



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR GRADIENTE DE
TEMPERATURA**

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

JUAN DIEGO GARCÍA RIVERA

diegogar14@yahoo.com

JORGE ANDRÉS LIVE SEVILLA

live_jorge@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MARCELO GERMAN ACOSTA ESTRADA

marcelo.acosta@epn.edu.ec

Quito, Junio 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, García Rivera Juan Diego y Live Sevilla Jorge Andrés, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros 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.

García Rivera Juan Diego

Live Sevilla Jorge Andrés

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por García Rivera Juan Diego y Live Sevilla Jorge Andrés, bajo mi supervisión.

Ing. Marcelo Acosta

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su paciencia y apoyo a lo largo de toda mi vida. Especialmente a mis padres por toda su entrega, dedicación y cuidado a sus hijos, para que siempre podamos seguir adelante, a pesar de las adversidades.

A mis compañeros Jorge, Marcelo, Silvia, Santiago, Mauricio, Daniel, Majo, Mario, Ximena, Cristian Andrés, Diego, Juan Carlos, Cristian, Lucho, José, Andrés, Sebastián, Sergio, Felipe, Ken, Cristina y Katy. Por su apoyo y amistad en aquellos momentos de duda, tristeza, y especialmente en los de alegría y diversión.

Un agradecimiento al Ing. Marcelo Acosta por su apoyo en este proyecto, y también por brindarnos su tiempo y conocimientos

Juan

DEDICATORIA

A mis abuelitos, Lupe y Fabián, Victoria y Antonio; por estar siempre pendientes, de mis buenas y malas decisiones, y ser ejemplo de admiración y respeto.

A mis padres, Ximena y Manolo por el apoyo y sacrificio brindado en todos estos años, para que pueda seguir adelante a pesar de las adversidades.

Juan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien supo encaminarme en el buen camino y darme una familia que ha sabido apoyarme en todos los momentos de mi vida, que mediante sus enseñanzas y ejemplo han sabido cultivar valores y principios en mí.

Una mención especial a Juan Diego por ser una persona muy responsable y gran amigo, a mis compañeros de universidad por el apoyo incondicional brindado.

Un reconocimiento para el Ing. Marcelo Acosta quien ha compartido sus conocimientos y ha sabido guiarnos en el proyecto de la mejor manera.

Jorge

DEDICATORIA

Este gran logro en mi vida está dedicado a mi padre, que en el poco tiempo que lo conocí cultivó en mí responsabilidad, dedicación y constancia que son los valores que me tienen hoy por hoy donde me encuentro.

A mi madre por su sacrificio diario, por brindarme el amor de padre y madre a la vez y siempre estar ahí pendiente de mí.

Jorge

CONTENIDO

RESUMEN	vi
PRESENTACIÓN	vii
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....	1
1.1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.2 TIPOS DE ENERGÍA.....	1
1.1.2.1 Energía eólica	1
1.1.2.2 Energía marina.....	2
1.2 VAPOR	4
1.2.1 TIPOS DE VAPOR	5
1.2.1.1 Vapor saturado.....	5
1.2.1.2 Vapor húmedo.....	5
1.2.1.3 Vapor sobrecalentado	6
1.2.1.4 Agua supercrítica	6
1.2.1.5 Vapor flash	6
1.3 CALDERA DE VAPOR.....	7
1.4 TURBINA DE VAPOR.....	9
1.5 GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA	10
1.5.1 GENERALIDADES	10
1.5.2 PARTES DE LA MÁQUINA	12
1.5.3 FUNCIONAMIENTO	13
1.6 TEORÍA DE GASES	13
1.6.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.6.2 CARACTERÍSTICAS O COMPORTAMIENTO.....	14
1.6.3 GASES COMBUSTIBLES	15

1.6.4	PODER CALORÍFICO	16
1.6.5	GRADIENTE TÉRMICO APLICADO A LA PLACA PELTIER.....	17
1.6.5.1	Efecto Joule	17
1.6.5.2	Efecto Seebeck	17
1.6.5.3	Efecto Peltier.....	18
1.6.6	TEMPERATURA DE LLAMA.....	19
1.6.7	TEMPERATURA DE IGNICIÓN	20
1.6.8	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)	20
1.6.8.1	Características	21
1.6.8.2	Almacenamiento	21
1.6.9	AMONÍACO (NH ₃)	22
1.7	CO ₂ DEFINICIÓN.....	23
1.7.1	PROPIEDADES.....	23
1.7.2	ALMACENAMIENTO Y EFECTOS FISIOLÓGICOS	24
1.8	ESTUDIO GENERAL DE LAS BATERÍAS.....	25
1.8.1	BATERÍA DE LITIO	25
1.8.1.1	Ventajas y desventajas	25
1.8.2	BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO.....	26
1.8.2.1	Métodos de carga	26
1.8.3	ALGORITMO DE CARGA	27
2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	28
2.1	DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO	28
2.2	COMPONENTES DEL MÓDULO	30
2.2.1	COMPONENTES ESTRUCTURALES	31
2.2.1.1	Tanque principal.....	31
2.2.1.2	Accesorios de tubería	31
2.2.1.3	Servoválvula.....	32

2.2.1.4	Manómetro	35
2.2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO Y ELÉCTRICO	35
2.2.2.1	Sensores	37
2.2.2.1.1	Sensor de temperatura	37
2.2.2.1.2	Sensor de flujo	38
2.2.2.1.3	Sensor de corriente.....	39
2.2.2.2	Microcontrolador	41
2.2.2.3	Relés y circuito ULN2003.....	44
2.2.2.4	Display LCD	45
2.2.2.5	Teclado matricial	47
2.2.2.6	Regulador de carga para batería de litio.	48
2.2.2.7	Circuito de comunicación serial.....	49
2.2.2.8	Puente H	49
2.2.2.9	Fuente de alimentación	51
2.2.2.10	Diseño de control de la Servoválvula	52
2.3	FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA TERMOELÉCTRICA.	53
2.4	FORMA DE OPERAR DE LA TURBINA ELÉCTRICA.....	54
2.5	ASISTENCIA DEL PANEL SOLAR.....	55
2.6	SELECCIÓN DEL CONVERTOR DC/DC	56
2.6.1	ANÁLISIS PREVIO	56
2.6.2	ANÁLISIS DE OPERACIÓN DEL CONVERTOR DC/DC.....	58
2.6.3	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL CONVERTOR	59
2.6.4	SENSOR DE VOLTAJE PARA LA SALIDA DEL CONVERTOR	64
2.7	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PARA EL CONVERTOR DC/DC ELEVADOR	65
2.8	CONTROLADOR DIGITAL	70
2.9	SELECCIÓN DE BATERÍAS.....	71

2.9.1	BATERÍA DE ÁCIDO PLOMO	71
3	DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS	74
3.1	GENERALIDADES.....	74
3.2	INICIALIZACIÓN	74
3.3	PROGRAMA PRINCIPAL MASTER 1	75
3.3.1	SUBROUTINA CONTROL VÁLVULA	78
3.3.2	SUBROUTINA EMERGENCIA.....	79
3.3.3	ENVIÓ Y RECEPCIÓN DE DATOS CON EL LABVIEW	81
3.4	PROGRAMA MASTER 2	81
3.4.1	CONTROLADOR PI DE CORRIENTE	83
3.4.2	CONTROLADOR PI DE VOLTAJE.....	84
3.5	DISEÑO HMI EN LABVIEW	85
4	PRUEBAS Y RESULTADOS	91
4.1	PRUEBAS DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA.....	91
4.2	PRUEBAS DE EXPANSIÓN DEL GAS.....	92
4.2.1	PRUEBAS CON CO ₂	93
4.2.2	PRUEBAS CON AIRE	94
4.2.3	PRUEBAS CON VAPOR DE AGUA	94
4.3	PRUEBAS DE CALENTAMIENTO DEL CALDERO	96
4.4	PRUEBAS DE COMBUSTIÓN ENTRE GLP Y NH ₃	99
4.5	REQUISITOS Y RESULTADOS FINALES	101
4.6	PRUEBAS DE SENSORES Y ACONDICIONADORES.....	102
4.6.1	RESPUESTA DEL SENSOR DE FLUJO.....	102
4.6.2	PRUEBAS DE LA TURBINA	104
4.6.3	RESPUESTA DEL SENSOR DE CORRIENTE	104
4.6.4	PRUEBAS DEL CIRCUITO ELEVADOR.....	105
4.6.4.1	Conducción continúa.....	106

