLES LEÓN (ACTIVIDADES DE CROMADO Y NIVELADO)
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: INGENIERO RICARDO CISNEROS
NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE AGUA / DECLARATORIA DE IMPACTO AMBIENTAL
DIRECCIÓN DEL PROYECTO: FEBRES CORDERO Y TRES CARABELAS / AMBATO
MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE / ING. RICARDO CISNEROS
PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: MARZO, 18 DEL 2015 / 12:05 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0007190
LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS: MARZO 18 AL 27 DEL 2015
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 27 DE MARZO DEL 2015

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	AGUA					
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
A-0894	ML001	Agua Muestra Simple	13/03/2015	16:01	765176 9860098	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.

Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. CORPLAB ECUADOR declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

"Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por Corplab Ecuador; éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe"

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Corplab Ecuador.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de Corplab Ecuador, este informe no es válido.



Químico Miguel Maliza
 C.P. 122
 Gerencia Técnica Corplab Ecuador

Anexo 2. Resultados obtenidos de las aguas residuales



Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
Quito Ecuador
T + 59 3 2341 4080
ABN 84 0009 936 029
www.corplab.net
www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 0315-1319	RU-49
	Revisión: 06
	Página 2 de 3
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-0894	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				ML001		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 5210B	PA - 45.00	mg/l	20,2	250,0	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 01.00	mg/l	55,1	500,0	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-D	PA - 16.00	mg/l	22,0	220,0	CUMPLE
CADMIO	EPA 3010A, Rev. 01, 1992; Standard Methods Ed-22-2012, 3111B	PA-07.00	mg/l	<0,02	0,02	CUMPLE
COBRE	EPA 3010A, Rev. 01, 1992; Standard Methods Ed-22, 2012, 3111B	PA - 25.00	mg/l	154,79	1,0	NO CUMPLE
CROMO TOTAL	Standard Methods Ed-22-2012, 3500Cr B	PA - 11.00	mg/l	1300	0,5	NO CUMPLE
MERCURIO	Standard Methods Ed-22; 2012, 3112B	PA - 57.00	mg/l	<0,002	0,01	CUMPLE
PLOMO	EPA 3010A, Rev. 01, 1992; Standard Methods Ed-22-2012, 3111B	PA - 09.00	mg/l	37,10	0,5	NO CUMPLE
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 H- B	PA - 05.00	UpH	5,66	6 - 9	NO CUMPLE



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ TULAS, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 9, Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

⁽²⁾ Criterio de resultados

^(a) Los valores reportados se encuentran fuera del rango de acreditación del OAE para Cromo Hexavalente de 0,05 a 1 mg/l



norma española

UNE-EN 10020

Febrero 2001

TÍTULO

Definición y clasificación de los tipos de aceros

Definition and classification of grades of steel.

Definition et classification des nuances d'acier.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 10020 de marzo 2000.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE 36004 de mayo 1989, que a su vez adoptaba la Norma Europea EN 10020:1988, y la Norma UNE 36004 1M de enero 1992, que a su vez adoptaba la Norma Europea EN 10020:1988/AC:1991.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 36 *Siderurgia* cuya Secretaría desempeña CALIDAD SIDERÚRGICA, S.R.L.

EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN 10020

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 4166:2001

© AENOR 2001
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

10 Páginas

Grupo 9

Anexo 4. Distribución del acero inoxidable

Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICION QUIMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenite	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,50	0,06	0,030	3,50 ~ 5,5
	18 Cr-6Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,50	2,00 - max	0,04	0,030	19,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	18Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 J1		4505	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	18,00 ~ 15,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
	18Cr-8Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4550	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
Ferrite	13Cr-Al	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	16Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr	SUS 430	430	4016	0,12 max	0,75	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	18Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Martensite	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr-high C	SUS 420 J2	420	4021	0,26 ~ 0,40	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr-high C	SUS 440 A	440 A		0,60 ~ 0,75	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 631	631		0,09 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

Anexo 5. Data sheet sensor MQ-8.

