

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

DARÍO JAVIER SAMANIEGO FREIRE

[\(samaniegod2000@yahoo.com\)](mailto:samaniegod2000@yahoo.com)

DIRECTOR: Fis. MARCO VINICIO YÁNEZ SALCEDO, MSc.

[\(marco.yanez@epn.edu.ec\)](mailto:marco.yanez@epn.edu.ec)

CODIRECTOR: Ing. EFRAÍN OSWALDO BUITRÓN BUITRÓN, MBA

[\(oswaldo.buitron@epn.edu.ec\)](mailto:oswaldo.buitron@epn.edu.ec)

Quito, Marzo 2014

DECLARACIÓN

Yo, DARÍO JAVIER SAMANIEGO FREIRE, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Darío Javier Samaniego Freire

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por DARÍO JAVIER SAMANIEGO FREIRE, bajo nuestra supervisión.

**Fis. MARCO YÁNEZ, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Ing. OSWALDO BUITRÓN, MBA
CODIRECTOR DEL PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

Agradecimientos a Fis. Marco Yáñez, MSc. y a Ing. Oswaldo Buitrón, MBA quienes me han ayudado en la realización del presente Proyecto de Titulación, a mi familia por todo el apoyo dado, a mis amigos y amigas con quienes compartí muchos momentos fabulosos en mi vida.

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación dedico a todas las personas que me dieron el apoyo necesario y suficiente para cumplir con uno de mis objetivos.

Contenido

RESUMEN	ix
PRESENTACIÓN	x
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ELECTRÓLISIS DEL AGUA	2
1.2.1 PROCESO ELECTROLÍTICO.....	3
1.2.2 PRECAUCIONES.....	4
1.3 GASES EXTRAÍDOS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA	4
1.3.1 HIDRÓGENO	4
1.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO.....	5
1.3.3 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE HIDRÓGENO	6
1.3.4 APLICACIONES DEL HIDRÓGENO.....	7
1.3.5 OXÍGENO.....	7
1.3.6 CARACTERÍSTICAS DEL OXÍGENO.....	8
1.3.7 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE OXÍGENO.....	8
1.3.8 APLICACIONES DEL OXÍGENO	9
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO.....	10
1.4.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONTINUA.....	10
1.4.2 ELECTRODOS.....	14
1.4.3 ELECTROLITO.....	16
1.4.4 CUBA ELECTROLÍTICA.....	16
1.4.5 SENSORES.....	17
1.4.6 ACTUADORES.....	19
 CAPÍTULO 2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXIGENO	 21
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	21

2.2	ALIMENTACIÓN	22
2.2.1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONSTANTE	23
2.2.2	CIRCUITO DE VOLTAJE Y CORRIENTE	28
2.2.3	CIRCUITO DE POTENCIA	32
2.2.4	VISUALIZACIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	39
2.2.5	PROTECCIONES PARA LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	40
2.3	MEDICIONES DEL PROCESO	54
2.3.1	MICROCONTROLADOR.....	57
2.3.2	SENSORES DE PRESIÓN	58
2.3.3	SENSORES DE TEMPERATURA	59
2.3.4	SENSOR DE HIDRÓGENO.....	61
2.3.5	SENSOR DE NIVEL	63
2.3.6	VÁLVULAS	64
2.3.7	LECTURAS DEL PROTOTIPO.....	67
2.4	PROCESO ELECTROLÍTICO.....	67
2.4.1	ENVASE ALMACENADOR	67
2.4.2	APARATO HOFFMAN	68
2.5	GENERACIÓN DE GASES.....	69
2.5.1	TRANSPORTE DEL GAS HIDRÓGENO Y OXÍGENO.....	69
2.5.2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA EL OXÍGENO.	69
CAPÍTULO 3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL		71
3.1	CONTROL DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA LOS ELECTRODOS	72
3.1.1	SUBROUTINA VOLTAJE	74
3.1.2	SUBROUTINA CORRIENTE.....	75
3.1.3	SUBROUTINA CONTROL	77
3.2	CONTROL DEL PROCESO ELECTROLÍTICO	78
3.2.1	SUBROUTINA ACTIVAR RELOJ	80

3.2.2	SUBROUTINA HIDRÓGENO	82
3.2.3	SUBROUTINA NIVEL.....	83
3.2.4	SUBROUTINA PRESIÓN DEL GAS HIDRÓGENO Y OXÍGENO	85
3.2.5	SUBROUTINA TEMPERATURA DEL GAS HIDRÓGENO Y OXÍGENO	86
3.2.6	SUBROUTINA CONTROL DE LA VÁLVULA.	87
3.2.7	SUBROUTINA LECTURA.....	87
CAPÍTULO 4 PRUEBAS Y RESULTADOS		89
4.1	PRUEBAS DE LA FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....	89
4.2	CANTIDAD DE HIDRÓGENO	100
4.2.1	CONCENTRACIÓN.....	100
4.2.2	FACTOR CORRIENTE Y VOLTAJE	101
4.2.3	TAMAÑO DE ELECTRODOS	103
4.3	GENERACIÓN DE OXÍGENO	104
4.4	CONDICIONES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y NIVEL DEL PROCESO	107
4.5	PRUEBAS DEL SENSOR DE CORRIENTE	108
4.6	COSTOS DEL PROTOTIPO.....	109
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		113
5.1	CONCLUSIONES	113
5.2	RECOMENDACIONES	114

ANEXOS

RESUMEN

Este proyecto de titulación trata sobre el diseño y construcción de un prototipo para generación de hidrógeno y oxígeno, los cuales pueden ser utilizados para celdas de combustible en el caso del hidrógeno gaseoso y el oxígeno gaseoso sirve para aplicaciones en medicina. Se realiza el diseño electrónico mediante el uso de Microcontroladores para analizar y medir las diferentes señales del proceso electrolítico tales como: nivel de sustancia, presión, temperatura, actuadores y miligramos de hidrógeno.

Además, cuenta con varias fuentes de alimentación para separar al sistema general en dos subsistemas; el uno conforma un circuito de control del proceso de señales, y el otro es una fuente de alimentación para los electrodos y efectuar la electrólisis del agua.

PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación está distribuido de la siguiente manera:

En el Capítulo 1, se detallan los conceptos acerca del proceso ya sea en su ámbito electrónico como en lo químico, es decir, conceptos de fuentes de alimentación, electrodos, electrolitos, sensores, características del gas hidrógeno y gas oxígeno y actuadores. Menciona los diferentes tipos de sensores posibles.

En el Capítulo 2, se desarrolla el diseño y construcción del prototipo para generación de hidrógeno y oxígeno entre las cuales tenemos: diseño de acondicionamientos de los sensores requeridos, circuito del controlador del motor para la válvula y circuitos de todas las fuentes de alimentación.

En el Capítulo 3, se presenta todo el desarrollo del software, es decir todos los algoritmos para calcular el nivel de sustancia, la presión y temperatura del proceso, los miligramos de hidrógeno generados.

En el Capítulo 4, se exponen los resultados obtenidos al realizar las pruebas variando algunos parámetros como voltaje, corriente, concentración, tamaño de los electrodos y costo del prototipo.

En el Capítulo 5, se presenta las conclusiones y las recomendaciones como resultado de la ejecución del proyecto de titulación.

En la parte final se encuentran los anexos: manual de usuario, planos de la estructura del prototipo, hojas de datos de los componentes electrónicos y las tablas completas de las pruebas realizadas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación del medio ambiente y el desgaste de los recursos naturales son de gran preocupación para el mundo entero debido a las emisiones causadas por la combustión de los combustibles fósiles. El uso de estas fuentes de energía ha ido cada vez agotando los recursos naturales y pone en evidencia grandes miserias y pobreza. [33]

Por esta razón, se ha propuesto algunas alternativas para disminuir el impacto ambiental que se evidencia en estos días; entre ellas está la generación de hidrógeno por medio de la electrólisis del agua a partir de una fuente de energía eléctrica. De este modo, se provee una vía sustentable para el uso de fuentes de energía como materia prima para las celdas de combustible. [3, 13]

Para la generación de hidrógeno y oxígeno se puede utilizar fuentes renovables con el propósito de evitar la destrucción del medio ambiente, entre las cuales se tiene: eólica, solar, geotérmica entre otras. Pero esto implica un costo monetario relativamente alto el hecho de construir las para producir electricidad. [13, 33]

Es por tal razón que se ha empleado la generación de hidrógeno partiendo de la fuente de energía eléctrica. El prototipo que va a ser tratado en este proyecto se orienta a la generación de hidrógeno y oxígeno, con el objeto de buscar nuevos usos para el hogar o la industria. [13, 33]

1.2 ELECTRÓLISIS DEL AGUA

La electrólisis del agua como su nombre lo indica es la descomposición de agua en gas de hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) por medio de una corriente eléctrica proveniente de una fuente eléctrica. Mediante la descomposición del agua, la generación de hidrógeno dará lugar a una fuente inagotable de energía, de modo que no provocaría crisis económica como las del petróleo y además sería una fuente de energía no contaminante ya que no produce emisiones de gases. [3, 5, 33]

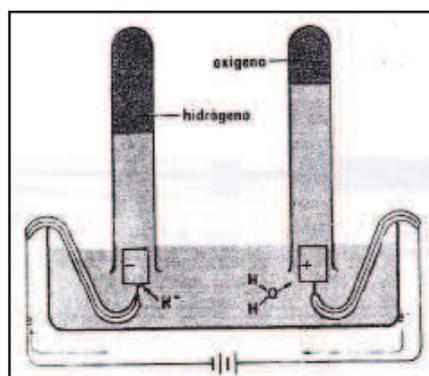
El agua pura no conduce electricidad por lo que se añade un electrolito tal como: sal, un ácido o una base; se utilizan electrodos a los cuales se aplica una corriente continua para llevar a cabo una eficaz electrólisis. [5]

La reacción de descomposición global es la siguiente:



La cantidad de hidrógeno idealmente generada es el doble que la de oxígeno y ambas son proporcionales al total de carga eléctrica que fue enviada por el agua según estableció Faraday, tal como se muestra en la Figura 1.1. Un equivalente de electricidad es igual a 96500 coulombs y se denomina un Faraday (corresponde a un peso equivalente-gramo de la sustancia que se transforma en el proceso electrolítico). [4]

Figura 1.1. Ley de Faraday. [5]



1.2.1 PROCESO ELECTROLÍTICO

- ❖ Se disuelve el electrolito en el agua, con el fin de que dicha sustancia se separe en iones y facilite la conducción. [4]
- ❖ Se alimenta al par de electrodos una corriente eléctrica continua por medio de una fuente de alimentación eléctrica. El electrodo conectado al polo negativo se conoce como cátodo, y el conectado al positivo como ánodo. El hidrógeno se desprende en burbujas sobre el cátodo: [1, 13]

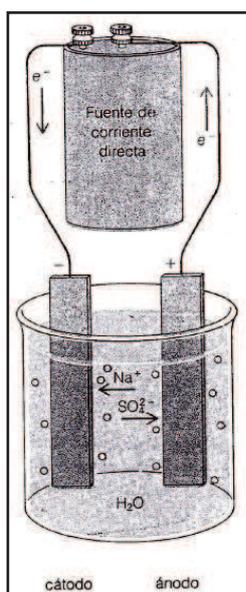


El oxígeno se desprende en el ánodo: [1, 13]



- ❖ Cada electrodo mantiene atraídos a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos se desplazan hacia el ánodo, tal como se muestra en la Figura 1.2. [1]

Figura 1.2 Proceso de Electrólisis del Agua. [1]



- ❖ La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos brinda la fuente de alimentación eléctrica. [1]
- ❖ Los iones negativos ceden electrones al ánodo (positivo) y los iones positivos toman electrones del cátodo (negativo). [1]

1.2.2 PRECAUCIONES [3, 5]

- ❖ Nunca se debe juntar los electrodos porque van conectados a la fuente de alimentación, eso provocaría un sobrecalentamiento y se quemará la fuente, es decir, se produce un cortocircuito.
- ❖ Se debe usar siempre corriente continua, aunque hay ciertos estudios que pretenden generar hidrógeno y oxígeno con corriente alterna.
- ❖ La electrólisis del agua debe hacerse de tal manera que los dos gases desprendidos no entren en contacto, ya que si pasa eso, simplemente regresan a formar agua con fuerte reacción exotérmica.

1.3 GASES EXTRAÍDOS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA

1.3.1 HIDRÓGENO

El **hidrógeno** consta de un núcleo de unidad de carga positiva y un solo electrón. Es uno de los elementos principales del agua y de toda materia orgánica, y está distribuido por todo el planeta. Existen muchos métodos para obtener hidrógeno, ya sea por electrólisis o recuperándolo del gas natural. [5,13]

En la Tabla 1.1 se enumeran algunas propiedades físicas de dicho elemento.

Tabla 1.1 Propiedades Físicas del Hidrógeno Gaseoso. [5]

Temperatura de Auto ignición	485 °C
Densidad	0.08987 g/litro
Punto de congelación	-259 °C
Punto de ebullición	-253 °C
Temperatura crítica	-240 °C
Presión crítica	12.8 atm

1.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL HIDRÓGENO [5, 13]

- ❖ En condiciones ambientales de presión y temperatura se lo encuentra como gas incoloro, inodoro y no es tóxico.
- ❖ Tiene facilidad de combustión completa si se utiliza el hidrógeno como combustible con un alto poder calorífico.
- ❖ Forma mezclas explosivas cuando se mezcla con el aire y forma una llama azul casi invisible.
- ❖ La manipulación de dicho elemento requiere de ciertos cuidados especiales para evitar accidentes, ya que es altamente inflamable.
- ❖ Es propenso a fugas debido a su baja viscosidad y a su bajo peso molecular.
- ❖ El hidrógeno se combina con la mayoría de los elementos no metálicos si se somete a altas temperaturas.

1.3.3 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE HIDRÓGENO [35]

Existen diferentes métodos para el almacenamiento y transporte de hidrógeno, tanto para aplicaciones estacionarias como para el sector del transporte (en forma gaseosa, líquida o sólida), dependiendo de la aplicación para la que se destina el hidrógeno y la complejidad de ejecución. Las opciones principales para el almacenamiento y transporte en cantidades apreciables son los gases comprimidos, los líquidos criogénicos y los hidruros metálicos.

El *hidrógeno gaseoso* es recomendable usarlo en tanques y tuberías de alta presión debido a su baja densidad para su almacenamiento. El proceso de compresión del hidrógeno en tanques de alta presión requiere energía y el espacio que el gas comprimido ocupa es generalmente muy grande (3000 veces mayor que un tanque de gasolina). La compresión del gas es muy costosa pero es el mejor método disponible a corto plazo para el almacenamiento del hidrógeno.

Al *hidrógeno líquido* se lo encuentra a temperaturas extremadamente bajas. Se precisan recipientes criogénicos y es almacenado a una temperatura de 20 °K (253 °C). Los recipientes a presión de hidrógeno líquido son usados para aplicaciones aeroespaciales. Su ventaja con respecto al estado gaseoso, es la de acumular energía con alta densidad y que el peso del contenedor es más bajo para igual cantidad de energía almacenada. Pero las bajas temperaturas traen problemas de seguridad por lo cual el costo de una unidad de compresión es alto.

El almacenamiento del *hidrógeno sólido* se realiza en forma de hidruros metálicos, estos son de aleaciones metálicas que actúan de una forma similar a una esponja empapada de agua. Tienen la capacidad de absorber el hidrógeno y de liberarlo más tarde, a temperatura ambiente o calentando el tanque. Para obtener hidrógeno sólido se eleva a cierta temperatura y presión hasta que el hidrógeno se disuelva en la fase sólida. Conforme aumenta la presión los incrementos en el contenido de hidrógeno son cada vez menores hasta que el material puede considerarse cargado.

1.3.4 APLICACIONES DEL HIDRÓGENO

El flujo de hidrógeno tiene varias aplicaciones, por ejemplo, antes era usado para rellenar globos y dirigibles, pero debido al enorme peligro de incendio se ha reemplazado por el helio. En la actualidad, se emplea para celdas de combustible los cuales son capaces de hacer funcionar los motores de combustión interna alternativos de vehículos motorizados; algunos automóviles con motores de este tipo son mantenidos por Chrysler-BWM. [33]

El hidrógeno líquido es usado para la propulsión de cohetes espaciales. En muchas reacciones de electrólisis, se usa para la fabricación de amoníaco, en la síntesis del alcohol metílico, en la elaboración de gasolinas sintéticas y también puede ser empleado para soldar a una temperatura elevada. También se emplea en la producción de tungsteno y como refrigerante de los grandes alternadores y transformadores. [5, 35]

Se emplean grandes cantidades de hidrógeno para obtener grasas sólidas. Las grasas obtenidas en una industria, por lo general, son líquidas a temperatura ambiente. El aceite de semilla de algodón, el aceite de coco y el aceite de cacahuete son algunos ejemplos. A elevadas temperaturas y en presencia de un catalizador de níquel, se emplean en la fabricación de alimentos y jabón. [5]

1.3.5 OXÍGENO

El *Oxígeno* es un gas a temperatura ambiente y es el elemento más abundante que se encuentra en la naturaleza. Cerca de una quinta parte (en volumen) del aire es oxígeno. Se dispone de generadores de oxígeno los cuales son capaces de concentrar el oxígeno del aire. [5] En la Tabla 1.2 se enumeran algunas propiedades físicas del elemento.

Tabla 1.2 Propiedades Físicas del Oxígeno. [5]

Densidad	1.429 g/litro
Punto de congelación	-218 °C
Punto de ebullición	-183 °C
Temperatura crítica	-119 °C
Presión crítica	49.7 atm
Solubilidad en agua	5 ml / 100g a 0 °C

1.3.6 CARACTERÍSTICAS DEL OXÍGENO [5]

- ❖ Casi todos los elementos químicos a excepción de los gases inertes forman compuestos con el oxígeno, tales como: el agua, rocas, suelos, mármol y varios óxidos del hierro, que se utilizan como fuente del metal.
- ❖ Muchos compuestos se unen con el oxígeno de manera rápida y desprenden luz y calor por lo que favorece la combustión. Por ejemplo, el calcio arde brillantemente en oxígeno puro, formándose así el óxido de calcio.
- ❖ En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido. Sin embargo, a elevadas presiones puede ser tóxico.
- ❖ El oxígeno almacenado debe estar alejado de grasas y fuentes de ignición para evitar explosión.

1.3.7 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE OXÍGENO [36]

Se almacena al oxígeno en cilindros huecos hechos de una sola pieza; posee una base cóncava que permite que el cilindro sea colocado en posición vertical y en la parte superior tiene una abertura en forma de rosca para poder recibir la válvula del cilindro (Figura 1.3). El oxígeno puede ser almacenado de forma gaseosa o líquida

según la aplicación que se requiera. Los cilindros utilizados en oxígeno se fabrican en base a la norma DOT-3A o bien DOT-3AA.

Figura 1.3 Cilindro de oxígeno. [36]



Para el almacenamiento del oxígeno debe estar en un área seca, fresca, bien ventilada y de preferencia resistente al fuego. Los cilindros deben almacenarse en áreas bien ventiladas, debe protegerse contra temperaturas extremas del clima (no exceder de los 50 [°C]) y evitar humedad. Los cilindros deben transportarse siempre en posición vertical.

1.3.8 APLICACIONES DEL OXÍGENO

Se usan grandes cantidades de oxígeno combinado con algún gas combustible para la utilización de sopletes, la producción de acero es un gran consumidor de este gas, empleándose este gas en los hornos para quemar el carbón y en procesos donde se requieran altas temperaturas. [5]

Por otra parte, el oxígeno es utilizado en la medicina, se le administra a pacientes con problemas respiratorios y también a las personas que vuelan a altitudes elevadas, donde la baja presión del aire no permite la respiración normal. En la industria química, para llegar a obtener sustancias líquidas como el acetileno y ácido sulfúrico, y para obtener explosivos en estado líquido derivados de los nitratos. Y es usado también como combustible de cohetes espaciales. [5, 36]

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

1.4.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONTINUA [7]

La mayoría de los dispositivos utilizan una fuente de energía estable, consistente y pura para funcionar correctamente. Se diseñan fuentes de alimentación continua partiendo de la red eléctrica: 110~120 V_{AC} a 60 Hz. La fuente de alimentación más económica es del tipo de circuito rectificador (convertor AC/DC) pero tiene el inconveniente del rizado de voltaje, de modo que se colocan filtros capacitivos e inductivos para disminuir el rizado. Para mejorar las características de la fuente se agrega reguladores o controladores de voltaje a la salida del filtro capacitivo.

1.4.1.1 Transformador

El transformador consta de un circuito magnético y de dos o más bobinados, su función es reducir el voltaje alterno de la línea a niveles de voltaje que puedan ser manejados por circuitos electrónicos. [9]

Figura 1.4 Esquema del transformador. [37]



En la Figura 1.4, se visualiza la parte primaria del transformador y su función es recibir energía eléctrica de la red y el otro extremo del transformador es el que suministra energía al resto de circuitería que se conecte, se denomina secundario.

Ambos bobinados: primario (N_p) y secundario (N_s) están enrollados sobre su núcleo y son eléctricamente independientes y la relación de voltaje se la determina mediante la siguiente expresión: [9]

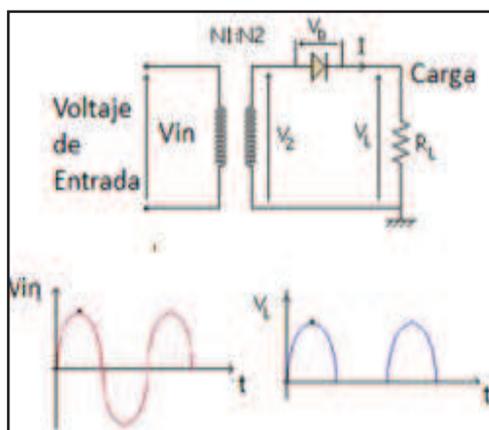
$$V_{\text{secundario}} = \frac{V_{\text{primario}} N_s}{N_p} \quad (1.4)$$

1.4.1.2 Rectificación

Este bloque está formado por uno o más diodos. El diodo es un elemento semiconductor y se utiliza para rectificar a la señal y dependiendo del arreglo de diodos se tiene las siguientes configuraciones: [7]

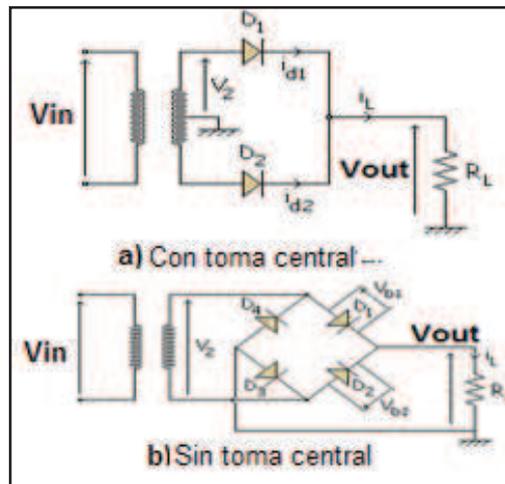
- Rectificador de media onda: el diodo solo permite el paso de medio ciclo de la señal de alimentación tal como se muestra en la Figura 1.5. Esta configuración es recomendada para aplicaciones de baja corriente. [9]

Figura 1.5 Rectificador de media onda. [9]



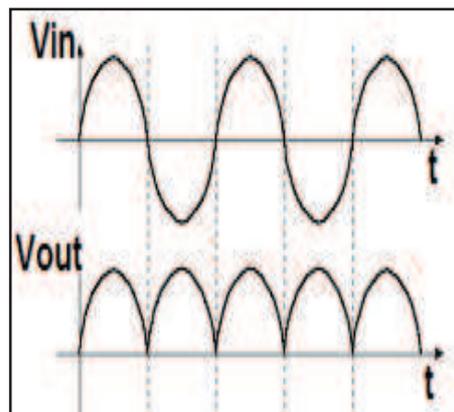
- Rectificador de onda completa no controlada: la configuración de la Figura 1.6 es eficaz porque aprovecha todo el ciclo de la señal y la eficiencia de conversión aumenta en comparación a la configuración de la Figura 1.5. [8]

Figura 1.6 Rectificador de onda completa con un transformador. [8]



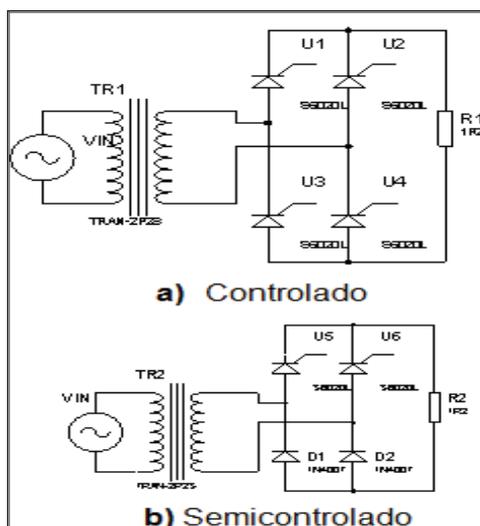
En la Figura 1.7, se obtiene la forma de onda a la salida de la configuración del rectificador de onda completa.

Figura 1.7 Forma de onda del rectificador de onda completa. [9]



- Rectificador de onda completa controlada: la estructura es similar al caso anterior con la pequeña diferencia que se cambia los diodos por tiristores SCR que son elementos semiconductores de potencia vistos en la Figura 1.8. [8]

Figura 1.8 Rectificador controlado y semicontrolado. [8]

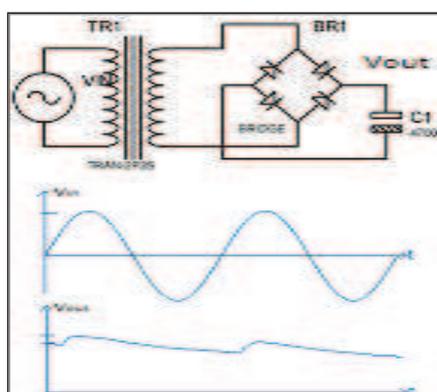


El rectificador controlado puede manejar niveles de voltajes positivos y negativos dependiendo de la carga a utilizar, para minorar circuitería basta con un rectificador semicontrolado. De esta manera, solo se tendría que controlar los ángulos de disparo de dos tiristores SCR. [8]

1.4.1.3 Filtrado

A la salida del rectificador no se tiene un voltaje continuo por lo que se agrega un capacitor de filtrado, tal como se muestra en la Figura 1.9. Este capacitor suaviza los pulsos de salida y produce un voltaje DC de salida casi puro, es decir, el rizado de voltaje debe ser bajo. [7]

Figura 1.9 Rectificador de onda completa con filtro capacitivo. [7]

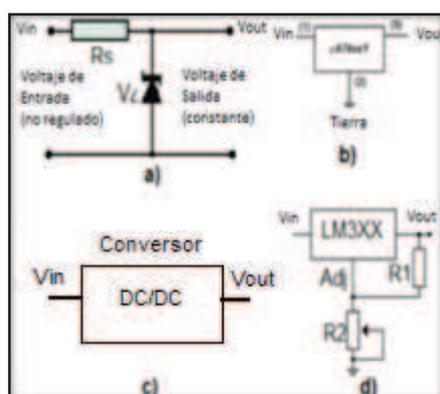


1.4.1.4 Regulación

La función del regulador es la conversión de un voltaje a otro, este voltaje de salida debe ser estable y que sea independiente de las condiciones de carga y del voltaje de DC de entrada. Puede ser diseñado de varias maneras, tales como:

- Diodos zener.
- Reguladores de salida de voltaje constante, los cuales son circuitos integrados comerciales.
- Convertidores DC/DC.
- Reguladores ajustables.

Figura 1.10 Tipos de reguladores de voltaje. [8, 9]



1.4.2 ELECTRODOS

Es un conductor eléctrico y al hacer contacto con el electrolito crea una diferencia de potencial dada y se puede calcular bajo la siguiente expresión: [4]

$$E = E^0 + \frac{0.001984T}{n} \log[M^{n+}] \quad (1.5)$$

Donde E^0 es el potencial normal o estándar donde: $[M^{n+}]$ es la concentración ideal de los iones metálicos de la disolución, T es la temperatura y n es la valencia del elemento. A condiciones normales de temperatura ($T = 25$ [°C]) se tiene: [4]

$$E = E^0 + \frac{0.059}{n} \log[M^{n+}] \quad (1.6)$$

Cada electrodo puede convertirse en ánodo o cátodo dependiendo del voltaje que se aplique a la celda. El voltaje de la fuente debe ser mayor a la suma de los potenciales de la reacción de oxidación – reducción del electrodo y electrolito para sacar los gases de hidrógeno y oxígeno. El material de los electrodos tiene una gran importancia ya que tienen un sobrepotencial debido a la resistencia del ánodo y del cátodo al paso de la corriente durante el proceso. [1, 4]

En la Tabla 1.3 se muestra los voltajes de los diferentes electrodos. Los materiales usados para el ánodo y cátodo son los siguientes:

- ❖ Existe una gran variedad de materiales de electrodos anódicos. En su mayoría están presentes en la mezcla de óxidos de metales nobles, óxidos ternarios, ferritas, aleaciones como el Níquel o el Cobre, compuestos orgánicos metálicos, grafito y en materiales aislados. [13]
- ❖ Los materiales empleados para la fabricación de electrodos para el cátodo principalmente son: Níquel, Cobre, aleaciones con Níquel o Cobre, Cobalto, metales puros, grafito. Para la producción de estos materiales es factible hacerlo mediante la electrólisis. [13]

Tabla 1.3 Potenciales de los electrodos estándar a 25 [°C]. [2]

Media reacción	ε^0 (Voltios)
$K^+ + e^- \Leftrightarrow K$	-2.925
$Al^{3+} + 3e^- \Leftrightarrow Al$	-1.662
$2H_2O + 2e^- \Leftrightarrow H_2 + 2OH^-$	-0.828
$Pb^{2+} + 2e^- \Leftrightarrow Pb$	-0.126
$2H^+ + 2e^- \Leftrightarrow H_2$	0
$Cu^{2+} + 2e^- \Leftrightarrow Cu$	+0.337

$Cu^{+} + e^{-} \Leftrightarrow Cu$	+0.521
$Ag^{+} + e^{-} \Leftrightarrow Ag$	+0.799
$O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \Leftrightarrow 2H_2O$	+1.229
$F_2 + 2e^{-} \Leftrightarrow 2F^{-}$	+2.87

1.4.3 ELECTROLITO

Un electrolito es una solución de sales en agua, que da lugar a la formación de iones, los cuales se comportan como un medio conductor eléctrico. Los electrolitos pueden ser débiles o fuertes, según estén parcial o totalmente ionizados en el medio acuoso. Por lo general, los electrolitos utilizados en el proceso de electrólisis del agua pueden ser el hidróxido de sodio, hidróxido de potasio ó ácido sulfúrico. Los electrolitos pueden ser explotados usando la electrólisis del agua para extraer los elementos químicos principales. [1]

1.4.4 CUBA ELECTROLÍTICA

Se dispone de dos recipientes, el primero es un recipiente para contener el agua y el segundo es un electrolizador (aparato Hoffman) donde se va realizar la electrólisis, puede ser hecho de plástico o vidrio y su tamaño dependerá de la cantidad a utilizarse. Para la electrólisis a más del desarrollo de los electrodos se necesita el desarrollo de los separadores. [13]

Para el transporte del gas hidrógeno y oxígeno se utilizan mangueras, su selección dependerá de la presión y temperatura a manejar en el proceso. Por lo general su construcción es de polipropileno o de metal para aplicaciones las cuales contengan productos químicos corrosivos y además posee una excelente resistencia al impacto. El polipropileno es un termoplástico de alta dureza y rigidez. [40]

1.4.5 SENSORES

Los sensores son dispositivos capaces de medir cierta información de alguna magnitud física o química y esta a su vez transformarla en una magnitud eléctrica. La señal medida de los sensores ayuda a entender el comportamiento del sistema, es decir, el control de los procesos productivos. Existen diferentes tipos de sensores: resistivo, capacitivo, óptico, infrarrojos, de contacto, etc. [6]

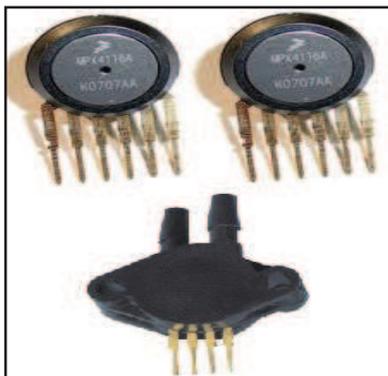
Cada sensor ofrece las siguientes características: rango de medida, precisión, offset o desviación de cero, entre otras. Estas características son necesarias para la selección del sensor para luego instalarlo en el proceso requerido. El sensor puede ser de indicación directa como los termómetros o pueden estar conectados a un indicador ya sea un computador o display de modo que sea de fácil acceso visual para el ser humano. En la Tabla 1.4 se indica algunos tipos de sensores: [6]

Tabla 1.4 Tipos de Sensores. [6]

Magnitud	Sensor	Señal
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Temperatura	Termopar	Analógica
	RTD	
	Termistor: NTC, PTC.	
Nivel	Infrarrojo	Óptica
	Membrana, Tipo burbujeo	Analógica
	Ultrasonido, Radiación, Láser	
	Presión diferencial de diafragma	
	Resistivo	
	Conductivo, Capacitivo	

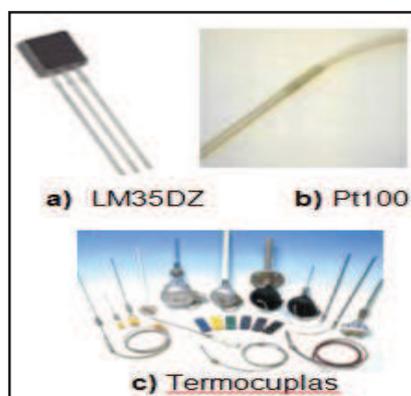
La *presión* es una fuerza por unidad de superficie y puede medirse en valores absolutos o diferenciales. En el sistema internacional está normalizada en pascales pero como es una unidad muy pequeña se indican en kilo pascales. En la industria también se utiliza el bar, el psi y el kg/cm^2 . En la Figura 1.11 se indica la forma del sensor de presión, por su construcción son pequeños, fiables y de bajo costo. [6]

Figura 1.11 Sensores de Presión. [37]



En los procesos industriales la medición de *temperatura* es una de las medidas más comunes e importantes. Por ello, es esencial disponer de una medición precisa. En la Figura 1.12 cada sensor se limita de acuerdo a la aplicación requerida por sus características de precisión, fiabilidad, captación de respuesta; por lo que es importante tener en cuenta las ventajas y desventajas del sensor para la selección adecuada. [6, 37]

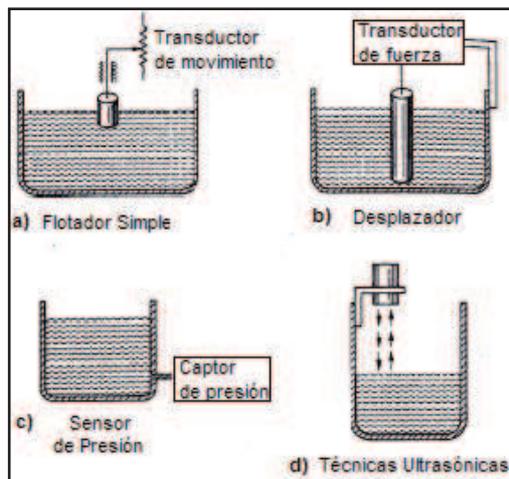
Figura 1.12 Tipos de Sensores de temperatura. [6, 37]



La utilización de *sensores de nivel* en la industria en la medición y/o control del nivel de líquido en tanques son muy importantes para el balance correcto de materias primas o de productos finales. La Figura 1.13 muestra algunos de los métodos más comunes para realizar esta medición. En la Figura 1.13a se encuentra un flotador simple al cual se lo puede acoplar un transductor de movimiento para producir una señal eléctrica proporcional al nivel del líquido. [6, 12]

La figura 1.13b muestra un desplazador que mide el nivel del líquido en función de la fuerza de flotación por medio de un transductor de fuerza. Como la presión hidrostática está relacionada con el nivel del líquido, en la figura 1.13c se puede apreciar el uso de un sensor de presión el cual permite la medición del nivel del líquido del tanque. En la figura 1.13d se usa técnicas ultrasónicas para la detección del nivel de líquidos. [6, 12]

Figura 1.13 Medición de Nivel de Líquidos. [12]



1.4.6 ACTUADORES

Es un dispositivo capaz de efectuar la activación de un proceso para en sí generar un funcionamiento sobre un proceso automatizado. Existen varios tipos de actuadores como son: electrónicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Por lo que se puede ajustar parámetros o posiciones de elementos mecánicos, de los cuales está implementado por volantes, palancas y motores.