4.6.4.2	Conmutaciones del transistor.....	106
4.7	SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PI.....	108
4.7.1	CONTROLADOR PI DE VOLTAJE.....	108
4.7.2	CONTROLADOR PI DE CORRIENTE	109
4.7.3	GENERACIÓN DE LAS SEÑALES DE CONTROL	110
4.8	PRUEBAS DE CARGA DE LA BATERÍA DE PLOMO.....	110
4.9	POTENCIA Y RENDIMIENTO DEL CONVERTOR ELEVADOR.....	112
4.10	POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LA CALDERA.....	113
4.11	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	116
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
5.1	CONCLUSIONES	118
5.2	RECOMENDACIONES	120

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

RESUMEN

Las energías que se utiliza convencionalmente, provienen de recursos no renovables aprovechando los combustibles fósiles del planeta, y se agotan conforme pasan los años.

Por otra parte se cuenta con las energías renovables, energías limpias que contribuyen al cuidado del medio ambiente, y a su vez constituyen una fuente alternativa, ya que son virtualmente inagotables. Actualmente se trata de no depender del petróleo, lo que la mayoría de las veces causa conflictos políticos y sin olvidar ambientales. Por esta razón en los últimos años se ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas para la generación de energías.

Es así como en este proyecto se presenta el diseño y la construcción de un prototipo de generación de energía, utilizando un método relativamente nuevo conocido como gradiente de temperatura para poder comprobar la verdadera funcionalidad de este método, a través de una celda termoeléctrica

Después de realizar varias pruebas, se pudo concluir que la potencia de la celda Peltier por sí sola, no es de una gran magnitud. Lo que llevo a añadir otros elementos para aprovechar de mejor manera este método. Así el prototipo completo consta de un caldero, una turbina, panel solar, y almacenadores de energía. Elementos adicionales que constituyen en sí todo un sistema de generación de energía.

Adicionalmente se genera un combustible gaseoso, específicamente hablando el amoníaco (NH_3). Con el cual se procederá a realizar pruebas para comprobar su poder calorífico.

Para aprovechar la energía solar, eólica, y termoeléctrica se utiliza un regulador de carga para baterías que permite administrar toda esta potencia en un solo elemento como es la batería de plomo ácido.

Todo esto con el propósito de desarrollar una nueva forma de generación de energía, aprovechando los recursos renovables, y obviamente haciendo que el prototipo sea amigable con el ambiente.

PRESENTACIÓN

El proyecto presenta el diseño y construcción de un prototipo de generación de energía a partir del gradiente de temperatura, el que se describe en cinco capítulos.

El capítulo uno contiene una breve descripción de los métodos de generación de energía que constituyen un aporte para desarrollar este prototipo, y los posibles dispositivos a utilizarse así como el control de los mismos.

El capítulo dos contiene el diseño mecánico y electrónico del prototipo, donde se ha seleccionado los elementos que permitirán generar un combustible gaseoso. Todo esto a partir del funcionamiento de un caldero que proporciona un flujo de vapor, el mismo que mueve a una turbina eléctrica. Para ello es necesario también la intervención de un cargador de baterías.

En el capítulo tres se desarrolla los programas para los microcontroladores, donde el primero permite visualizar el trabajo del caldero, el cual se vería reflejado directamente en el voltaje que pueda generar la turbina. El segundo microcontrolador en cambio está programado con el algoritmo de carga de baterías de plomo; actividad que realiza de forma automática.

El capítulo cuatro describe las pruebas y resultados obtenidos de los diferentes elementos, así como del prototipo en general. Incluye los problemas encontrados con su respectiva solución.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones de haber experimentado con el prototipo de generación de energía, analizando las virtudes y defectos de los elementos que forman parte del sistema.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS

1.1.1 INTRODUCCIÓN

Una fuente de energía alternativa es aquella cuyo propósito es substituir a las fuentes energéticas convencionales, ya sea por su efecto no contaminante, o por su posibilidad de renovación, como son las fuentes naturales virtualmente inagotables.

Las energías convencionales que provienen por ejemplo del petróleo, de la combustión de carbón, entre otras, llevan consigo el problema de la contaminación, que incrementa los gases de invernadero, afectando a la capa de ozono, por eso las energías alternativas ofrecen soluciones amigables al ambiente.

Otra causa para su desarrollo es que se tiene un modelo económico, el cual exige una demanda creciente de energía. Por tal razón la importancia de descubrir y desarrollar nuevos métodos de obtención de energía.

Greenpeace, una ONG ambientalista, mediante estudios realizados, asegura que se podría sacar mucho más provecho a este nuevo tipo de energías, si existiera voluntad política, y si se invirtiera más en este campo, practicando una eficiencia energética.

1.1.2 TIPOS DE ENERGÍA

A continuación se detalla los medios y formas de generar energía, que de una forma indirecta contribuyen al desarrollo de este proyecto.

1.1.2.1 Energía eólica

Esta energía es obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante el uso de la

energía cinética generada por las corrientes de aire, a través de turbinas eólicas. Las cuales transforman tal energía en energía eléctrica, por medio de aspas que hacen girar un eje central, conectado a través de una serie de engranajes hacia un generador eléctrico. Para el desarrollo de este proyecto, se utiliza básicamente el mismo principio para la generación, aprovechando así tal energía para almacenar en baterías.

1.1.2.2 Energía marina

La energía marina se aprovecha de varias formas ya sea por las olas del mar (undimotriz), las mareas (mareomotriz), la salinidad y por diferencia de temperatura del océano (maremotérmica). Esta última aporta con los fundamentos del gradiente térmico, en base a la siguiente explicación.

En la tierra la radiación solar se queda casi en toda en la superficie, mientras que en el agua del mar la radiación solar penetra, alcanzando generalmente una profundidad promedio de cien metros, pero que puede propagarse hasta los mil metros.

Conforme se profundiza en el mar la intensidad de la radiación decrece, por lo que la temperatura disminuye, así que la distribución vertical de temperaturas en el océano consiste en dos capas separada por una intermedia.

Una capa superior con una temperatura casi uniforme, que se encuentra entre unos 20 a 200 metros de profundidad, todo dependiendo de las condiciones locales.

Debajo de esta franja existe una zona limítrofe denominada termoclina, que algunas veces se caracteriza por un descenso brusco de la temperatura, zona comprendida entre los 200 y 400 metros de profundidad.

La temperatura de la capa inferior decrece hasta alcanzar los 4°C a 1000 metros y a 2°C a 5000 metros. Una explicación más clara del cambio de temperatura se puede apreciar en la figura 1.1.

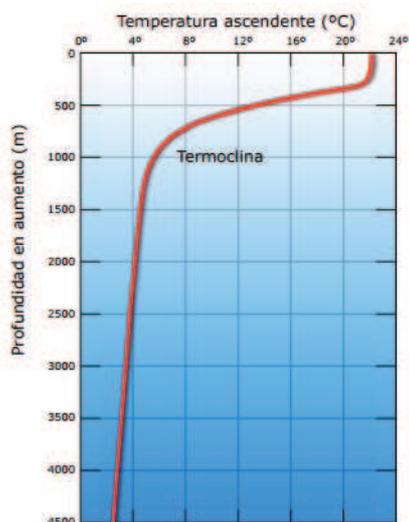


Figura 1.1 Cambios de temperatura en el océano (1)

La diferencia de temperaturas entre la capa superior (caliente) y la capa inferior (fría) se encuentra en el intervalo de 25°C a 10°C respectivamente, hallándose valores más elevados en las aguas ecuatoriales. Este gradiente de temperatura oceánico supone una importante fuente de energía, que puede ser aprovechada para generar electricidad, y se podría trabajar de forma idéntica a una central térmica(1).