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD

MQ-8

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-8 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to Hydrogen (H₂)
- * Small sensitivity to alcohol, LPG,cooking fumes
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of Hydrogen (H₂), avoid the noise of alcohol and cooking fumes, LPG,CO.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	10KΩ	
R _H	Heater resistance	31±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than800mW	

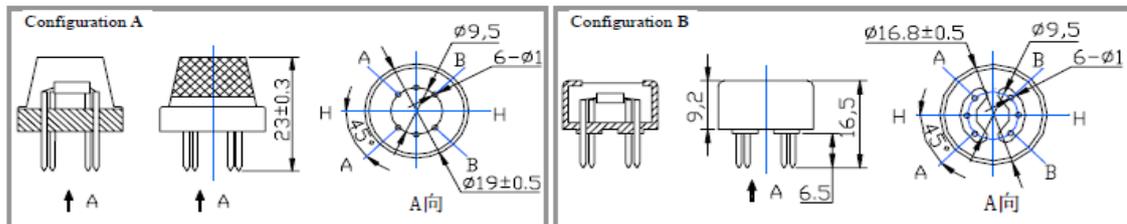
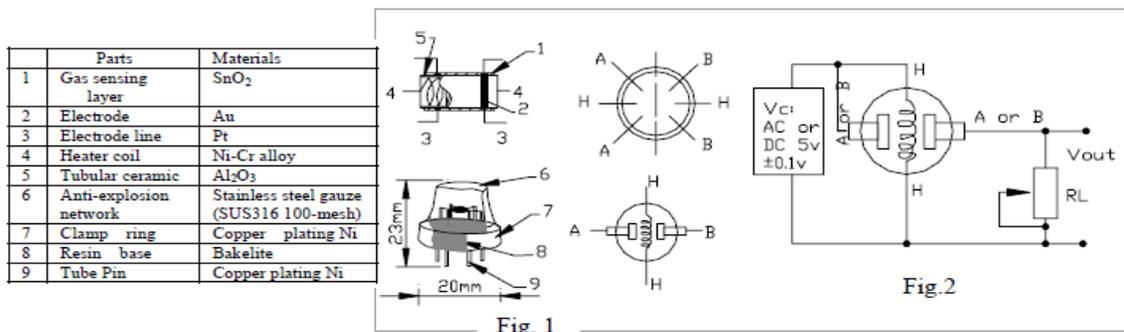
B. Environment condition

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

C. Sensitivity characteristic

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

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



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

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2
 E. Sensitivity characteristic curve

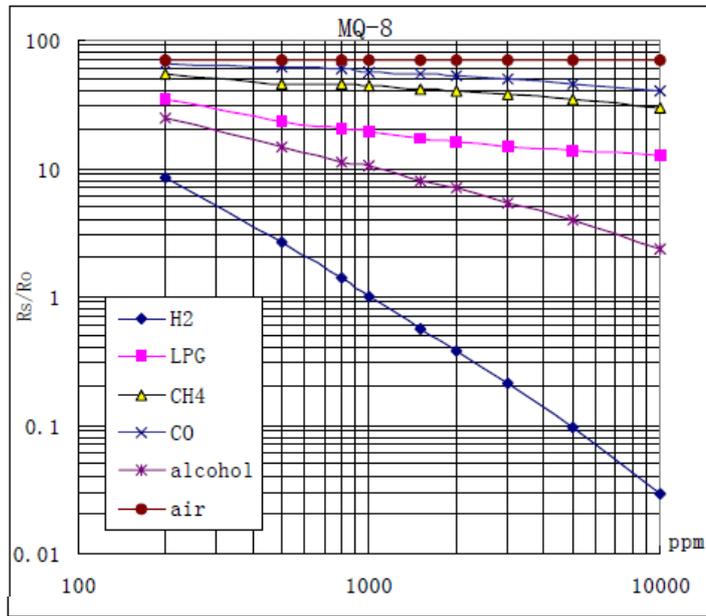


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-8 for several gases.