Las características a considerar son entre otras: potencia, controlabilidad, peso, volumen, precisión, velocidad y mantenimiento. [6] Los actuadores usados para el proceso del prototipo son:

Figura 1.14 Válvula y Motor Paso a Paso. [6,30]



- ❖ **Válvulas:** se utilizan para regular el caudal de gases y líquidos. Toda válvula debe estar diseñada para resistir los cambios de temperatura existentes por la fricción y presión de fluidos, deben estar regidas por las normas ANSI y DIN. El tipo de válvulas usadas son de bola para el control del líquido y una válvula integral propia del cilindro de oxígeno. La válvula de bola tiene un movimiento de giro de 90°. [6]
- ❖ **Motores:** los más usados son de inducción, de continua, sin escobillas, servomotores y motores paso a paso. Por lo general, se usa un servomotor para la apertura y cierre de las válvulas de control ya que brindan una gran capacidad de esfuerzo. [6]

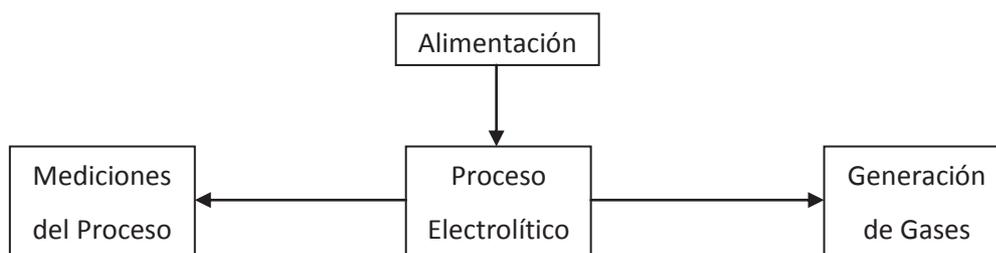
CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

En la Figura 2.1 se muestra una representación del proceso en general, con el fin específico de adquirir variables físicas para determinar la cantidad generada de hidrógeno y oxígeno. Se analizará detenidamente cada bloque, la función que cumple, las partes que la componen y sus respectivos diseños.

Figura 2.1 Diagrama de Bloques del Proceso.



En general, el sistema cumple con varias funciones dictadas a continuación:

- ❖ En el bloque Alimentación, se dispone de una fuente de alimentación (6 voltios, 5 amperios) para efectuar el proceso de electrólisis del agua.[3]
- ❖ En el bloque Mediciones del Proceso se encuentran los sensores de presión, temperatura, nivel e hidrógeno los cuales mostrarán el valor de medida del sistema. Se dispone de una válvula para el cierre y apertura de la cantidad de agua ingresada al aparato Hoffman y otra válvula para el ingreso de gas al cilindro de oxígeno.

Todos los dispositivos de entrada (sensores) y salida (actuador) serán controlados y medidos mediante el uso de microcontroladores.

- ❖ En el Proceso Electrolítico constará el diseño y construcción del tanque de agua y del electrolizador con sus respectivas normas de seguridad.
- ❖ Y por último tenemos el bloque Generación de Gases, el cual se analizará el transporte del gas hidrógeno y oxígeno. Aquí se muestra el diseño del tanque de oxígeno.

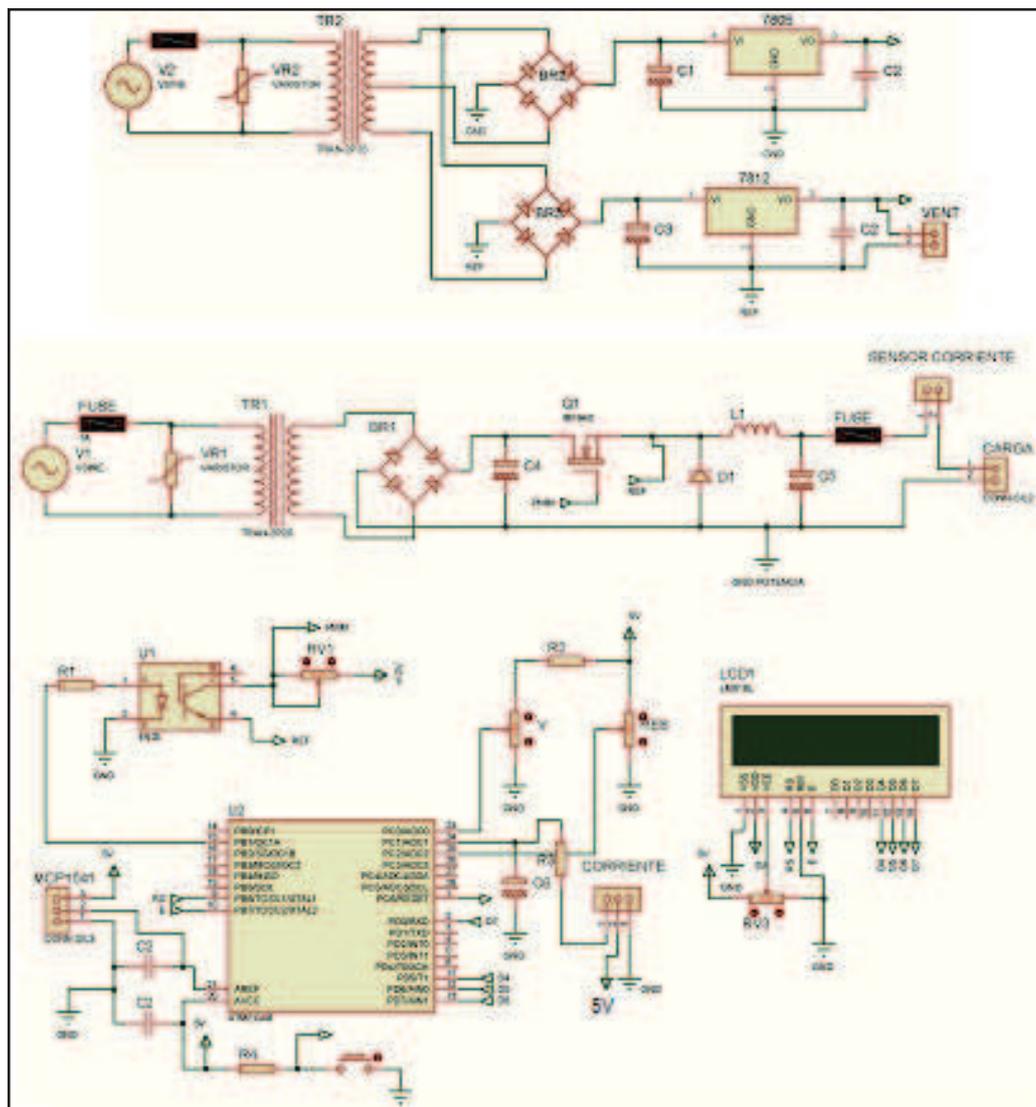
El sistema dispone de displays LCD para visualización y obtener una lectura sobre la información de los parámetros del sistema. Además el sistema cuenta con una estructura metálica para la disposición de los diferentes componentes mecánicos y electrónicos.

2.2 ALIMENTACIÓN

En el capítulo 1, se visualizó diferentes maneras de construir fuentes de alimentación constante y variable. El diseño (Figura 2.2) para la fuente de alimentación de 6 V y 5 A consta de:

- Una fuente de alimentación constante de 5 V y 12 V.
- Una fuente lineal reductora de voltaje de 6V.
- Un circuito de control de voltaje y corriente.
- Una pantalla display LCD.
- Circuitos de protección.
- Disipadores.

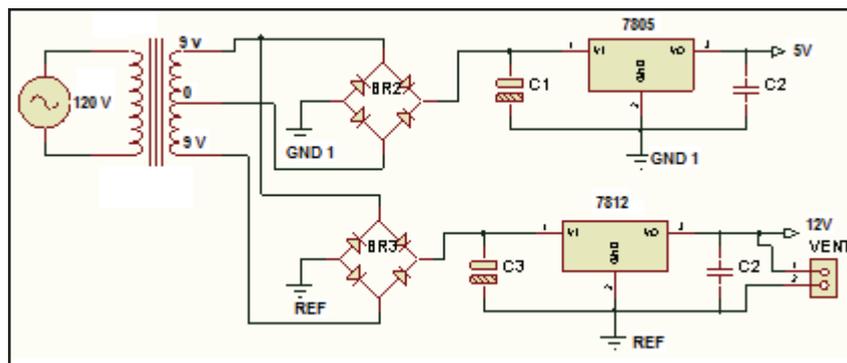
Figura 2.2 Fuente de Alimentación para el proceso de Electrólisis del Agua.



2.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONSTANTE

Se diseñan dos fuentes lineales fijas (Figura 2.3) de 5 y 12 V con el fin de alimentar al microcontrolador, sensor de corriente, pantalla LCD, optoacoplador, y ventilador. Este diseño utiliza un transformador, puente de diodos rectificador, filtros capacitivos y reguladores.

Figura 2.3 Fuente de Alimentación Constantes.



Los componentes electrónicos se dimensionan entre un 20 a 30% más al valor real. Se escoge valores estándares del transformador y regulador de voltaje.

❖ Diseño del transformador

El voltaje de la red eléctrica se reduce de 120 V a 18 y 9 V. La corriente del transformador es de 1.5 A.

❖ Diseño para el puente de diodos

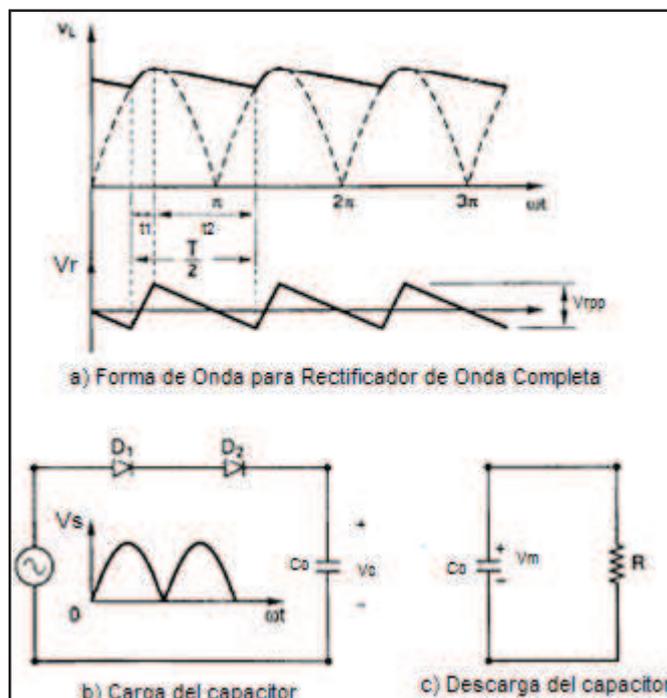
El voltaje del puente de diodos dependerá de la salida del transformador, como en este caso se utiliza dos salidas de 18 y 9 V, el puente rectificador de diodos deberá ser mayor a esos voltajes y la corriente deberá ser mayor a la carga consumida.

❖ Diseño para el capacitor

Se agrega un capacitor a la salida del puente de diodos rectificador con el fin de disminuir su voltaje de rizado V_r y formar una señal continua. Cuando el voltaje instantáneo V_s (voltaje a la salida del puente rectificador) de la Figura 2.4 es mayor al voltaje instantáneo V_c (voltaje del capacitor), el par de diodos del rectificador conducen y se carga el capacitor (Figura 2.4.b). Pero si V_s es menor a V_c , el par de diodos tienen polarización inversa y el capacitor se descarga a través de la

resistencia de carga R (Figura 2.4.c). El voltaje del capacitor varía entre un mínimo y un máximo (Figura 2.4.a). [11]

Figura 2.4 Rectificador puente completo con filtro C. [11]



El capacitor se carga en un tiempo t_1 y se descarga en un tiempo t_2 visto en la Figura 2.4.a. El capacitor C_o se carga al V_m (voltaje pico) de alimentación, de modo que $V_c(t=t_1)=V_m$. El capacitor se descarga en forma exponencial a través de la carga R. [11]

$$\frac{1}{C_o} \int i dt + V_c(t=0) + Ri = 0 \quad (2.1)$$

Donde: $V_c(t=0)=V_m$

$$\frac{1}{C_o} \int i dt + V_m + Ri = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{I}{C_o s} + V_m + RI = 0 \quad (2.3)$$

$$I = -\frac{V_m C_o s}{RC_o s + 1} \quad (2.4)$$

$$\frac{I}{s} = -\frac{V_m}{R\left(s + \frac{1}{RC_o}\right)} \quad (2.5)$$

La corriente cuando el capacitor se descarga es:

$$i(t) = -\frac{V_m}{R} e^{-t/RC_o} \quad (2.6)$$

El voltaje de componente ondulatoria pico a pico (V_{rpp}) se determina:

$$V_{rpp} = V_L(t = t_1) - V_L(t = t_2) \quad (2.7)$$

$$V_{rpp} = V_m \left(1 - e^{-t_2/RC_o}\right) \quad (2.8)$$

Con la condición de $e^{-x} \approx 1 - x$, la ecuación 2.8 se simplifica a: [11]

$$V_{rpp} = \frac{V_m t_2}{RC_o} \quad (2.9)$$

Donde $t_2 = 1/2f$ y la ecuación 2.9 es:

$$V_{rpp} = \frac{V_m}{2fRC_o} \quad (2.10)$$

Por lo tanto, el voltaje V_{DC} está dado por la siguiente ecuación:

$$V_{DC} = V_m - \frac{V_{rpp}}{2} = \frac{V_m(4fRC_o - 1)}{4fRC_o} \quad (2.11)$$

El voltaje de la componente de salida en rms V_{AC} es: [11]

$$V_{AC} = \frac{V_{rpp}}{2\sqrt{2}} = \frac{V_m}{4\sqrt{2}fRC_o} \quad (2.12)$$

Y el factor de rizado FR se determina a partir de las ecuaciones 2.11 y 2.12.

$$FR = \frac{V_{AC}}{V_{DC}} = \frac{1}{\sqrt{2}(4fRC_o - 1)} \quad (2.13)$$

Para el cálculo del capacitor se despeja de la ecuación 2.13 y su valor es:

$$C_o = \frac{1}{4fR} \left(\frac{1}{\sqrt{2}FR} + 1 \right) \quad (2.14)$$

Se tienen los siguientes factores:

- Frecuencia de la red eléctrica $f = 60$ Hz.
- La carga $R = V/I$, donde el voltaje es 9 V y la corriente máxima consumida es 616 mA (microcontrolador, pantalla LCD, sensor de corriente) para el caso del regulador de 5 V. Para el regulador de 12 V se tiene un voltaje de 18 V y corriente de 127 mA (ventilador y optotransistor) visto en la Tabla 2.1.
- Se escoge un factor de rizado del 5 %.

El cálculo de los capacitores C_1 y C_3 (Figura 2.3) son los siguientes:

$$C_1 = \frac{0.616}{4 * 60 * 9} \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 0.05} + 1 \right) = 5608 \mu F$$

$$C_1 = 5608.31 * 1.2 = 6729.97 \mu F \rightarrow C_1 = 4700 \mu F \text{ a } 25 V$$

$$C_3 = \frac{0.127}{4 * 60 * 18} \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 0.05} + 1 \right) = 445.15 \mu F$$

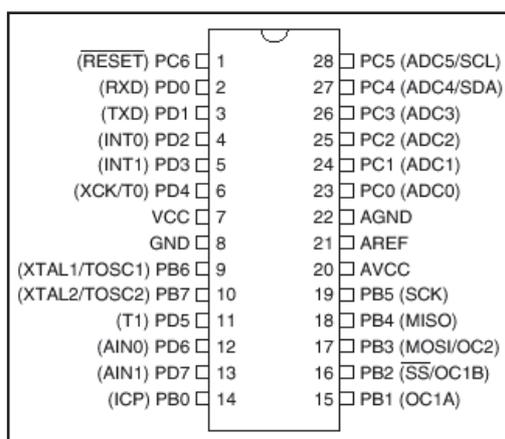
$$C_3 = 445.15 * 1.2 = 534.18 \mu F \rightarrow C_3 = 680 \mu F \text{ a } 25 V$$

Los capacitores $C_2 = 0.1 \mu F$ se usan como filtros para atenuación de la salida de cada regulador de voltaje. Se tiene una fuente constante de 12 V para alimentación del ventilador y opto acoplador y una de 5 V para alimentar el sensor de corriente, microcontrolador y pantalla LCD.

2.2.2 CIRCUITO DE VOLTAJE Y CORRIENTE

En la etapa de control, se dispone de un microcontrolador Atmega8 (Figura 2.5) el cuál es suficiente para hacer el control de voltaje y corriente de la fuente de alimentación. Dentro de este bloque se encuentra a disposición dos potenciómetros para variar voltaje y colocar la carga resistiva medida, posee un sensor para medir corriente y la visualización se la realiza por medio de una pantalla LCD.

Figura 2.5 Microcontrolador Atmega8. [32]



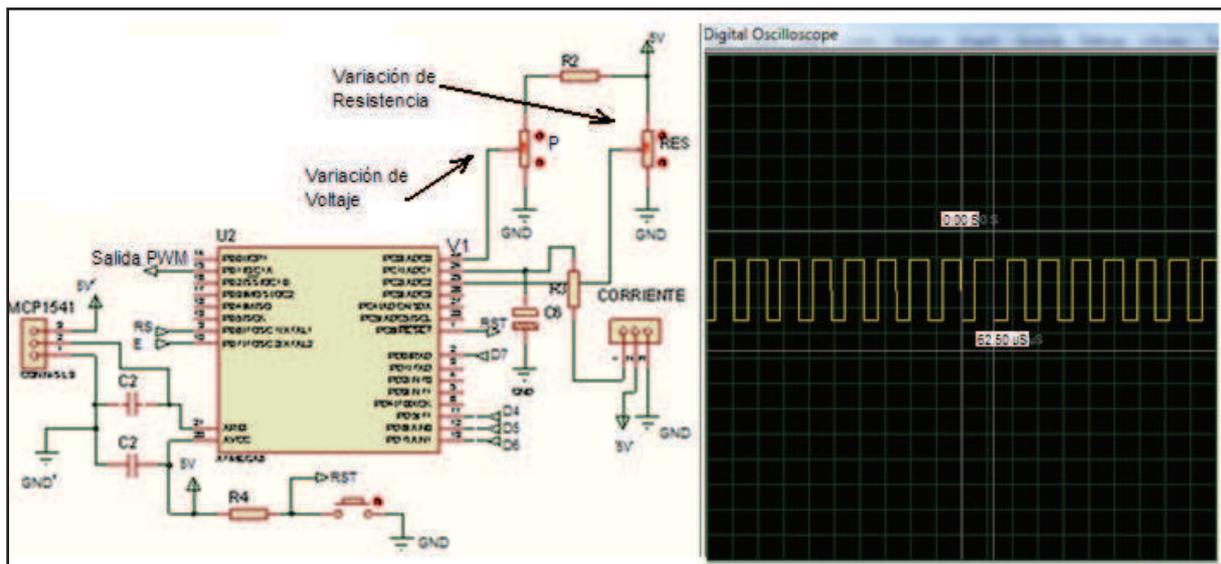
Capacidades de Corriente del Microcontrolador Atmega8. [38]

- La suma de las corrientes suministradas por los pines:
 - PC0 – PC5 no deberá exceder los 100 mA.
 - PB0 – PB5, PD5 – PD7, XTAL1 y XTAL2 no deberá exceder los 100 mA.
 - PD0 – PD4 y RESET no deberá exceder los 100 mA.

- La suma de las corrientes recibidas por los pines:
 - PC0 – PC5, PD0 – PD4 y RESET no deberá exceder los 150 mA.
 - PB0 – PB5, PD5 – PD7, XTAL1 y XTAL2 no deberá exceder los 150 mA.

En la Figura 2.6, mediante un potenciómetro se ajusta el rango análogo – digital por el pin adc (0), este a su vez mediante el software (timer1) mueve el ancho de pulso de la señal PWM con el fin de variar el rango de voltaje requerido. Se tiene otro potenciómetro para colocar la resistencia del proceso de electrólisis del agua. La resistencia R2 limita el rango análogo – digital y la resistencia R4 junto con el pulsador sirven para declarar si el reset estará en 0 o 5 V. [20]

Figura 2.6 Circuito de control.



El máximo voltaje para el adc (0) dependerá de la relación máxima de trabajo δ (ecuación 2.18). El cálculo para R2 es el siguiente:

$$V_1 = 5 \left(\frac{P}{P+R_2} \right) \quad (2.15)$$

El potenciómetro es de $2\text{ k}\Omega$ y el voltaje V_1 es el resultado de la alimentación de 5 V y la relación máxima de trabajo, es decir $V_1 = 5\delta = 2.31\text{ V}$. Reemplazando en la ecuación 2.15 y despejando R_2 , queda igual a:

$$R_2 = \frac{(5 - V_1)P}{V_1} = \frac{(5 - 2.31)2}{2.31} = 2.76\text{ k}\Omega \rightarrow R_2 = 2.7\text{ k}\Omega$$

Se escoge una corriente 100 veces menor al de las características del microcontrolador atmega8, por lo que la corriente será de 1.5 mA . El cálculo para los valores de R_4 y RES parte de la ley de Ohm:

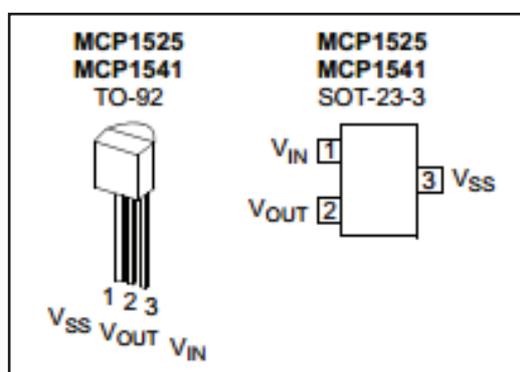
$$R_4 = \frac{5}{1.5} = 3.33\text{ k}\Omega \rightarrow R_4 = 3.6\text{ k}\Omega$$

El potenciómetro RES parte del mismo cálculo anterior.

$$RES = 3.33\text{ k}\Omega \rightarrow RES = 5\text{ k}\Omega$$

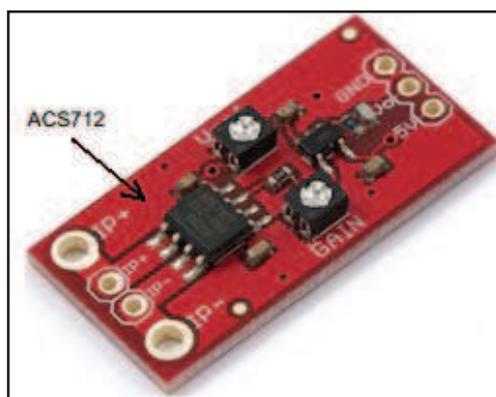
Se utilizan capacitores como filtros de $0.10\text{ }\mu\text{F}$ según las especificaciones técnicas en los pines $AREF$ y $AVCC$ del microcontrolador. [20] Utiliza un integrado el MCP1541 (Figura 2.7) que sirve como referencia de precisión de voltaje. Ofrece una referencia independiente de la fuente de alimentación con el fin de obtener valores de lectura precisos del sensor de corriente. [42]

Figura 2.7 Referencia de Voltaje. [42]



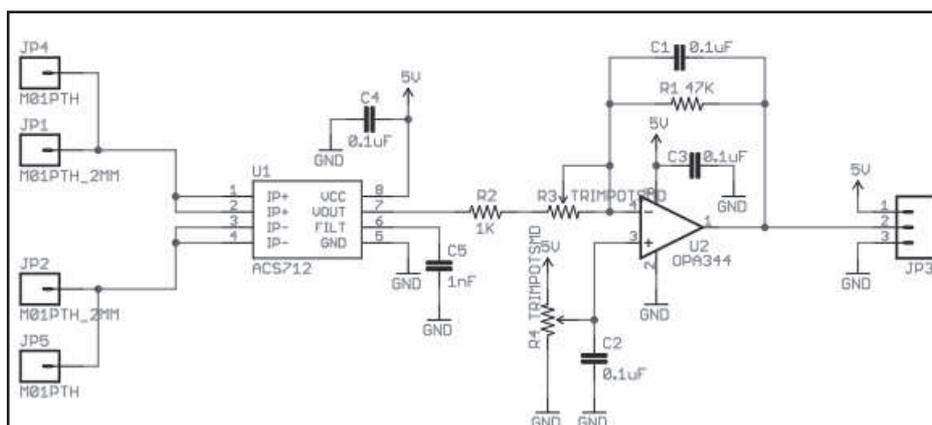
El sensor ACS712 (Figura 2.8) es un sensor de efecto Hall que sirve para medir la corriente de la fuente de alimentación de 6 V, 5 A. La corriente que fluye a través del sensor crea un campo magnético el cual fluye en dirección vertical al sensor, entonces a la salida del sensor se crea un voltaje proporcional. [44]

Figura 2.8 Sensor de Corriente ACS712. [43]



El dispositivo mide hasta 5 A de corriente alterna y continua. Dispone de un circuito de acondicionamiento (Figura 2.9) para mostrar un rango de variación más elevado y mostrar medidas bajas de corriente. Según los elementos ocupados en la placa del sensor se dispone de una ganancia entre 4.27 a 47. [43]

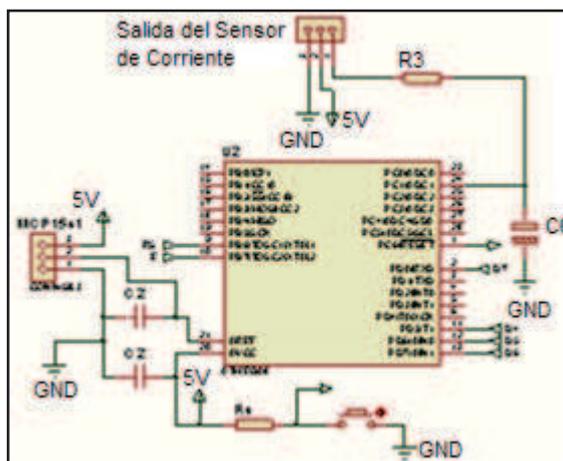
Figura 2.9 Circuito de Acondicionamiento. [43]



A la salida del sensor se coloca un comparador de voltaje. Se varía la referencia de voltaje con un potenciómetro R4. Para cambiar la ganancia deseada se dispone a variar el potenciómetro R3. Este circuito viene dentro de la placa del sensor de

corriente. [43] Entre el microcontrolador y la placa del sensor de corriente se coloca un filtro pasa bajos R_3C_6 (Figura 2.10) para eliminar ruidos y mandar una señal precisa de voltaje continuo. [7]

Figura 2.10 Filtro pasa bajos.



De la ecuación 2.16 se hace el diseño del filtro pasa bajos: [7]

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{R_3 C_6} \quad (2.16)$$

Donde ω_c es la frecuencia de corte en radianes sobre segundo y f_c es la frecuencia de corte en hertz. Se escoge frecuencias bajas inferiores a 1 Hz para obtener medidas precisas del dato de corriente. [7] Se tiene un capacitor $C_6 = 10 \mu\text{F}$, el cual reemplazando a la ecuación 2.16 se obtiene una resistencia R_3 dada.

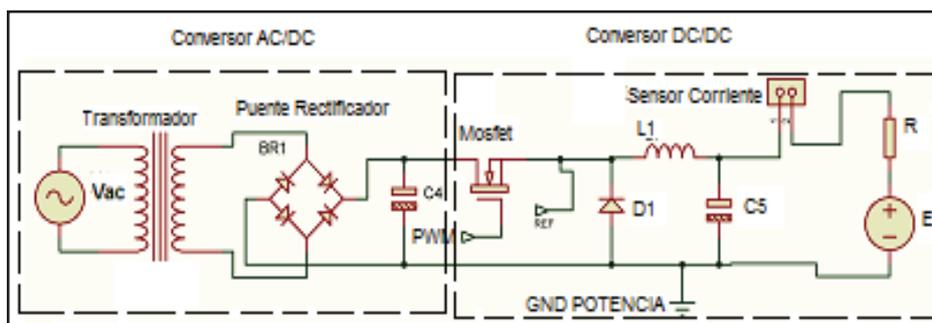
$$R_3 = \frac{1}{2\pi f_c C_6} = \frac{1}{2\pi * 1 * 10} = 15.915 \text{ k}\Omega \rightarrow R_3 = 18 \text{ k}\Omega$$

2.2.3 CIRCUITO DE POTENCIA

La parte de potencia está formada por dos etapas mostradas en la Figura 2.11: un convertidor AC/DC para pasar de voltaje alterno a continuo y un DC/DC para variar el voltaje. El diseño del convertidor AC/DC es similar al diseño de fuentes de

alimentación constantes ubicado en el apartado 2.2.1, pero con valores diferentes debido a la corriente y el voltaje. Este voltaje va desde un rango de 0 – 6 V y para un consumo de hasta 5 A. Tanto la lectura de voltaje, corriente y resistencia se visualizan mediante un display LCD.

Figura 2.11 Circuito de Potencia. [8]



Se escoge un transformador de 120 a 11 V a una corriente de 5 A. El puente rectificador deberá soportar máximo los 5 A, un rizado del 10%. Debido a que el capacitor sube un poco el voltaje a la salida del puente rectificador, en este caso a 13 V. El valor del capacitor se calcula mediante la ecuación (2.14):

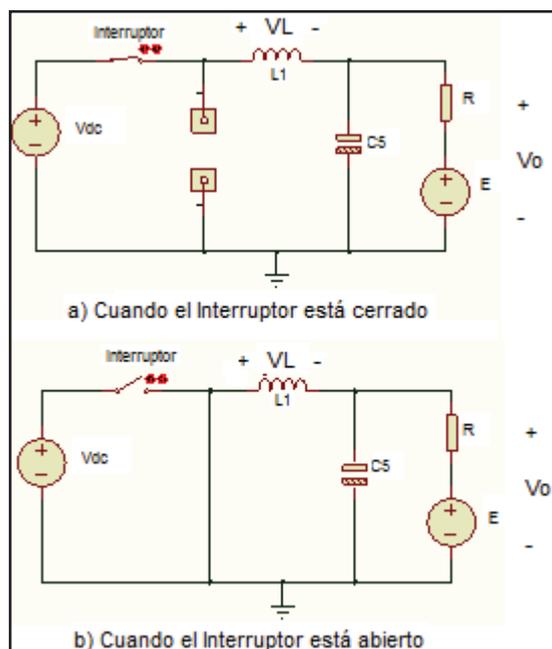
$$C_4 = \frac{5}{4 * 60 * 13} \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 0.1} + 1 \right) = 12934 \mu F$$

$$C_4 = 12934 * 1.2 = 15521 \mu F \rightarrow C_4 = 15000 \mu F \text{ a } 25 V$$

En la siguiente etapa se tiene un convertidor DC/DC reductor el cual es un circuito capaz de convertir un voltaje continuo a otro de valor más bajo. Ajustando el voltaje de control del Mosfet se puede controlar el voltaje de salida en el rango comprendido entre 0 y Voltaje de entrada del convertidor. [8]

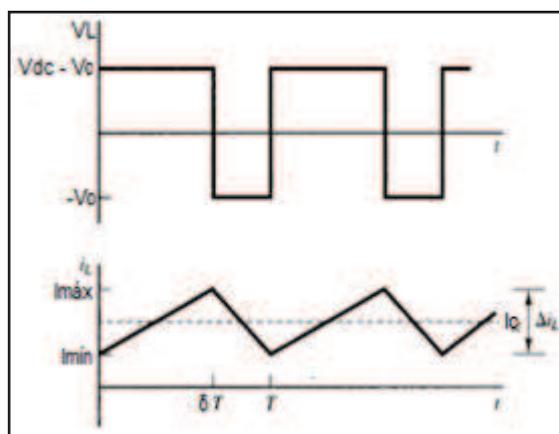
Es un convertidor conmutado, es decir, el Mosfet funciona como un interruptor electrónico, al estar completamente activado o desactivado. En la Figura 2.12 se tiene lo siguiente: cuando el interruptor está cerrado (Figura 2.12.a) el voltaje sobre la inductancia $V_L = V_{DC} - V_o$ y cuando está abierto (Figura 2.12.b) $V_L = -V_o$. [8]

Figura 2.12 Circuito equivalente del convertor DC/DC. [8]



La apertura y cierre periódicos del interruptor producen la salida de pulsos indicada en la Figura 2.13 sobre el inductor. [8]

Figura 2.13 Circuito equivalente del convertor DC/DC. [8]



El voltaje medio sobre la inductancia es cero. [8] Por lo tanto, el valor de la relación de trabajo δ se calcula de la siguiente manera:

$$V = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (2.17)$$

$$(\Delta i_L)_{cerrado} + (\Delta i_L)_{abierto} = 0 \quad (2.18)$$

$$\left(\frac{V_{DC}-V_o}{L_1}\right) \delta T + \left(\frac{-V_o}{L_1}\right) (1-\delta)T = 0 \quad (2.19)$$

$$(V_{DC} - V_o)\delta - V_o(1 - \delta) = 0 \quad (2.20)$$

$$\delta = \frac{V_o}{V_{DC}} \quad (2.21)$$

Como se espera un voltaje de salida máximo de 6 V y de entrada 13 V. La relación de trabajo es:

$$\delta = \frac{6}{13} = 0.46$$

Para mantener una corriente constante se debe colocar la inductancia mínima necesaria para permanecer en ese régimen; se calcula partiendo de la Figura 2.13, donde se visualiza la forma de onda de la corriente del inductor. La corriente media de salida es igual a la corriente media de la inductancia debido a que la corriente media del capacitor es cero. [8]

$$I_L = I_o = \frac{V_o - E}{R} \quad (2.22)$$

Donde E es el voltaje que se produce entre los electrodos sumergidos en la sustancia (agua – ácido sulfúrico). Para la salida del conversor DC/DC se coloca un filtro pasa bajos $L_1 C_5$ con el fin de obtener una señal continua pura. La corriente mínima de la bobina debe ser positiva para que el conversor opere en conducción continua. Para determinar el valor de la inductancia se realizan las siguientes operaciones. [4, 8]

$$I_{min} + \frac{\Delta I_L}{2} = I_L \quad (2.23)$$

Se hace un análisis en el límite entre conducción continua y discontinua, es decir, que la corriente mínima $I_{min} = 0$ y el voltaje E idealmente es nulo. [4,8]

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_o - E}{R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_o}{L_1} \right) (1 - \delta) T = 0 \quad (2.24)$$

$$V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1 - \delta}{2fL_1} \right] = 0 \quad (2.25)$$

$$L_{1min} = \frac{(1 - \delta)R}{2f} \quad (2.26)$$

Se escoge la carga máxima de 95 Ω (realizado en el proceso de electrólisis del agua con ácido sulfúrico al 20%) y una frecuencia constante que posee un rango desde los khz hasta los 100 khz para los convertidores DC/DC reductores, en este caso por disposición de las funciones del software (timer1=pwm) se coloca una frecuencia de 16 Khz. A medida que la frecuencia sube, el valor de inductancia es menor.

$$L_{1min} = \frac{(1 - 0.46)95}{2(16000)} = 1.54 \text{ mH}$$

La corriente L_{1min} debe ser mayor a 1.54 mH para que el convertidor opere en conducción continua. Para obtener la inductancia deseada, se aumenta un 20% más al valor mínimo de inductancia.

$$L_1 = L_{1min} * 1.2 = 1.54 * 1.2 = 1.85 \text{ mH}$$

Se construye la bobina toroidal (Figura 2.14) mediante la siguiente ecuación: [45]

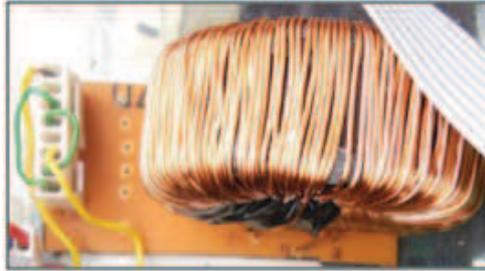
$$L_1 [\mu H] = 0.0002 \mu_r N^2 h \ln \left(\frac{d_{ext}}{d_{int}} \right) \quad (2.27)$$

Donde:

- $\mu_r = 48$, permeabilidad relativa de la ferrita (dato calculado de la ecuación 4.3).
- N = número de vueltas.