Se debe escoger un fluido de trabajo cuya presión de vapor sea bastante grande a esas temperaturas; por ejemplo, el propano (C_3H_8) tiene una presión de vapor de alrededor de 5,5 atm a 5°C y un valor aproximado de 9,5 atm a 25°C; el amoníaco tiene a las temperaturas citadas, presiones de vapor de 5,2 atm y 10,3 atm respectivamente; existen otros fluidos con características térmicas similares.

El proceso a seguir empieza con el agua de la superficie del océano que se succiona hacia un intercambiador de calor, donde se evapora el fluido de trabajo, así el vapor resultante pasa por una turbina que acciona un generador eléctrico y también penetra en un condensador.

El agua fría que se bombea de las profundidades del océano se emplea para enfriar el fluido de trabajo, que al condensarse y volver al estado líquido, se bombea hacia al evaporador con lo que se inicia así un nuevo ciclo, tal y como se puede apreciar en la figura 1.2.

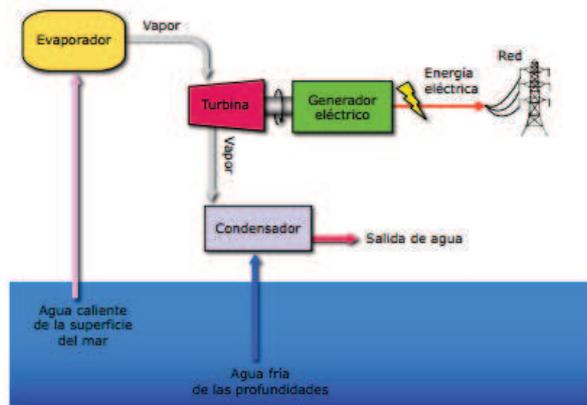


Figura 1.2 Esquema de una central maremotérmica (1)

Para hablar acerca del rendimiento del proceso mencionado, es necesario citar el Principio de Carnot, que se da cuando una máquina trabaja absorbiendo una cantidad de calor Q_1 de la fuente de alta temperatura, y cede un calor Q_2 a la de baja temperatura produciendo trabajo, lo cual es representado con la fórmula 1.1

$$n = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad 1.1$$

En la práctica el rendimiento de este proceso resulta ser bajo, no sólo porque los gradientes térmicos suelen ser inferiores si se considera como temperaturas de trabajo $T_1 = 30^\circ\text{C}$ y $T_2 = 4^\circ\text{C}$, sino porque hay que incluir los rendimientos de los distintos componentes de la instalación como son evaporadores, condensadores, bombas, turbinas, generadores, etc. (2)

1.2 VAPOR

El vapor es el estado en el que se encuentra un gas cuando se halla a un nivel inferior al de su punto crítico. Dicho punto se da cuando las densidades del líquido y del vapor son iguales, cuando se tiene un elemento que alcance los estados mencionados. Las condiciones hacen referencia básicamente a presión y temperatura.

En el caso más común del agua por ejemplo, si esta es calentada más sobre su punto de ebullición se convierte en vapor. Si un gas se encuentra por debajo del punto crítico significa que es susceptible de condensación a través de una

reducción de su temperatura, si se mantiene la presión constante; o por presurización con temperatura constante. En la figura 1.3 se puede apreciar de mejor manera las condiciones para alcanzar los tipos de vapor, así como del estado sólido y líquido del agua.

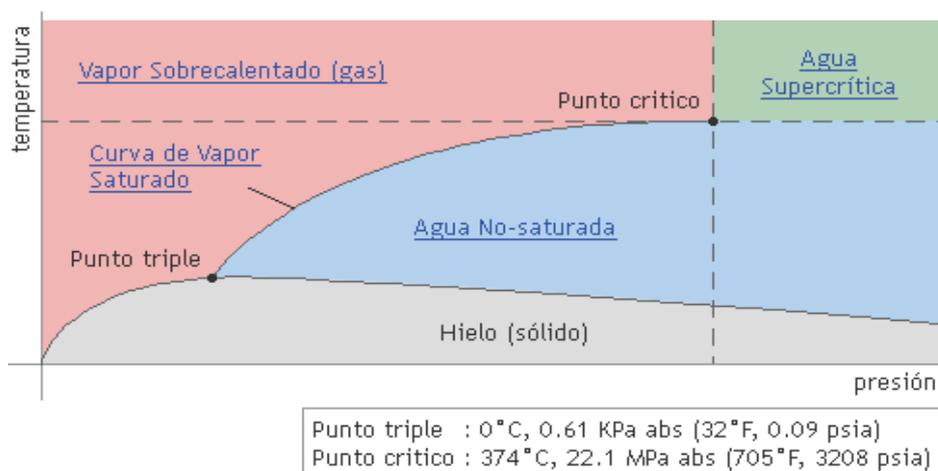


Figura 1.3 Relación Presión – Temperatura del Agua y Vapor (22)

1.2.1 TIPOS DE VAPOR

1.2.1.1 Vapor saturado

Este vapor se presenta a presiones y temperaturas donde el gas y el líquido pueden coexistir juntos, o por decirlo de otra forma cuando la tasa de vaporización del agua es igual al rango de condensación. Su mayor aplicación es como fuente de calor, pero lamentablemente siempre existe condensado que es necesario eliminar.

1.2.1.2 Vapor húmedo

Cuando el vapor saturado es liberado a la atmosfera desde una tubería, parte se condensa al transferir su calor al aire circundante; formándose nubes de vapor blanco con pequeñas gotas de agua, a este vapor se le conoce como vapor húmedo. Es por eso que se hace imprescindible la separación del condensado en la línea de vapor. Estas gotas también provienen de las partículas de agua no vaporizadas y son arrastradas en las líneas de distribución de vapor.

1.2.1.3 Vapor sobrecalentado

Este vapor es creado por medio del calentamiento del vapor saturado, produciendo un vapor con mayor temperatura que la de saturación a la misma presión. Entre sus aplicaciones esta la impulsión de las turbinas, ya que mantiene la sequedad del vapor en estos equipos, y cuyo rendimiento no se ve afectado por la presencia de condensado.

1.2.1.4 Agua supercrítica

Es el agua que excede su punto crítico, el cual se encuentra a 218 atm, 374 °C. El agua que se encuentre a una presión y temperatura mayor que la de su punto crítico es un estado indistinguible en el cual no es líquido o gas, se utiliza para impulsar turbinas en plantas de generación de energía que demandan mayor eficiencia.

1.2.1.5 Vapor flash

Cuando se tiene agua en condiciones de saturación y presurizada, al liberarla a una presión baja, parte del condensado se evapora, a este proceso se lo llama vapor flash. En la figura 1.4 se muestra un sistema ideal para generación y distribución de vapor

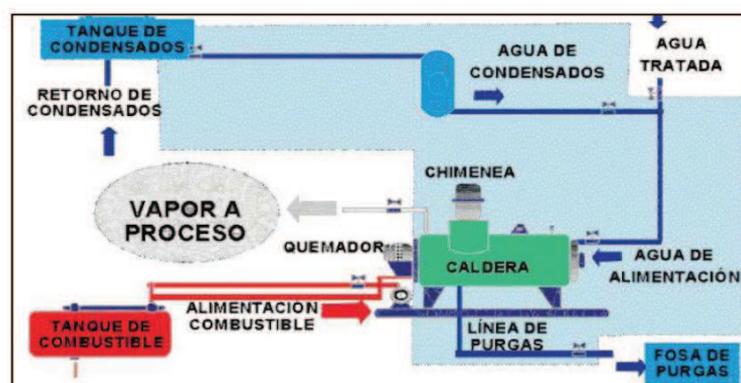


Figura 1.4 Sistema de generación y distribución del vapor saturado (23)

1.3 CALDERA DE VAPOR

Un caldero de vapor es una estructura donde se almacena agua la cual va a ser sometida a mayor temperatura para conseguir su vaporización. Se necesita una gran cantidad de energía para transformar el agua en vapor, en la figura 1.5 se observa la automatización de una caldera industrial.