in their: Temp: 20℃,
 Humidity: 65%,
 O_2 concentration 21%
 $R_L=10k \Omega$

R_o : sensor resistance at 1000ppm H_2 in the clean air.
 R_s :sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-8

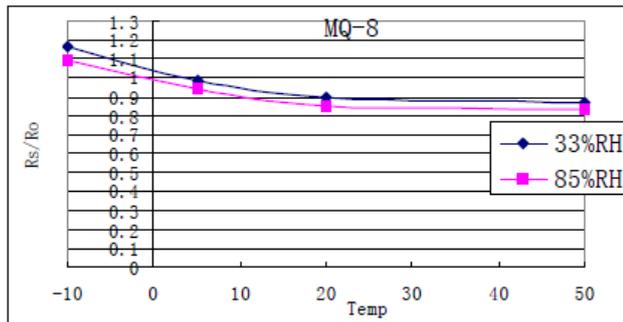


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-8 on temperature and humidity.

R_o : sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at 33%RH and 20 degree.

R_s : sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

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

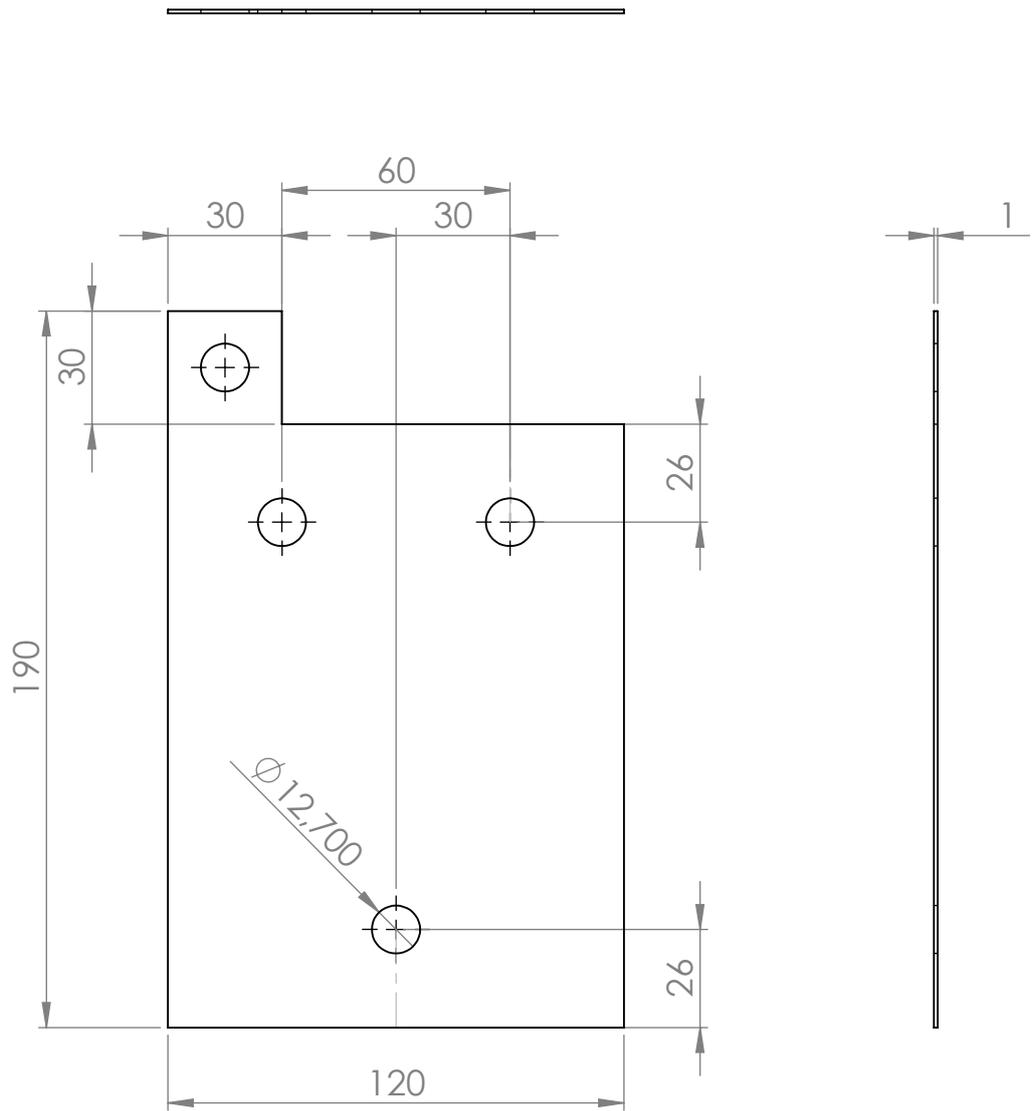
When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo 6. Acumulación de los elementos acuerdo en los electrodos.