- h = altura del toroide (20 mm).
- d_{ext} = diámetro exterior (48 mm).
- d_{int} = diámetro interior (24 mm).

Figura 2.14 Inductor Toroidal



$$L_{11} = 0.0002 * 48 * 93^2 * 20 * \ln(2) = 1.151 \text{ mH}$$

$$L_{12} = 0.0002 * 48 * 70^2 * 20 * \ln(2) = 652.11 \text{ uH}$$

$$L_{13} = 0.0002 * 48 * 47^2 * 20 * \ln(2) = 293.98 \text{ mH}$$

Posee tres bobinas conectadas en serie con diferentes números de vueltas: 93, 70 y 47 sobre la misma ferrita, con el fin de obtener la misma permeabilidad relativa. Todas conectadas para subir el valor de inductancia.

$$L_1 = L_{11} + L_{12} + L_{13} \quad (2.28)$$

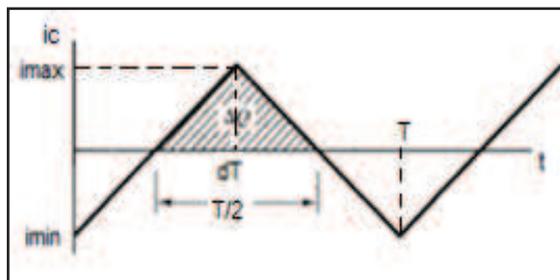
$$L_1 = 1.176 + 0.652 + 0.294 = 2.097 \text{ mH}$$

Con este valor de inductancia el convertidor opera en conducción continua. Se agrega un capacitor para disminuir el rizado existente a la salida. De la Figuras 2.12 y 2.13 se hace un análisis a la salida del convertidor en base a las corrientes del inductor, capacitor y carga de la siguiente manera: [8]

$$I_c = I_L - I_o \quad (2.29)$$

En la Figura 2.15, se visualiza la forma de onda de la corriente del capacitor, la cual es similar al de la corriente del inductor pero desplazada. [8]

Figura 2.15 Rizado de voltaje sobre el capacitor. [8]



Se tiene que el área bajo la curva representa una carga adicional ΔQ : [11]

$$\Delta Q = \Delta V_o * C_5 \quad (2.30)$$

$$\Delta Q = \frac{\text{base} * \text{altura}}{2} \quad (2.31)$$

Donde:

- Base es la mitad del periodo.
- Altura es la mitad de la variación de la corriente del inductor.

Se reemplazan e igualan las ecuaciones 2.30 y 2.31.

$$\Delta Q = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{\Delta I_L}{2}\right) \left(\frac{T}{2}\right) = \frac{T \Delta I_L}{8} = \Delta V_o * C_2 \quad (2.32)$$

De la ecuación 2.19 se tiene:

$$\Delta I_L = \left(\frac{V_o}{L}\right) (1 - \delta) T \quad (2.33)$$

Se sustituye en la ecuación 2.32, para encontrar el rizado de voltaje en función de los parámetros $L_1 C_5$.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-\delta}{8L_1C_5f^2} \quad (2.34)$$

Donde:

- $\frac{\Delta V_o}{V_o}$: Rizado sobre el capacitor de salida menor al 1%. [8]
- f : Frecuencia de conmutación.

$$C_5 = \frac{(1 - 0.46)}{8(0.1)(0.00203)(16000^2)} = 12.9 \mu F$$

$$C_5 = 12.9 * 1.2 = 15.6 \mu F \rightarrow C_5 = 22 \mu F \text{ a } 16 V$$

El diodo ayuda a la descarga del capacitor cuando el interruptor está abierto. Con los valores del capacitor e inductor, se calcula la frecuencia de resonancia f_c . [8]

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_5}} \quad (2.35)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(2.03 * 10^{-3})(22 * 10^{-6})}} = 753.11 \text{ hz}$$

De este modo se muestra que $f_c \ll f$, es decir, que la frecuencia de resonancia ($f_c = 753.11 \text{ hz}$) es 21 veces menor a la frecuencia de conmutación ($f = 16 \text{ khz}$).

2.2.4 VISUALIZACIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

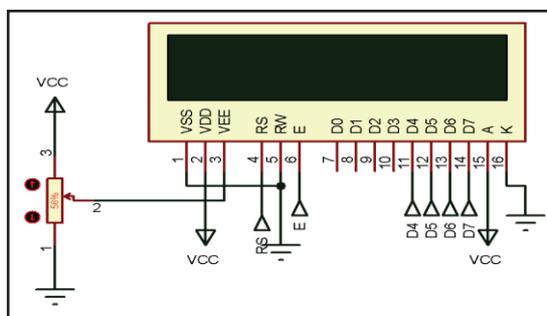
Los valores de voltaje, corriente y parte resistiva de la carga son presentados en una pantalla LCD (Display de Cristal Líquido), el mismo que es operado mediante un microcontrolador Atmega 8 visto en la Figura 2.2.

Características del LCD LM016L. [19]

- Voltaje de alimentación: 5 V.
- Tipo: azul reflectivo.
- Contenido del display: 16 caracteres por 2 filas.
- Modo de manejo: 16 pines.

Existen módulos LCD que poseen diferentes configuraciones de sus pines pero sus funciones no cambian, poseen 16 pines numerados tal como se indica en la Figura 2.16, los pines D0-D7 son bits de datos que dispone el LCD los cuales son usados para la comunicación visual entre el LCD y el usuario. Se puede escoger 4 u 8 líneas de datos, en este caso se escogen los 4 bits más significativos para una fácil y accesible conexión. Tiene un pin de selección, que indica que el dato es una instrucción o un carácter del mensaje (RS), un pin de habilitación (E) y un pin que indica si se va a leer o escribir en el LCD (RW). Los pines VSS, VDD y VEE son conectados a un potenciómetro para controlar el contraste del cristal líquido. [19,38]

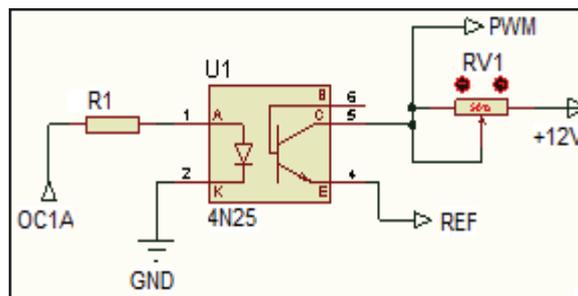
Figura 2.16 Diagrama Circuitual LCD 16X2. [19]



2.2.5 PROTECCIONES PARA LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Se dispone de elementos de protección contra sobrevoltajes, sobrecorrientes y sobrecalentamientos para los circuitos electrónicos de potencia. Se usa circuitos de aislamiento entre la parte de control y potencia, en este caso con la ayuda de un opto acoplador 4N25 (Figura 2.17) se logra la separación entre el circuito de control y potencia.

Figura 2.17 Circuito Aislamiento de Tierras. [23]



A continuación, se muestran cuatro características técnicas del optotransistor que sirven para encontrar las resistencias R_1 y RV_1 .

- CTR = 70% (Relación de transferencia de corriente).
- Corriente del Led $I_F = 10 \text{ mA}$.
- Voltaje colector – emisor $V_{CE} = 10 \text{ V}$.
- Voltaje del Led $V_F = 1.15 \text{ V}$

Los cálculos se los realiza mediante la Ley de Ohm. Para la resistencia R_1 se calcula de la siguiente manera:

$$R_1 = \frac{5 - V_F}{I_F} \quad (2.36)$$

$$R_1 = \frac{5 - 1.15}{0.01} = 385 \, \Omega \rightarrow R_1 = 390 \, \Omega$$

$$RV_1 = \frac{12V - V_{CE}}{I_C} \quad (2.37)$$

$$CTR = 0.7 = \frac{I_C}{I_F} \quad (2.38)$$

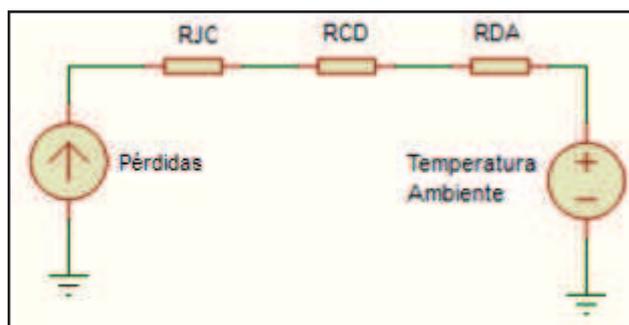
Donde:

$$I_C = 0.7 * I_F = 0.7 * 10 = 7 \text{ mA}$$

$$RV_1 = \frac{12 - 10}{0.007} = 285 \, \Omega, \text{ con el cual se coloca una resistencia de precisión.}$$

En los elementos de potencia, el calor producido debe disiparse de manera eficaz, para ello se coloca un disipador para las pérdidas producidas en el mosfet y un ventilador que va alimentado directamente a la fuente de 12 V (Figura 2.2). Para calcular la resistencia térmica del disipador R_{DA} se necesita conocer las pérdidas producidas en el elemento semiconductor. [11]

Figura 2.18 Circuito para el cálculo del disipador. [11]



Cada resistencia térmica R_{JC} , R_{CD} y R_{DA} están presentes en la Figura 2.18, el cual es una representación en base a un circuito eléctrico. La resistencia térmica tiene unidades de centígrados por watt. [47]

$$T_{J_{max}} = \text{Pérdidas} \left(R_{JC} + R_{CD} + \frac{R_{DA}}{F_h} \right) + T_A \quad (2.39)$$

Donde:

- $T_{J_{max}}$: Temperatura de junta máxima.
- T_A : Temperatura ambiente (35 °C, porque va dentro de una caja protectora).
- R_{JC} : Resistencia junta – cápsula (1.0 °C/W).
- R_{CD} : Resistencia cápsula – disipador (0.5 °C/W).
- R_{DA} : Resistencia disipador – ambiente.
- F_h : Factor de altura sobre el nivel del mar (0.8). [47]

Las pérdidas del mosfet que funcionan en el modo interruptor abierto y cerrado (Figura 2.12) puede ser dividido en dos grupos: pérdidas estáticas y dinámicas. Internamente el mosfet posee un diodo. Las pérdidas para el Mosfet y Diodo son: [46]

$$P_{EM} = R_{DSon} I_{D_{rms}}^2 \quad (2.40)$$

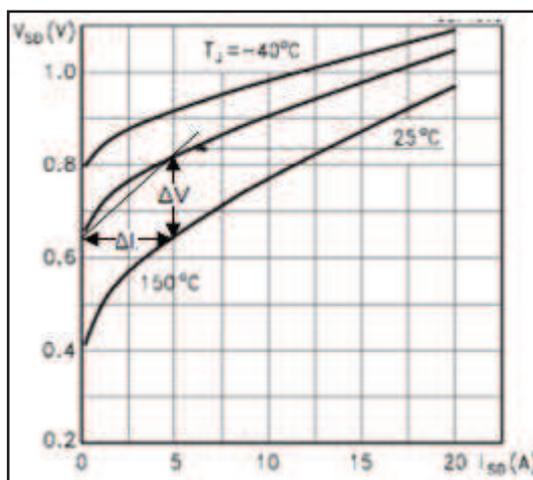
$$P_{ED} = \mu_{D0} I_{Fav} + R_D I_{F_{rms}}^2 \quad (2.41)$$

Donde:

- P_{EM} : Valor de las pérdidas estáticas del Mosfet.
- R_{DSon} : Resistencia drain – source (drenaje - fuente) del Mosfet.
- $I_{D_{rms}}$: Corriente rms del drain (drenaje).
- P_{ED} : Valor de las pérdidas estáticas del Diodo.
- μ_{D0} : Voltaje del diodo sobre la corriente.
- R_D : Resistencia del diodo.
- I_{Fav} : Corriente media del diodo.
- $I_{F_{rms}}$: Corriente del diodo rms.

Los parámetros R_{DSon} , R_D y μ_{D0} se basan en las hojas técnicas del elemento semiconductor. Los valores R_D y μ_{D0} se determinan de la Figura 2.19.

Figura 2.19 Resistencia del diodo en función de la corriente. [22]



Donde:

$$R_D = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (2.42)$$

$$R_D = \frac{0.81 - 0.65}{5 - 0} = 0.032 \Omega$$

$$\mu_{D0} = 0.65 V$$

$$Y R_{DS_{on}} = 0.75 \Omega. [22]$$

Los parámetros $I_{D_{rms}}^2$, I_{Fav} y $I_{F_{rms}}^2$ son determinados mediante las siguientes fórmulas. [46]

$$I_{D_{rms}}^2 = \delta I_o^2 \quad (2.43)$$

$$I_{Fav} = (1 - \delta)I_o \quad (2.44)$$

$$I_{F_{rms}}^2 = (1 - \delta)I_o^2 \quad (2.45)$$

El valor $\delta = 0.46$ tomado de la ecuación 2.21 y la corriente de 5 A de la fuente de alimentación. Se sustituye esos dos datos y se obtienen los siguientes resultados:

$$I_{D_{rms}}^2 = 0.46(5^2) = 11.5 A^2$$

$$I_{Fav} = (1 - 0.46)5 = 2.7 A$$

$$I_{F_{rms}}^2 = (1 - 0.46)5^2 = 13.5 A^2$$

Reemplazando los valores de corrientes y resistencias en las ecuaciones 2.40 y 2.41, se obtienen las pérdidas estáticas del mosfet irf840 y diodo.

$$P_{EM} = 0.75 * 11.5 = 8.625 W$$

$$P_{ED} = 0.65 * 2.7 + 0.032 * 13.5 = 2.187 W$$

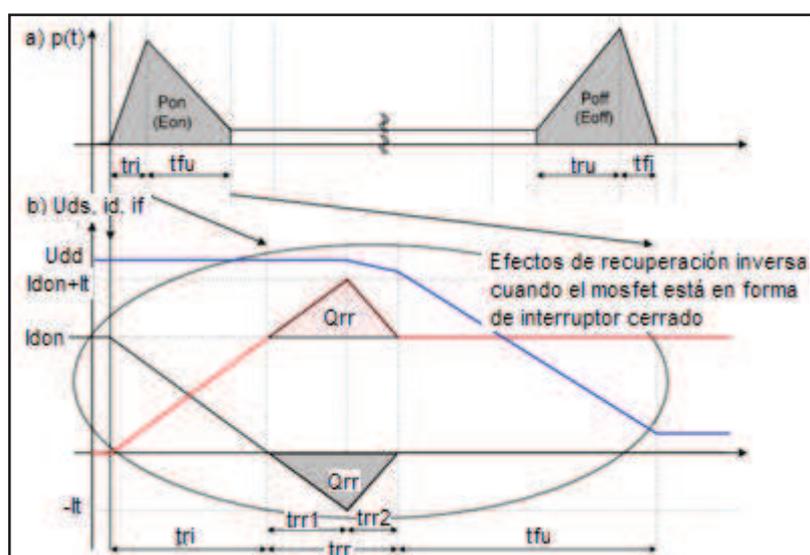
Las pérdidas estáticas totales P_E son:

$$P_E = P_{EM} + P_{ED} \quad (2.46)$$

$$P_E = 8.625 + 2.187 = 10.812 \text{ W}$$

En la Figura 2.20 se describe lo siguiente: la parte a) expresa una cantidad cualitativa de las pérdidas, mientras que la parte la b) indica los efectos de recuperación inversa sobre las pérdidas. [46]

Figura 2.20 Pérdidas dinámicas del Mosfet. [46]



Las pérdidas dinámicas del mosfet y diodo son el producto de energías y frecuencia de operación, en este presente proyecto $f = 16 \text{ khz}$. [46]

$$P_{DM} = (E_{onM} + E_{offM})f \quad (2.47)$$

$$P_{DD} = (E_{onD} + E_{offD})f \approx E_{onD}f \quad (2.48)$$

Donde:

- P_{DM} : Valor de las pérdidas dinámicas del Mosfet.
- E_{onM} : Energía del mosfet en modo interruptor cerrado.
- E_{offM} : Energía del mosfet en modo interruptor abierto.

- P_{DD} : Valor de las pérdidas dinámicas del Diodo.
- E_{onD} : Energía del diodo en modo interruptor cerrado.
- E_{offD} : Energía del diodo en modo interruptor abierto.

De la ecuación 2.48 se tiene que $E_{offD} \approx 0$. Las energías de la Figura 2.20 se calculan de la siguiente manera: [46]

$$E_{onM} = \frac{(t_{ri} + t_{fu}) I_{Don} U_{DD}}{2} + Q_{rr} U_{DD} \quad (2.49)$$

$$E_{offM} = \frac{(t_{ru} + t_{fi}) I_{Doff} U_{DD}}{2} \quad (2.50)$$

$$E_{onD} = \frac{1}{4} Q_{rr} U_{DD} \quad (2.51)$$

Donde:

- t_{ri} : Tiempo de subida de corriente (11 ns). [22]
- t_{fu} : Tiempo de bajada de voltaje.
- U_{DD} : Fuente convertidor de voltaje.
- I_{Don} : Corriente del drain en etapa de encendido (4.3 A). [22]
- I_{Doff} : Corriente del drain en etapa de apagado (8 A). [22]
- t_{ru} : Tiempo de subida de voltaje.
- t_{fi} : Tiempo de bajada de corriente (11 ns). [22]
- Q_{rr} : Carga de recuperación inversa (3.5 uC). [22]

Los tiempos t_{ru} y t_{fu} se calculan mediante las siguientes ecuaciones. [46]

$$t_{fu} = \frac{R_G (C_{GD1} + C_{GD2}) (U_{DD} - R_{DSon} I_{Don})}{2(U_{Dr} - U_{plateau})} \quad (2.52)$$

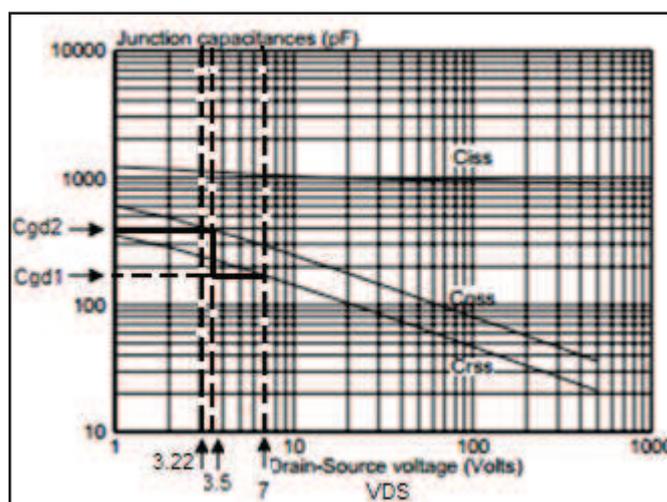
$$t_{ru} = \frac{R_G (C_{GD1} + C_{GD2}) (U_{DD} - R_{DSon} I_{Don})}{2(U_{plateau})} \quad (2.53)$$

Donde:

- R_G : Resistencia de la compuerta gate (4.7Ω). [22]
- C_{GD1}, C_{GD2} : Capacitancia gate – drain (compuerta – drenaje).
- U_{Dr} : Voltaje de salida ($6 V$, dato de la fuente de alimentación).
- $U_{plateau}$: Voltaje de estabilización.

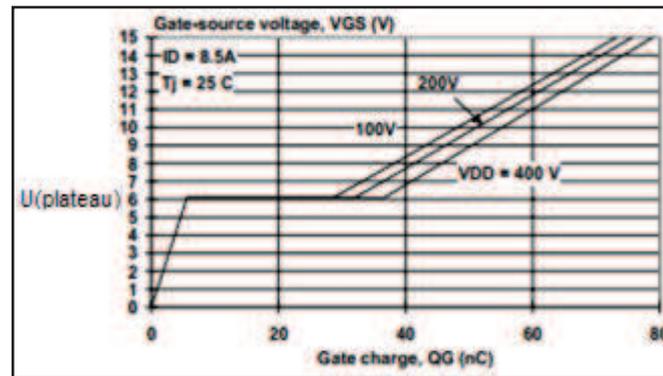
Luego de que el diodo ha sido apagado, el voltaje va desde U_{DD} a $R_{DS_{on}} I_{Don}$, estos dos parámetros son necesarios para poder calcular C_{GD1} y C_{GD2} mediante la Figura 2.21.

Figura 2.21 Capacitancias en función del Voltaje Drain-Source. [24]



El voltaje U_{DD} se toma como la diferencia de voltaje de entrada y salida del convertidor, es decir que $U_{DD} = (13 - 6)V = 7 V$. Se toma la mitad de ese voltaje para poder encontrar la capacitancia C_{GD2} . De esta manera, se determina que $C_{GD1} = 190 pF$ y $C_{GD2} = 400 pF$. El producto $R_{DS_{on}} I_{Don} = 0.75(4.3) = 3.22 V$ (datos tomados de las hojas técnicas del Mosfet). [22] Según la Figura 2.22, el voltaje $U_{plateau} = 6 V$ cuando el voltaje gate – source se mantiene constante.

Figura 2.22 Voltaje Gate-Source en función de la Carga Gate. [24]



Con los datos adquiridos se reemplazan en las ecuaciones 2.52 y 2.53 y se obtienen:

$$t_{fu} = \frac{4.7(190 + 400)(10^{-12})(7 - 3.22)}{2(6.01 - 6)} = 524 \text{ ns}$$

$$t_{ru} = \frac{4.7(190 + 400)(10^{-12})(7 - 3.22)}{2(6)} = 0.87 \text{ ns}$$

De las ecuaciones 2.49, 2.50 y 2.51 se determinan las energías:

$$E_{onM} = \frac{(11 + 524)(10^{-9})(4.3)(7)}{2} + (3.5)(10^{-6})(6) = 2.90 * 10^{-5} \text{ J}$$

$$E_{offM} = \frac{(0.87 + 11)(10^{-9})(8)(7)}{2} = 0.33 * 10^{-6} \text{ J}$$

$$E_{onD} = \frac{1}{4}(3.5)(10^{-6})(7) = 6.125 * 10^{-6} \text{ J}$$

Como se logra ver, las energías son bajas en el orden de los μJ . Se reemplazan en las ecuaciones 2.47 y 2.48 para determinar las pérdidas dinámicas en el mosfet y diodo.

$$P_{DM} = (29 + 0.33)(10^{-6})(16000) = 0.469 \text{ W}$$

$$P_{DD} = (6.125)(10^{-6})(16000) = 0.098 \text{ W}$$

Las pérdidas dinámicas totales P_D son:

$$P_D = P_{DM} + P_{DD} \quad (2.54)$$

$$P_D = 0.469 + 0.098 = 0.567 \text{ W}$$

La suma de las pérdidas estáticas y dinámicas da como resultado:

$$P = P_E + P_D \quad (2.55)$$

$$\text{Pérdidas} = 10.812 + 0.567 = 11.379 \text{ W}$$

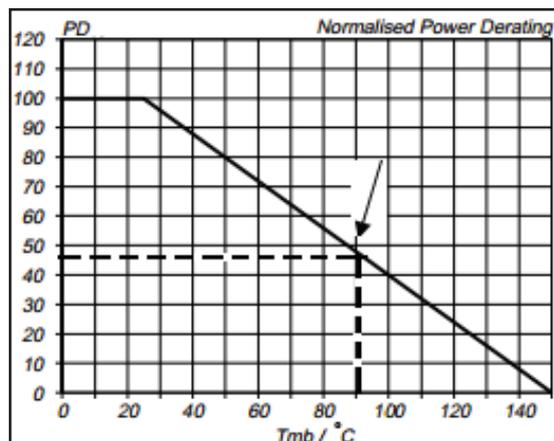
Todo elemento semiconductor posee pérdidas. Por lo que en la ecuación 2.56 se obtienen las pérdidas reales.

$$P_{in} = P_o + \text{Pérdidas} \quad (2.56)$$

$$P_o = 6 * 5 = 30 \text{ W}$$

$P_{in} = 30 + 11.379 = 41.379 \text{ W}$, con este dato se determina la temperatura de juntura máxima de operación (Figura 2.23). Se escoge una potencia mayor a 41 W y se tiene una temperatura de juntura máxima de 90 °C. Cuando posee mica ubicada entre el disipador y el elemento semiconductor, la resistencia $R_{CD} = 1.4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$. [48]

Figura 2.23 Potencia de disipación en función de la temperatura de juntura. [24]



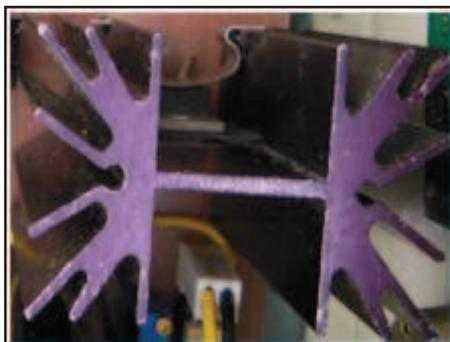
De la ecuación 2.39, se adquiere la resistencia térmica del disipador.

$$R_{DA} = F_h \left(\frac{T_{Jmax} - T_A}{P_{\text{Pérdidas}}} - R_{JC} - R_{CD} \right) \quad (2.57)$$

$$R_{DA} = 0.8 \left(\frac{90 - 35}{11.379} - 1.0 - 1.4 \right) = 1.94 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

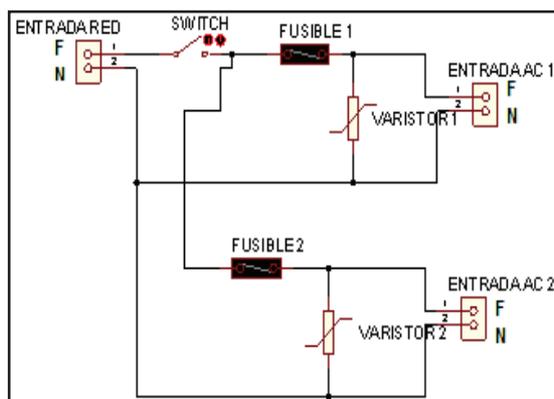
La resistencia del disipador debe ser igual o menor a este valor y es de convección forzada debido a que va dentro de una caja protectora juntamente con un ventilador. Se coloca un disipador mostrado en la Figura 2.24, que posee la resistencia térmica señalada.

Figura 2.24 Disipador para el Mosfet irf840. [49]



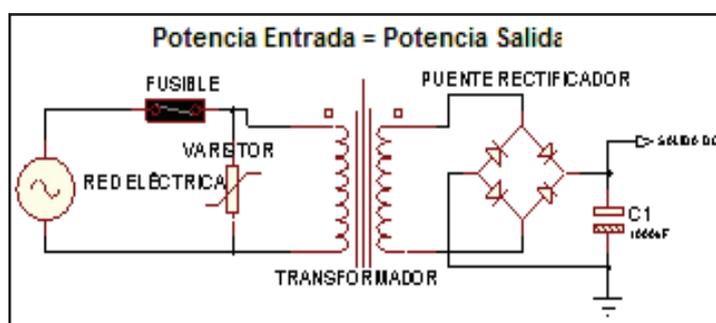
Todas las fuentes de alimentación constantes existentes en el presente proyecto, utilizan disipadores en los reguladores. En todo circuito debe estar protegido contra fallas o cortocircuitos. Normalmente se utilizan *fusibles* a fin de proteger a los dispositivos electrónicos tal como se muestra en la Figura 2.25.

Figura 2.25 Protecciones de Sobrevoltaje y Sobrecorriente. [14]



Se dispone de un interruptor para tener el encendido y apagado de la fuente de alimentación. Para el cálculo de los fusibles se toma en cuenta las características del transformador a utilizar. Las fuentes de alimentación constantes utilizan un transformador 120 V a 18 y 9 V con un amperaje de 1.5 A. Dada la conexión de la Figura 2.26, se desprecia las pérdidas en el transformador, la potencia del primario es igual a la potencia del secundario visto en la Figura 2.26.

Figura 2.26 Conversor AC/DC ideal. [7]



El cálculo del fusible es el siguiente:

$$V_p I_p = V_s I_s \quad (2.58)$$

V_p : Voltaje del primario.

I_p : Corriente del primario.

V_s : Voltaje del secundario.

I_s : Corriente del secundario.

La corriente depende de la carga a utilizarse. Para el caso de las fuentes constantes de 5 y 12 V en la Tabla 2.1 se tiene:

Tabla 2.1 Consumo de Corriente.

Voltaje	5 V	12 V
Elementos	Corriente máxima mA	
Microcontrolador Atmega 8	600	
Sensor de Corriente	13	
Optoacoplador		7
Pantalla LCD 16x2	3	
Ventilador		120
Total	616	127

Para la fuente de 12 V se tiene:

$$I_{p1} = \frac{V_s I_s}{V_p} = \frac{12 * 0.127}{120} = 0.0127 A$$

Para la fuente de 5 V se tiene:

$$I_{p2} = \frac{V_s I_s}{V_p} = \frac{5 * 0.616}{120} = 0.0257 A$$

De la Figura 2.3, se suman las corrientes I_{p1} y I_{p2} , para obtener la corriente total del primario de las fuentes de voltaje constantes.

$$I_p = 0.0127 + 0.0257 = 0.0384 A$$

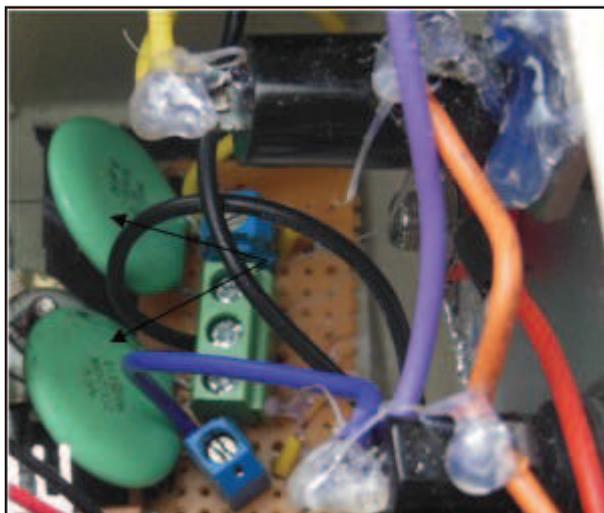
Se dimensiona la corriente primaria un 20% más por efecto de pérdidas, y se tiene una corriente de 78 mA por lo que se opta por un fusible de 100 mA. La fuente regulada de 6 V se utiliza un transformador de 120 V a 11 V a 5 A. El cálculo es:

$$I_p = \frac{11 * 5}{120} = 0.458 A$$

Se requiere un fusible de 0.5 A. Para sobrevoltajes que pueden ser producidos por relámpagos o ruido eléctrico en líneas de potencia, se utilizan *varistores* con el propósito de limitar altos voltajes pasados del voltaje real. Este elemento ofrece una protección fiable y económica; cuando aparece un transitorio, el varistor cambia su resistencia de un valor alto a uno muy bajo. [14]

Por lo general, se coloca el fusible antes del varistor debido a que si se produce un sobrevoltaje, puede ocurrir dos cosas: la primera cuando existe sobrevoltaje y se mantiene, se diseña el varistor (Figura 2.27) para que no supere el 10% adicional al voltaje rms de la red eléctrica, es decir, no mayor a 132 V. [25]

Figura 2.27 Varistor 20D201k. [25]



El otro caso es cuando hay picos de voltaje muy elevados y de corta duración, provoca la destrucción de los equipos electrónicos. El varistor entra en cortocircuito y quema el fusible con el fin de proteger los circuitos conectados a la red eléctrica. El

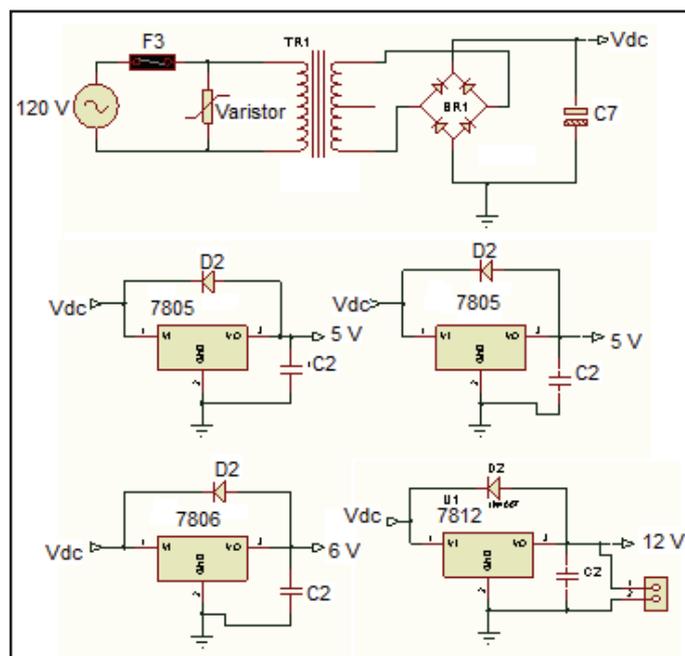
transitorio es absorbido por el varistor, protegiendo a los componentes sensibles de los circuitos eléctricos y electrónicos. [14]

2.3 MEDICIONES DEL PROCESO

Este bloque consiste en tener lecturas del proceso de generación de hidrógeno y oxígeno con el fin de entender su comportamiento. Adicionalmente se utiliza fuentes de alimentación para los diferentes circuitos, en este caso, el microcontrolador atmega16, sensores, circuito para el control de la válvula.

Los cálculos de diseño son idénticos con respecto al diseño de fuentes de alimentación, lo único que cambia es el valor del capacitor C_7 y del transformador. Cuenta con un ventilador conectado directamente a los 12 V. Se implementa un diodo en cada regulador para impedir el retorno de corriente. Los reguladores poseen disipadores comerciales para el encapsulado TO220. El varistor es el mismo que el de la Figura 2.27. Para la fuentes de 5, 6 y 12 Voltios utilizan la misma referencia de tierra (Figura 2.28).

Figura 2.28 Fuentes de Alimentación para las medidas del proceso.



En la Tabla 2.2 se indica la corriente máxima consumida por las cuatro fuentes de alimentación constantes.

Tabla 2.2 Consumo de Corriente para las 4 Fuentes de Voltaje.