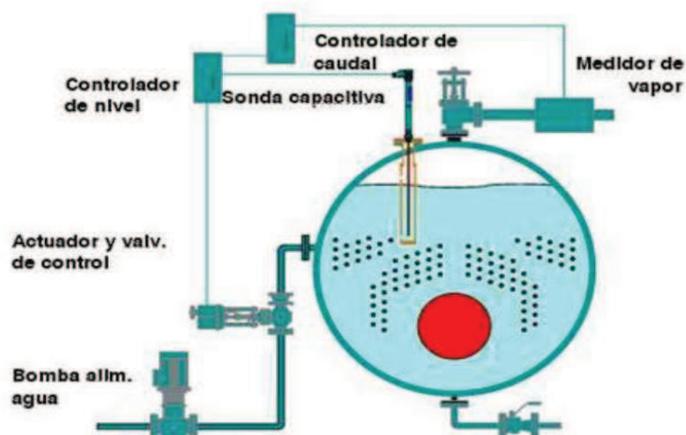


Figura 1.5 Sistema automático de una caldera (24)

El principio de funcionamiento de la caldera es sencillo, el agua es calentada hasta su punto de ebullición al cual genera vapor, a medida que se genera este, el nivel de agua disminuye por tal razón es necesario tener una fuente de alimentación de agua externa para mantener los niveles deseados. De ahí la importancia de tener un control de nivel en los calderos, ya que si el nivel de agua es muy bajo esto provoca que la superficie de calentamiento quede expuesta y la caldera se sobrecaliente. Si el nivel de agua es muy alto provoca que el vapor inyectado a la salida sea con agua.

De ahí la necesidad en los procesos industriales de implementar un control de nivel. Cabe mencionar que en el interior de la caldera en el momento de la generación de vapor el agua se encuentra agitada y burbujeando consiguiendo un mayor nivel con la misma cantidad de agua. Para tener información del nivel del agua en la caldera se colocan sondas las cuales deben estar situadas por debajo de la capa de burbujas para poder visualizar en el cristal externo el nivel de líquido, sin turbulencias ni burbujas. Las sondas de nivel ubicadas en el interior de

la caldera deben estar colocadas dentro de protectores.

Se debe tener en cuenta que en el proceso de llenado de la caldera (cuando el nivel ha bajado de los límites requeridos), si se introduce agua fría en la que se encuentra en punto de ebullición, se pierde la tasa de vapor y será necesario que el agua vuelva a su punto de ebullición. Esta es la desventaja que produce el control ON/OFF aplicado al llenado de la caldera. Para resolver el problema, una opción es trabajar con agua de alimentación precalentada, lo cual ayuda a alcanzar el punto de ebullición del agua en menos tiempo.

Pero si es indispensable la producción de vapor constante, la mejor opción es un control modulado, donde se tiene agua precalentada que ingresa al caldero a través de goteo, con lo cual no existen cambios drásticos en la temperatura y se puede hablar de generación de vapor continuo.

Dentro de los calderos lo óptimo es buscar la mayor presión posible. Cuando las presiones son bajas, las burbujas de vapor son muy grandes y al chocar contra las paredes del caldero produce condensación del vapor, es muy probable que el vapor que se obtiene sea de mala calidad ya que se tiene vapor con grandes cantidades de agua. Si se requiere trabajar a baja presión, lo más recomendable es llegar a los límites permitidos de presión por parte del caldero y a su salida colocar un regulador de presión y trabajar según las necesidades. Como valores referenciales se tiene que a 3,5 bares de presión, inestabilidad, mientras que a 8 bares una mejor condición de trabajo.

En el campo industrial, la generación de vapor es variable en el tiempo, debido a la demanda cambiante que existe, por tal razón el sistema de control de la caldera debe estar en condiciones de manejar esta situación. Cuando el proceso exige un aumento de demanda, lo que significa mayor apertura de la válvula de paso del vapor, ésta no puede actuar inmediatamente, por lo tanto existe un momento de transición donde la demanda no puede ser satisfecha y esto se ve reflejado en la baja de presión en el caldero. Lo que sucede al aumentar la demanda es que el nivel de agua sube rápidamente debido al proceso de dilatación que es provocado por la acumulación de burbujas de vapor en la superficie. A su vez, el agua que se encuentra al tope del caldero se vaporiza y provoca turbulencias. Cuando la

demanda disminuye las condiciones regresan a la normalidad bajando nuevamente el nivel de agua.

Al momento de disminuir la presión debido al aumento de demanda se produce súbitamente vapor (flash), inmediatamente después de abrir la válvula de salida. Este es un fenómeno normal que ocurre ante cambio de demanda, por tal razón es importante el incremento gradual de demanda de vapor. Cabe decir que aunque la capacidad del caldero sea mayor al aumento de la demanda necesaria, debe incrementarse lentamente.

Cuando la demanda de vapor sobrepasa la capacidad de generación, aunque el flujo sea por corto tiempo, ocurre el efecto de “golpe de ariete” y baja el nivel de agua. El sensor de nivel se activará, sonando una alarma en una caldera automatizada. Por esta razón es importante trabajar dentro de los rangos de operación de la caldera y a su vez instalar sensores de nivel precisos y fiables. Cuando la demanda es muy alta la presión en el sistema de vapor decae y el nivel de burbujas en el interior de la cámara aumenta lo que origina el vapor flash y en el intento de la caldera de suministrar el vapor necesario las burbujas de vapor ingresan a la toma de salida con lo cual se tiene un vapor de baja calidad y el nivel de agua se reduce considerablemente.

Se debe considerar los sólidos disueltos en el agua, estos al momento de la evaporación no se transforman en vapor sino que se almacenan como residuos, por tal razón es necesario un control en la caldera de los sólidos disueltos. El exceso de estos sólidos provoca que la capa superficial de burbujas se vuelva espumosa y más inestable de lo normal, ya que los sólidos provocan que las burbujas demoren más tiempo en reventar. Dando lugar a una capa de burbujas más espesas reduciendo el espacio físico para la generación de vapor y se deja expuesto al sistema al arrastre de agua.

1.4 TURBINA DE VAPOR

Es una pieza mecánica que se encarga de transformar la energía de un flujo en este caso vapor en energía mecánica. Este tipo de turbinas son usadas en el ciclo Rankine, se encargan de generar vapor a través de una caldera donde se

presentan elevadas temperaturas y presiones, posteriormente se conecta un generador que aprovecha la energía mecánica y se produce energía eléctrica. Existen diferentes tipos de turbinas de vapor entre ellas condensadoras, no condensadoras, de recalentamiento, extracción, etc.

Las turbina de no condensación se usa en generación termoeléctrica, y es aplicable en procesos de vapor donde la salida es controlada por una válvula reguladora con el objeto de satisfacer las necesidades de presión con el vapor del proceso.

Industrialmente el vapor generado por la caldera es ingresado hacia la turbina mediante toberas las cuales hacen que el flujo gane velocidad, estas toberas forman parte de la estructura de la carcasa. La carcasa es una cubierta envolvente que actúa como barrera de presión y minimiza las pérdidas de vapor, al mismo tiempo conduce el flujo de energía de manera eficiente. Cuando el vapor choca con la turbina pierde presión y temperatura, por tal razón la potencia en el escape es menor.