Anexo 7. Daños del material





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

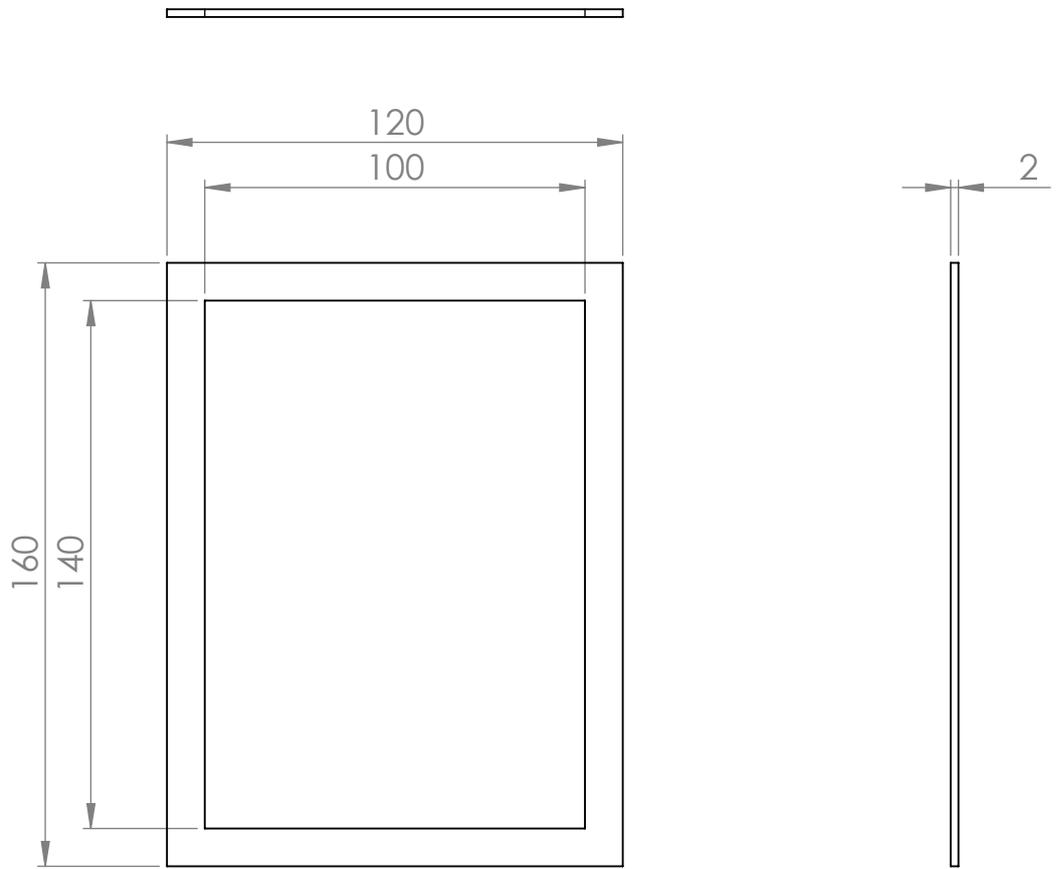
REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:	
N.º DE DIBUJO	Electrodos
ESCALA: 1:2	A4
HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