Voltaje	5 V	12 V	5 V	6 V
Elementos	Corriente máxima mA			
Microcontrolador Atmega 16	500			
Sensores de Presión	14			
Sensores de Temperatura	0.12			
Pantalla LCD 20x4	2			
Ventilador		120		
Sensor de Nivel			30	
Sensor de Hidrógeno			150	
Puente H +motor (Parte Potencia)				624
Puente H (Parte Control)			0.1	
Amplificadores Operacionales		100		
Total	516.12	240	180.1	624

Se tiene una corriente consumida de: $I_s = 516.12 + 240 + 180.1 + 624 = 1.56 \text{ A}$

Se dimensiona la corriente secundaria un 20%, y se tiene una corriente de 1.87 A. Con este dato, se implementa un transformador de 120 V a 12 V con una corriente de 3 A. De la ecuación 2.58, el cálculo del fusible F_3 es el siguiente:

$$I_p = \frac{12 * 1.87}{120} = 0.187 \text{ A}$$

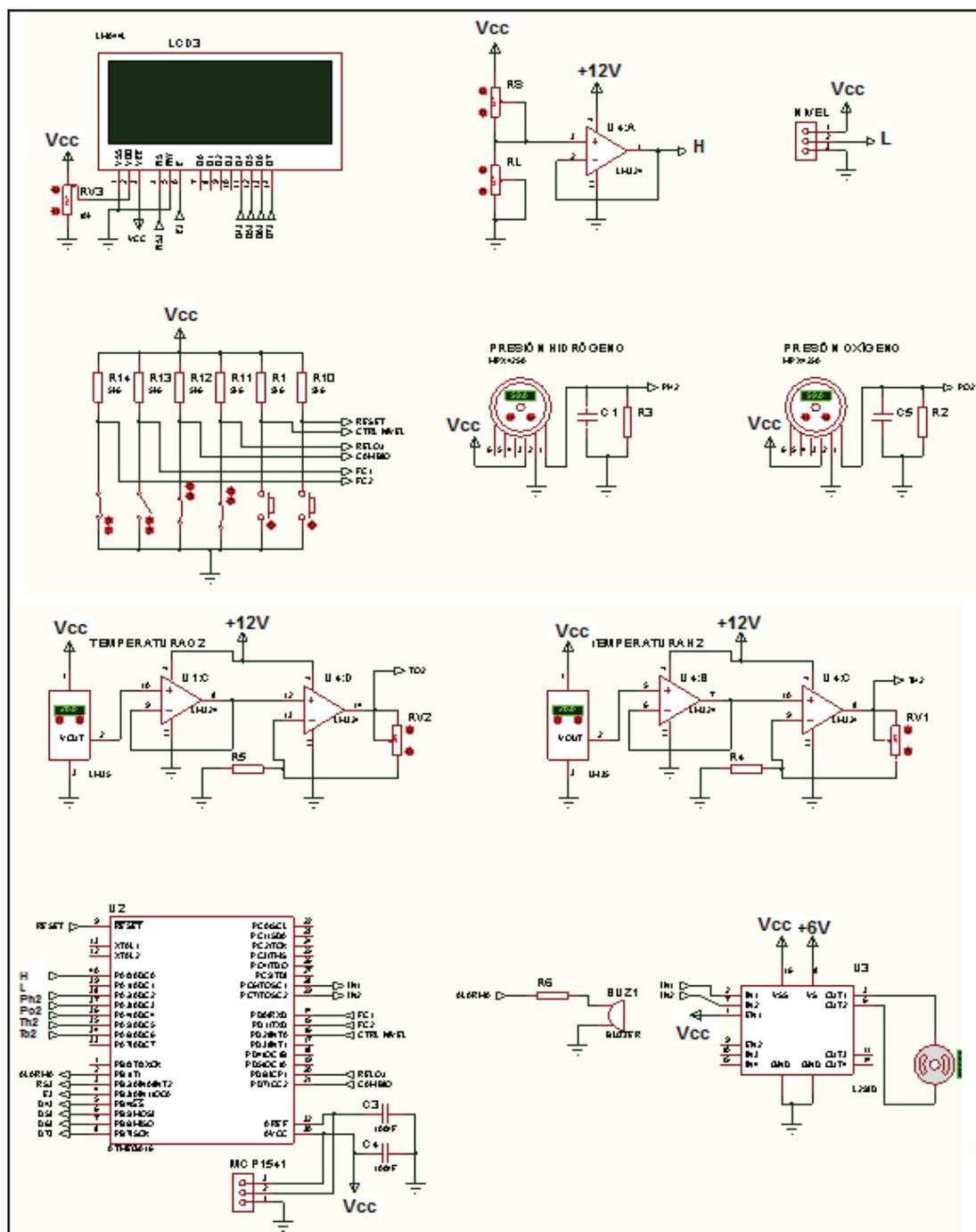
Se opta por un fusible de 0.315 A. De la ecuación 2.14, se calcula C_7 con un 10% de rizado.

$$C_7 = \frac{1.87}{4 * 60 * 12} \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 0.1} + 1 \right) = 5241 \text{ uF}$$

$$C_7 = 5241 * 1.2 = 6288 \mu F \rightarrow C_7 = 6800 \mu F \text{ a } 25 V$$

Posee varios circuitos vistos en la Figura 2.29, para determinar valores de presión, temperatura, nivel, cantidad de hidrógeno generado y control de la válvula ubicado entre el tanque de agua y el Aparato Hoffman.

Figura 2.29 Circuito General del Proceso

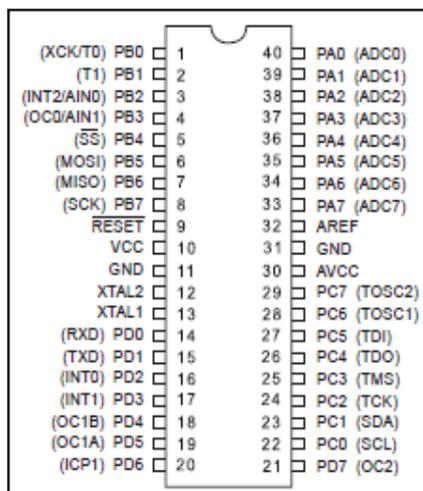


2.3.1 MICROCONTROLADOR

Se dispone de un circuito de control hecho con un microcontrolador Atmega16 (Figura 2.30) por el cual nos facilita la disposición de entradas y salidas de todos los elementos ocupados del presente prototipo. Sus funciones son: recibir todas las señales de los sensores, controlar los 2 motores y visualizar una pantalla LCD todos los datos adquiridos. Se utiliza un integrado para el voltaje de referencia del microcontrolador (diseño visto en la Figura 2.7). Las características del Microcontrolador Atmega16 son: [22,38]

- 4 puertos E/S (con 32 pines en total).
- Posee 8 canales ADC de 10 bits.
- Voltaje de Operación para el Atmega 16 de 4.5 – 5.5 V.
- Tiene 4 canales PWM.
- 512 Bytes EEPROM y 1 Kbyte de memoria SRAM.

Figura 2.30 Microcontrolador Atmega16. [32]



Capacidades de Corriente del microcontrolador Atmega16. [38]

❖ La suma de las corrientes suministradas por los pines:

- PC0 – PC7 no debería exceder los 100 mA.

- PB0 – PB7, PD5 – PD7, XTAL1 y XTAL2 no debería exceder los 100 mA.
- PD0 – PD4 y RESET no debería exceder los 100 mA.

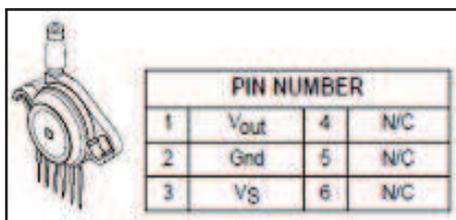
❖ La suma de las corrientes recibidas por los pines:

- PC0 – PC7, PD0 – PD4 y RESET no debería exceder los 100 mA.
- PB0 – PB7, PD5 – PD7, XTAL1 y XTAL2 no debería exceder los 100 mA.

2.3.2 SENSORES DE PRESIÓN

Se utiliza este tipo de sensor (Figura 2.31) para indicar los rangos de presión del proceso. Está diseñado para una gran variedad de aplicaciones, pero especialmente para aquellos en los que se emplea microcontroladores con entradas A/D.

Figura 2.31 Sensor de Presión MPX4250A. [27]

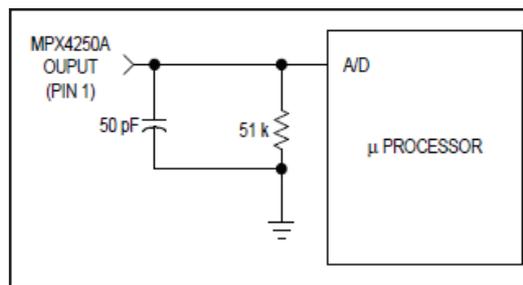


Características del sensor MPX4250A. [27]

- Rango: 0 a 36.3 psi.
- Voltaje de salida: 0.2 a 4.9 V.
- Error máximo: 1.5% sobre el rango de 0 a 85 °C.
- Medida absoluta.
- Corriente típica: 7 mA.
- Compensado en temperatura en el rango: -40 a +125 °C.

Según las hojas técnicas del sensor para la conexión al microcontrolador se lo puede apreciar en la Figura 2.32.

Figura 2.32 Conexión del Sensor de Presión al Microcontrolador. [27]



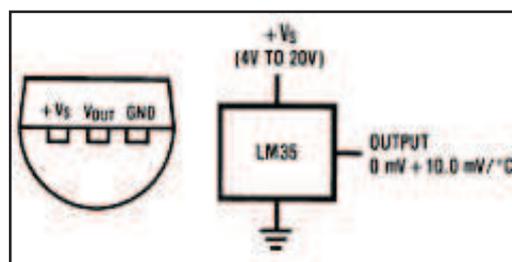
2.3.3 SENSORES DE TEMPERATURA

La característica principal del sensor de temperatura LM35 es brindar voltaje de salida lineal y proporcional con la temperatura en grados centígrados. Posee tres terminales tal como se visualiza en la Figura 2.33.

Características del LM35. [28]

- 0.5 °C de precisión a +25 °C.
- Rango de trabajo: -55 a +150 °C.
- Funciona con alimentación entre 4 a 20 V.
- Menos de 60 uA de consumo.
- Baja costo e impedancia de salida.
- Factor de escala lineal de +10 mV/°C.

Figura 2.33 Sensor LM35. [28]

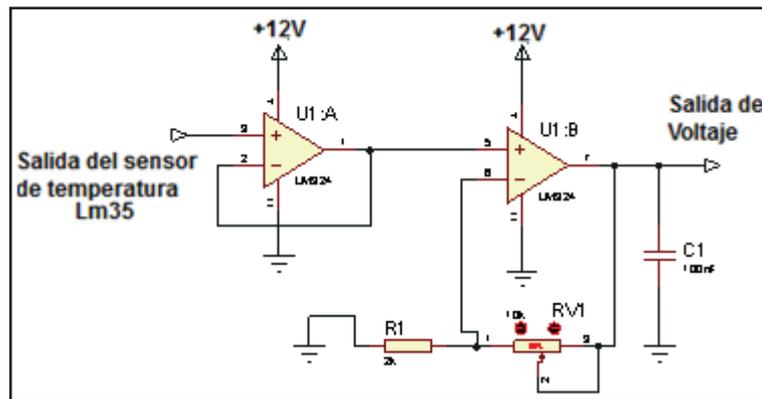


Al trabajar con voltajes pequeños debido a su factor de salida, cualquier ruido o interferencia puede dar una medida errónea en la lectura, por lo que se amplifica el

voltaje del sensor. Se diseña un circuito (Figura 2.34) para amplificar el voltaje con las siguientes condiciones de operación:

- Salida de voltaje: 0 – 5 V.
- Señal de entrada: 0 – 40 °C.
- Alimentación de 12 V para el amplificador Lm324.

Figura 2.34 Circuito de acondicionamiento para el sensor Lm35.



Para 0 °C:

$$V_{in} = 10 * 0 = 0 \text{ mV}$$

Para 40 °C:

$$V_{in} = 10 * 40 = 0.4 \text{ V}$$

La ganancia del amplificador es:

$$G = 1 + \frac{R_{v4}}{R_2} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\text{Salida de Voltaje}}{\text{Salida del sensor Lm35}} \quad (2.25)$$

$$G = \frac{5 - 0}{0.4 - 0} = 12.5$$

$$R_{v1} = 11.5R_1$$

Asumo $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

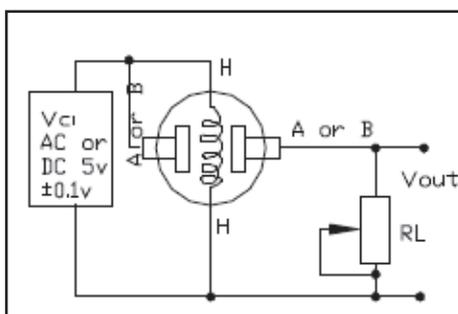
El potenciómetro de precisión $R_{v1} = 11.5 \text{ k}\Omega$

Se utiliza un seguidor de voltaje para aislar las impedancias del sensor con la carga que demande el circuito y un capacitor de 100 nF para atenuar la señal de salida del amplificador.

2.3.4 SENSOR DE HIDRÓGENO

El sensor MQ-2 sirve para medir gas hidrógeno, propicio para detectar las concentraciones en el aire. La salida del sensor es una resistencia calefactora (cambia en base a las partes por millón producidas). El circuito es muy simple (Figura 2.35), se alimenta al sensor con 5 V, luego añadir una resistencia de carga, un seguidor de voltaje y conectar la salida al convertor A/D del microcontrolador.

Figura 2.35 Conexión circuital del Sensor MQ-2. [29]



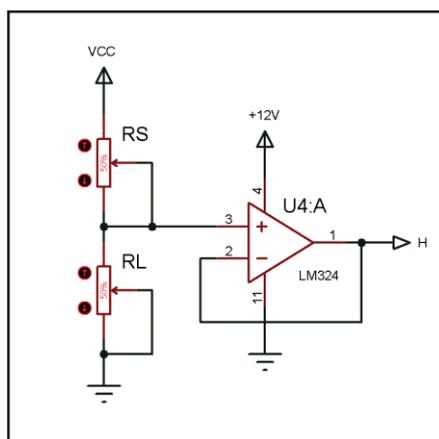
Características del sensor MQ-2. [29]

- Alimentación: 5 V_{DC} ó V_{AC} .
- Temperatura de funcionamiento: -10 a $50 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Consumo de potencia: menos de 750 mW .
- Resistencia de sensado: $3 - 30 \text{ k}\Omega$.
- Concentración: $300 - 5000 \text{ ppm}$ (particiones por millón).

- Resistencia de carga (R_L): 5 – 47 k Ω .

De la Figura 2.36, el sensor actúa como resistencia, por lo que su salida actúa como divisor de voltaje.

Figura 2.36 Circuito para el Sensor de Hidrógeno. [29]



El sensor está ubicado dentro de un botellón de 2 litros (Figura 2.37) para poder medir la cantidad de miligramos de hidrógeno que se producen en la realización de la electrólisis del agua.

Figura 2.37 Medición del Gas Hidrógeno.



2.3.5 SENSOR DE NIVEL

Se utiliza un sensor GP2Y0A21YKOF (Figura 2.38) para medir la cantidad de agua, la cual va a ser utilizada para el proceso de electrólisis del agua. Es un sensor infrarrojo de proximidad y mide la distancia a la que se encuentra un objeto en un intervalo de 8 a 80 centímetros. Sirve para aplicaciones que requieran bastante exactitud y cuenta una salida de voltaje accesible para el Microcontrolador. [31]

Figura 2.38 Sensor de Distancia. [31]

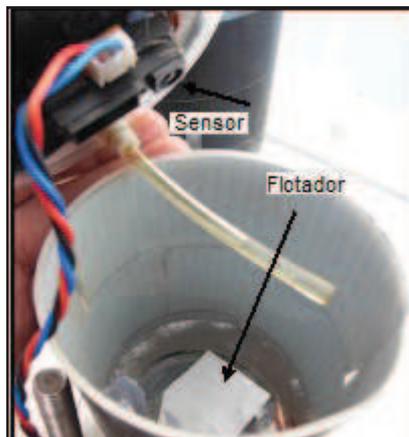


Características del Sensor de Distancia. [31]

- Voltaje de alimentación: 4.5 – 5.5 V_{DC}.
- Temperatura de operación: -10 a 60 °C.
- Corriente consumida: 30 mA.
- Voltaje de salida: 2.6 a 0.2 V.

El objetivo de este sensor es medir la cantidad de sustancia almacenada, el sensor mide la distancia del indicador de nivel (Figura 2.39) con respecto a la base del envase, esta distancia está proporcionalmente relacionada con el volumen del envase almacenador.

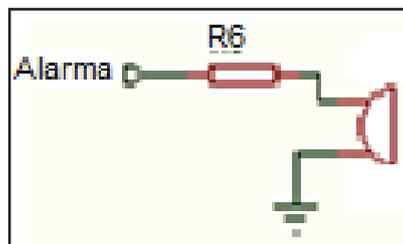
Figura 2.39 Indicador de Nivel.



Se dispone de una alarma (Figura 2.40) para indicar si el envase estará lleno o vacío. La corriente de salida del puerto B para la alarma es 5 veces menos del total, es decir $I_o = 20 \text{ mA}$. La resistencia R_6 se obtiene con la ley de Ohm:

$$R_6 = \frac{5V}{0.02A} = 250 \Omega \rightarrow R_6 = 280 \Omega$$

Figura 2.40 Alarma para control de nivel.



2.3.6 VÁLVULAS

En el proceso dispone de dos válvulas:

- ❖ Una válvula sirve como intermediaria entre el envase almacenador de solución (agua + electrolito) y el aparato Hoffman; además posee un control que es conformado por una válvula motorizada (Figura 2.41) para controlar el cierre-apertura de la válvula.

Figura 2.41 Válvula Motorizada



- ❖ La segunda válvula es la que contiene el tanque de oxígeno.

Se hizo unas modificaciones al servomotor para convertirlo en motor DC con sistema de engranajes (Figura 2.42) con el fin de mover la válvula. La transmisión del conjunto de engranajes cumple con las siguientes funciones: [16]

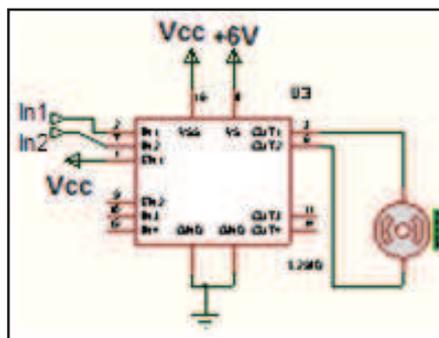
- ❖ Transmisión del par de torsión de un eje a otro.
- ❖ Modificación del número de revoluciones debido a la relación de transmisión. Por lo cual también se produce relación de torques.

Figura 2.42 Motor DC con Sistema de Engranajes. [30]



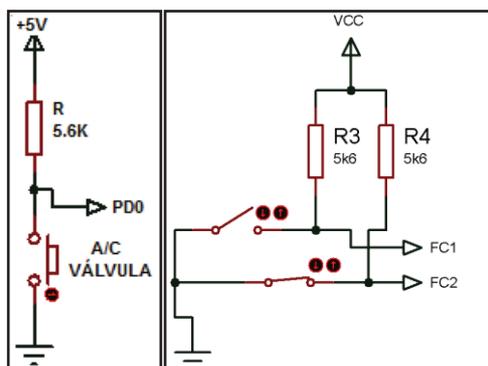
El control del motor se lo realiza mediante un puente H, en este caso los integrados L293D. Las entradas de activación del integrado son activadas mediante el microcontrolador tal como se indica en la Figura 2.43.

Figura 2.43 Puente H.



Se dispone de un pulsador (Figura 2.44) para la apertura y cierre de la válvula y de finales de carrera para asegurar la apertura o cierre hermético de la válvula. Son ubicados al final del recorrido del elemento móvil (rueda dentada), con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de la válvula.

Figura 2.44 Control de Mando de las Válvula.



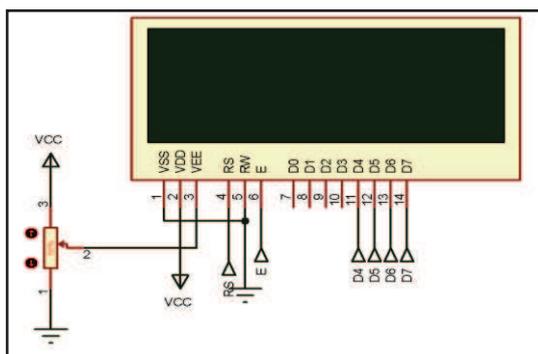
$$R = R_3 = R_4 = \frac{5V}{0.1A} = 5 k\Omega \rightarrow R = 5.6 k\Omega$$

Se escoge una corriente de entrada de unas 100 veces menor al de las características del microcontrolador Atmega 16 (100 mA).

2.3.7 LECTURAS DEL PROTOTIPO

Se dispone de un display LCD de 20x4 (Figura 2.45) para mostrar todas las variables del proceso y ver todos los estados de control. Las características son similares a los del LCD de 16x2 excepto por el número de caracteres y las filas.

Figura 2.45 Configuración LCD de 20x4. [38]



2.4 PROCESO ELECTROLÍTICO

Para realizar la electrólisis del agua se dispone de un envase almacenador y del electrolizador donde se produce la electrólisis del agua.

2.4.1 ENVASE ALMACENADOR

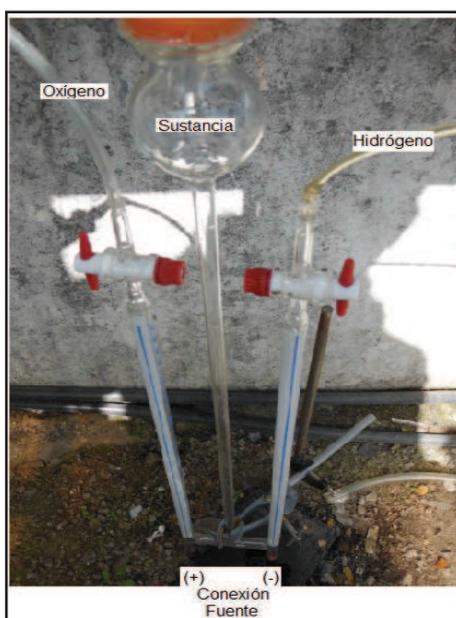
Se diseña un envase (Figura 2.46) que cumple con las siguientes funciones:

- Posee un embudo para el ingreso de sustancia.
- Almacena 180 mililitros de sustancia para el proceso de electrólisis del agua.
- Las dimensiones del envase almacenador de agua son de 3,4 cm de radio por 15 cm de altura.
- El material del envase es de plástico.
- Tiene una salida de agua para que tenga conexión del tanque al aparato Hoffman.

Figura 2.46 Envase Almacenador

2.4.2 APARATO HOFFMAN

Está construido de forma de H cilíndrica (Figura 2.47) con capacidad para 75 mililitros, tiene dos divisiones las cuales dentro de cada división se encuentra un electrodo. Posee un ducto de entrada de la sustancia y ductos de salida de los gases.

Figura 2.47 Aparato Hoffman.

El diseño del aparato Hoffman debe cumplir con las siguientes funciones:

- Cada electrodo posee forma similar y simétrica al electrolizador.
- El tamaño de cada electrodo es de 25 cm de largo debido a que al realizar el proceso de electrólisis del agua posee una resistencia de menor que con electrodos de 13 cm de largo (Anexo 8).

2.5 GENERACIÓN DE GASES

2.5.1 TRANSPORTE DEL GAS HIDRÓGENO Y OXÍGENO

La última etapa del proceso son los gases generados mediante la electrólisis del agua. El envío del gas se lo realiza mediante mangueras y uniones de conexión que van desde el electrolizador hacia las respectivas salidas de cada gas.

2.5.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA EL OXÍGENO. [39]

El oxígeno se almacena en un tanque (Figura 2.48). El cilindro es fabricado de acero cromo molibdeno. Después de la construcción, el cilindro es tratado con calor para retener la fuerza de tensión del metal. El tanque debe ser diseñado bajo las siguientes condiciones:

- ❖ Su construcción va establecida mediante el departamento de transporte (D.O.T). Este especifica los materiales y métodos los cuales el cilindro de gas puede ser construido.
- ❖ El regulador de presión tiene un conector de salida unidireccional. Posee una perilla negra para calibrar la cantidad de gas saliente del tanque.

Figura 2.48 Componentes del Cilindro de Oxígeno: [39]



- ❖ En el exterior del tanque debe ser de color verde para baja presión y para alta presión un color verde con gris basado en la asociación de Gas Comprimido (CGA) visto en la Figura 2.48.
- ❖ Para el ingreso del gas al tanque se usa una válvula check (Yoke) para prevenir el retroceso del producto (Figura 2.48).
- ❖ Con presión bajo los 50 psi el sistema debe ser llenado antes de dos horas para evitar condensación.

En el cilindro viene dado con una marca (DOT-3AL-2216) vista en la Figura 2.48, el cual describe lo siguiente: la primera marca es DOT-3AL e indica las especificaciones y la calidad del acero. Y la siguiente marca 2216 es la presión de servicio. Si el cilindro excede del 55 °C aumenta la presión interna del cilindro. [39]

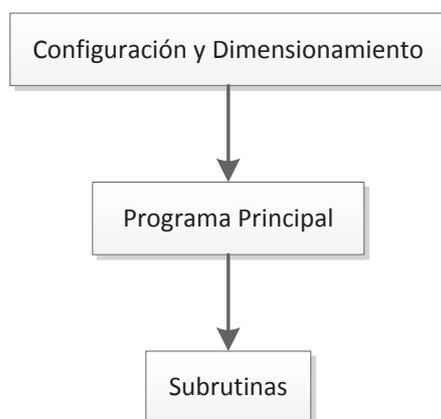
CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

Se desarrolla el software en el programa “BASCOM-AVR” Versión 1.11.9.5. Se tiene dos sistemas independientes: uno lo conforma la fuente de alimentación de 6 V 5 A y otro son las lecturas del proceso de generación, por lo que se dispone de dos microcontroladores detallados en el Capítulo 2. Para el desarrollo del programa de control se necesita llevar un orden y vinculación de las instrucciones que se realizan. Consta de las siguientes partes: [38]

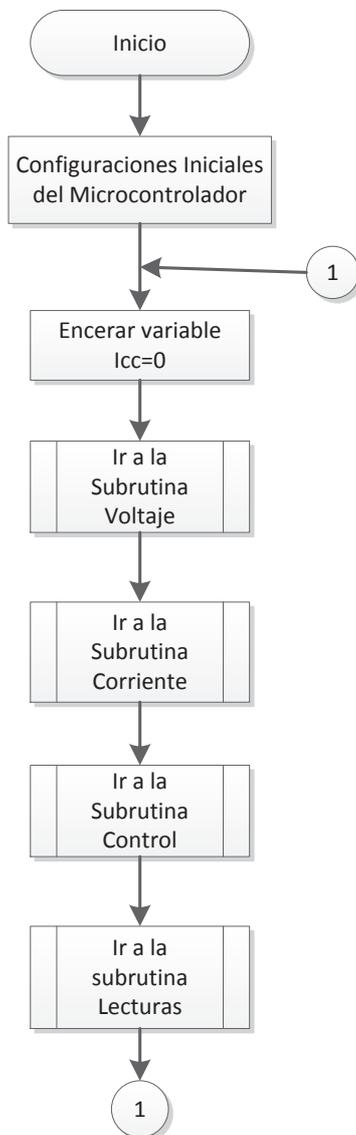
- ❖ Configuraciones y dimensionamiento: muestra el microcontrolador a ser utilizado, frecuencia de oscilación, dimensionamiento de variables y constantes.
- ❖ Programa Principal: instrucciones principales en ciclo repetitivo con la función Do-Loop.
- ❖ Subrutinas: actúa de acuerdo a las subrutinas que estén siendo llamadas por el programa principal.

Figura 3.1 Estructura de un Programa de Control en Bascom



3.1 CONTROL DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA LOS ELECTRODOS

Figura 3.2 Diagrama de flujo del Lazo Principal para la Fuente de Alimentación.



Se describe el diagrama de flujo de la Figura 3.2 de la siguiente manera:

Configuraciones iniciales del Microcontrolador

- Configuración del microcontrolador Atmega8, eeprom y oscilador a utilizar.
- Configuración de puertos de entrada y salida.

- Configuración del conversor análogo digital, prescalador auto y referencia AVCC.
- Configuración del LCD de 16x2.
- Configuración del timer1 como PWM de 8 bits, compare A Pwm en clear up y prescalador de 1.
- Dimensionamiento de variables, creación de constantes.
- Salida PWM (canal OC1A= 1).
- Borrar pantalla LCD y apagado del cursor.

Ir a la Subrutina Voltaje y Corriente

Del lazo principal se dirige a la subrutina Voltaje y Corriente para realizar las operaciones correspondientes y que sus valores se indiquen en una pantalla LCD.

Ir a la Subrutina Control

En este bloque mediante operaciones se comparan la señal deseada y medida de corriente para obtener un control.

Lecturas de Voltaje, Corriente y Resistencia

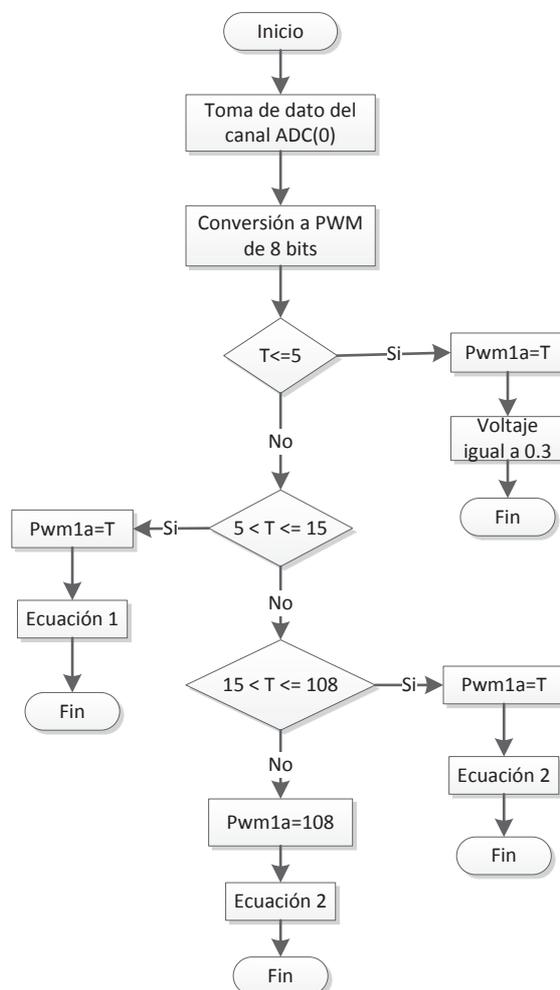
Las lecturas de voltaje y corriente se indican en la pantalla LCD:

- Locate 1, 1: Lcd " V ", unidad de voltaje.
- Locate 1, 6: Lcd " mA " ó Locate 1, 6: Lcd " A ", unidad de corriente.
- Locate 1, 11: Lcd " Ohm", unidad de resistencia.
- Locate 2, 1: Lcd Vol, valor de voltaje.
- Locate 2, 6: Lcd Iv, valor de corriente.
- Locate 2, 12: Lcd Res, valor de la resistencia.

Dependiendo de las condiciones del valor de corriente se mostrará en la pantalla LCD miliamperios o amperios.

3.1.1 SUBROUTINA VOLTAJE

Figura 3.3 Diagrama de flujo de la Subrutina Voltaje

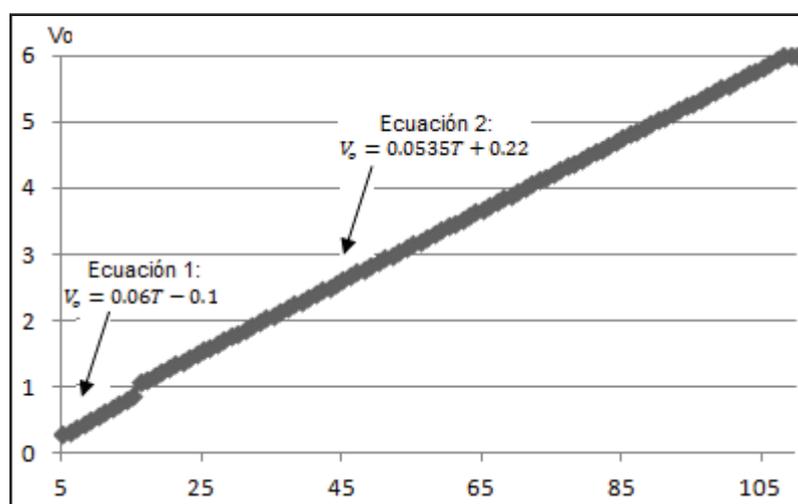


Mediante un potenciómetro P (Figura 2.6) la señal se toma del canal ADC (0); con un factor de conversión a 255 se ingresa el dato ADC (0) en función de la señal PWM, con el fin de cambiar el voltaje y ese mismo dependerá de las condiciones mostradas en la Figura 3.3.

- ❖ Si $T < 5$, se tendrá un voltaje a 0.3 V. Es una condición inicial la cuál asegurará que el voltaje será mayor al voltaje que se produce en los electrodos con la sustancia.

- ❖ Si $5 < T \leq 15$, el PWM estará en ese rango y se muestra el voltaje de la ecuación 1 (Figura 3.4).
- ❖ Si $15 < T \leq 108$, el PWM tomará ese valor y mostrará el voltaje de acuerdo a la ecuación 2 (Figura 3.4).
- ❖ Si $T > 108$, el PWM es 108 y se muestra el voltaje de la ecuación 2 (Figura 3.4).

Figura 3.4 Medida de Voltaje.



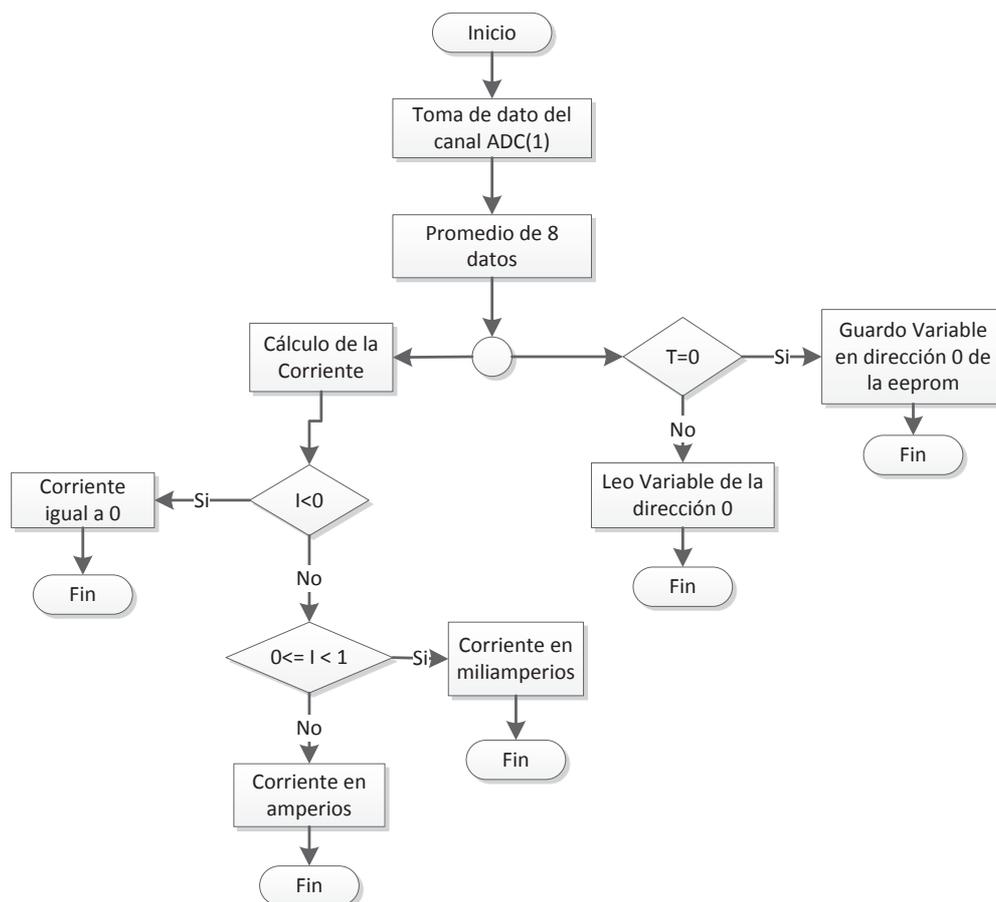
Con las condiciones indicadas se varía el rango de voltaje de la fuente de alimentación.