La turbina de vapor que se usa en una central termoeléctrica es la unión de varios componentes, turbinas que trabajan en conjunto para aprovechar mejor el uso de la presión de vapor. La implementación de una turbina de vapor requiere bastante tiempo en lo que se refiere a su diseño, sin olvidar también lo referente a la inversión, que la mayoría de las veces es grande. Generalmente forma parte de los sistemas de potencia donde la demanda de energía es realmente alta.

1.5 GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

1.5.1 GENERALIDADES

Los generadores de corriente alterna son máquinas que producen energía eléctrica por la transformación de la energía mecánica. Y basa su funcionamiento en el principio de inducción magnética, que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático.

Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. El nombre de alterna es debido a que el valor de la corriente inducida cambia de positivo a negativo, como lo muestra la figura 1.6. El generador más simple consta de una espira rectangular girando dentro del mencionado campo uniforme.

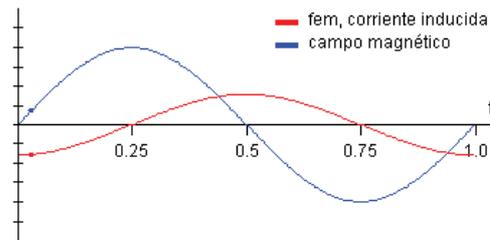


Figura 1.6 Forma de onda de la corriente (21)

Si la espira está situada de forma que el plano que describe es perpendicular a la dirección de campo, digamos su posición inicial, la f.e.m. inducida es cero. Pero al momento en que el plano de la espira se encuentra paralelamente (giro de 90°) al campo, la f.e.m. inducida será máxima. La corriente inducida fluye por el cable en un sentido durante media vuelta, y cambia de sentido para completar el ciclo, tal y como se puede apreciar en la gráfica 1.7. (3)

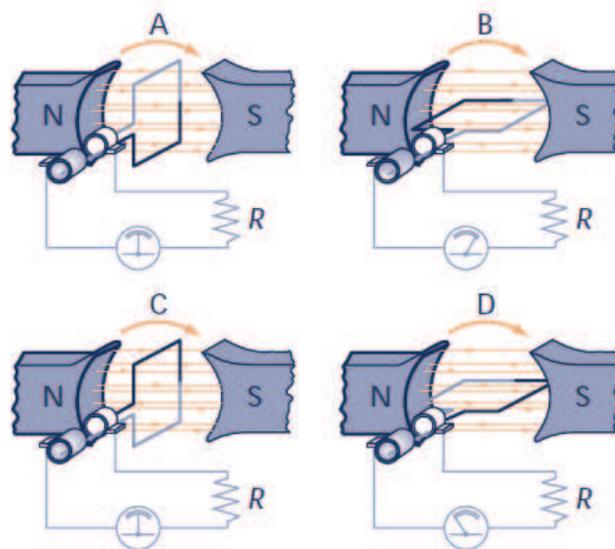


Figura 1.7 Ciclo de una espira en un campo magnético (3)

1.5.2 PARTES DE LA MÁQUINA

Toda máquina eléctrica sea de C.C como de C.A tienen una constitución muy similar. A continuación se describe las partes más importantes:

ESTATOR

Es la parte fija de una máquina rotativa, también conocido como inductor, que tiene en su interior la parte móvil o rotor. En las máquinas eléctricas el estator está compuesto ya sea por un imán natural (máquinas de corriente continua), o por una o varias bobinas montadas sobre un núcleo metálico, que genera el campo magnético (caso de motores de alterna).

ROTOR

El inducido, también como se lo conoce, es la parte rotativa, donde se produce la transformación de energía por inducción magnética. Consta de un cilindro con muchas espiras, donde se induce la f.e.m. Las bobinas se conectan a unos bornes en el exterior de la carcasa, donde se entrega la corriente.

COLECTOR

Un colector es usado para transmitir continuamente energía eléctrica. En un conjunto de láminas denominadas delgas, aisladas entre si y conectadas a las secciones del devanado del inducido. Sobre las delgas se deslizan las escobillas. Al aumentar el número de delgas en el caso de los generadores de corriente continua la tensión obtenida tiene menor ondulación, lo que aproxima a tener una tensión continua. Cuando se trata de generadores de continua, la forma de recoger la f.e.m. inducida utiliza dos medios anillos aislados entre sí, y de forma circular.

En las máquinas de alterna los extremos de la espira están conectados a 2 anillos metálicos (colectores) que recogen la f.e.m, estableciendo contacto en todo momento. Mientras la espira gira en cada uno de estos colectores la corriente inducida será en ciertos instantes de tiempo positiva o negativa, alternativamente.

ESCOBILLAS

Se fabrican de carbón o grafito, y se hallan alojadas en un porta escobillas, y continuamente están rozando contra el colector.

1.5.3 FUNCIONAMIENTO

Cuando la espira o conjunto de espiras ubicadas en el rotor giran, el flujo del campo magnético cambia con el tiempo produciendo la f.e.m., y las conexiones al circuito externo se hacen mediante las escobillas ya mencionadas.

Los extremos de la espira están conectados a dos semianillos apoyados sobre dos escobillas. A cada media vuelta de la espira, estos semianillos cambian de escobilla y así la corriente del circuito externo siempre circula en el mismo sentido.

Los generadores de corriente continua poseen varias espiras y la razón es porque las delgas cuando entran en acción cortan el ciclo de la corriente a los 180° . Así la f.e.m. producida será máxima en cualquier instante, como lo muestra la figura 1.8, en el cual la tensión obtenida es de menor ondulación acercándose más a la tensión continua que se desea obtener. Cabe recalcar que mientras más espiras se dispongan, se produce una mayor tensión en los extremos. (4)

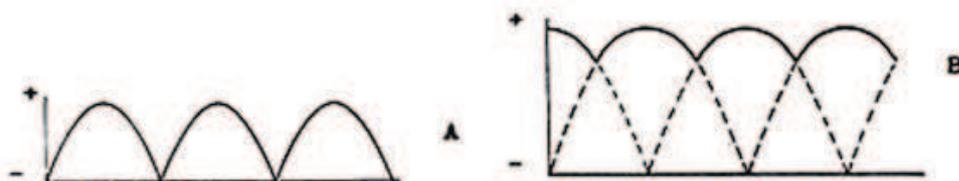


Figura 1.8 Forma de onda de un generador de cc (20)

1.6 TEORÍA DE GASES

1.6.1 INTRODUCCIÓN

El gas es uno de los tres estados de la materia. Se denomina así al estado de agregación en el que las sustancias no tienen forma ni volumen propio, adoptando el de los recipientes que los contienen. También es necesario mencionar los

denominados cambios de fase, donde el ejemplo más usual es el paso del agua en sus estados sólido, líquido y gaseoso.

Usualmente se llama "fusión" al paso de un material de fase sólida a líquida (y "solidificación" al paso contrario), y "vaporización" al paso de fase líquida a la gaseosa (y "licuefacción" al paso contrario). A presiones relativamente bajas es posible pasar directamente un cuerpo de fase sólida a la gaseosa, sin pasar por la fase líquida, este proceso es llamado "sublimación".

1.6.2 CARACTERÍSTICAS O COMPORTAMIENTO

EXPANSIÓN

Cuando se calienta una muestra de gas, aumenta la velocidad promedio de sus partículas, las cuales se mueven en un espacio mayor, dando como resultado que el gas aumente su volumen, como se puede apreciar en la figura 1.9.