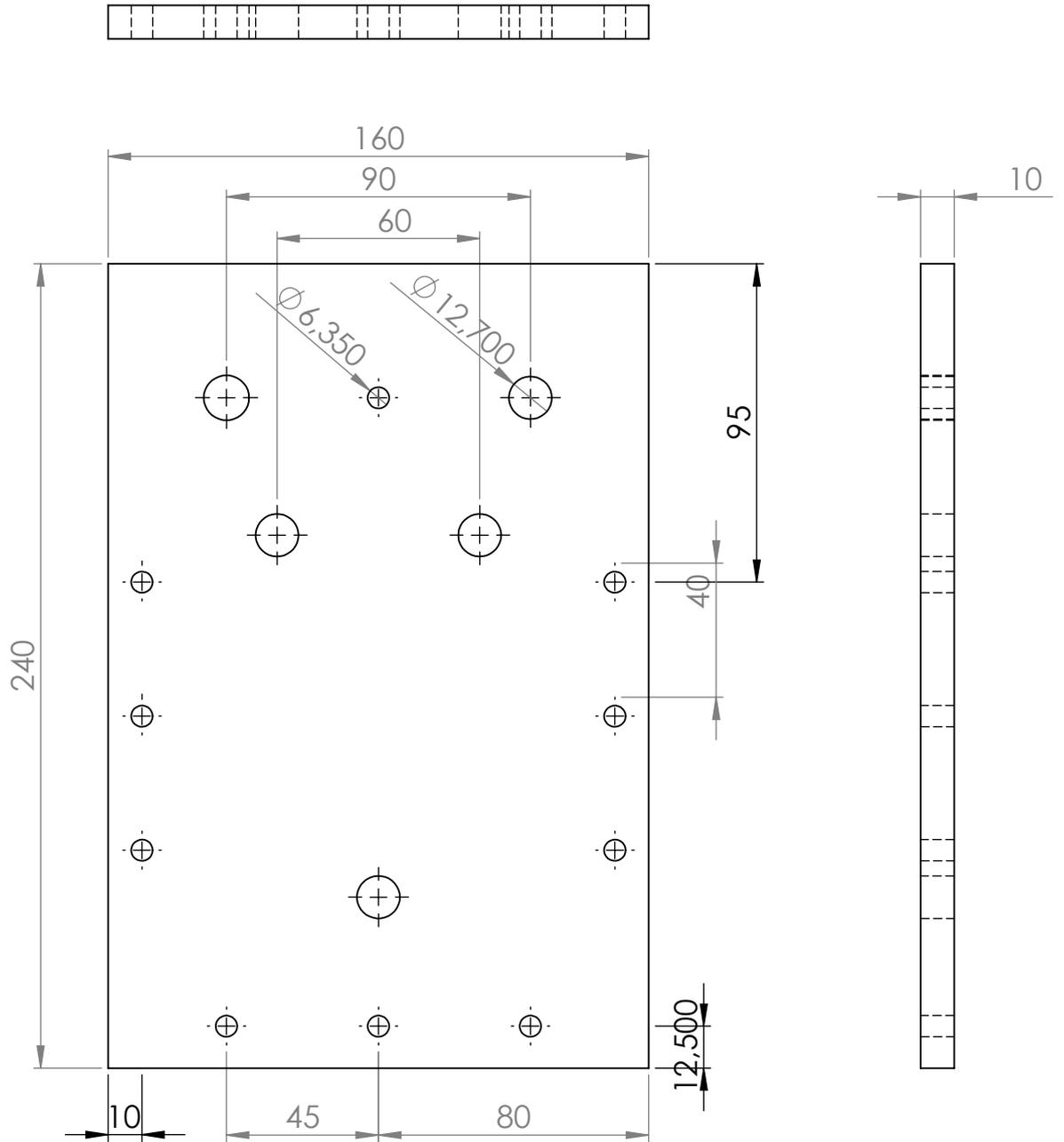
TÍTULO:

N.º DE DIBUJO

Juntas aislantes

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUID.				
				MATERIAL:
				PESO:

TÍTULO:

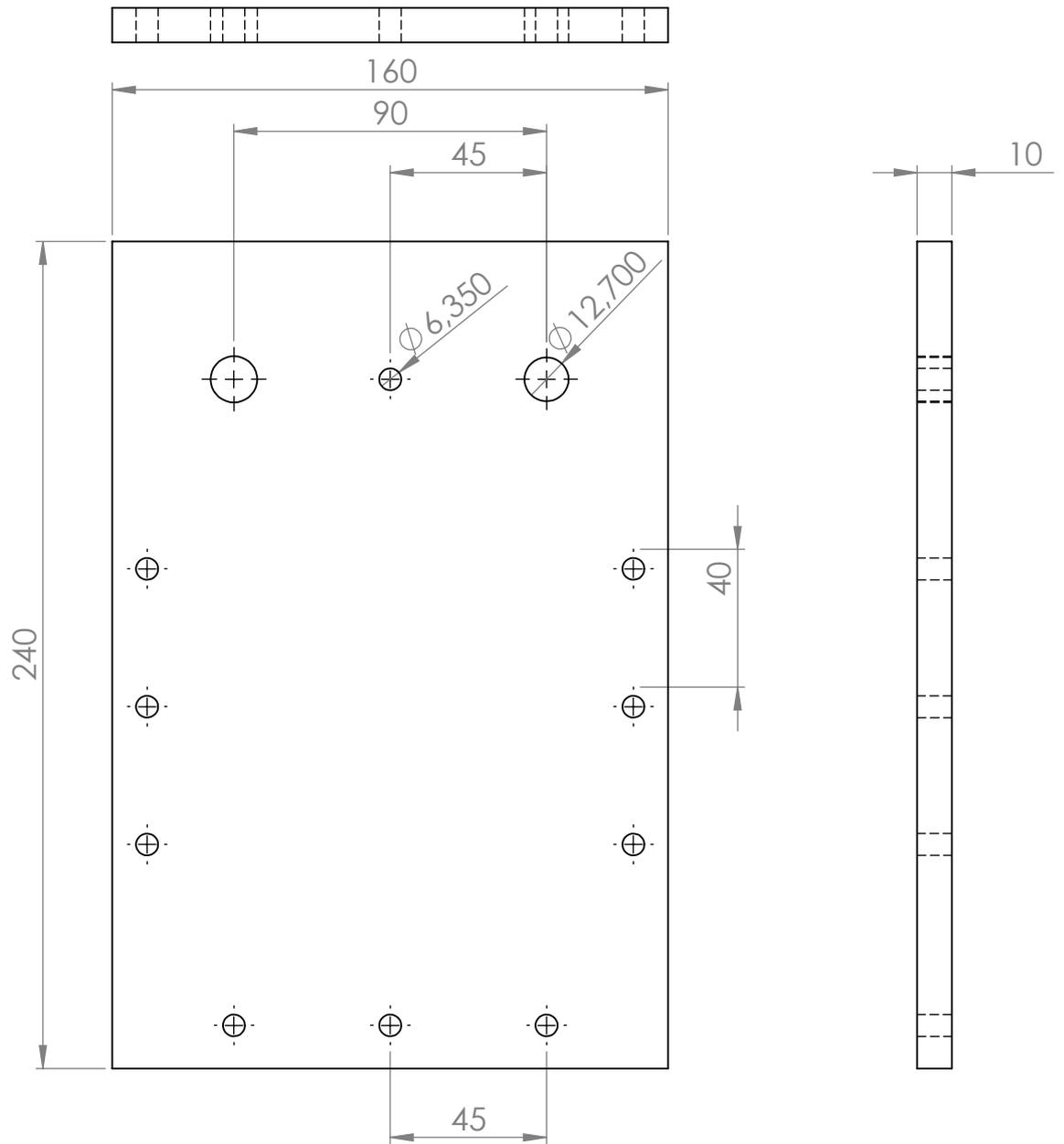
N.º DE DIBUJO

carcaza frontal

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

N.º DE DIBUJO

Carcaza posterior A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1