3.1.2 SUBROUTINA CORRIENTE

La descripción de la Figura 3.5 indica lo siguiente: se toma el dato del canal ADC (0) y se coloca en un lazo FOR para luego sacar el promedio de 8 datos ingresados. La condición necesaria para calcular el valor de corriente es que T (potenciómetro para voltaje) debe ser cero al rato de encender la fuente de alimentación. En caso no hacerlo, dará medidas erróneas de corriente. De las condicionales se tiene:

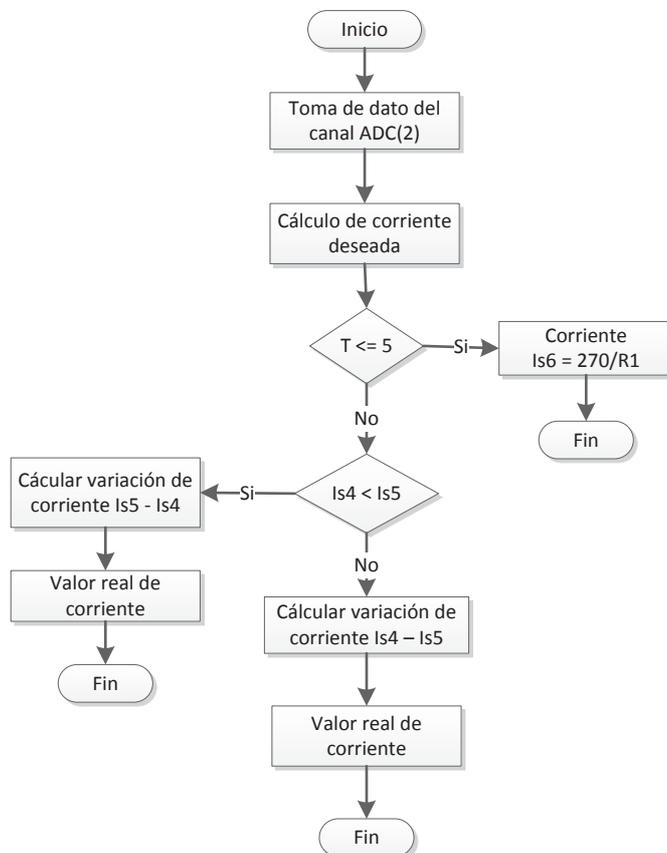
- ❖ Si $T = 0$, se guarda la variable en la dirección 0 de la eeprom.
- ❖ Si $T > 0$, se lee la variable guardada de la dirección 0.
- ❖ Si $I < 0$, la corriente será 0. Esta condición no se va a dar siempre y cuando se inicialice con $T=0$.
- ❖ Si $0 \leq I < 1$, la medida de corriente será en miliamperios.
- ❖ Si $I \geq 1$, la medida de corriente será en amperios.

Figura 3.5 Diagrama de flujo de la Subrutina Corriente



3.1.3 SUBROUTINA CONTROL

Figura 3.6 Control



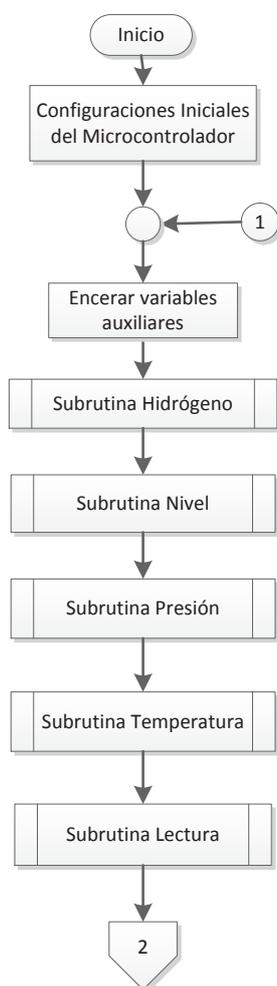
La descripción de la Figura 3.6 indica lo siguiente: se toma el valor de resistencia del canal ADC (2) para calcular la corriente deseada con la ley de Ohm. De las condicionales se tiene:

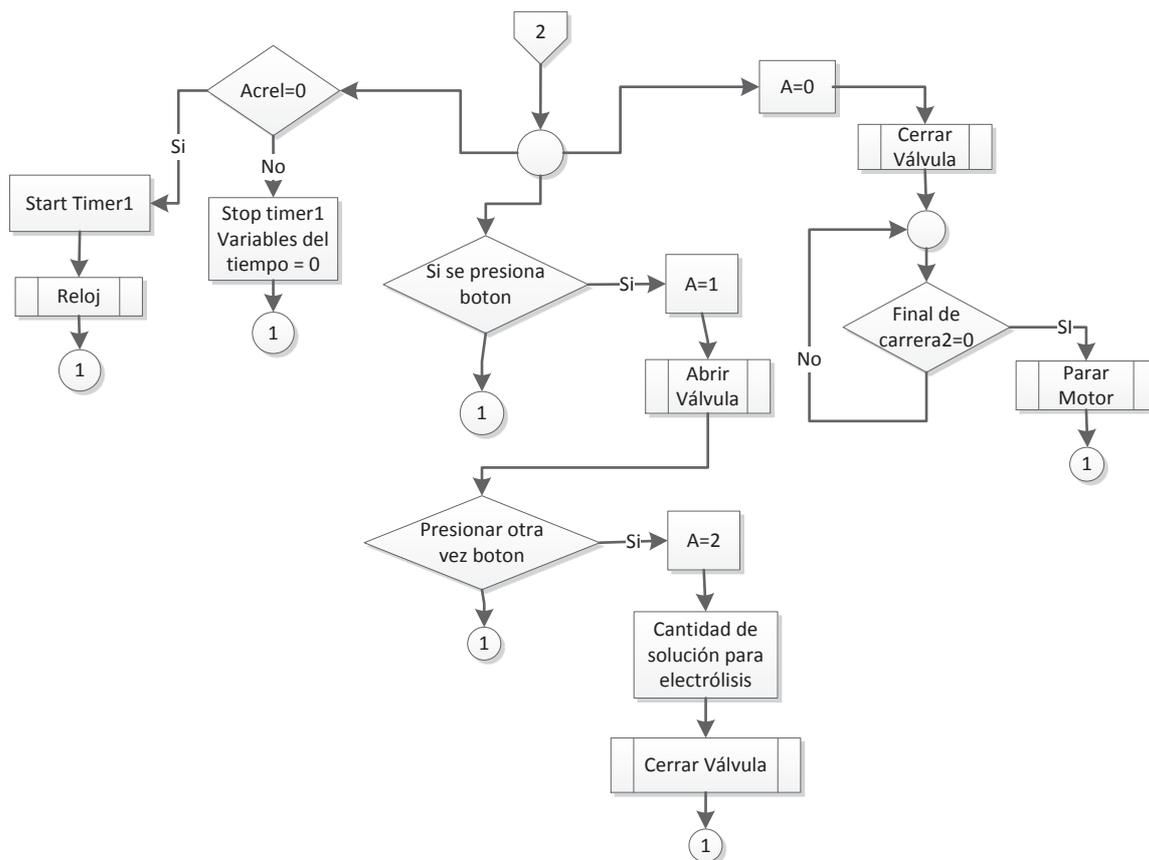
- ❖ Si $T \leq 5$, el valor de corriente es 270 mV sobre el valor de resistencia dado.
- ❖ Si $T > 5$, se tiene dos posibilidades:
 - Si valor de corriente deseado $<$ valor de corriente medido, se saca una variación entre las dos datos y se resta del valor medido para hallar el valor real de corriente.

- Si valor de corriente deseado $>$ valor de corriente medido, se saca una variación entre las dos datos y se suma al valor medido para hallar el valor real de corriente.

3.2 CONTROL DEL PROCESO ELECTROLÍTICO

Figura 3.7 Diagrama de Flujo del Programa Principal del Proceso Electrolítico.





Se describe el diagrama de flujo de la Figura 3.7 de la siguiente manera:

Configuraciones iniciales del Microcontrolador

- ❖ Configuración del microcontrolador Atmega16 y oscilador a utilizar.
- ❖ Configuración de puertos de entrada y salida.
- ❖ Configuración del conversor análogo digital, prescalador auto y referencia AVCC.
- ❖ Configuración del LCD de 20x4.
- ❖ Configuración del timer1 como timer de 10 bits y prescalador de 64.
- ❖ Dimensionamiento de variables, creación de constantes.
- ❖ Habilitaciones del timer1 e interrupciones.
- ❖ Encerar todas las variables.

Subrutinas

- ❖ Reloj, Hidrógeno_Oxígeno y Nivel.
- ❖ Presión y Temperatura de Hidrógeno y Oxígeno.
- ❖ Lectura de reloj, presión, nivel, temperatura y estado de válvula.

Al encender el módulo (A=0) se tiene dos posibilidades con el final de carrera 2:

- ❖ Si no está activado, se cierra la válvula (ubicado entre el envase almacenador y el Aparato Hoffman).
- ❖ Si está activado, la válvula se encuentra cerrada.

Cuando se presiona el pulsador (A=1), se abre la válvula hasta activar el final de carrera 1 y para el motor. Para el control de nivel de sustancia se tiene dos opciones:

- ❖ Si supera una cantidad mayor de 50 ml de sustancia, la variable A aumenta en 1 y la válvula se cerrará automáticamente.
- ❖ Si es menor a esa cantidad se puede cerrar la válvula accionando nuevamente el pulsador (A=2).

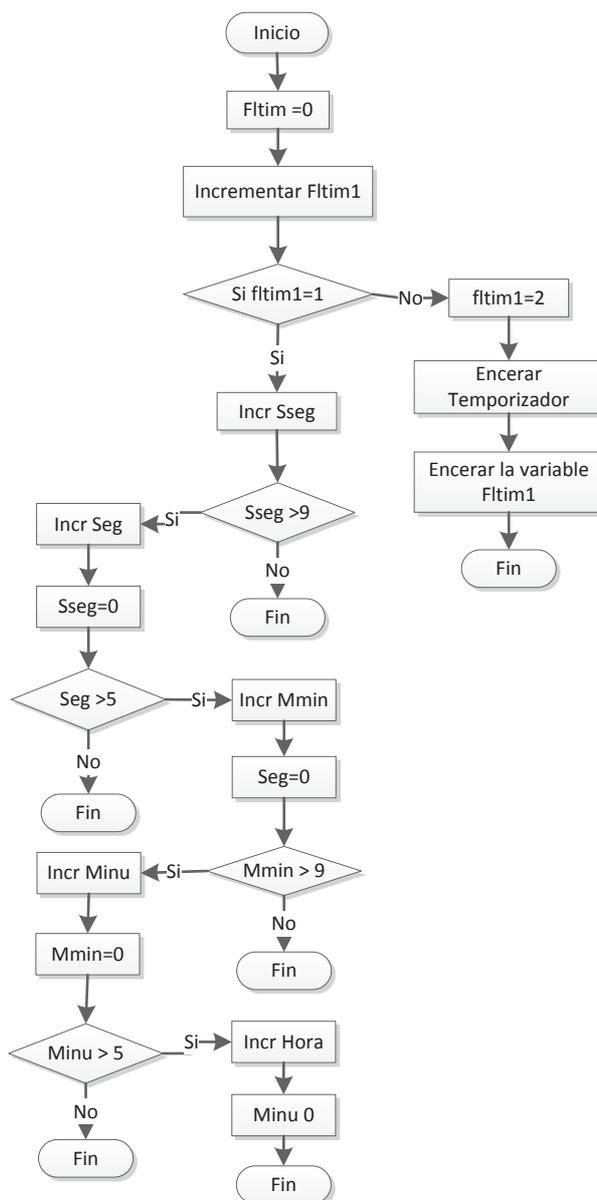
Para cualquier condición se muestra la cantidad de sustancia en la pantalla LCD. La señal de entrada del pulsador se maneja mediante el uso de la interrupción (Int0) para contar la apertura y cierre de la válvula (contador $A=A+1$). Se tiene un interruptor para disponer de las lecturas de presión, temperatura y estado de la válvula (abierta o cerrada). Y otro para activar el reloj de tiempo real.

3.2.1 SUBROUTINA ACTIVAR RELOJ

El reloj contiene horas, minutos y segundos (#: ##: ##). De la figura 3.8, cuando se activa el interruptor se realizan las siguientes funciones:

- ❖ Se inicializa el temporizador (Start Timer1).
- ❖ Se encera e incrementa la variable Fltim1.

Figura 3.8 Subrutina Activar Reloj.



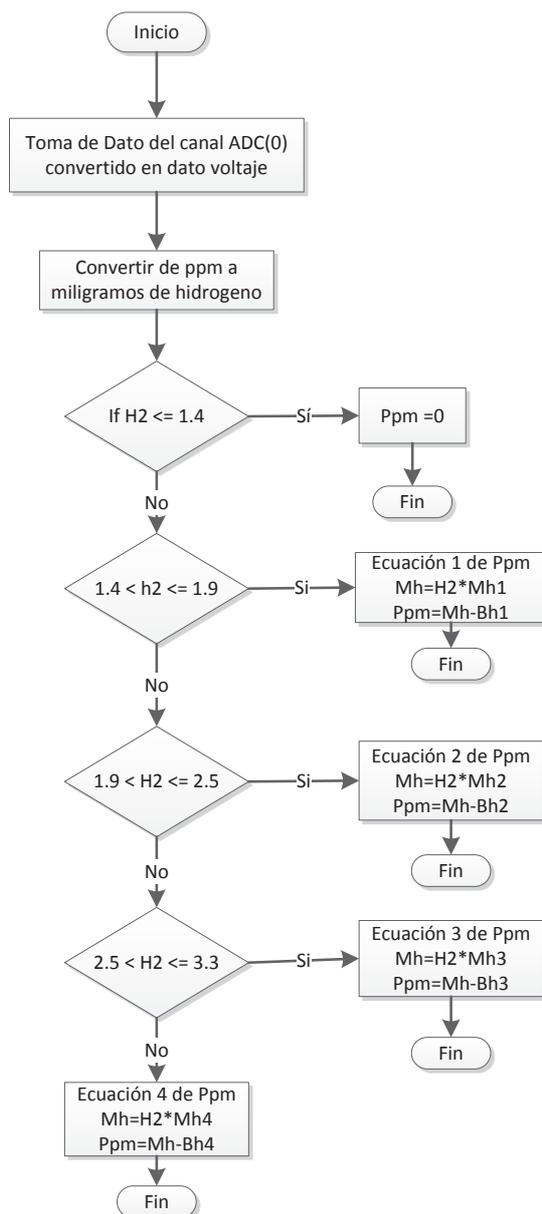
❖ Cuando la variable $ftim1=1$, se produce el conteo del reloj. Las condiciones para el reloj son las siguientes:

- Las centenas de los minutos (Mmin) y segundos (Sseg) se cuentan en un rango de 0 a 9.
- Las decenas de los minutos (Minu) y segundos (Seg) se cuentan en un rango de 0 a 5.

- ❖ Cuando la variable Fltim1=2, encera el temporizador (timer1=0) y a su vez encera la variable Fltim.

3.2.2 SUBROUTINA HIDRÓGENO

Figura 3.9 Subrutina Hidrógeno.



Donde:

- ❖ Ecuación 1 de Ppm

$$\text{Ppm} = 737.3\text{H}_2 - 993.8 \quad (3.1)$$

❖ Ecuación 2 de Ppm

$$\text{Ppm} = 998\text{H}_2 - 1481 \quad (3.2)$$

❖ Ecuación 3 de Ppm

$$\text{Ppm} = 2585.5\text{H}_2 - 5181.8 \quad (3.3)$$

❖ Ecuación 4 de Ppm

$$\text{Ppm} = 13190\text{H}_2 - 40012 \quad (3.4)$$

Las ecuaciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 son sacadas de la hoja técnica del sensor. [29] Con el voltaje medido del sensor (H2) se calcula las ppm (particiones por millón) y los miligramos de hidrógeno generados mediante las ecuaciones de la Figura 3.9. La fórmula (Anexo 3) para calcular los miligramos de hidrógeno es la siguiente:

$$\text{mg}_{\text{H}_2} = \frac{\text{Ppm}}{6109} \quad (3.5)$$

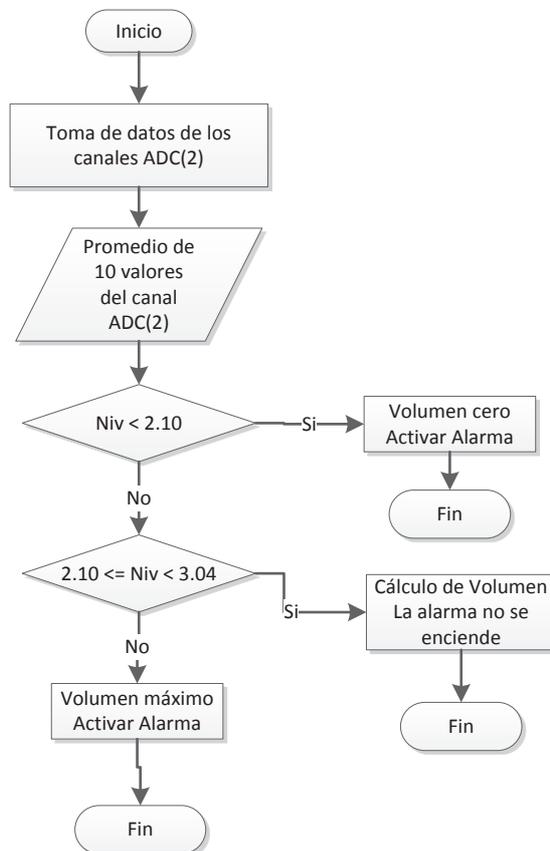
3.2.3 SUBROUTINA NIVEL

El microcontrolador capta muchas señales de voltaje del sensor de nivel por lo que se colocó un lazo for - next para guardar 10 datos del canal ADC (2) y luego sacar el promedio ellos, con el fin de tener una medida precisa de la cantidad de sustancia. De la Figura 3.10, se tienen las siguientes condicionales:

- ❖ Si $\text{Niv} < 2.10$, se muestra que no hay sustancia en el envase y se activa la alarma.
- ❖ Si $2.10 \leq \text{Niv} \leq 3.04$, se calcula la cantidad de volumen dentro del envase y la alarma estará apagada.

- ❖ Si $Niv > 3.04$, se muestra la cantidad máxima de mililitros de sustancia en el envase. Se activa la alarma.

Figura 3.10 Subrutina Nivel.



Para medir la cantidad de sustancia disponible del envase almacenador se debe tomar las siguientes consideraciones:

- ❖ El sensor evalúa en un rango de 10 a 15 cm para la medición de nivel. Este sensor está ubicado a una distancia de 15 cm de la base.
- ❖ Voltaje de operación: 2.10 a 3.3 [V].
- ❖ La altura h varía en función del voltaje del sensor y se determina con la ecuación 3.6.

$$h = -0.18Niv^2 + 5.22Niv - 9.64 \quad (3.6)$$

- ❖ El volumen es sacado en base a la ecuación 3.7. Donde el radio y pi son constantes. La altura h varía en función del voltaje del sensor.

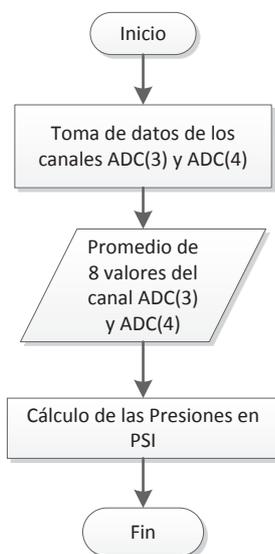
$$Volumen = \pi * r^2 * h = 39.59 * h \quad (3.7)$$

3.2.4 SUBROUTINA PRESIÓN DEL GAS HIDRÓGENO Y OXÍGENO

De la Figura 3.11, se describe lo siguiente: se toman 8 datos de presión del gas hidrógeno ($ADC(3)$) y 8 datos de presión del gas oxígeno ($ADC(4)$) para sacar un promedio de cada uno y obtener un valor fijo de presión. El cálculo para la presión de hidrógeno y oxígeno se basa en la ecuación 3.8: [27]

$$Presión \text{ en } Psi = 7.106 * Voltaje + 1.08 \quad (3.8)$$

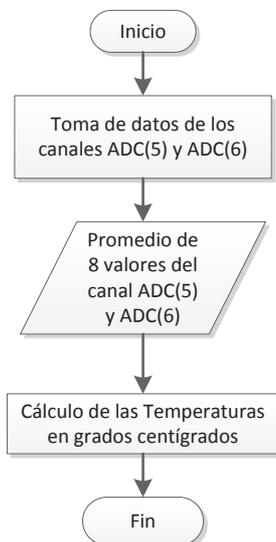
Figura 3.11 Subrutina de Presión del Proceso



Dadas las condiciones durante el proceso de generación del gas hidrógeno y oxígeno, la presión permanece constante y no hay cambio alguno, por lo que no es necesario hacer un control de la presión (Tabla 4.7).

3.2.5 SUBROUTINA TEMPERATURA DEL GAS HIDRÓGENO Y OXÍGENO

Figura 3.12 Subrutina de Temperatura del Proceso



De la Figura 3.12, se describe lo siguiente: se toman 8 datos de la temperatura del gas hidrógeno (*ADC* (5)) y 8 datos de la temperatura del gas oxígeno (*ADC* (4)) para sacar un promedio de cada uno y obtener un valor fijo de temperatura. El cálculo para la temperatura de hidrógeno y oxígeno se basa en la ecuación 3.9:

$$T_h = T_{eh} / G \quad (3.9)$$

Donde:

T_h : Temperatura expresada en Grados Centígrados.

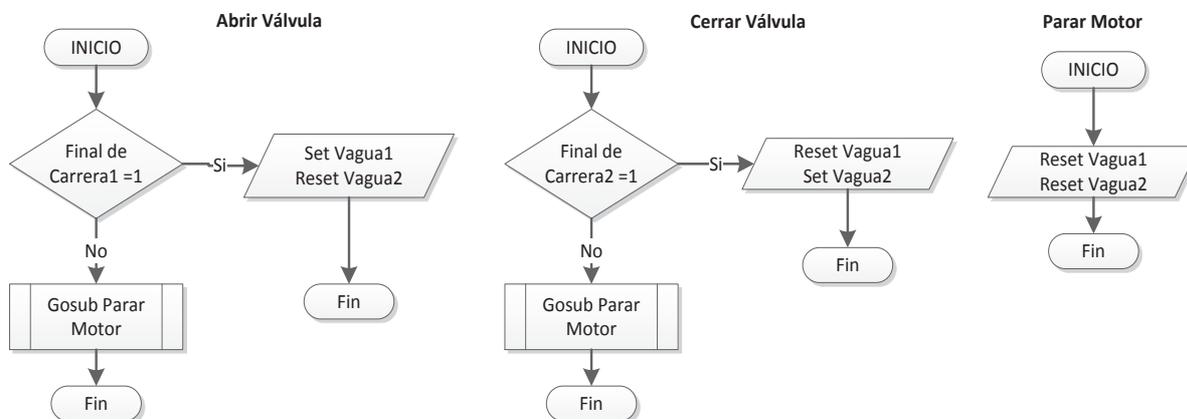
G : Factor de conversión de voltaje a grados centígrados = 14.

T_{eh} : Dato del canal A/D.

Dadas las condiciones durante el proceso de generación del gas hidrógeno y oxígeno, la temperatura medida no supera la temperatura ambiente (15 a 27 °C), por lo que no es necesario hacer un control de la temperatura (Tabla 4.7).

3.2.6 SUBROUTINA CONTROL DE LA VÁLVULA.

Figura 3.13 Subrutina Control de la Válvula.



Se tiene tres subrutinas del control de la válvula los cuales activan pines del puente H para accionar el motor en caso de que se quiera abrir, cerrar o parar el mismo (Figura 3.13). La secuencia lógica se observa en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Secuencia Lógica de la Válvula

Vagua1	Vagua2	Indicador
0	0	Para el motor de la válvula
0	1	Cerrar Válvula
1	0	Abrir Válvula
1	1	Proceso de apertura o cierre de la válvula

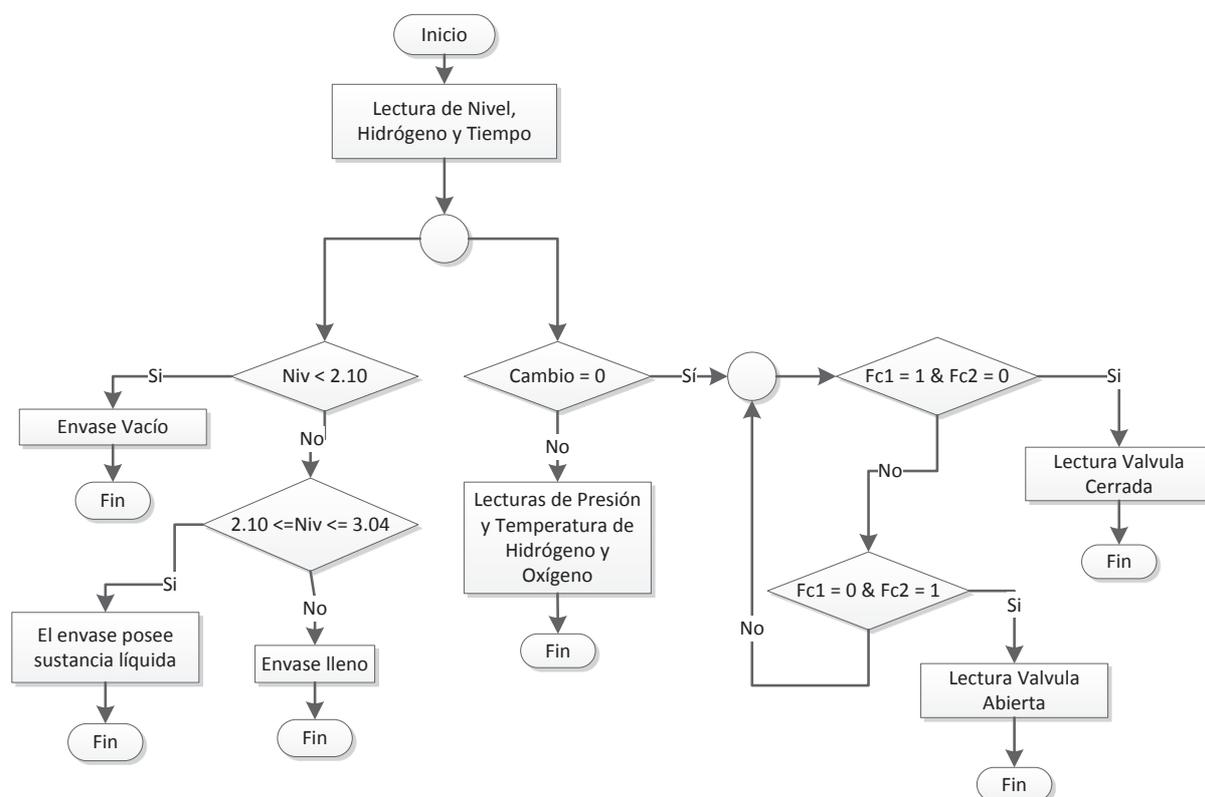
3.2.7 SUBROUTINA LECTURA

De la figura 3.14, se describe lo siguiente:

- ❖ Se indican las lecturas de nivel (mililitros de sustancia), gas hidrógeno (ppm y miligramos) y tiempo real.
- ❖ Cuando se acciona un interruptor se muestra si la válvula está abierta o cerrada.
- ❖ Si no se acciona el interruptor, se indican las lecturas de presión y temperatura del gas hidrógeno y oxígeno.

- ❖ Si $Niv < 2.10$, se indica en la pantalla LCD que el envase está vacío.
- ❖ Si $2.10 \leq Niv \leq 3.04$, el envase contiene sustancia y mediante el pulsador se determina la cantidad sustancia utilizada.
- ❖ Si $Niv > 3.04$, el envase está lleno. Con esto el usuario no deberá colocar más sustancia al envase.

Figura 3.14 Subrutina Lectura.



CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas que se realizaron con el prototipo de generación de hidrógeno y oxígeno son las siguientes:

- ❖ Pruebas de las fuentes de alimentación.
- ❖ Cantidad de hidrógeno obtenido a diferentes: concentraciones de electrolito, voltaje y tamaño de electrodos.
- ❖ Pruebas con dos tipos de electrolitos (ácido sulfúrico al 20% concentrado e hidróxido de sodio altamente concentrado) para la generación de oxígeno.
- ❖ Pruebas de presión, temperatura y nivel del proceso electrolítico.
- ❖ Pruebas en el sensor de corriente.
- ❖ Costos del prototipo de generación de hidrógeno y oxígeno.

4.1 PRUEBAS DE LA FUENTES DE ALIMENTACIÓN

El módulo de la Figura 4.1 se divide en dos bloques: el primero contiene cuatro fuentes de alimentación constantes y en el segundo se tiene las medidas y control del proceso de generación. En la Figura 4.2 se muestra la parte interna de las cuatro fuentes de alimentación constantes.

Figura 4.1 Módulo para Medidas y Control del Proceso de Generación.

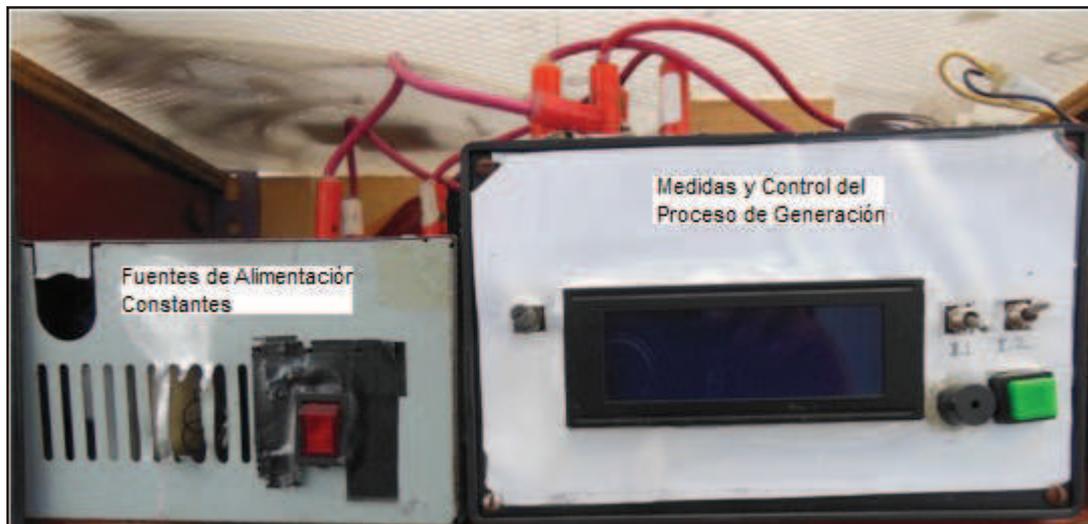
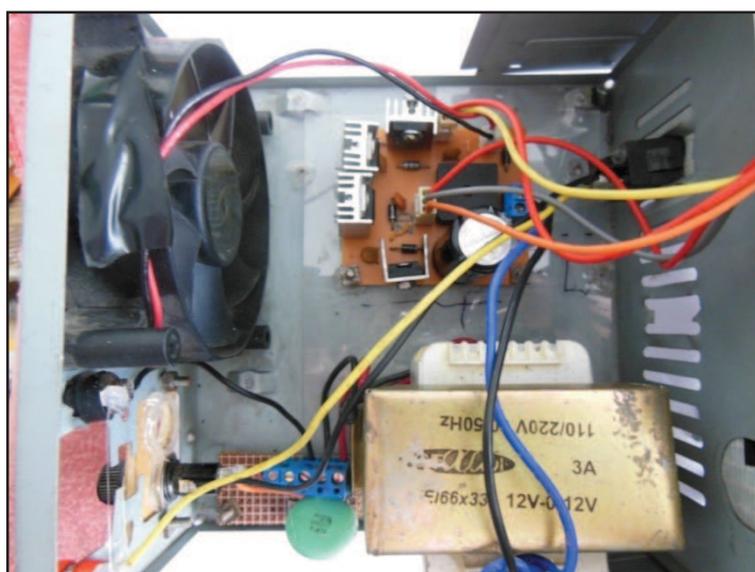


Figura 4.2 Estructura interna de las Fuentes de Alimentación Constante.



Cada fuente de voltaje alimenta a los componentes que conforman el módulo de generación de la siguiente manera:

- ❖ Una fuente de 5 V alimenta al microcontrolador atmega16, sensores de presión, sensores de temperatura y pantalla LCD.
- ❖ Otra fuente de 5 V alimenta al sensor de hidrógeno, al puente H (voltaje del integrado) y al sensor de nivel.
- ❖ Una fuente de 6 V alimenta al puente H (voltaje que va al motor).

- ❖ Una fuente de 12 V alimenta al ventilador y a los integrados LM324 (amplificadores operacionales).

Tabla 4.1 Errores en las Fuentes de Alimentación Constante

Voltaje Teórico[V]	Voltaje Medido [V]	Error Absoluto E_a	Error Relativo E_r [%]
5.0	5.053	0.053	1.06
12.0	11.86	0.14	1.17
5.0	4.913	0.087	1.74
6.0	5.969	0.031	0.52

En la Tabla 4.1 se indica el error por cada fuente de alimentación constante y ese error se calcula con la ecuación 4.1:

$$E_r \% = \frac{(|\text{Voltaje medido} - \text{Voltaje teórico}|) * 100}{\text{Voltaje teórico}} = \frac{E_a * 100 \%}{\text{Voltaje teórico}} \quad (4.1)$$

$$E_{r1} \% = \frac{(|5.053 - 5|) * 100}{5} = 1.06 \%$$

$$E_{r2} \% = \frac{(|11.86 - 12|) * 100}{12} = 1.17 \%$$

$$E_{r3} \% = \frac{(|4.91 - 5|) * 100}{5} = 1.74 \%$$

$$E_{r4} \% = \frac{(|5.969 - 6|) * 100}{6} = 0.52 \%$$

En la Figura 4.3 se muestra el valor medido de las 4 fuentes de voltaje constantes.

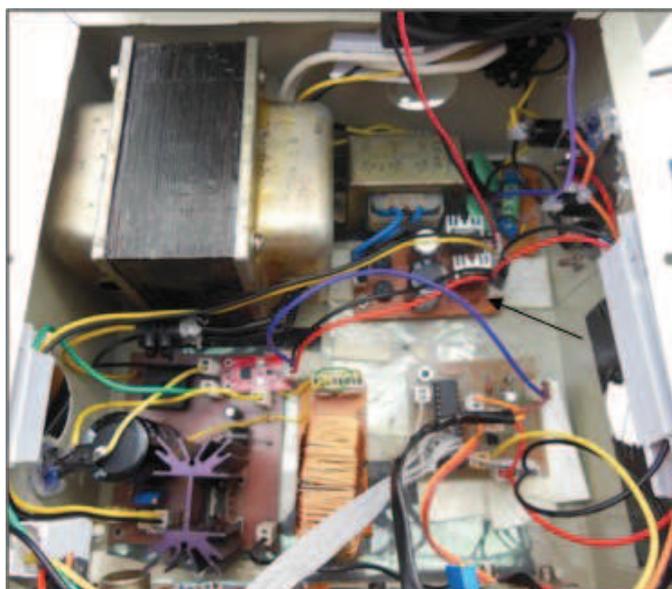
Figura 4.3 Fuentes de Alimentación Constante 1.



De la Figura 4.4, dentro de la Fuente de Alimentación de 6 voltios 5 amperios contiene dos fuentes de voltaje constantes, los cuales alimentan a:

- ❖ Una fuente de 5 V alimenta al microcontrolador Atmega 8, sensor de corriente y a la pantalla LCD.
- ❖ Una fuente de 12 V alimenta al ventilador y al optotransistor 4N25.