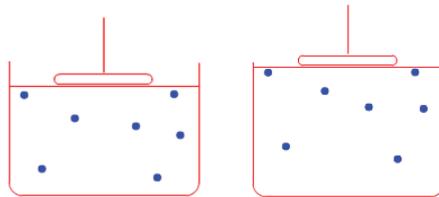


Figura 1.9 Elevar la temperatura de un gas, incrementar su volumen (11)

COMPRESIÓN

Considerando el tamaño de las partículas de un gas, existe una gran distancia, o espacio vacío entre ellas, lo que hace posible su compresión o compresibilidad. Es decir, la reducción o disminución de los espacios vacíos entre sus moléculas; lo cual se logra aumentando la presión o disminuyendo la temperatura. Una forma de compresión se aprecia en la figura 1.10

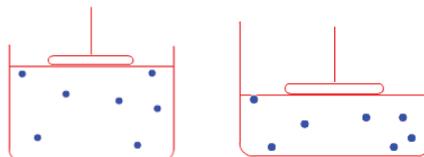


Figura 1.10 Comprimir un gas, deriva ocupar un menor volumen (11)

1.6.3 GASES COMBUSTIBLES

Combustión es una reacción química de oxidación, donde existe un elemento químico (combustible) que se combina con otro (comburente), generalmente oxígeno. Donde comúnmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de luz y calor, manifestándose visualmente como una llama, produciendo energía térmica. Su manejo exige mucho cuidado, cualquier falla puede provocar una explosión, poniendo en peligro la vida de las personas que se encuentren a su alrededor. Los gases más utilizados son el gas licuado del petróleo (GLP) y el gas natural (metano)

El gas natural se obtiene en yacimientos subterráneos o submarinos, son producto de la descomposición de la materia orgánica. La presión causada por el peso sobre éstas capas, más el calor de la tierra, transformaron lentamente el material orgánico en petróleo crudo y en gas natural. De tal forma que este gas se queda atrapado debajo de rocas solidas evitando que el gas fluya, formándose un yacimiento. La composición del gas incluye hidrocarburos y se puede apreciar en la tabla 1.1

Hidrocarburo	Composición Química	Rango(en %)
Metano	CH ₄	91-95
Etano	C ₂ H ₆	2-6
Dióxido de Carbono	CO ₂	0-2
Propano	C ₃ H ₈	0-2
Nitrógeno	N	0-1

Tabla 1.1 Composición del gas natural (5)

Los gases butano y propano, licuados del petróleo y el gas natural, son los combustibles que menor cantidad de residuos generan, con la combustión no emiten ningún tipo de gases tóxicos. Tiene la ventaja de poseer un poder calorífico muy elevado, y su combustión es muy eficiente debido a que se mezcla casi instantáneamente con el aire en las cámaras de combustión.

Una desventaja del gas es que ocupa un gran espacio en comparación a un líquido o que un sólido (a presión atmosférica, ocupa cerca de 1000 veces más

espacio que la misma masa de gasolina), por lo que para almacenarlo es necesario comprimirlo a altas presiones, lo que lo hace más peligroso. O licuado a temperaturas bajísimas, lo cual supone gastos extras.

1.6.4 PODER CALORÍFICO

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa. El valor del poder calorífico varía dependiendo del tipo de gas y de los componentes que se esté manejando. La magnitud puede variar según como se mida y para ello se puede utilizar la expresión del poder calorífico superior (PCS) o inferior (PCI).

EL PCS, es la cantidad de calor que se libera al realizar la combustión de una unidad de volumen de gas cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado. El vapor de agua proviene de la humedad propia del combustible y del agua formada por la combustión del hidrogeno del combustible.

El PCI, es igual que el anterior pero sin tener en cuenta el calor del vapor de agua producida en la condensación, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. También es llamado poder calórico neto, ya que al poder calorífico superior se resta el calor latente de condensación. Las unidades de poder calorífico son kilocalorías/kg, kilojulios/kg. (25). En la tabla 1.2 se presenta un resumen con los poderes caloríficos de diferentes gases:

Elemento	Kcal/Kg
Gas natural	12800
Propano	11250 a 16500
Butano	10867
Gasolina	11000
Hidrogeno	120011
Amoníaco	327
GLP	11300

Tabla 1.2 Poderes caloríficos de algunos elementos (26)

1.6.5 GRADIENTE TÉRMICO APLICADO A LA PLACA PELTIER

Para entender el funcionamiento de la placa Peltier, es necesario conocer los conceptos generales tanto del efecto Joule, Seebeck y Peltier.

1.6.5.1 Efecto Joule

Este efecto se produce cuando circula por un conductor corriente eléctrica, la materia ofrece cierta resistencia al movimiento de los electrones, los cuales ceden energía cinética al entorno producto de sucesivos choques. Esta energía se disipa al medio exterior en forma de calor. El efecto joule se lo define con fórmula 1.2.

$$Q = I^2 R t \quad 1.2$$

Donde Q representa la energía calorífica (Joule) producida por la corriente I (Amperios) que circula por el conductor, el cual presenta una resistencia R (ohmios) y t es el tiempo en segundos.

1.6.5.2 Efecto Seebeck

En un circuito formado por dos metales distintos homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, T y $T + \Delta T$. Se establece un flujo de corriente eléctrica, o bien, si se abre el circuito una diferencial de potencial (E_{AB}), la cual depende de los metales utilizados en la unión y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones. En la figura 1.11 se puede observar lo mencionado.

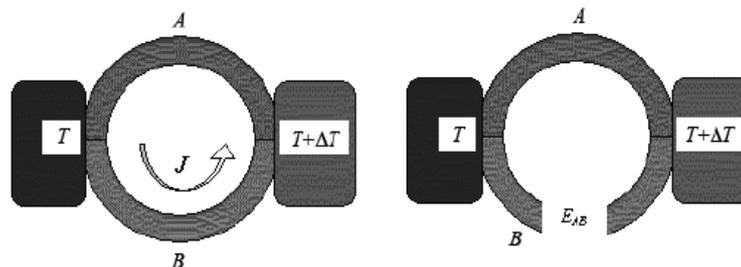


Figura 1.11 Efecto Seebeck (27)

La relación entre E_{AB} y la diferencia de temperaturas entre las uniones ΔT , definen el coeficiente de Seebeck, y se lo determina por medio de la ecuación 1.3.

$$\alpha_{AB} = \frac{\partial E_{AB}}{\partial T} = \alpha_A - \alpha_B \quad 1.3$$

Donde α_A y α_B son respectivamente las potencias termoeléctricas absolutas de A y B, y son características de cada metal dependiendo de su material. El coeficiente α_{AB} no es constante, depende fundamentalmente de la temperatura.

1.6.5.3 Efecto Peltier

Al hacer circular corriente eléctrica a través de la unión de dos conductores de diferente material en una determinada dirección produce enfriamiento y al hacerla pasar en dirección contraria produce calentamiento en la unión. La potencia calorífica generada o absorbida es proporcional a la corriente eléctrica y también está en función de la temperatura de la unión, que se expresa como:

$$Q_p = \pi I \quad 1.4$$

Dónde:

Q_p : Potencia calorífica generada o absorbida debido al efecto Peltier

π : Coeficiente de Peltier

I : Intensidad de corriente que pasa a través de la unión

Para obtener el coeficiente de Peltier, nos regimos por la primera ley de Kelvin

$$\pi = \alpha T \quad 1.5$$

Dónde:

α : Coeficiente de Seebeck de dos conductores distintos

T : Temperatura absoluta de la unión.

Lo que se propone en el proyecto es trabajar con la celda Peltier para lo cual se requiere una diferencia de temperatura y así generar voltaje. El gradiente se obtendrá por un lado con el calor del caldero y por el otro se realizará pruebas con el medio ambiente y si es necesario se colocará algún otro elemento de menor temperatura, en las caras de la placa termoeléctrica. Su funcionamiento se aprecia en la figura 1.12.