Figura 4.4 Fuente de Alimentación Variable



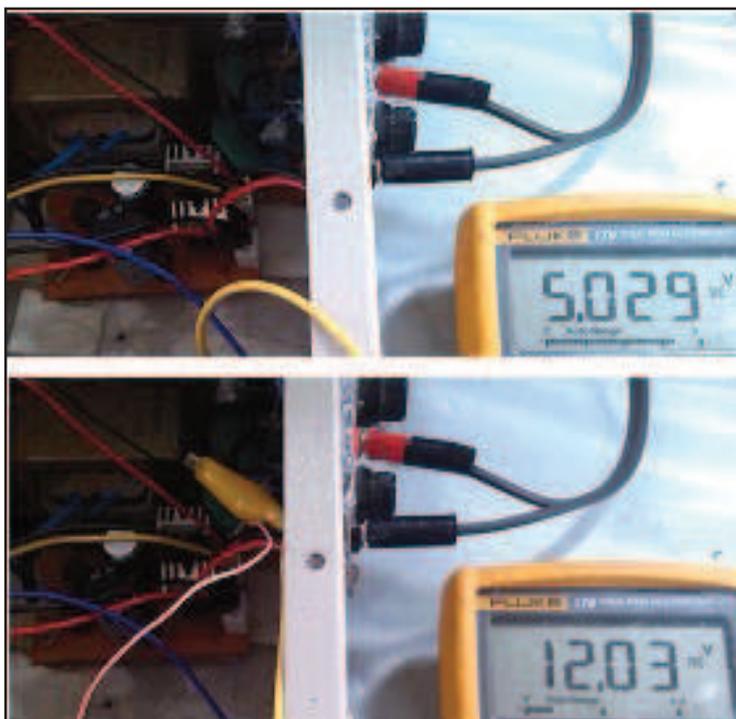
Con la ecuación 4.1, se determina el error de las fuentes de 5 y 12 V (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Errores en las Fuentes de Alimentación Constante.

Voltaje Teórico[V]	Voltaje Medido [V]	Error Absoluto E_a	Error Relativo E_r [%]
5.0	5.029	0.029	0.58
12.0	12.03	0.03	0.25

En la Figura 4.5 se muestra el valor medido de las 2 fuentes de voltaje constantes.

Figura 4.5 Fuentes de Alimentación Constante 2.



Como la fuente de alimentación variable es una fuente lineal reductora; posee un inductor de tres capas (Figura 4.6) sumadas entre sí, se tiene un valor de inductancia $L = 2.083$ mH. Cada capa tiene un valor de inductancia dado por el inductómetro.

Figura 4.6 Inductor de tres capas



Con estos valores mediante la ecuación 2.27 se puede determinar el valor de la permeabilidad relativa de la ferrita utilizada.

$$u_r = \frac{L}{0.00277 N^2} \quad (4.2)$$

❖ Primera capa: $u_{r1} = \frac{1132.0}{0.00277 (93)^2} = 47.21$

❖ Segunda capa: $u_{r2} = \frac{659.1}{0.00277 (70)^2} = 48.51$

❖ Tercera capa: $u_{r3} = \frac{291.9}{0.00277 (47)^2} = 47.66$

De las tres permeabilidades relativas se promedia (ecuación 4.3) para obtener el valor fijo de la permeabilidad.

$$u_r = \frac{u_{r1} + u_{r2} + u_{r3}}{3} \quad (4.3)$$

$$u_r = \frac{47.21+48.51+47.66}{3} = 47.79, \text{ redondeando } u_r = 48$$

Con el valor de inductancia calculado y medido, se calcula el error porcentual (ecuación 4.1).

$$L_{\text{calculado}} = 2.097 \text{ mH (Ecuación 2.28) y } L_{\text{medido}} = 2.083 \text{ mH}$$

$$E_{rL} \% = \frac{(|2.083 - 2.097|) * 100}{2.097} = 0.67 \%$$

En la Figura 4.7 se muestra la conexión de un osciloscopio a la fuente de alimentación variable para medir el voltaje durante el proceso de electrólisis del agua. Se realizó varias pruebas a diferentes voltajes. El tanque de oxígeno no fue necesario colocarlo debido a que necesita altas concentraciones (mínimo de 70% de ácido sulfúrico) para que el gas oxígeno salga por el conducto.

Figura 4.7 Conexión Fuente – Osciloscopio.

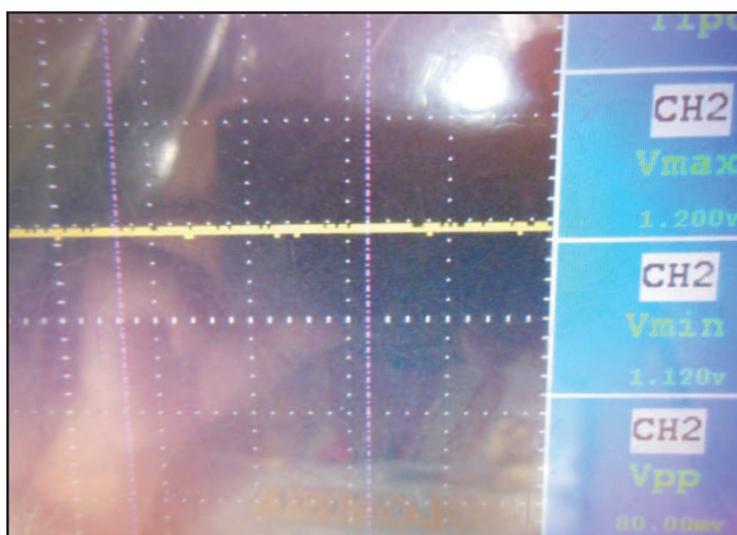


Las pruebas hechas con el osciloscopio en el proceso de generación de gases están a una concentración de 30% del ácido sulfúrico (20% concentrado). El valor de la carga R-E (resistencia + voltaje) depende de la concentración de electrolito. A una

concentración del 30% de ácido sulfúrico la carga R - E es 94Ω y 30 mV. Si es con cloruro de sodio (sal común) la carga R - E es 200Ω y -30 mV. De la ecuación 2.13, la fórmula del rizado de voltaje es:

$$Rizado = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{DC_{medio}}} \quad (4.4)$$

Figura 4.8 Forma de Onda a 1.16 V.



De la Figura 4.8, se tiene el siguiente rizado de voltaje:

$$Rizado = \frac{1.2 - 1.12}{1.16} = 0.068$$

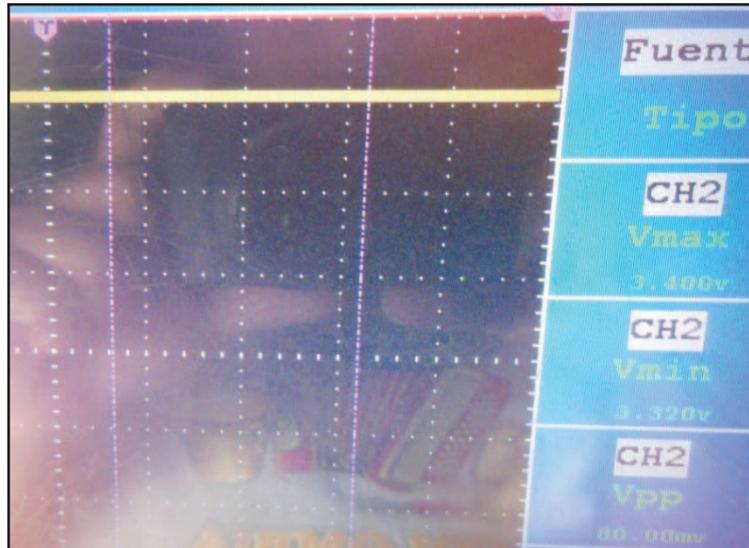
De la Figura 4.9, se tiene el siguiente rizado de voltaje:

$$Rizado = \frac{3.4 - 3.32}{3.36} = 0.023$$

De la Figura 4.10, se tiene el siguiente rizado de voltaje:

$$Rizado = \frac{4.04 - 3.96}{4} = 0.02$$

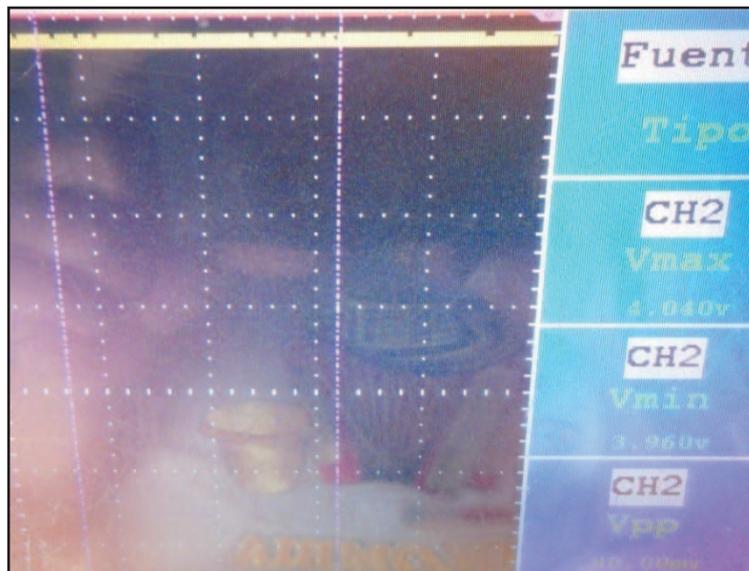
Figura 4.9 Forma de Onda a 3.36 V.



De la Figura 4.11, se tiene el siguiente rizado de voltaje:

$$\text{Rizado} = \frac{5.12 - 4.94}{5.03} = 0.016$$

Figura 4.10 Forma de Onda a 4 V.



De la Figura 4.12, se tiene el siguiente rizado de voltaje:

$$Rizado = \frac{5.96 - 5.88}{5.92} = 0.014$$

Figura 4.11 Forma de Onda a 5.03 V.

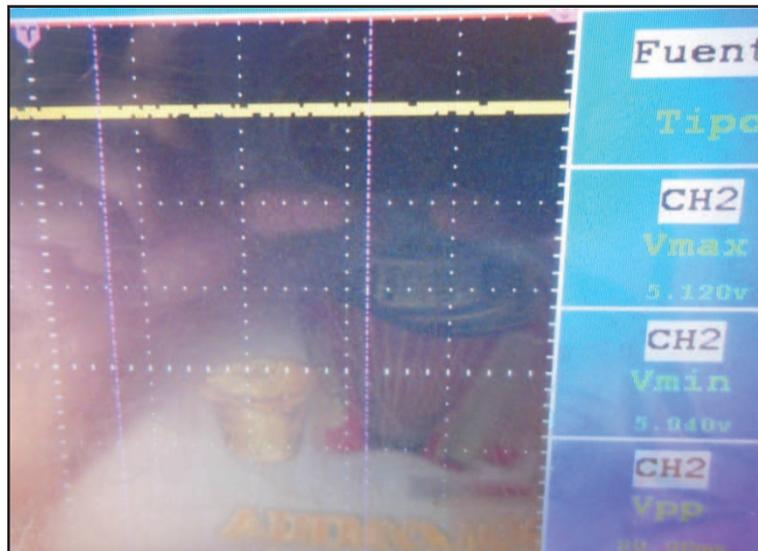
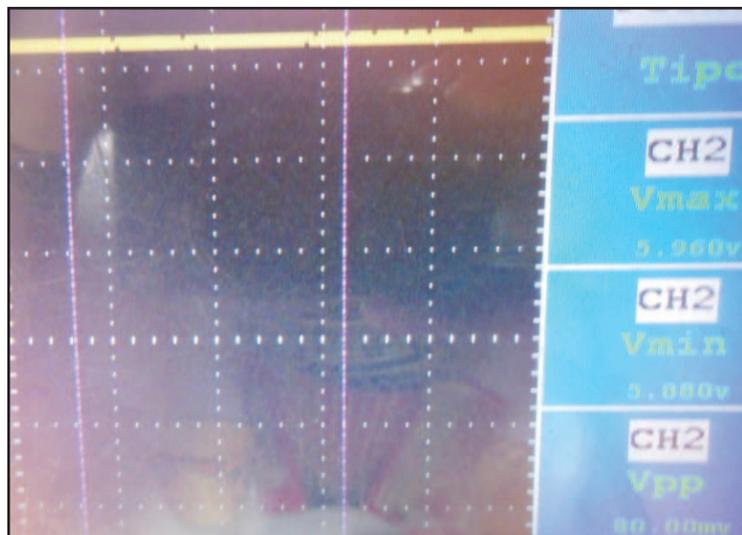


Figura 4.12 Forma de Onda a 5.92 V.



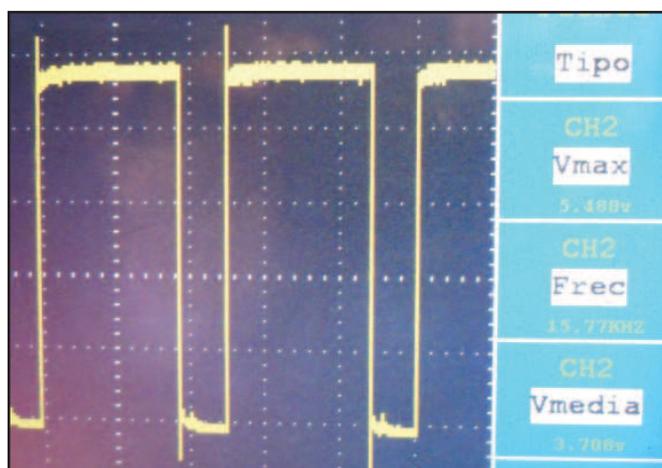
En la Figura 4.13 se indican los valores de voltaje de la fuente variable y los valores dados por el multímetro.

Figura 4.13 Medidas de Voltaje.



Mediante el uso del microcontrolador Atmega 8, se utilizó la señal PWM para variar el nivel de voltaje de la fuente lineal reductora (Figura 4.4). Se indica la frecuencia de 15.77 khz y la señal PWM mediante el osciloscopio en la Figura 4.13.

Figura 4.13 Frecuencia de Conmutación.



4.2 CANTIDAD DE HIDRÓGENO

4.2.1 CONCENTRACIÓN

Se colocan diferentes concentraciones con el fin de ver la diferencia de miligramos de hidrógeno generados (Anexo 7). El tiempo de muestreo de gas es de 12 minutos. Por la Ley de Faraday los miligramos de hidrógeno generados salen a partir de la fórmula: [4,5]

$$m = \frac{ItM}{96500n} \quad (4.5)$$

Donde:

- m es la masa de la sustancia generada (gramos).
- t es el tiempo transcurrido (segundos).
- I es la corriente eléctrica (amperios).
- M es la masa molar de la sustancia (gramos/mol).
- 96500 es la constante de Faraday.
- n es el número de valencia de la sustancia como ión de la solución (electrones por ión).

$$m = \frac{63.5 * 10^{-3} * 12 * 60 * 2}{96500 * 2} = 0.47 * 10^{-3} \text{ gramos } H_2 = 0.47 \text{ miligramos de } H_2$$

Tabla 4.3 Concentración Molar de la Sustancia. (Anexo 8)

Molaridad	Carga R-E	t_{minutos}	mg_{H_2}	Constante K
1	300 Ω – 35 mV	10	0.11	1.33
2	185 Ω – 32 mV	4	0.27	0.90
3	94 Ω – 30 mV	2	0.54	0.87
5	82 Ω – 30 mV	2	0.82	0.66
7	65 Ω – 28 mV	2	2.33	0.24

Las pruebas se realizan a un voltaje de 6 V. A mayor concentración, menor carga resistiva tiene e indica que posee más corriente. El t_{minutos} indica cuando el sensor comienza a medir hidrógeno en el recipiente. De la Tabla 4.3, se visualiza que para la generación de hidrógeno se necesita una concentración entre el 1 y 2 molar, es decir, entre el 10 y 20% de ácido sulfúrico.

Se debe tomar en cuenta que al realizar la prueba de electrólisis del agua, el ácido sulfúrico corroe al electrodo de cobre, por lo tanto, a elevada concentración mayor corrosión en el cobre, por tal razón no se debe hacer pruebas por varias horas para no desgastar el material del electrodo.

El proceso de electrólisis del agua depende de algunos factores como:

- ❖ La cantidad de agua destilada utilizada, debido a que el sensor se ubica a 45 cm de distancia entre el Aparato Hoffman y el recipiente de medición de hidrógeno, la constante K varía.
- ❖ La cantidad de electrolito utilizada. Si se utiliza mayor cantidad, menor es la resistencia de carga.
- ❖ Depende del tipo de electrodos sumergidos en la solución (agua destilada + electrolito).

4.2.2 FACTOR CORRIENTE Y VOLTAJE

Para el proceso de electrólisis del agua se cuenta con una fuente de alimentación variable con el fin de analizar la corriente mínima necesaria para generar gas hidrógeno (Tabla 4.4). Las condiciones de operación en este proceso son:

- ❖ Cantidad de agua destilada = 43 ml.
- ❖ Concentración de 30% de ácido sulfúrico (Figura 4.14).
- ❖ Posee una carga R-E = 94 Ω , 30 mV.
- ❖ Tiempo de muestreo = 12 minutos.

Figura 4.14 Concentración del 30% de ácido sulfúrico.



Tabla 4.4 Variación de Voltaje y Corriente (Anexo 8).

Voltaje [V]	Corriente [A]	mg_{H_2}	Constante K
6	0.063	0.54	0.87
5	0.053	0.46	0.86
4	0.042	0.32	0.98
3	0.032	0.25	0.96

Analizando la Tabla 4.4, se describe lo siguiente:

- ❖ A medida que la corriente disminuye, genera menor cantidad de miligramos de hidrógeno.
- ❖ A un voltaje de 3 V comienza a generar hidrógeno. Es decir que sólo se necesita una corriente de 32 mA para la generación del gas con las condiciones de operación anteriores.

4.2.3 TAMAÑO DE ELECTRODOS

Con el aumento de tamaño de los electrodos se realizó pruebas al 30% de ácido sulfúrico para analizar su diferencia con la constante K. La constante K es la relación que existe entre el dato teórico sacado de la Ley de Faraday con el dato medido del sensor de hidrógeno.

Al preparar 43 mililitros de agua destilada con cierta molaridad se obtienen los mililitros de ácido sulfúrico a utilizar. [4]

$$n = M * V \quad (4.5)$$

$$n = 3 * 0.043 = 0.129 \text{ moles } H_2SO_4$$

Donde:

n: moles de H_2SO_4

M: molaridad en moles/litros

V: volumen en litros

Para pasar de moles a gramos se convierte con la siguiente ecuación: [4]

$$1 \text{ mol } H_2SO_4 = 98 \text{ gramos } H_2SO_4 \quad (4.6)$$

$$\frac{0.129}{1} * 98 = 12.6 \text{ gramos } H_2SO_4 \approx 13 \text{ gramos } H_2SO_4$$

A una corriente de 63.5 mA y concentración del 30 % de ácido sulfúrico se tienen los siguientes resultados vistos en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Tamaño de los electrodos de cobre (Anexo 8).

Tamaño	Electrodos de 13 cm de largo		Electrodos de 25 cm de largo	
Carga R - E	185 Ω – 31 mV		94 Ω – 30 mV	
Tiempo en minutos	Miligramos de Hidrógeno	Constante K	Miligramos de Hidrógeno	Constante K
4	0.06	1.39	0.09	1.70
6	0.11	1.12	0.15	1.60
10	0.20	0.98	0.46	0.86
12	0.27	0.89	0.54	0.87
14	0.32	0.89	0.83	0.67
16	0.37	0.86	1.00	0.63
18	0.43	0.84	1.19	0.60

El usar diferentes tamaños de electrodos (Figura 4.15) mejora la salida, es decir, baja la resistencia de carga y aumenta la corriente eléctrica. Los electrodos son cables AWG 8 de cobre sólidos de 13 y 25 centímetros de largo.

Figura 4.15 Forma de los Electrodos de Cobre

4.3 GENERACIÓN DE OXÍGENO

Las condiciones de operación del proceso electrolítico para la generación de oxígeno dependen de:

- ❖ El voltaje de la fuente de alimentación (se utiliza el voltaje máximo = 6 V).

- ❖ El material de los electrodos, en este proceso se utiliza electrodos de cobre.
- ❖ La concentración y tipo de electrolito.

Cuando se utiliza una concentración del 70% de ácido sulfúrico (Figura 4.16), comienza a generar oxígeno.

Figura 4.16 Electrólisis del Agua con 70% de ácido sulfúrico.



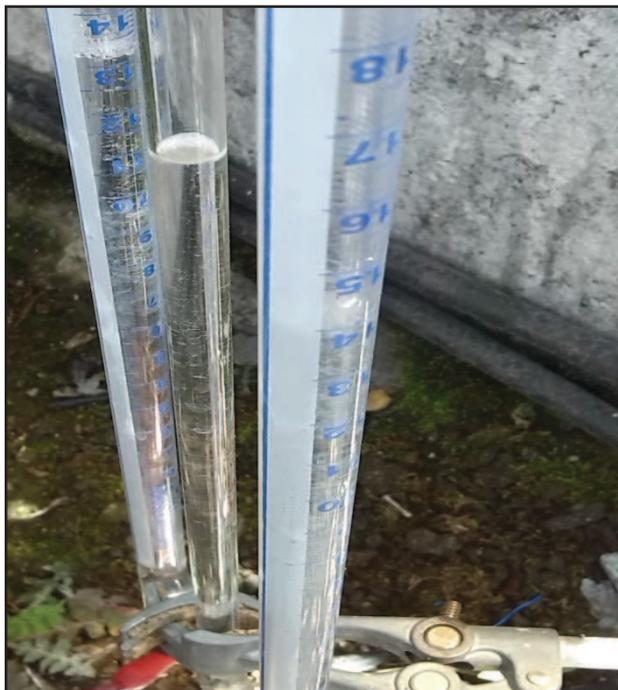
Al cabo de 5 minutos se crean iones sulfato (SO_4^{--}) debido al desprendimiento de los gases, por lo que se ve un color celeste visto en la Figura 4.17.

Figura 4.17 Generación de iones sulfato.



En la Figura 4.18 se utiliza una concentración del 10% de hidróxido de sodio NaOH, para la generación del gas oxígeno.

Figura 4.18 Electrólisis del Agua con 10% de hidróxido de sodio.



En la Tabla 4.6, se indican las condiciones de operación con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, a fin de ver sus ventajas y desventajas.

Tabla 4.6 Tipo de electrolitos.

	Ácido Sulfúrico	Hidróxido de Sodio
Carga R - E	65 Ω – 28 mV	400 Ω – 3 mV
Concentración %	70	10
Corriente	92 mA	15 mA

Para la generación del gas oxígeno se escoge el hidróxido de sodio ya que bastaría con 10 % de la concentración. En general, el proceso de generación depende de la aplicación a ser utilizada.

4.4 CONDICIONES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y NIVEL DEL PROCESO

Tabla 4.7 Condiciones de Presión y Temperatura (Anexo 8).

Molaridad de 3					
Voltaje	Corriente [A]	P_{H_2} Psi	P_{O_2} Psi	T_{H_2} °C	T_{O_2} °C
6	0.063	10.4	10.4	24	22
5	0.053	10.3	10.3	25	26
4	0.042	10.3	10.3	27	27
3	0.032	10.3	10.3	24	24

En la Tabla 4.7, la presión y temperatura del proceso electrolítico opera a condiciones normales, es decir, no superior a 14.7 psi y a temperatura ambiente entre 20 a 27 °C. Esto aplica a cualquier concentración con ácido sulfúrico. En la Figura 4.19 se muestra las lecturas de los sensores de presión, temperatura en una pantalla display LCD en pleno funcionamiento. Para el nivel se muestra la cantidad de mililitros ingresados al Aparato Hoffman. Si está vacío el envase aparte de sonar una alarma, también se muestra en la pantalla LCD.

Figura 4.19 Lectura de los Sensores de Presión, Temperatura y Nivel.



4.5 PRUEBAS DEL SENSOR DE CORRIENTE

Las pruebas del sensor se realizaron a varios factores de operación como:

- ❖ Se utilizó electrodos de cobre AWG 8 (25 cm de largo).
- ❖ Concentración del 30 % de ácido sulfúrico, es decir, carga R – E de 94 Ω con una diferencia de voltaje en los electrodos de 30 mV.
- ❖ 43 mililitros de agua destilada.

A diferentes voltajes entre 0.3 a 6 V, se analiza el error porcentual de la corriente visto en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Error porcentual de la medida de corriente.

	R [Ω]=	94	$V_{electrodos}$=	0,03		
	k=	0,455	kAv=	2,67		
Voltaje fuente	Av	ΔAv	mA (med)	mA (real)	Ea	Er %
0,30	2,66	0,01	4,5	2,87	1,68	58,4
0,80	2,65	0,02	9,1	8,19	0,91	11,1
1,20	2,64	0,03	13,6	12,45	1,20	9,7
2,10	2,62	0,05	22,7	22,02	0,73	3,3
2,40	2,61	0,06	27,3	25,21	2,09	8,3
30	2,6	0,07	31,8	31,60	0,25	0,8
3,5	2,59	0,08	36,4	36,91	0,51	1,4
4	2,58	0,09	40,9	42,23	1,28	3,0
4,50	2,57	0,1	45,5	47,55	2,05	4,3
5	2,56	0,11	50,0	52,87	2,82	5,3
5,50	2,55	0,12	54,6	58,19	3,59	6,2
6,03	2,53	0,14	63,7	63,83	0,13	0,2

Como se visualiza en la Tabla 4.8, cuando el voltaje es menor a 1.2 V se tiene un error grande, esto es debido a que se tomó valores de voltaje con dos decimales a la salida del sensor de corriente, estos datos se tomaron desde el software del programa de la fuente de alimentación de 6 V y 5 A.

4.6 COSTOS DEL PROTOTIPO

En este presente proyecto se utilizaron varios componentes que fueron traídos del exterior debido a su alto coste y también porque no se encontraban en el país. El precio unitario ya contará sumado el IVA. Los precios que se colocan con (*) son los precios con el coste de importación y el resto de componentes se visualizarán en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Costos de los componentes del proyecto de titulación

Cantidad	Componentes	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Bloque Alimentación			
1	Transformador: 10 V – 5 A	35,00	35,00
1	Transformador: 18 V – 1,5 A	4,95	4,95
2	Varistores: 130 V	2,00	4,00
3	Porta fusibles y fusibles	0,30	0,90
---	Resistencias, potenciómetros, capacitores 104, zócalos, opto acoplador, pulsadores, interruptores, diodos, conectores.	---	15,00
1	*Sensor de Corriente ACS 712	22,00	22,00
1	Disipador para el Mosfet IRF840	2,00	2,00
2	Disipadores para los reguladores	0,25	0,50
1	Microcontrolador Atmega 8	4,60	4,60
1	Ferrita	2,00	2,00
1	Caja de 20x20x10 cm	20,00	20,00
1	Pantalla LCD 16x2	6,96	6,96
1	Mosfet IRF 840	1,10	1,10
---	Capacitor mayores a 1 uF	---	2,50
---	3 puentes de diodos y ventilador	---	3,00
---	Placas y cables de conexión	---	10,00
Subtotal 1			134,51

Bloque Mediciones del Proceso			
1	Transformador 12 V – 3 A	13,44	13,44
1	Varistores 130 V	2,00	2,00
4	Disipadores	0,25	1,00
---	Borneras, capacitores 104, diodos, puente de diodo, interruptores, zócalos, conectores, cables, porta fusibles y fusible	---	20,00
1	Ventilador 12 V	3,00	3,00
1	Caja metálica mediana	3,60	3,60
1	Caja de plástico	8,00	8,00
1	Sensor de Hidrógeno	4,50	4,50
1	Servo HS-311	19,50	19,50
1	Sensor GP2Y0A21YK	22,00	22,00
1	Microcontrolador Atmega 16	5,50	5,50
2	*Sensores de Presión MPX4250A	26,00	52,00
2	Sensores de Temperatura LM35	2,25	4,50
1	*Servo HD-1501MG	30,50	30,50
---	Resistencias, diodos zener, placas y buzzer, válvula de bola, pitones	---	12,00
2	Amplificador LM324	0,50	1,00
1	Puente H L293D	3,00	3,00
1	Alarma	18,20	18,20
1	Pantalla LCD 20x4	21,00	21,00
Subtotal 2			244,74
Bloque Proceso Electrolítico			
1	Aparato de Electrólisis de Hoffman	119,00	119,00
1	Soporte Universal	18,20	18,20
1	Pinza doble nuez	12,00	12,00
---	Embudos, envase de plástico	2,00	2,00
Subtotal 3			151,20

Bloque Generación de Gases			
1	Cilindro de Oxígeno	75,80	75,80
1	Regulador toma directa CGA 870	50,40	50,40
1	YOKE CGA 870	26,88	26,88
---	Conector tubo de oxígeno y extensiones	7,84	7,84
1	Manómetro, Botellón de 2 Litros	5,90	5,90
---	Te, Racor, Mangueras, Bushin, Pitones		20,00
Subtotal 4			186,82
Total 1. Componentes			713,77
Estructura del Prototipo			
8	Parantes de 2 metros	12,00	96,00
2	Acrílicos 20x40 cm	9,00	18,00
4	Techo Luz 2.44 x 1.05 m	20,78	83,12
----	Imprevistos (Materiales quemados o innecesarios)		200
Total 2. Materiales			397,12
Mano de Obra			
-----	Implementación de la estructura y los módulos del prototipo	----	200,00
----	Elaboración de Placas	----	50,00
----	Valor del Software de la Fuente de Alimentación y del bloque mediciones del Proceso.		2000
Total 3. Mano de Obra			2250,00
Total			3360,89

El prototipo es económico y rentable debido a que posee ciertas ventajas como:

- ❖ La fuente de alimentación viene dado con el voltaje y corriente mostrados mediante una pantalla LCD.
- ❖ Se muestra la cantidad de miligramos de hidrógeno generado del proceso de electrólisis del agua.
- ❖ Posee un reloj de tiempo real en caso de que se quieran realizar pruebas a futuro.
- ❖ Se indican las condiciones de operación del proceso. La lectura de los sensores de presión y temperatura.
- ❖ Tienen dos formas para el ingreso de sustancia al Aparato Hoffman.
- ❖ Se indica los mililitros de sustancia utilizada para el Aparato Hoffman.
- ❖ El Aparato Hoffman puede ser desmontable en el caso de que se quiera cambiar por un electrolizador.
- ❖ Está protegido el prototipo a prueba de lluvia.
- ❖ Posee protecciones para cada fuente de alimentación.
- ❖ Por ejemplo: En caso de que se requiera utilizar directamente la salida del gas hidrógeno a una celda de combustible, se retira la manguera del racor y se la conecta a la celda.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ El prototipo posee dos sistemas independientes: el primero lo conforma el módulo donde están presentes las señales de presión, temperatura, nivel, miligramos de hidrógeno, estado de la válvula; y el segundo sistema representa la fuente de alimentación conectada a los electrodos.
- ❖ Se colocó sensores de presión y temperatura para analizar el comportamiento de los gases generados durante el proceso de electrólisis del agua. No fue necesario hacer un control de presión debido a que no existe variación. En el caso de la temperatura, sale a condiciones normales; no fue condición necesaria para hacer un tipo de control.
- ❖ La medición de miligramos de hidrógeno generado depende del material de los electrodos, la cantidad de agua destilada, la concentración de electrolito y la estructura donde se realiza el proceso de electrólisis.
- ❖ El prototipo posee facilidades si se requiere utilizar cualquier tipo de electrolito, ya sea ácido sulfúrico, hidróxido de sodio o hidróxido de potasio; debido a que posee dos entradas (embudos) ubicadas antes de la entrada al Aparato Hoffman.
- ❖ Se colocó un sensor de nivel para determinar la cantidad de sustancia y mostrar en la pantalla LCD dicha cantidad en mililitros. Además cuenta con una protección (alarma) para avisar si el envase está lleno o vacío.
- ❖ Dependiendo de la aplicación requerida con los electrodos de cobre; se usa ácido sulfúrico para generar gas hidrógeno e hidróxido de sodio para generar los gases hidrógeno y oxígeno.

- ❖ Todos los sensores y circuitos electrónicos están protegidos contra el agua debido a que están ubicados en un lugar abierto, por lo que se construyó una estructura mediante parantes (estructuras metálicas) y techo-luz con el fin de cubrir toda el área donde se ubica el prototipo de generación de hidrógeno y oxígeno.

5.2 RECOMENDACIONES

- ❖ El sensor de hidrógeno tiene sus limitaciones, debido a su rango de funcionamiento solo mide hasta 23000 ppm es decir hasta unos 3.76 miligramos de hidrógeno.
- ❖ Si se ocupa otro electrolito, por ejemplo sal común, se debe tomar en cuenta lo siguiente: la salida de gases que sean hidrógeno y oxígeno; si ingresa otro gas que no sea oxígeno, el cilindro pierde las características de almacenaje y posteriormente puede dañarse. En el caso del gas hidrógeno si entra otro gas, daña al sensor de manera inmediata.
- ❖ Para realizar la prueba de electrólisis del agua, se debe tomar en cuenta, que en la pantalla LCD del módulo de control las PPM deben estar en cero; debido a que el sensor al momento de ser alimentado tiene un tiempo de respuesta lento.
- ❖ Antes de realizar la prueba de generación de hidrógeno y oxígeno se debe tomar en cuenta que el cilindro de oxígeno debe estar con el Yoke (Válvula Check) para que ingrese sin ningún problema el gas oxígeno, y al finalizar la prueba de generación se debe cerrar el tanque de oxígeno. Este es un proceso manual debido a que no se puede hacer manipulación del tanque con simple libertad. Se debe tener mucho cuidado para las conexiones entre la fuente de alimentación y los electrodos a conectar. Si se conecta de manera errónea, daña el tanque de oxígeno y el sensor de hidrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mortimer Charles E., Química, Grupo editorial Iberoamericana, 1983.
- [2] Zbigniew D. Jastrzebski, «NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA INGENIERÍA», Segunda edición, Nueva editorial Interamericana, México.
- [3] Dickson T.R., «QUÍMICA ENFOQUE ECOLÓGICO», Cuarta edición, Editorial Noriega Limusa, México. 1990.
- [4] Aznárez José Ibarz, «PROBLEMAS DE QUÍMICA GENERAL», Segunda edición, Catedrático de Química – Física y electroquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona.
- [5] Wood Jesse H., Keenan Charles W., Bull William E., «QUÍMICA GENERAL», University of Tennessee, Editorial Harla, México.
- [6] Creus Antonio, «INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL», Sexta Edición, Alfaomega Grupo Editor, México, 1998.
- [7] Coughlin Robert, Driscoll Federick, «AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES», Quinta Edición, México, 1998.
- [8] Hart Daniel, «ELECTRÓNICA DE POTENCIA», Primera Edición, Prentice Hall, 2001.
- [9] Hernández Morales Jesús María Francisco, «DISEÑO DE FUENTES DE CORRIENTE DIRECTA», Universidad Nacional Autónoma de México.
- [10] Sánchez Tarquino, «DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS TEORÍA Y PROBLEMAS», Edición 2006, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

- [11] Muhammad H. Rashid, «ELECTRÓNICA DE POTENCIA CIRCUITOS, DISPOSITIVOS Y APLICACIONES», Segunda edición, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- [12] Doebelin Ernest E., «SISTEMAS DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN DISEÑO Y APLICACIÓN», Department of Mechanical Engineering The Ohio State University, Quinta Edición, Mc Graw Hill.
- [13] E. Peláez, Informe final del «PROYECTO CITMA “NUEVOS MATERIALES PARA EL DESPRENDIMIENTO DE HIDRÓGENO” », Agencia CITMA, C. de la Habana, 2001.
- [14] Toapanta H. Daniel, Jaramillo L. Álvaro., «CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE DIGITAL VARIABLE ENTRE 2V A 20VDC», Escuela de Formación de Tecnólogos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009.
- [15] Acosta Q. Germán, Salgado R. Christian., «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ELETROLIZADOR DE CORRIENTE CONTINUA DE 200 WATIOS CON ENERGÍA SOLAR E INSTRUMENTACIÓN NECESARIA PARA MEDIR LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO», Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2010.
- [16] Kindler, Kynast, «MATEMÁTICA APLICADA PARA LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL», Octava Edición, Editorial Reverté S.A. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ).
- [17] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea]. Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82162/COMCHIP/KBPC.html>. [Último acceso: 27 Julio 2013].
- [18] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea]. Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/222818/ESTEK/78XX.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012].