Figura 1.12 Principio de Funcionamiento celda Peltier (28)

1.6.6 TEMPERATURA DE LLAMA

La llama es el medio donde se desarrolla las reacciones de combustión, aquí el combustible y el comburente se encuentran mezclados y en reacción. También se lo considera como un cuerpo visible y luminoso. Para que la llama comience y quede estable, se debe coordinar la velocidad de escape de los gases y de la propagación de la llama con la entrada de comburente (aire) y combustible. Para que tenga lugar la combustión es necesario que se alcance la temperatura de ignición, que es aquella a la cual la mezcla combustible/comburente no se extingue, aunque retiremos la llama de encendido. (6)

El ejemplo para visualizar la llama es con un mechero de bunsen, tal y como lo muestra la figura 1.13, donde se distingue dos zonas. Una interior que tiene una temperatura de 200 a 500 °C, y en la parte superior transcurre la combustión. La temperatura máxima de llama es de 1500 °C y se alcanza en la zona casi incolora en la cual la combustión del gas se realiza con mayor intensidad debido a la gran afluencia de aire. (7)

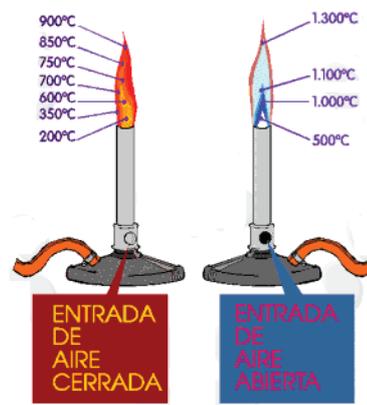


Figura 1.13 Temperatura de llama del mechero de bunsen (7)

1.6.7 TEMPERATURA DE IGNICIÓN

La temperatura de ignición es la mínima temperatura en grados centígrados a la cual una sustancia inflamable emite los suficientes vapores en el aire, para que comiencen a arder. En los procesos de combustión se debe alcanzar esta temperatura para poder comenzar dicho proceso. Es la temperatura a la cual el material se enciende así mismo sin fuentes obvias de encendido, tales como chispas o llamas. En la tabla 1.3 se presenta un cuadro resumen con diferentes puntos de ignición (9).

Elemento	Temperatura de ignición [°C]
Propano en aire	493-604
Butano en aire	482-538
Acetileno en aire	305
Metano en aire	482-632
Hidrogeno en aire	500
Monóxido de carbón	609
Amoniaco	651
Gasolina(110 octanos)	500
Gas natural	482-632
Madrera blanda	320-350
Madera dura	313-393

Tabla 1.3 Temperaturas de ignición (8) (10)

1.6.8 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Es una mezcla de gases condensables, en la práctica se puede decir que contiene butano y propano o sus mezclas. Las fuentes de obtención de este combustible son las refinerías y plantas de proceso de gas natural. Además constituye un combustible alternativo a la gasolina y diésel.

Es un hidrocarburo derivado del petróleo, el GLP se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos (licuefacción), necesiándose 273 lt de vapor para obtener un litro de gas líquido. (12).

El GLP se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales, pero sus elementos son fáciles de condensar, de ahí su nombre. Para facilitar su almacenamiento y transporte se licua y se maneja a baja presión para mantenerlo en ese estado. El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido, en cuyo estado se transporta y maneja desde las refinерías a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea en tanques o recipientes portátiles, en donde el gas sale en forma de vapor para utilizarse en las calderas y aparatos domésticos.

1.6.8.1 Características

- Se encuentra como gas a $T=20^{\circ}\text{C}$ y $P=1\text{ atm}$.
- Se tiene 60-65% de propano, 30-35% butano, y el resto son impurezas.
- Es muy inflamable, se enciende violentamente con la menor chispa.
- Puede provocar asfixia.
- Es más pesado que el aire, por eso en caso de fugas tiende a depositarse en zonas bajas.
- El gas comercial, mezcla de propano/butano forma parte de las energías con más alto poder calorífico y que puede alcanzar una temperatura de llama de 1900°C en el aire y de 2800°C en oxígeno.

1.6.8.2 Almacenamiento

El cilindro contenedor, constituye un sistema cerrado que solo es posible abrirse a voluntad por medio de una válvula, para utilizar el gas contenido en él. La forma de introducir el gas en el cilindro es desde otra fuente de lo mismo mediante presión por parte de un compresor, forzando al gas a comprimirse y ocupar todo el espacio posible entre las moléculas.

El material del depósito puede variar desde acero, acero al carbono, acero inoxidable y otras aleaciones metálicas. Los cilindros de gas propano, considerados en la categoría de baja presión tiene un rango generalmente entre 20 y 500 PSI.

Los recipientes de gas propano pueden ser de dos clases, fijos y portátiles. Los portátiles constituyen envases metálicos que por su peso y dimensiones, a diferencia de los recipientes fijos, se puede mover a mano, lo que facilita su llenado, transporte e instalación. El llenado de estos recipientes se efectúa en las plantas de almacenamiento y su contenido se mide en kilogramos, y además todas las partes del cilindro están soldadas.

Cabe mencionar que el cilindro se somete a pruebas, que incluyen primero un calentamiento de 625°C para eliminar las malas formaciones de la soldadura. Segundo consiste en llenar el cilindro con agua a una presión de 298 PSI, con la finalidad de verificar la resistencia de las láminas y que sea apto para almacenar el GLP. Finalmente se llena nuevamente con agua pero a una presión de 99 PSI para comprobar que no existen fugas por la soldadura o por la válvula.

Los aparatos domésticos funcionan con una presión de 163 PSIG a una temperatura de 27°C, y puede alcanzar 265 PSIG a 43°C (15).

1.6.9 AMONÍACO (NH₃)

Es una sustancia química producida por los seres humanos y por la naturaleza, consiste en tres partes de hidrogeno (H₃) y una de nitrógeno(N).

Es un gas incoloro de olor muy penetrante, y posee algunas características de inflamabilidad. La mayor parte de amoníaco en el ambiente surge de la descomposición natural del estiércol, así como de plantas y animales muertos. También se produce diariamente en el cuerpo de toda persona, la mayor parte en órganos y tejidos.

Respecto al tema salud, los efectos principales de exposición ocurren en el sitio de contacto por ejemplo, la piel, los ojos, la boca. Si se derrama una botella de amoniaco en suelo, puede que la persona tosa y los ojos le lagrimeen a causa de la irritación. Si se expusiera a niveles más altos, digamos caminar a través de una nube densa, se podría sufrir quemaduras graves en la piel, ojos, garganta y pulmones.

Entre sus aplicaciones se usa con fines agrícolas, como fertilizante, y también

como abono. En una menor proporción se fabrican productos de limpieza por ejemplo detergentes y productos para limpiar vidrios. Otra de las aplicaciones, y que está surgiendo es utilizarlo como combustible para vehículos, que resulta como un recurso alternativo, más seguro y económico.

El problema se da en los países que no tienen una iniciativa por dejar el petróleo y sustituir éste por los combustibles alternativos existentes.

1.7 CO₂ DEFINICIÓN

Se estima que el aumento de este gas, es causado por una concurrencia de factores entre los cuales el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y derivados, gas) y las quemas con fines agrícolas pueden señalarse como los más significativos. El hielo seco es el dióxido de carbono en estado sólido. Y su particularidad es que se sublima, es decir pasa directamente del estado sólido al gaseoso sin dejar residuo de humedad, en la figura 1.14 se muestra los estados del CO₂, frente a la temperatura y la presión

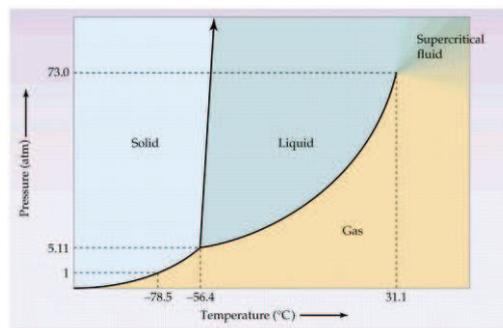


Figura 1.14 Curva Operación del CO₂ (24)

1.7.1 PROPIEDADES

- ✓ El CO₂ es un gas que no es combustible y que no reacciona químicamente con otras sustancias.
- ✓ Se lo utiliza como un líquido refrigerante en máquinas frigoríficas.
- ✓ El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y ligeramente tóxico.
- ✓ Carece de fase líquida a la presión atmosférica normal.