- [19] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/146552/HITACHI/LM016L.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012].
- [20] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/80247/ATMEL/ATMEGA8.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012].
- [21] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78532/ATMEL/ATMEGA16.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012]
- [22] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22404/STMICROELECTRONICS/IRF840.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012]
- [23] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2846/MOTOROLA/4N25.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012]
- [24] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17804/PHILIPS/IRF840.html>. [Último acceso: 2 Marzo 2014]
- [25] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/101756/ETC/NFV20D201K.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012]
- [26] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17871/PHILIPS/LM324.html>. [Último acceso: 27 Julio 2012]
- [27] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea].
Available: <http://www.alldatasheet.com/datasheet->

- pdf/pdf/5181/MOTOROLA/MPX4250A.html. [Último acceso: 5 Agosto 2012].
- [28] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea]. Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8866/NSC/LM35.html>. [Último acceso: 5 Agosto 2012].
- [29] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea]. Available: <http://www.seeedstudio.com/depot/datasheet/MQ-2.pdf>. [Último acceso: 13 Enero 2013].
- [30] Pololu, «ROBOTS & ELECTRONICS», [En línea]. Available: <http://www.pololu.com/product/1057>. [Último acceso: 9 Octubre 2013].
- [31] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea]. Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/142549/SHARP/GP2Y0A21YK.html>. [Último acceso: 5 Agosto 2012].
- [32] Software Program, «AYUDAS DEL PROGRAMA BASCOM AVR », Versión 1.11.9.0.
- [33] Américo Peretti Hernán, Visintin Arnaldo, «HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO», [En línea]. Available: <http://www.inifta.unlp.edu.ar/extension/Hidrogeno.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2012].
- [34] Pasquevich Daniel, «TECNOLOGÍA DEL HIDRÓGENO», [En línea]. Available: <http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnica/2004-5/TecnologiaHidro.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2012].
- [35] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - UPM, «ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL HIDRÓGENO», [En línea]. Available: <http://www.energiasostenible.net/index.htm>. [Último acceso: 20 Marzo 2012].

- [36] AGA, «HOJA DE SEGURIDAD DEL MATERIAL (MSDS) OXÍGENO INDUSTRIAL», [En línea]. Available: http://www.aga.com.ec/international/web/lg/ec/likeIgagaec.nsf/repositorybyalias/pdf_msds_o/file/Oxygen.pdf. [Último acceso: 20 Marzo 2012].
- [37] Arlex, «COMPONENTES Y HERRAMIENTAS PARA LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA Y LUMINOTÉCNICA», [En línea]. Available: <http://www.arlex.com.ar/home/index.ashx>. [Último acceso: 20 Marzo 2012].
- [38] Cursomicros.com, «PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES», [En línea]. Available: <http://www.cursomicros.com/avr/programacion-de-microcontroladores-avr.html>. [Último acceso: 15 Octubre 2013].
- [39] Emma Jorge, «FUNDAMENTOS Y TÉCNICAS EN TERAPIA RESPIRATORIA I. SISTEMAS DE OXÍGENO», [En línea]. Available: <http://emmajorge.files.wordpress.com/2008/04/sistemaoxi.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2012].
- [40] Industrias JQ, «PLASTICOS DE INGENIERÍA», [En línea]. Available: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/productos.htm>. [Último acceso: 20 Marzo 2012].
- [41] Dr. Dusan Graovac, Marco Pürschel, Andreas Kiep, «MOSFET Power Losses Calculation Using the Data-Sheet Parameters», [En línea]. Available: http://www.btipnow.com/library/white_papers/MOSFET%20Power%20Losses%20Calculation%20Using%20the%20Data-Sheet%20Parameters.pdf. [Último acceso: 10 Enero 2014].
- [42] Datasheet Catalog, «Microchip», [En línea]. Available: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/microchip/21653a.pdf>. [Último

acceso: 15 Enero 2014].

- [43] Ocean Controls, [En línea]. Available: <http://oceancontrols.com.au/SFC-002.html>. [Último acceso: 15 Enero 2014].
- [44] Alldatasheet, «ELECTRONIC COMPONENT'S DATASHEET», [En línea]. Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/168326/ALLEGRO/ACS712.html>. [Último acceso: 15 Enero 2014].
- [45] Teoría de Circuitos I, [En línea]. Available: <http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/tutoriales/inductores/inductores.htm>. [Último acceso: 10 Enero 2014].
- [46] MOSFET Power Losses Calculation Using the Data-Sheet Parameters, «Application Note, V 1.1, July 2006», [En línea]. Available: http://www.btipnow.com/library/white_papers/MOSFET%20Power%20Losses%20Calculation%20Using%20the%20Data-Sheet%20Parameters.pdf. [Último acceso: 2 Marzo 2014].
- [47] Disipadores de Calor «Tutorial», [En línea]. Available: <http://nomadaselectronicos.wordpress.com/2012/12/08/disipadores-de-calor-tutorial/>. [Último acceso: 2 Marzo 2014].
- [48] Artículo «Disipadores térmicos», [En línea]. Available: <http://www.lcardaba.com/articles/heatsinks/heatsinks.htm>. [Último acceso: 2 Marzo 2014].
- [49] Disipa «Disipadores de Calor», [En línea]. Available: <http://www.disipa.net/Cat%E1logo%20DISIPA%202012.pdf>. [Último acceso: 2 Marzo 2014].

ANEXO 1

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
g/l	Gramos sobre litro
°C	Grados centígrados
atm	Atmósferas (unidad de medida de presión)
V_{AC}	Voltaje de corriente alterna
Hz	Frecuencia expresada en hertz
AC	Corriente alterna
DC	Corriente continua
SCR	Rectificador controlado de silicio
μF	Microfaradios
PSI	Libras por pulgada cuadrada (unidad de medida de presión)
AWS	Sociedad de Soldadura Americana
CSA	Asociación de Normas Canadiense
RTD	Detector de temperatura resistivo
NTC	Resistencia de coeficiente de temperatura negativo
PTC	Resistencia de coeficiente de temperatura positivo
kg/cm^2	Kilogramo por centímetro cuadrado (unidad de medida de presión)
ANSI	Instituto Nacional Americano Estándar
DIN	Instituto Alemán de Normalización
PPM	Partes por millón (Concentración)
PWM	Modulación ancho de pulso
AWG	American Wire Gauge (Calibre de alambre americano)

ANEXO 2

MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

El prototipo consta de dos módulos (Figura A.2.1.): uno es la fuente de alimentación para los electrodos y un segundo módulo que consta de una pantalla LCD donde se visualiza las señales de los sensores de presión, temperatura, nivel, estado de la válvula motorizada.

Figura A.2.1 Módulos de Control del Proceso del Sistema



Para un correcto funcionamiento del prototipo se debe seguir los siguientes pasos:

1. Verificar si están conectados las mangueras desde el aparato Hoffman hasta el tanque de oxígeno y el recipiente donde se ubica el sensor de hidrógeno.
2. Abrir la válvula del cilindro de oxígeno.

Figura A.2.2 Cilindro de Oxígeno



3. Encender el módulo de control.

Figura A.2.3 Módulo de control de señales



4. Presionar el pulsador verde para que ingrese la cantidad de líquido al aparato Hoffman donde se desarrollará la electrólisis del agua. La válvula se cierra automáticamente antes de los 50 mililitros. Es de corta duración, no mayor a 3 segundos.

Figura A.2.4 Control de Válvula.



5. Cuando la válvula está abierta (Figura A.2.5), presionar nuevamente para cerrarla ó dejar que se cierre automáticamente.

Figura A.2.5 Válvula Abierta.



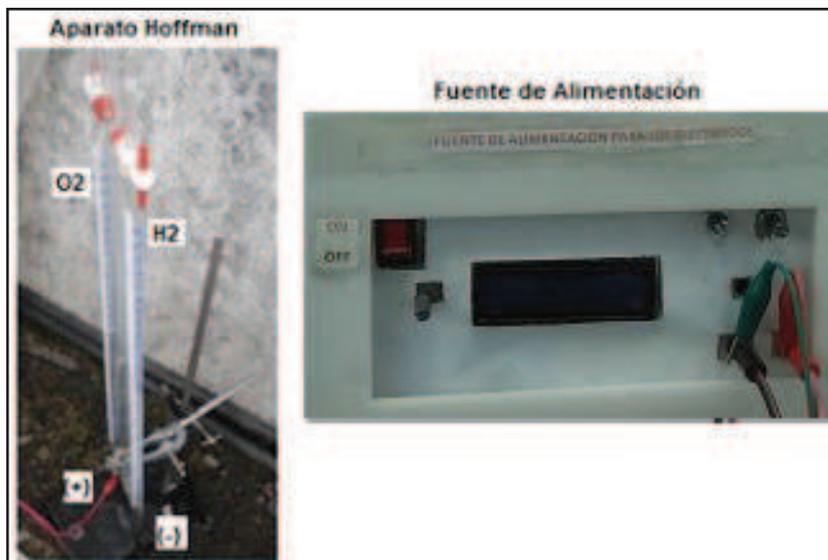
6. Verificar en la pantalla del módulo de control que las ppm estén en cero (Figura A.2.6).

Figura A.2.6 Ppm de hidrógeno



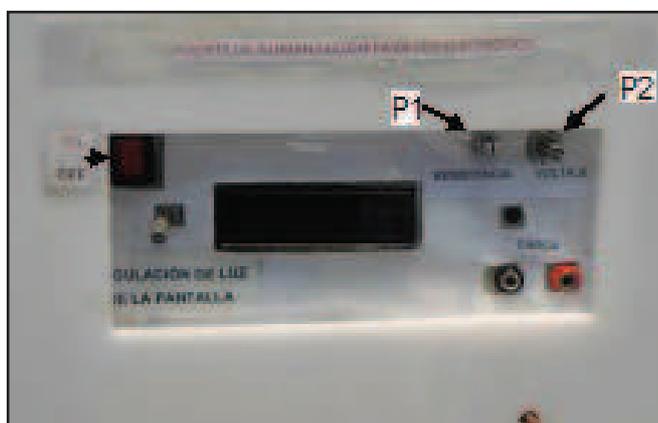
7. Conectar de los cables de la fuente de alimentación a los electrodos tal como se ve en la Figura A.2.7.

Figura A.2.7 Conexión Fuente – Aparato Hoffman



8. Antes de encender la fuente, ingresar la sustancia (agua destilada + ácido sulfúrico) y medir en el intervalo de 5 minutos, la carga resistiva.
9. Virar a la izquierda (al tope) los potenciómetros P1 (resistencia) y P2 (voltaje). Luego encender la fuente de alimentación, colocar la carga resistiva que salió en el paso anterior. Y por último escoger el voltaje deseado (Figura A.2.8).

Figura A.2.8 Fuente de Alimentación para los electrodos



10. Al acabar el proceso de electrólisis, apagar la fuente de alimentación (Figura A.2.8) y luego apagar el módulo de control (Figura A.2.3).

11. Cerrar la válvula del cilindro de oxígeno (Figura A.2.2).

12. Quitar los cables de conexión de la fuente de alimentación (Figura A.2.6).

Cada dos horas se realizan las pruebas de electrólisis del agua, debido al hidrógeno depositado en el botellón donde se encuentra ubicado el sensor de hidrógeno.

NOTA: si se desea sacar el oxígeno gaseoso que está dentro del cilindro, se debe quitar el YOKE (Figura A.2.8) y colocar el Regulador de Presión (Figura A.2.9).

Figura A.2.8 YOKE

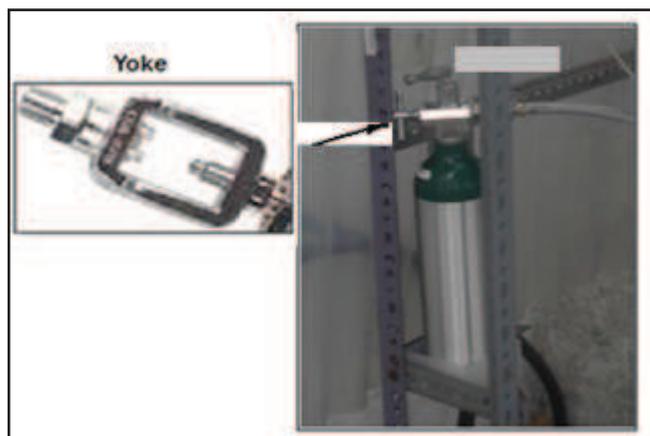


Figura A.2.9 Regulador de Presión



ANEXO 3

CÁLCULO DE PPM (PARTICIONES POR MILLÓN) A MILIGRAMOS DE HIDRÓGENO

$$\frac{mg_{H_2}}{\text{litros}_{\text{aire}}} = \frac{Ppm * \delta}{1000} \quad (\text{A.3.1})$$

$$P * V = n * R * T = \frac{m * R * T}{PM} \quad (\text{A.3.2})$$

$$P * PM = \frac{m * R * T}{V} = \delta * R * T \quad (\text{A.3.3})$$

Donde:

P: Presión a 1 atm.

V: Volumen en litros.

m: masa en gramos.

R: constante $0.082 \frac{\text{atm} * \text{litro}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}}$.

T: temperatura a 25 °C (298 °K).

PM: peso molecular del gas en gramos.

$$\delta = \frac{P * PM}{R * T} = \frac{1 * 2}{0.082 * 298} = \frac{2}{24.436}, \text{ reemplazando en la ecuación (A.3.1) se tiene:}$$

$$\frac{mg_{H_2}}{\text{litros}_{\text{aire}}} = \frac{Ppm * 2}{24436}$$

$$mg_{H_2} = \frac{Ppm * 2 * \text{litros}_{\text{aire}}}{24436}$$

El sensor de hidrógeno está dentro de un embase de 2 litros, queda al final la fórmula de la siguiente manera:

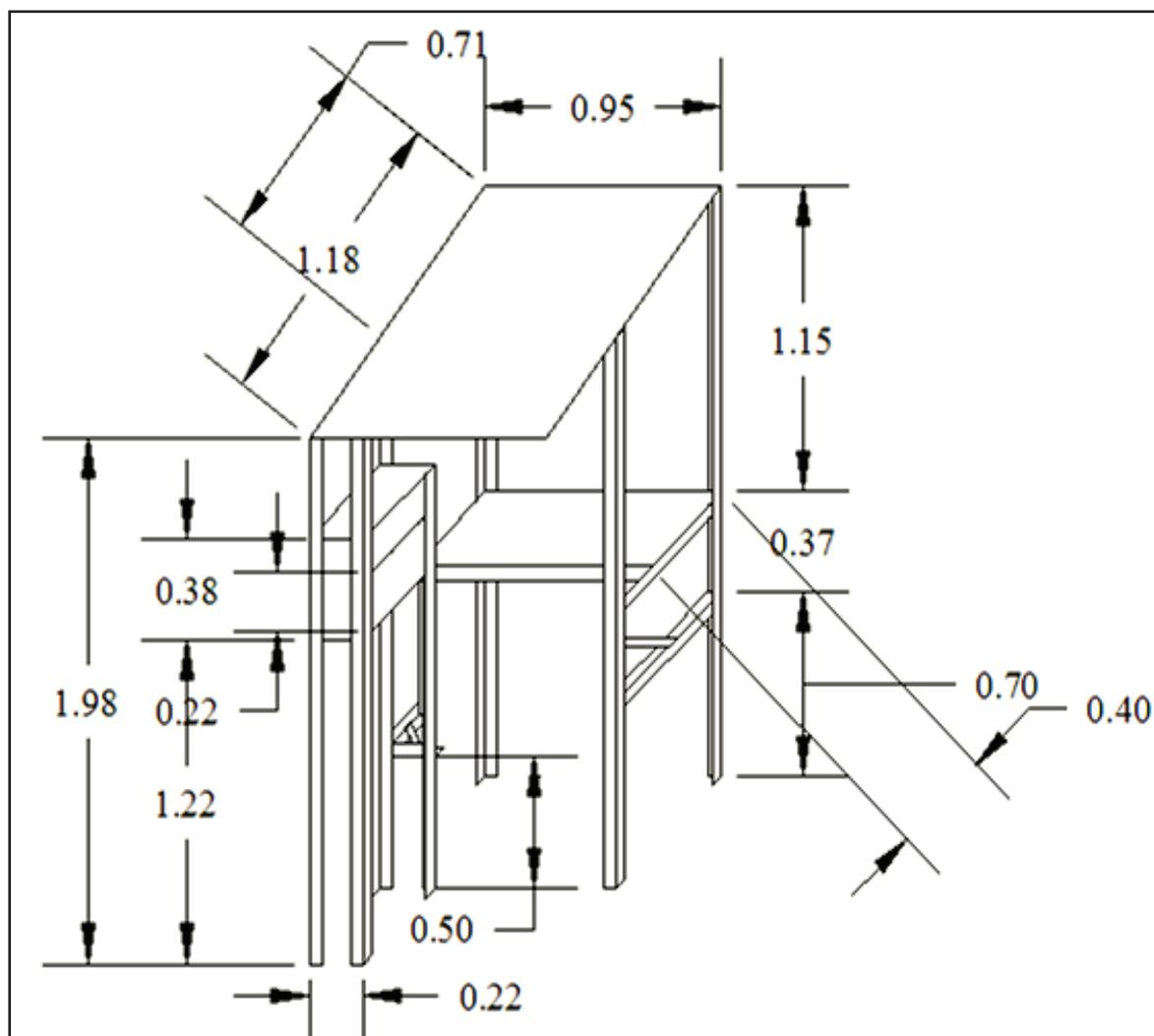
$$mg_{H_2} = \frac{Ppm}{6109} \quad (\text{A.3.4})$$

ANEXO 4

ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO

El prototipo está ubicado en la terraza del Edificio de la Facultad de Ingeniería Mecánica, donde también es el lugar del Laboratorio de Energías Alternativas y Eficiencia Energética. Se hizo la estructura con el fin de proteger los sensores y módulos electrónicos ya que son susceptibles al agua.

Figura A.4.1 Estructura del Prototipo



ANEXO 5

HOJAS DE DATOS DE LOS SENSORES

❖ Sensor de Nivel GP2Y0A02YK0F

Figura A.5.1 Hoja de datos sensor de distancia (primera parte)

SHARP

GP2Y0A02YK0F

GP2Y0A02YK0F

Distance Measuring Sensor Unit
Measuring distance: 20 to 150 cm
Analog output type



■ Description
GP2Y0A02YK0F is a distance measuring sensor unit, composed of an integrated combination of PSD (position sensitive detector), IRED (infrared emitting diode) and signal processing circuit.
The variety of the reflectivity of the object, the environmental temperature and the operating duration are not influenced easily to the distance detection because of adopting the triangulation method.
This device outputs the voltage corresponding to the detection distance. So this sensor can also be used as a proximity sensor.

■ Features

1. Distance measuring range : 20 to 150 cm
2. Analog output type
3. Package size : 29.5×13×21.6 mm
4. Consumption current : Typ. 33 mA
5. Supply voltage : 4.5 to 5.5 V

■ Agency approvals/Compliance

1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)

■ Applications

1. Touch-less switch
(Sanitary equipment, Control of illumination, etc.)
2. Sensor for energy saving
(ATM, Copier, Vending machine, Laptop computer, LCD monitor)
3. Amusement equipment
(Robot, Arcade game machine)

Figura A.5.2 Hoja de datos sensor de distancia (segunda parte)

SHARP

GP2Y0A02YK0F

Fig. 2 Example of distance measuring characteristics (output)

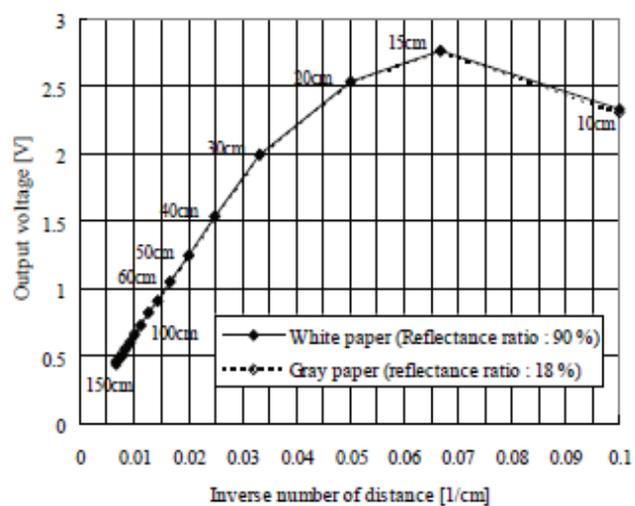
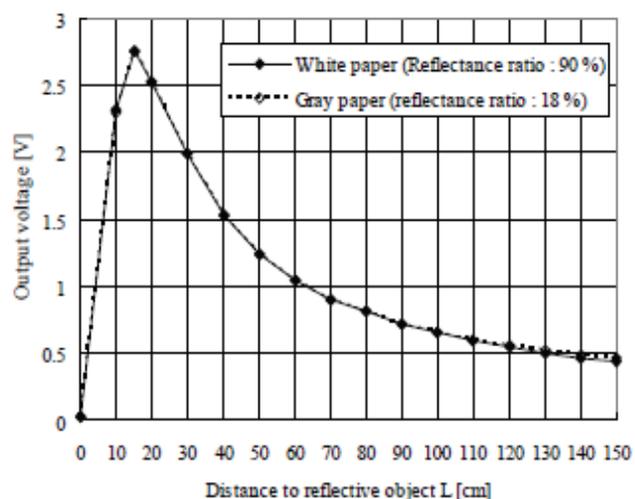


Figura A.5.4 Hoja de datos sensor de hidrógeno (segunda parte)

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD MQ-2 <http://www.hwsensor.com>

crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

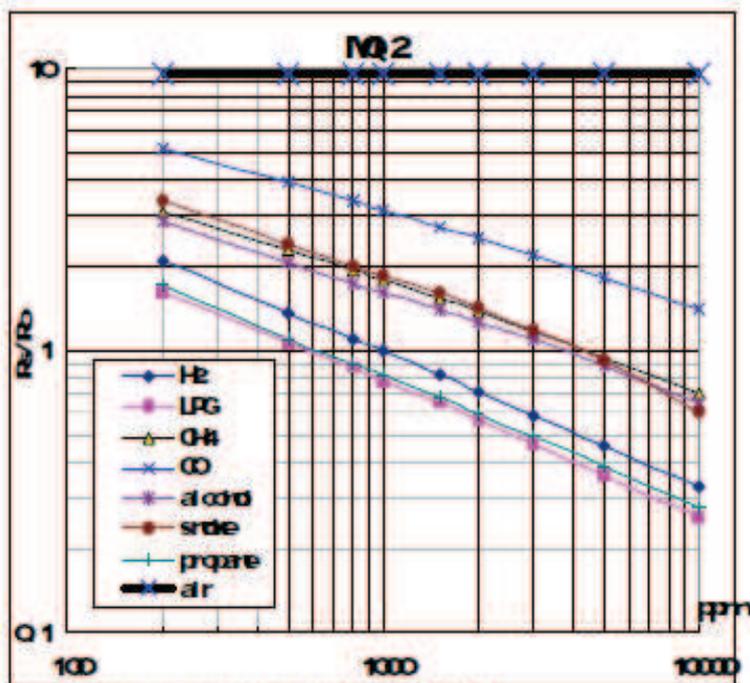


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-2

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%,
RL=5kΩ

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in the clean air.

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases

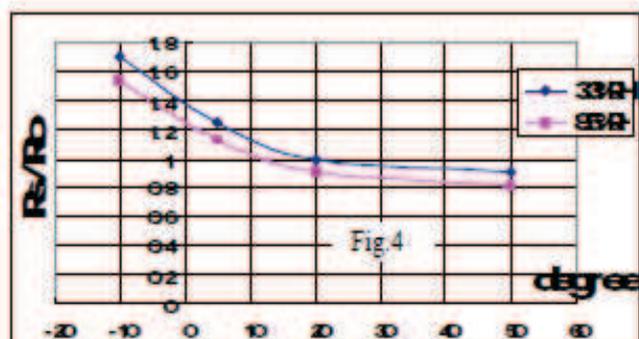


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-2 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.

R_s: sensor resistance at 1000ppm of H₂ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-2 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 liquified petroleum gas<LPG>,or 1000ppm iso-butane<i-C₄H₁₀>concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 KΩ (5KΩ to 47 KΩ).

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

❖ Sensor de Presión MPX4250

Figura A.5.5 Hoja de datos sensor de presión (primera parte)

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MPX4250/D



**Integrated Silicon Pressure Sensor
Manifold Absolute Pressure Sensor
On-Chip Signal Conditioned,
Temperature Compensated
and Calibrated**

The Motorola MPX4250 series Manifold Absolute Pressure (MAP) sensor for turbo boost engine control is designed to sense absolute air pressure within the intake manifold. This measurement can be used to compute the amount of fuel required for each cylinder.

The MPX4250 series sensor integrates on-chip, bipolar op amp circuitry and thin film resistor networks to provide a high level analog output signal and temperature compensation. The small form factor and reliability of on-chip integration make the Motorola MAP sensor a logical and economical choice for automotive system designers.

Features

- 1.5% Maximum Error Over 0° to 85°C
- Specifically Designed for Intake Manifold Absolute Pressure Sensing in Engine Control Systems
- Ideally Suited for Direct Microprocessor Interfacing
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Temperature Compensated Over -40° to +125°C
- Offers Reduction in Weight and Volume Compared to Existing Hybrid Modules
- Durable Epoxy Unibody Element
- Ideal for Non-Automotive Applications

Application Examples

- Manifold Sensing for Automotive Systems

**MPX4250
SERIES**

INTEGRATED
PRESSURE SENSOR
20 to 250 kPa (2.9 to 36.3 psi)
0.2 to 4.9 V OUTPUT

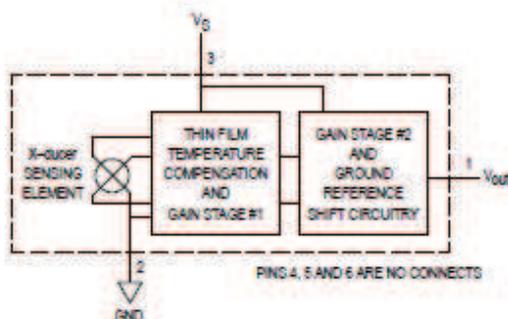
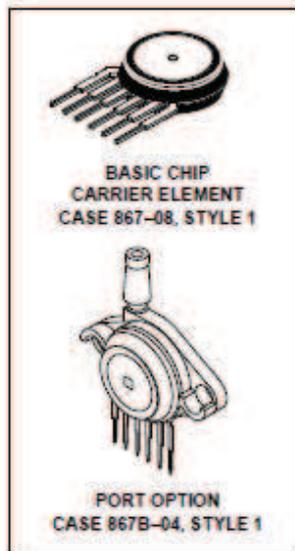


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

PIN NUMBER			
1	Vout	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	Vs	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the Lead.

Figura A.5.6 Hoja de datos sensor de presión (segunda parte)

MPX4250 SERIES

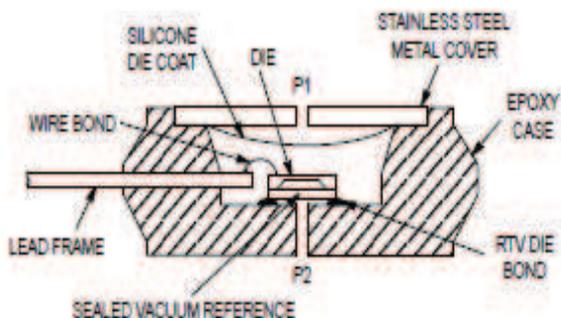


Figure 2. Cross-Sectional Diagram (Not to Scale)

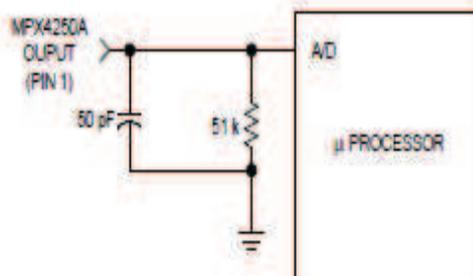


Figure 3. Typical Decoupling Filter for Sensor to Microprocessor Interface

Figure 2 illustrates the absolute sensing chip in the basic chip carrier (Case 867). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm. The MPX4250A series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for in-

formation regarding media compatibility in your application. Figure 3 shows a typical decoupling circuit for interfacing the integrated MAP sensor to the A/D input of a microprocessor. Proper decoupling of the power supply is recommended. Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over temperature range of 0° to 85°C. (The output will saturate outside of the specified pressure range.)

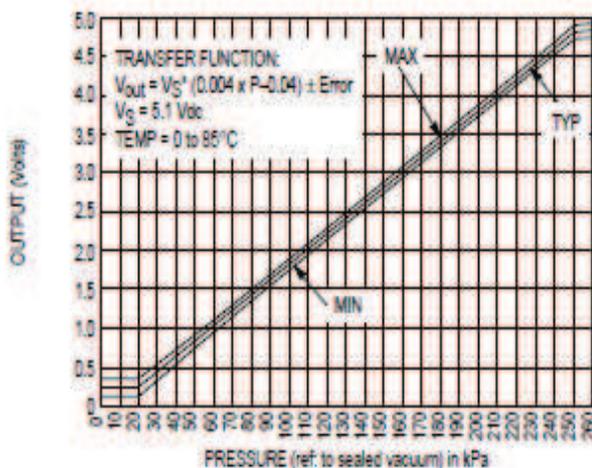
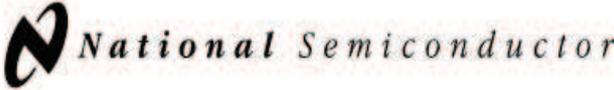


Figure 4. Output versus Absolute Pressure

❖ Sensor de Temperatura Lm – 35

Figura A.5.7 Hoja de datos sensor de temperatura


November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

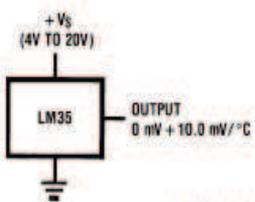
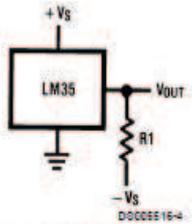


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

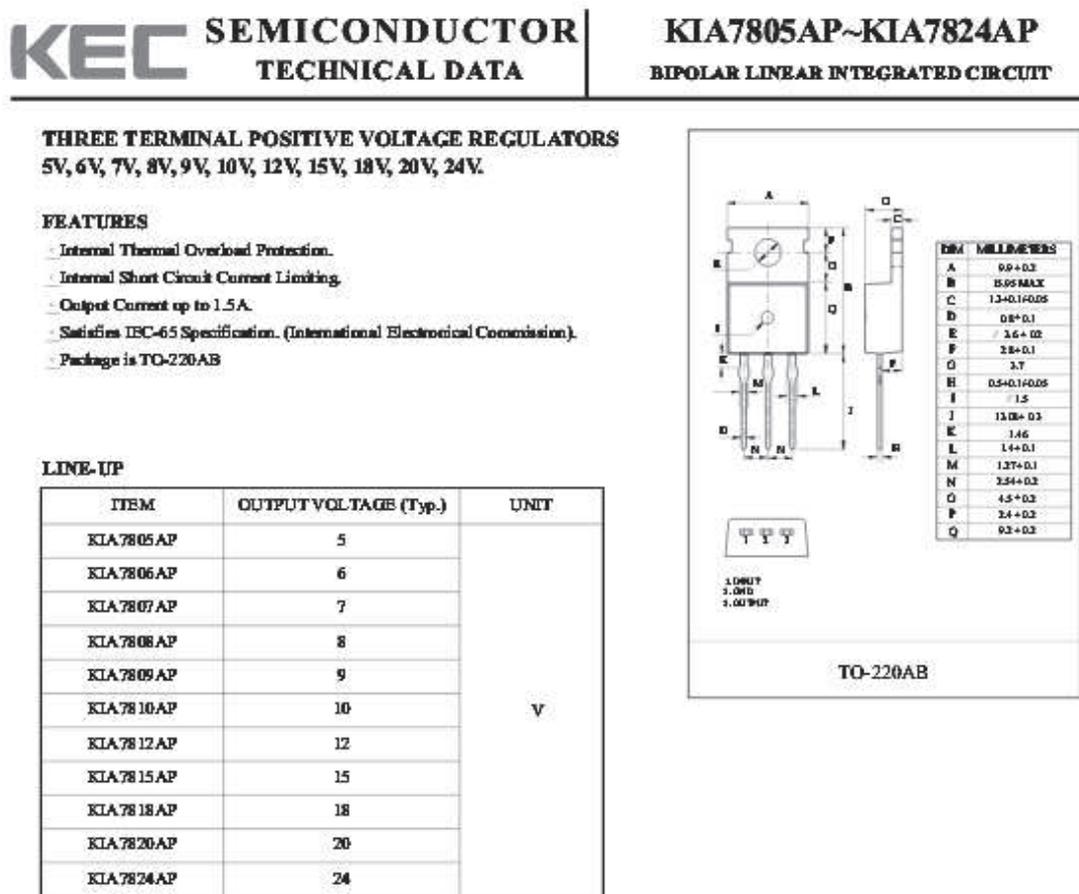
LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

ANEXO 6

HOJAS DE DATOS DE LOS COMPONENTES DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

❖ Reguladores de Voltaje 7805, 7812

Figura A.6.1 Hoja de datos regulador de voltaje



MAXIMUM RATINGS (T_a=25 °C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT		
Input Voltage	KIA7805 ~ KIA7815	V _{IN}	35	V		
	KIA7818 ~ KIA7824		40			
	Power Dissipation-1 (No Heatsink)	AP	P _{DZ}		19	W
	Power Dissipation-2 (Infinite Heatsink)	AP	P _{DZ}		30	
Operating Junction Temperature		T _J	-40 ~ 150	°C		
Storage Temperature		T _{stg}	-55 ~ 150	°C		
Maximum Junction Temperature		T _{J(max)}	150	°C		

❖ Puentes de Diodos Rectificadores

Figura A.6.2 Hoja de datos puente de diodos rectificadores (primera parte)

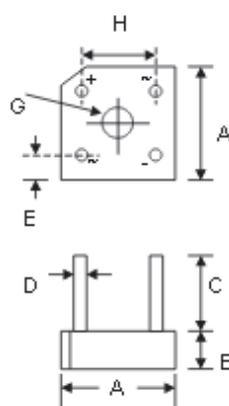


KBPC600 – KBPC610

6.0A BRIDGE RECTIFIER

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability
- High Case Dielectric Strength
- High Surge Current Capability
- Ideal for Printed Circuit Board Application
- Plastic Material has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0
- UL Recognized File # E157705



KBPC-6		
Dim	Min	Max
A	14.73	15.75
B	5.80	6.90
C	19.00	—
D	1.00 Ø Typical	
E	1.70	2.72
G	Hole for #6 screw	
	3.60	4.00
H	10.30	11.30
All Dimensions in mm		

Mechanical Data

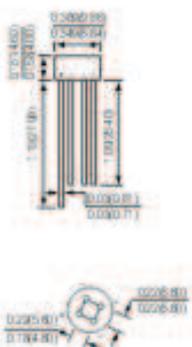
- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Marked on Body
- Weight: 3.8 grams (approx.)
- Mounting Position: Through Hole for #6 Screw
- Mounting Torque: 5.0 Inch-pounds Maximum
- Marking: Type Number

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_c=25°C unless otherwise specified

Single Phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	KBPC 600	KBPC 601	KBPC 602	KBPC 604	KBPC 606	KBPC 608	KBPC 610	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{WRM} V_R	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @T _c = 50°C	I_o	6.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}	125							A
Forward Voltage (per element) @I _F = 3.0A	V_{FM}	1.1							V
Peak Reverse Current @T _c = 25°C At Rated DC Blocking Voltage @T _c = 100°C	I_R	10 1.0							μA mA
It Rating for Fusing (t < 8.3ms) (Note 2)	I_t	64							A/s
Typical Junction Capacitance (Note 3)	C_j	55							pF
Typical Thermal Resistance (Note 4)	$R_{\theta JC}$	12.5							K/W
Operating and Storage Temperature Range	T _i , T _{STG}	-65 to +125							°C

Figura A.6.3 Hoja de datos puente de diodos rectificadores (segunda parte)

		2W005G THRU 2W10G SINTERED GLASS PASSIVATED BRIDGE RECTIFIER								
		Reverse Voltage - 50 to 1000 Volts			Forward Current - 2.0 Amperes					
<p>WOB</p>  <p>* Dimensions in inches and in millimeters</p>										
		FEATURES								
		<ul style="list-style-type: none"> * Glass Passivated Die Construction * Diffused Junction * Low Forward Voltage Drop, High Current Capability * Surge Overload Rating to 60A Peak * Ideal for Printed Circuit Boards * Case to Terminal Isolation Voltage 2500V * Plastic Material has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0 								
		MECHANICAL DATA								
		Case : Moulded Plastic Terminals : Plate leads solderable per MIL-STD-750, Method 2026 Polarity : As marked on body Mounting Position : Any Weight : 1.3 grams (approx)								
MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS										
Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.		SYMBOLS	2W						UNITS	
Maximum repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}		005G	01G	02G	04G	06G	08G	10G	Volts
Maximum RMS voltage	V _{RMS}		35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC blocking voltage	V _{DC}		50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum average forward rectified current @ T _a = 25 °C	I _{AV}		2.0						Amps	
Peak forward surge current (8.3ms single half sine wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}		60						Amps	
Maximum instantaneous forward voltage at 20 A	V _F		1.1						Volts	
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	I _R	@ T _a = 25 °C @ T _a = 125 °C	5.0 500						µA	
Typical junction capacitance (NOTE 1)	C _J		16						pF	
Typical thermal resistance junction to case	R _{θJC}		63						K/W	
Operating junction and storage temperature range	T _J , T _{STG}		-65 to +150						°C	

❖ Mosfet IRF840

Figura A.6.4 Hoja de datos mosfet (primera parte)

THERMAL DATA

$R_{\theta(jc)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.0	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta(ja)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	62.5	$^{\circ}\text{C/W}$
$R_{\theta(cs)}$	Thermal Resistance Case-sink	Typ	0.5	$^{\circ}\text{C/W}$
T _l	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose		300	$^{\circ}\text{C}$

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I _{AS}	Avalanche Current, Repetitive or Non-Repetitive (pulse width limited by T _l max)	5.0	A
E _{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting T _j =25 $^{\circ}\text{C}$, I _D =I _{AS} , V _{DS} =50V)	52.0	mJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case}=25 $^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{DS(BR)}	Drain-source Breakdown Voltage	I _D =200 μA , V _{GS} =0	500			V
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current (V _{GS} =0)	V _{DS} =Max Rating V _{GS} =Max Rating T _j =25 $^{\circ}\text{C}$			1 50	μA μA
I _{DSS}	Gate-body Leakage Current (V _{GS} =0)	V _{DS} =0 V _{GS} =20 V			± 100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{GS} =V _{DS} , I _D =200 μA	2	3.4V		
R _{DS(on)}	Static Drain-source On Resistance	V _{GS} =10V, I _D =4.5 A		0.75	0.85	Ω
I _{D(on)}	On State Drain Current	V _{GS} >V _{GS(th)} , R _{DS(on)max} V _{DS} =10V	5.0			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
g _m (*)	Forward Transconductance	V _{GS} >V _{GS(th)} , R _{DS(on)max} , I _D =4.5 A	4.9			S
C _{iss}	Input Capacitance	V _{GS} =20V, f = 1 MHz, V _{DS} =0		1500		pF
C _{oss}	Output Capacitance			200		pF
r _{sw}	Reverse Transfer			18		pF

Figura A.6.4 Hoja de datos mosfet (segunda parte)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on Time	$V_{DD}=250\text{ V}$ $I_D=4.5\text{ A}$		19		ns
t_r	Rise Time	$R_{DS(on)}=4.7\ \Omega$ $V_{GS}=10\text{ V}$ (see test circuit, figure 3)		11		ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD}=400\text{ V}$ $I_D=8.0\text{ A}$ $V_{GS}=10\text{ V}$		39	50	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			10.6		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			13.7		nC

SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(off)}$	Off-voltage Rise Time	$V_{DD}=400\text{ V}$ $I_D=8\text{ A}$		11.5		ns
t_f	Fall Time	$R_{DS(on)}=4.7\ \Omega$ $V_{GS}=10\text{ V}$		11		ns
t_c	Cross-over Time	(see test circuit, figure 5)		20		ns

SOURCE DRAIN DIODE

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD}	Source-drain Current				8.0	A
$I_{SDM}^{(*)}$	Source-drain Current (pulsed)				32	A
$V_{SD}^{(*)}$	Forward On Voltage	$I_{SD}=8.0\text{ A}$ $V_{GS}=0$			1.6	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_{SD}=8.0\text{ A}$ $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD}=100\text{ V}$ $T_J=150\ ^\circ\text{C}$ (see test circuit, figure 5)		420		ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge			3.5		μC
I_{RRM}	Reverse Recovery Current			18.5		A

❖ Optoacoplador 4N – 25

Figura A.6.5 Hoja de datos Optoacoplador



Global Optoisolator



4N25*

4N25A*

4N26*
[CT R = 20% Min]

4N27

4N28
[CT R = 10% Min]

* Motorola Preferred Device

6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

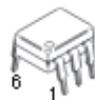
Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25 °C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V _R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I _F	60	mA
LED Power Dissipation @ T _A = 25 °C with Negligible Power in Output Detector	P _D	120	mW
Derate above 25 °C		1.41	mW/°C

STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



COUPLED						
Output Collector Current (I _F = 10 mA, V _{CE} = 10 V)	I _C (CTR) ⁽²⁾	2 (20)	7 (70)	—	—	mA (%)
4N25, 25A, 26 4N27, 28		1 (10)	5 (50)	—	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 2 mA, I _F = 50 mA)	V _{CE(sat)}	—	0.15	0.5	—	Volts
Turn-On Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _{on}	—	2.8	—	—	µs
Turn-Off Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _{off}	—	4.5	—	—	µs
Rise Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _r	—	1.2	—	—	µs
Fall Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _f	—	1.3	—	—	µs
Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec) ⁽⁴⁾	V _{ISO}	7500	—	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance (V = 500 V) ⁽⁴⁾	R _{ISO}	10 ¹¹	—	—	—	Ω
Isolation Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz) ⁽⁴⁾	C _{ISO}	—	0.2	—	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
 2. Current Transfer Ratio (CTR) = I_C/I_F x 100%.
 3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.
 4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

❖ Varistores

Figura A.6.6 Hoja de datos Varistor (primera parte)

CERAMATE		TYPE	NFV20D□□□K		MODEL	PAGE	5/5			
CITATION					DATE	Oct. 15, 2001				
SUBJECT					ELECTRICAL CHARACTERISTICS	REV.	B01			
PART NUMBER	MAXIMUM ALLOWABLE VOLTAGE		VARISTOR VOLTAGE	CLAMPING VOLTAGE (MAX.)	RATED WATTAGE (MAX.)	SURGE CURRENT (8/20 μs)		MAXIMUM ENERGY (10/1000 μs)	SURGE LIFE	
	AC _{rms} (V)	DC(V)	(V)	(V)	I _p (A)	(W)	I _m (A)		W _m (joule)	
							1 TIME	2 TIMES	(A)	
20D180K	11	14	16~20	36	20	0.2	3000	2000	13.0	130
20D220K	14	18	20~24	43					16.0	
20D270K	17	22	24~30	53					19.0	
20D330K	20	26	30~36	65					24.0	
20D390K	25	31	35~43	77					28.0	
20D470K	30	38	42~52	93					34.0	
20D560K	35	45	50~62	110					41.0	
20D680K	40	56	61~75	135					49.0	
20D820K	50	65	74~90	135	56.0	10000	6500	70.0	250	
20D101K	60	85	90~110	165	85.0					
20D121K	75	100	108~132	200	106.0					
20D151K	95	125	135~165	250	130.0					
20D181K	115	150	162~198	300	140.0					
20D201K	130	170	185~225	340	155.0					
20D221K	140	180	198~242	360	168.0					
20D241K	150	200	216~264	395	190.0					
20D271K	175	225	247~303	455	210.0					
20D301K	190	250	270~330	505	228.0					
20D331K	210	275	297~363	545	255.0					
20D361K	230	300	324~396	595	275.0					
20D391K	250	320	351~429	650	303.0					
20D431K	275	350	387~473	710	350.0					
20D471K	300	385	423~517	775	382.0					
20D511K	320	410	459~561	845	382.0					
20D561K	350	460	504~616	920	382.0					
20D621K	385	505	558~682	1025	382.0					
20D681K	420	560	612~748	1120	420.0					
20D751K	460	615	675~825	1240	440.0					
20D781K	485	640	702~858	1290	460.0					
20D821K	510	670	738~902	1355	510.0					
20D911K	550	745	819~1001	1500	565.0					
20D102K	625	825	900~1100	1650	620.0					
20D112K	680	895	990~1210	1815	1020.0					
20D182K	1000	1465	1700~1980	2970	200					

❖ Sensor de Corriente.

Figura A.6.7 Hoja de datos Varistor (primera parte)


ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor
with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 30 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at T_{amb} 25°C, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Die Size 1.1 

Description

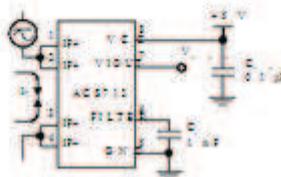
The Allegro ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($\ast V_{OUT}/I_{IN}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



ANEXO 7

HOJAS DE DATOS DE LOS MICROCONTROLADORES, AMPLIFICADORES, ACTUADORES, PUENTE H, SERVOMOTOR Y PANTALLAS LCD

❖ Microcontroladores Atmega

Figura A.7.1 Hoja de datos Atmega 8

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions - Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 8K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Byte Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, one Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Three PWM Channels
 - 8-channel ADC in TQFP and QFN/MLF package
Eight Channels 10-bit Accuracy
 - 6-channel ADC in PDIP package
Eight Channels 10-bit Accuracy
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, and Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-lead PDIP, 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V (ATmega8L)
 - 4.5 - 5.5V (ATmega8)
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz (ATmega8L)
 - 0 - 16 MHz (ATmega8)
- Power Consumption at 4 MHz, 3V, 25°C
 - Active: 3.6 mA
 - Idle Mode: 1.0 mA
 - Power-down Mode: 0.5 μ A



8-bit AVR[®]
with 8K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega8
ATmega8L

Figura A.7.2 Hoja de datos Atmega 16

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - 512 Bytes EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Byte Internal SRAM
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega16L
 - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
 - Active: 1.1 mA
 - Idle Mode: 0.35 mA
 - Power-down Mode: <1 μ A



**8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16K Bytes
In-System
Programmable
Flash**

**ATmega16
ATmega16L**

Summary

❖ Amplificador LM - 324

Figura A.7.3 Hoja de datos Amplificador

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DESCRIPTION

The LM124/SA534/LM2902 series consists of four independent, high-gain, internally frequency-compensated operational amplifiers designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages.

UNIQUE FEATURES

In the linear mode, the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

The unity gain crossover frequency and the input bias current are temperature-compensated.

FEATURES

- Internally frequency-compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1MHz (temperature-compensated)
- Wide power supply range Single supply: $3V_{DC}$ to $30V_{DC}$ or dual supplies: $\pm 1.5V_{DC}$ to $\pm 15V_{DC}$
- Very low supply current drain: essentially independent of supply voltage (1mW/op amp at $+5V_{DC}$)
- Low input biasing current: $45nA_{DC}$ (temperature-compensated)
- Low input offset voltage: $2mV_{DC}$ and offset current: $5nA_{DC}$
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: $0V_{DC}$ to $V_{CC}-1.5V_{DC}$ swing

PIN CONFIGURATION

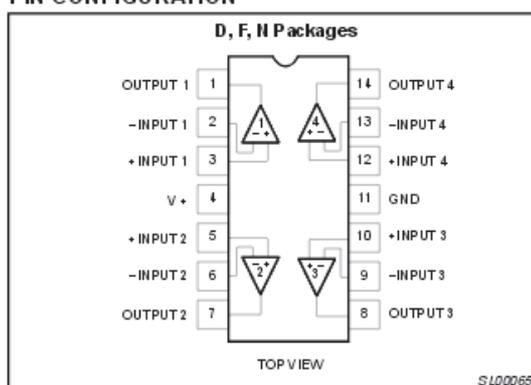


Figure 1. Pin Configuration

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	32 or ± 16	V_{DC}
V_{IN}	Differential input voltage	32	V_{DC}
V_{IN}	Input voltage	-0.3 to +32	V_{DC}
P_D	Maximum power dissipation, $T_A=25^\circ C$ (still-air) ¹		
	N package	1420	mW
	F package	1190	mW
	D package	1040	mW
	Output short-circuit to GND one amplifier ² $V_{CC} < 15V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	
I_{IN}	Input current ($V_{IN} < -0.3V$) ³	50	mA
T_A	Operating ambient temperature range		
	LM324/A	0 to +70	$^\circ C$
	LM224	-25 to +85	$^\circ C$
	SA534	-40 to +85	$^\circ C$
	LM2902	-40 to +125	$^\circ C$
	LM124	-55 to +125	$^\circ C$
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	$^\circ C$
T_{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	300	$^\circ C$

❖ Puente H. L293D

Figura A.7.4 Hoja de datos Puente H (primera parte)

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

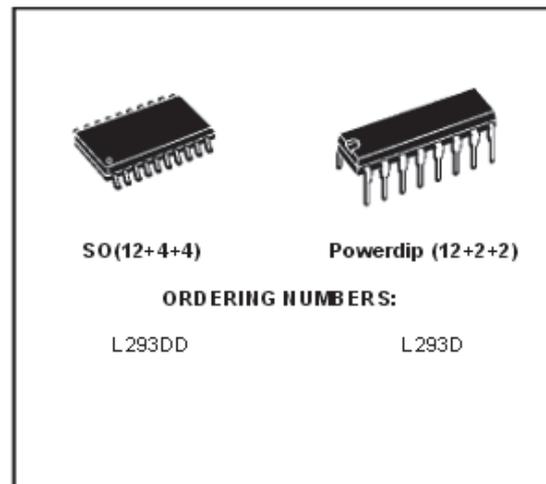
- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES

DESCRIPTION

The Device is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors.

To simplify use as two bridges each pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a lower voltage and internal clamp diodes are included.

This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 kHz.



The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking

The L293DD is assembled in a 20 lead surface mount which has 8 center pins connected together and used for heatsinking.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

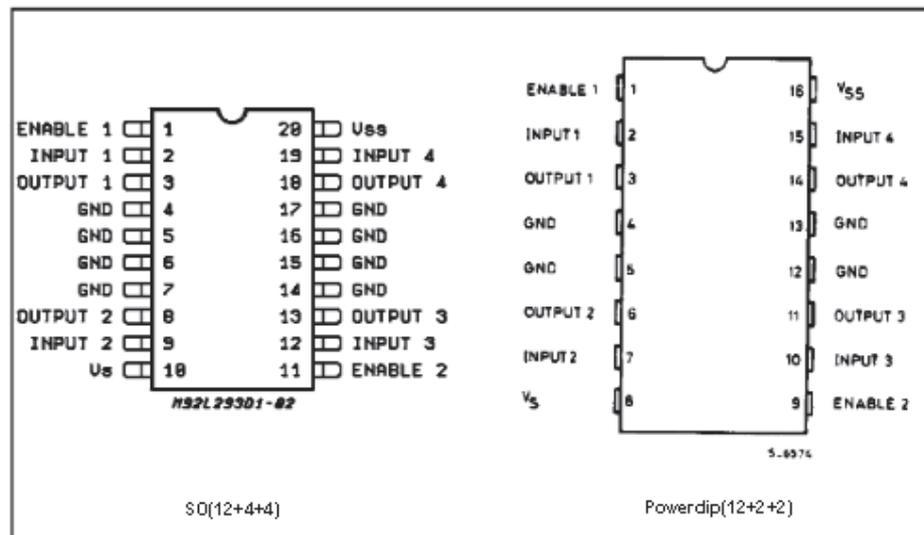
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Supply Voltage	36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	36	V
V_I	Input Voltage	7	V
V_{en}	Enable Voltage	7	V
I_o	Peak Output Current (100 μ s non repetitive)	1.2	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{pins} = 90^\circ\text{C}$	4	W
T_{stg}, T_J	Storage and Junction Temperature	- 40 to 150	$^\circ\text{C}$

THERMAL DATA

Symbol	Description	DIP	SO	Unit
$R_{th-junc}$	Thermal Resistance Junction-pins	max. -	14	$^\circ\text{C/W}$
R_{th-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient	max. 80	50 ($^\circ$)	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th-case}$	Thermal Resistance Junction-case	max. 14	-	

Figura A.7.4 Hoja de datos Puente H (segunda parte)

PIN CONNECTIONS (Top view)



L293D - L293DD

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (for each channel, $V_S = 24\text{ V}$, $V_{SS} = 5\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 10)		V_{SS}		36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 20)		4.5		36	V
I_S	Total Quiescent Supply Current (pin 10)	$V_I = L; I_O = 0; V_{EN} = H$		2	6	mA
		$V_I = H; I_O = 0; V_{EN} = H$		16	24	mA
		$V_{EN} = L$			4	mA
I_{SS}	Total Quiescent Logic Supply Current (pin 20)	$V_I = L; I_O = 0; V_{EN} = H$		44	60	mA
		$V_I = H; I_O = 0; V_{EN} = H$		16	22	mA
		$V_{EN} = L$		16	24	mA
V_{IL}	Input Low Voltage (pin 2, 9, 12, 19)		-0.3		1.5	V
V_{IH}	Input High Voltage (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{IL}	Low Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{IL} = 1.5\text{ V}$			-10	μA
I_{IH}	High Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$2.3\text{ V} \leq V_{IH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$		30	100	μA
V_{ENL}	Enable Low Voltage (pin 1, 11)		-0.3		1.5	V
V_{ENH}	Enable High Voltage (pin 1, 11)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{ENL}	Low Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$V_{ENL} = 1.5\text{ V}$		-30	-100	μA
I_{ENH}	High Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$2.3\text{ V} \leq V_{ENH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$			± 10	μA
$V_{CE(sat)H}$	Source Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = -0.6\text{ A}$		1.4	1.8	V
$V_{CE(sat)L}$	Sink Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = +0.6\text{ A}$		1.2	1.8	V
V_f	Clamp Diode Forward Voltage	$I_O = 600\text{ nA}$		1.3		V
t_r	Rise Time ($^\circ$)	0.1 to 0.9 V_O		250		ns
t_f	Fall Time ($^\circ$)	0.9 to 0.1 V_O		250		ns
t_{on}	Turn-on Delay ($^\circ$)	0.5 V_I to 0.5 V_O		750		ns
t_{off}	Turn-off Delay ($^\circ$)	0.5 V_I to 0.5 V_O		200		ns

❖ Pantalla LCD

Figura A.7.5 Hoja de datos LCD Lm016L

Code (Hex)	Command to LCD Instruction Register	Pin	Symbol	I/O	Descriptions
1	Clear display screen	1	VSS	--	Ground
2	Return home	2	VCC	--	+5V power supply
4	Decrement cursor (shift cursor to left)	3	VEE	--	Power supply to control contrast
6	Increment cursor (shift cursor to right)	4	RS	I	RS=0 to select command register, RS=1 to select data register
5	Shift display right	5	R/W	I	R/W=0 for write, R/W=1 for read
7	Shift display left	6	E	I/O	Enable
8	Display off, cursor off	7	DB0	I/O	The 8-bit data bus
A	Display off, cursor on	8	DB1	I/O	The 8-bit data bus
C	Display on, cursor off	9	DB2	I/O	The 8-bit data bus
E	Display on, cursor blinking	10	DB3	I/O	The 8-bit data bus
F	Display on, cursor blinking	11	DB4	I/O	The 8-bit data bus
10	Shift cursor position to left	12	DB5	I/O	The 8-bit data bus
14	Shift cursor position to right	13	DB6	I/O	The 8-bit data bus
18	Shift the entire display to the left	14	DB7	I/O	The 8-bit data bus
1C	Shift the entire display to the right				
80	Force cursor to beginning to 1st line				
C0	Force cursor to beginning to 2nd line				

LCD Command codes

LCD Pin Configuration



Figura A.7.6 Hoja de datos LCD Lm020L

HITACHI

LM020L-LM020XMBL

- 16 character x 1 line
- Controller LSI HD44780 is built-in (See page 79).
- +5V single power supply
- Display color: LM020L : Gray
LM020XMBL : New-gray

Ta = 25°C 4.4 V typ.
Ta = 50°C 4.2 V typ.

OPTICAL DATA See page 7

INTERNAL PIN CONNECTION

Pin No.	Symbol	Level	Function
1	V _{SS}	--	0V
2	V _{DD}	--	+5V
3	V _O	--	
4	RS	H/L	L: Instruction code input H: Data input
5	R/W	H/L	H: Data read (LCD module → MPU) L: Data write (LCD module ← MPU)
6	E	H, H→L	Enable signal
7	DB0	H/L	Data bus line Note (1), (2)
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	

MECHANICAL DATA (Nominal dimensions)
 Module size 80W x 36H x 12T (max.) mm
 Effective display area 64.5W x 13.8H mm
 Character size (5 x 7 dots) 3.07W x 5.73H mm
 Character pitch 3.77 mm
 Dot size 0.55W x 0.75H mm
 Weight about 25 g

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS min. max.
 Power supply for logic (V_{DD}-V_{SS}) 0 7.0 V
 Power supply for LCD drive (V_{DD}-V_O) .. 0 13.5 V
 Input voltage (V_i) V_{SS} V_{DD} V
 Operating temperature (Ta) 0 50 40°C
 Storage temperature (T_{stg}) -20 70 60°C
 * Shows the value of type LM20XMBL.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS
 Ta = 25°C, V_{DD} = 5.0 V ± 0.25 V
 Input "high" voltage (V_{iH}) 2.2 V min.
 Input "low" voltage (V_{iL}) 0.6 V max.
 Output high voltage (V_{OH}) (I_{OH} = 0.2 mA) .. 2.4 V min.
 Output low voltage (V_{OL}) (I_{OL} = 1.2 mA) ... 0.4 V max.
 Power supply current (I_{DD}) (V_{DD} = 5.0 V) .. 1.0 mA typ.
 2.0 mA max.
 Duty = 1/16
 Range of V_{DD}-V_O 1.5~5.25 V
 Ta = 0°C 4.6 V typ.

Notes:
 In the HD44780, the data can be sent in either 4-bit 2-operation or 8-bit 1-operation so that it can interface to both 4 and 8 bit MPU's.
 (1) When interface data is 4 bits long, data is transferred using only 4 buses of DB₇-DB₄, and DB₃-DB₀ are not used. Data transfer between the HD44780 and the MPU completes when 4-bit data is transferred twice. Data of the higher order 4 bits (contents of DB₇-DB₄, when interface data is 8 bits long) is transferred first and then lower order 4 bits (contents of DB₃-DB₀, when interface data is 8 bits long).
 (2) When interface data is 8 bits long, data is transferred using 8 data buses of DB₇-DB₀.

❖ Actuador Servomotor 1501mg

Figura A.7.7 Hoja de datos Servomotor



Pololu item #: 1057 **160** in stock

Price break	Unit price (US\$)
1	19.95
10	17.95
100	15.95

Quantity: [Add to cart](#) 

[backorders](#) allowed [Add to wish list](#)

www.pololu.com 



The 1501MG is a metal-gear analog servo from Power HD that delivers extra-high torque normally associated with much more expensive or larger servos. This is one of our most popular standard-size servos. Servo horns and associated hardware are included.

Key specs at 6 V: 0.14 sec/60°, 240 oz-in (17 kg-cm), 60 g.

 [Compare all products in RC Servos](#) or  [Power HD Servos](#).

Description **Specifications (9)** **Pictures (3)** **Resources (0)** **FAQs (2)**

Dimensions

Size: 40.7 x 20.5 x 39.5 mm

Weight: 60 g

General specifications

Digital?:	N
Speed @ 6V:	0.14 sec/60°
Stall torque @ 6V:	17 kg-cm
Speed @ 4.8V:	0.16 sec/60°
Stall torque @ 4.8V:	15.5 kg-cm

ANEXO 8

TABLAS COMPLETAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL PROYECTO DE TITULACIÓN

Se puede ocupar hasta una solución de 85 mililitros con la utilización de electrodos pequeños. Y con electrodos grandes sólo se necesitan no más de 55 mililitros.

❖ Concentraciones desde 1 a 7 Molar

Electrodos de cobre sólido AWG 8 (25cm de largo).

Tabla A.8.1 Concentración 1 molar												
M=	1		I=	0,020			R=	0,082	VCu=	0,035		
V_{H_2O}	43	mL	Q=	96500					Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$	4	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	300	Cte.	h2=	6109	
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	It	mg H2	K
0	10,3	10,3	23	25	6,0	1,3	0	0,00	0	0,0		
2	10,3	10,3	19	22	6,0	1,3	0	0,00	120	2,4	0,02	
4	10,3	10,3	21	20	6,0	1,3	0	0,00	240	4,8	0,05	
6	10,3	10,3	24	22	6,0	1,3	0	0,00	360	7,2	0,07	
8	10,3	10,3	22	21	6,0	1,3	0	0,00	480	9,5	0,10	
10	10,3	10,3	22	20	6,0	1,8	299	0,05	600	11,9	0,12	2,53
12	10,3	10,3	22	20	6,0	2,2	683	0,11	720	14,3	0,15	1,33
14	10,4	10,4	26	24	6,0	2,6	1482	0,24	840	16,7	0,17	0,71
16	10,4	10,4	27	24	6,0	2,8	1950	0,32	960	19,1	0,20	0,62
18	10,5	10,5	26	24	6,0	3	2550	0,42	1080	21,5	0,22	0,53
20	10,4	10,4	27	24	6,0	3,1	2848	0,47	1200	23,9	0,25	0,53
promedio	10,35	10,35	24	22	6,0							1,04

Tabla A.8.2 Concentración 2 molar												
M=	2		I=	0,032			R=	0,082	VCu=	0,032		
V_{H_2O}	43	mL	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$	9	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	185	Cte.	h2=	6109	
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	It	mg H2	K
0	10,4	10,4	20	20	6,0	1,3	0	0,00	0	0,0	0,00	

2	10,4	10,3	19	20	6,0	1,3	0	0,00	120	3,9	0,04	
4	10,4	10,4	19	20	6,0	1,83	350	0,06	240	7,8	0,08	1,40
6	10,4	10,4	20	19	6,0	2,14	655	0,11	360	11,6	0,12	1,12
8	10,3	10,3	19	19	6,0	2,47	981	0,16	480	15,5	0,16	1,00
10	10,4	10,4	19	20	6,0	2,51	1249	0,20	600	19,4	0,20	0,98
12	10,3	10,3	20	19	6,0	2,64	1640	0,27	720	23,3	0,24	0,90
14	10,4	10,3	20	19	6,0	2,75	1925	0,32	840	27,1	0,28	0,89
16	10,3	10,4	20	20	6,0	2,89	2280	0,37	960	31,0	0,32	0,86
18	10,3	10,4	20	20	6,0	3,01	2611	0,43	1080	34,9	0,36	0,85
20	10,4	10,4	21	20	6,0	3,12	2895	0,47	1200	38,8	0,40	0,85
promedio	10,36	10,36	20	20	6,0							0,98

Tabla A.8.3 Concentración 3 molar												
M=	3		I=	0,063			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O}	43	mL	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$	13	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	94	Cte.			
									h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	It	mg H2	K
2	10,4	10,4	24	22	6,0	1,65	224	0,04	120	7,6	0,08	2,15
4	10,4	10,4	24	22	6,0	2,05	567	0,09	240	15,2	0,16	1,70
6	10,3	10,3	24	22	6,0	2,39	904	0,15	360	22,9	0,24	1,60
8	10,4	10,4	24	22	6,0	2,82	2094	0,34	480	30,5	0,32	0,92
10	10,3	10,4	23	22	6,0	3,09	2804	0,46	600	38,1	0,39	0,86
12	10,3	10,3	24	22	6,0	3,29	3310	0,54	720	45,7	0,47	0,87
14	10,3	10,3	24	22	6,0	3,42	5050	0,83	840	53,3	0,55	0,67
16	10,4	10,4	24	22	6,0	3,49	6082	1,00	960	61,0	0,63	0,63
18	10,4	10,4	23	22	6,0	3,58	7242	1,19	1080	68,6	0,71	0,60
20	10,3	10,3	23	22	6,0	3,63	7822	1,28	1200	76,2	0,79	0,62
22	10,4	10,3	23	22	6,0	3,66	8209	1,34	1320	83,8	0,87	0,65
24	10,3	10,4	24	22	6,0	3,71	8918	1,46	1440	91,4	0,95	0,65
26	10,3	10,3	22	21	6,0	3,73	9176	1,50	1560	99,1	1,03	0,68
promedio	10,35	10,35	24	22	6,00							0,97

Tabla A.8.4 Concentración 5 molar												
M=	5		I=	0,073			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O}	43	mL	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$	22	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	82	Cte.			
									h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	It	mg H2	K
0	10,3	10,3	21	22	6,0	1,3	0	0,00	0	0,0	0,00	
2	10,3	10,3	21	22	6,0	2,3	423	0,07	120	8,7	0,09	1,31
4	10,4	10,3	22	22	6,0	2,7	949	0,16	240	17,5	0,18	1,17

Tabla A.8.7 (5 V - 53mA).

M=	3		I=	0,053			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O} =	43	mL	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$ =	13	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	94	Cte. h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	lt	mg H2	K
0	10,3	10,3	25	26	5,0	1,3	0	0,00	0	0,0	0,00	
2	10,3	10,3	26	26	5,0	1,69	250	0,04	120	6,3	0,07	1,61
4	10,4	10,4	26	26	5,0	2,49	1008	0,17	240	12,7	0,13	0,80
6	10,4	10,4	26	27	5,0	2,63	1610	0,26	360	19,0	0,20	0,75
8	10,3	10,3	27	27	5,0	2,88	2250	0,37	480	25,4	0,26	0,71
10	10,3	10,3	24	25	5,0	3,08	2792	0,46	600	31,7	0,33	0,72
12	10,3	10,3	24	24	5,0	3,08	2792	0,46	720	38,1	0,39	0,86
promedio	10,33	10,33	25	26	5,00							0,91

Tabla A.8.8 (4 V - 42mA).

M=	3		I=	0,042			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O} =	43	mL	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$ =	13	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	94	Cte. h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	lt	mg H2	K
0	10,3	10,3	27	27	4,0	1,3	0	0,00	0	0,0	0,00	
2	10,3	10,3	27	27	4,0	1,3	0	0,00	120	5,1	0,05	
4	10,3	10,3	28	28	4,0	2,36	870	0,14	240	10,1	0,11	0,74
6	10,3	10,3	27	27	4,0	2,49	1000	0,16	360	15,2	0,16	0,96
8	10,3	10,3	27	27	4,0	2,52	1329	0,22	480	20,3	0,21	0,97
10	10,3	10,3	27	27	4,0	2,63	1605	0,26	600	25,3	0,26	1,00
12	10,3	10,3	26	27	4,0	2,77	1971	0,32	720	30,4	0,32	0,98
14	10,3	10,3	27	27	4,0	2,83	2201	0,36	840	35,5	0,37	1,02
promedio	10,30	10,30	27	27	4,00							0,94

Tabla A.8.9 (3 V - 32mA).

M=	3		I=	0,032			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O} =	43	mL	Q=	96500					Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$ =	13	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	94	Cte. h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	lt	mg H2	K
0	10,3	10,3	25	25	3,0	1,3	0	0,00	0	0,0	0,00	
2	10,3	10,3	24	24	3,0	1,3	0	0,00	120	3,8	0,04	
4	10,3	10,3	24	24	3,0	1,89	401	0,07	240	7,6	0,08	1,20
6	10,3	10,3	23	23	3,0	2,13	648	0,11	360	11,4	0,12	1,11
8	10,3	10,3	26	24	3,0	2,43	941	0,15	480	15,2	0,16	1,02
10	10,3	10,3	23	23	3,0	2,51	1209	0,20	600	19,0	0,20	0,99
12	10,3	10,3	23	24	3,0	2,59	1502	0,25	720	22,7	0,24	0,96
14	10,3	10,3	23	23	3,0	2,71	1825	0,30	840	26,5	0,28	0,92
promedio	10,30	10,30	24	24	3,00							1,03

❖ Diferentes tamaño de electrodos

Tabla A.8.10 Electrodo de cobre huecos de 13cm de largo

M=	3		I=	0,032			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O} =	43	mL	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$ =	13	mL	Tamb=	25			R [Ω]=	185	Cte. h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	lt	mg H2	K
0	10,3	10,3	19	19	6,0	1,3	0	0,00	0	0,0	0,00	
2	10,3	10,3	19	19	6,0	1,3	0	0,00	120	3,9	0,04	
4	10,3	10,3	19	19	6,0	1,83	350	0,06	240	7,7	0,08	1,39
6	10,3	10,3	21	21	5,9	2,14	655	0,11	360	11,6	0,12	1,12
8	10,3	10,3	20	20	6,0	2,47	981	0,16	480	15,4	0,16	0,99
10	10,3	10,3	20	20	5,9	2,51	1249	0,20	600	19,3	0,20	0,98
12	10,3	10,3	20	20	6,0	2,64	1640	0,27	720	23,1	0,24	0,89
14	10,3	10,3	20	20	6,0	2,75	1925	0,32	840	27,0	0,28	0,89
16	10,4	10,4	23	22	6,0	2,89	2280	0,37	960	30,8	0,32	0,86
18	10,3	10,3	23	22	6,0	3,01	2611	0,43	1080	34,7	0,36	0,84
20	10,4	10,3	23	22	6,0	3,12	2895	0,47	1200	38,5	0,40	0,84
22	10,3	10,4	24	22	6,0	3,21	3115	0,51	1320	42,4	0,44	0,86
24	10,3	10,3	22	21	6,0	3,35	4207	0,69	1440	46,2	0,48	0,70
promedio	10,32	10,32	21	21	5,97							0,94

Tabla A.8.11 Electrodo de cobre sólido de 25cm de largo

M=	3		I=	0,063			R=	0,082	VCu=	0,03		
V_{H_2O} =	43	ML	Q=	96500			CTE=	24,436	Far=	96500		
$V_{H_2SO_4}$ =	13	ML	Tamb=	25			R [Ω]=	94	Cte. h2=	6109		
t (min)	PH2	PO2	TH2	TO2	Vfte	VSH2	PPM	mg H2	t (s)	lt	mg H2	K
2	10,4	10,4	24	22	6,0	1,65	224	0,04	120	7,6	0,08	2,15
4	10,4	10,4	24	22	6,0	2,05	567	0,09	240	15,2	0,16	1,70
6	10,3	10,3	24	22	6,0	2,39	904	0,15	360	22,9	0,24	1,60
8	10,4	10,4	24	22	6,0	2,82	2094	0,34	480	30,5	0,32	0,92
10	10,3	10,4	23	22	6,0	3,09	2804	0,46	600	38,1	0,39	0,86
12	10,3	10,3	24	22	6,0	3,29	3310	0,54	720	45,7	0,47	0,87
14	10,3	10,3	24	22	6,0	3,42	5050	0,83	840	53,3	0,55	0,67
16	10,4	10,4	24	22	6,0	3,49	6082	1,00	960	61,0	0,63	0,63
18	10,4	10,4	23	22	6,0	3,58	7242	1,19	1080	68,6	0,71	0,60
20	10,3	10,3	23	22	6,0	3,63	7822	1,28	1200	76,2	0,79	0,62
22	10,4	10,3	23	22	6,0	3,66	8209	1,34	1320	83,8	0,87	0,65
24	10,3	10,4	24	22	6,0	3,71	8918	1,46	1440	91,4	0,95	0,65
26	10,3	10,3	22	21	6,0	3,73	9176	1,50	1560	99,1	1,03	0,68
promedio	10,35	10,35	24	22	6,00							0,87

ANEXO 9

PROTOTIPO DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

Figura A.9 Prototipo del Proyecto de Titulación