- ✓ Solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debe evitarse tocar el hielo seco sin usar guantes, ya que puede dañar la piel rápidamente, produciendo una lesión similar a la de una quemadura.

1.7.2 ALMACENAMIENTO Y EFECTOS FISIOLÓGICOS

La principal fuente de emisión son las centrales eléctricas o plantas industriales que emiten grandes cantidades de este gas. En cuanto a las emisiones pequeñas, digamos domésticas no son convenientes para la captura. Una vez hecho esto se debe purificar y comprimirse para ser transportado y almacenado. Los sistemas de captura reducen en un 80 o 90% las emisiones, pero la desventaja surge en que aumentaría los costos de producción de electricidad entre un 35 y 85%. (13). El CO_2 líquido puede almacenarse en cilindros a alta presión, a temperatura ambiente normal o en contenedores refrigerados a baja presión diseñados para mantener una temperatura de almacenamiento cercana a -18°C .

El CO_2 está normalmente en la atmósfera en una concentración aproximada del 0,038% o 380 ppm (partes por millón). Esta última unidad es como se evalúa la concentración en este caso del CO_2 ; en un concepto análogo con porcentaje se establece que $10.000\text{ ppm} = 1\%$.

En la tabla 1.4 se puede apreciar los síntomas frente a la exposición del CO_2 , factores que se deberían tomar en cuenta al momento de manipular este gas.

Concentración	Síntomas de exposición
1%	Aumenta ligeramente la respiración
2%	El ritmo respiratorio aumenta el 50%. Exposición por largo tiempo puede causar dolor de cabeza, cansancio.
3%	La respiración se aumenta dos veces el ritmo normal, aumenta la presión sanguínea y deteriora el oído.
4-5%	La respiración se aumenta cuatro veces el ritmo normal, evidentes síntomas de intoxicación
5-10%	Respiración trabajosa, zumbidos en los oídos, y en pocos segundos pérdida del conocimiento.
50-100%	Arriba del 10% pérdida del conocimiento, y posible muerte por asfixia.

Tabla 1.4 Efectos del CO_2 (14)

El uso del hielo seco permitirá experimentar y conocer el efecto de la expansión del gas, cuando se encuentre en un intercambiador de calor (caldero), considerando las características anteriormente mencionadas.

1.8 ESTUDIO GENERAL DE LAS BATERÍAS

Las baterías son conocidas como acumuladores, y su funcionamiento se basa en un proceso electroquímico, es decir que los elementos internos no se consumen, se transforman.

Las baterías pueden ser primarias o irreversibles y secundarias o reversibles. Es decir la primaria es la que no es posible volver a cargar, en cambio las secundarias si es posible incluso con varios ciclos de carga y descarga. De entre la gran cantidad de baterías comerciales se ha optado trabajar con las de ácido plomo y ion de litio.

1.8.1 BATERÍA DE LITIO

Esta batería emplea como electrolito una sal de litio. Se las usa especialmente para la electrónica debido a sus bondades como son ligereza, elevada capacidad energética, elevado número de ciclos de regeneración, alto rendimiento etc.

1.8.1.1 Ventajas y desventajas

- Las baterías de litio no presentan efecto memoria
- Se recomiendan que permanezcan en un sitio fresco 15°C y evitar en lo posible el calor
- Es necesario cargarlas con un cargador específico para este tipo de baterías, ya que utilizar un cargador inadecuado podría dañar la batería.
- Cada batería proporciona 3.7 voltios(1 celda)
- Presenta una descarga lineal, durante la descarga el voltaje de la batería varía poco, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores.
- Poseen un número limitado de cargas, que varían entre 300.

1.8.2 BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO

Es uno de los acumuladores más usados en el presente, debido a su bajo costo. Aquí los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico.

Los acumuladores de energía presentes en la batería almacenan una tensión nominal de 2 voltios, sumando 6 acumuladores, en las baterías comunes de 12 voltios. Para realizar la carga de una batería es necesario poseer una fuente externa que proporciona corriente directa a los bornes. Poniendo como ejemplo a una batería de 12 voltios que en su interior posee 6 celdas, una vez finalizada la carga cada celda debe estar cargada con 2.2 voltios dando un total de 13.2 voltios en circuito abierto.

Existen 3 variables que se deben considerar en el proceso de carga como son corriente, voltaje y temperatura con la recomendación de no sobrepasar los 55 °C ya que pasado este valor se provoca daños internos en la batería. No posee efecto memoria y adicionalmente es necesario definir parámetros como la cantidad de energía que puede almacenar (Wh), la máxima corriente que puede entregar (A), y la profundidad de descarga dada por amperios-hora (Ah).

1.8.2.1 Métodos de carga

Método de Recarga Lenta

Este método es el aconsejable ya que se suministra pequeñas cantidades de energía con lo cual se consigue no provocar sobre calentamiento en la batería, por esta razón es el modo más usado. Dependiendo de la cantidad de amperios suministrada, tenemos el tiempo requerido por la batería para cargarse completamente.

Método de Recarga Rápida

En este método se alimenta a la batería con una corriente elevada, por un corto tiempo, cabe decir que no se consigue realizar una carga completa y los componentes internos son sometidos a altas temperaturas, por tal razón no se recomienda utilizarlo, a menos que sea para una aplicación en particular.

1.8.3 ALGORITMO DE CARGA

Dependiendo del tipo de batería se debe proceder a seleccionar el método de carga, que puede ser de 2, 3, 4 o 5 ciclos de carga, cabe mencionar que el fabricante de baterías usualmente recomienda las etapas necesarias para una carga satisfactoria. Asumiendo una descarga considerable en las baterías, la secuencia de carga desarrollada por el algoritmo cubrirá las siguientes etapas.

Carga a Corriente Constante o corriente Máxima

Cuando se supera el mínimo voltaje requerido (comúnmente 10V) se pasa a carga máxima donde el cargador suministra la mayor cantidad de corriente posible a la batería, con lo cual logra recuperar hasta el 80% de su capacidad. El voltaje subirá lentamente entre 14.2 V y 15 V.

Sobrecarga Controlada (Etapa de Absorción)

En esta etapa el voltaje permanece constante y la corriente disminuye lentamente a medida que las baterías completan su proceso de carga. El voltaje suministrado por parte del cargador debe estar entre 14.5 y 15V. El proceso de absorción finaliza cuando la corriente llega al 2% o menos de la capacidad de la batería. De este modo se llega a tener un 95% de la carga total de la batería. El algoritmo final consta con sólo dos etapas para el desarrollo de este proyecto, considerando que para la etapa de corriente constante se maneja un solo valor y las etapas posteriores que se pueden añadir son opcionales. En la figura 1.15 se aprecia el algoritmo de carga en forma gráfica a implementarse.

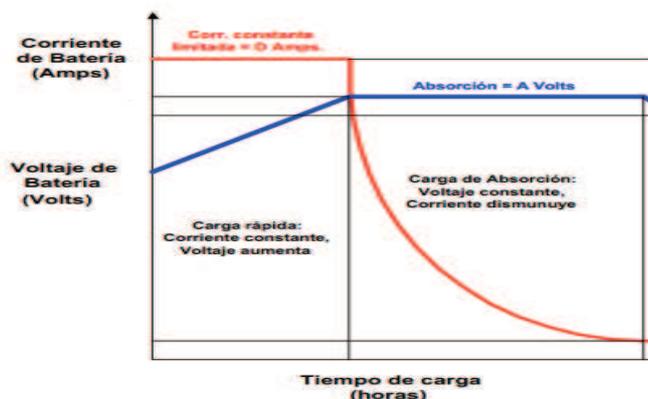


Figura 1.15 Algoritmo de carga para baterías ion de litio y ácido plomo (16)

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

En la figura 2.1 se muestran los elementos que constituyen el prototipo de acuerdo al diseño preliminar.

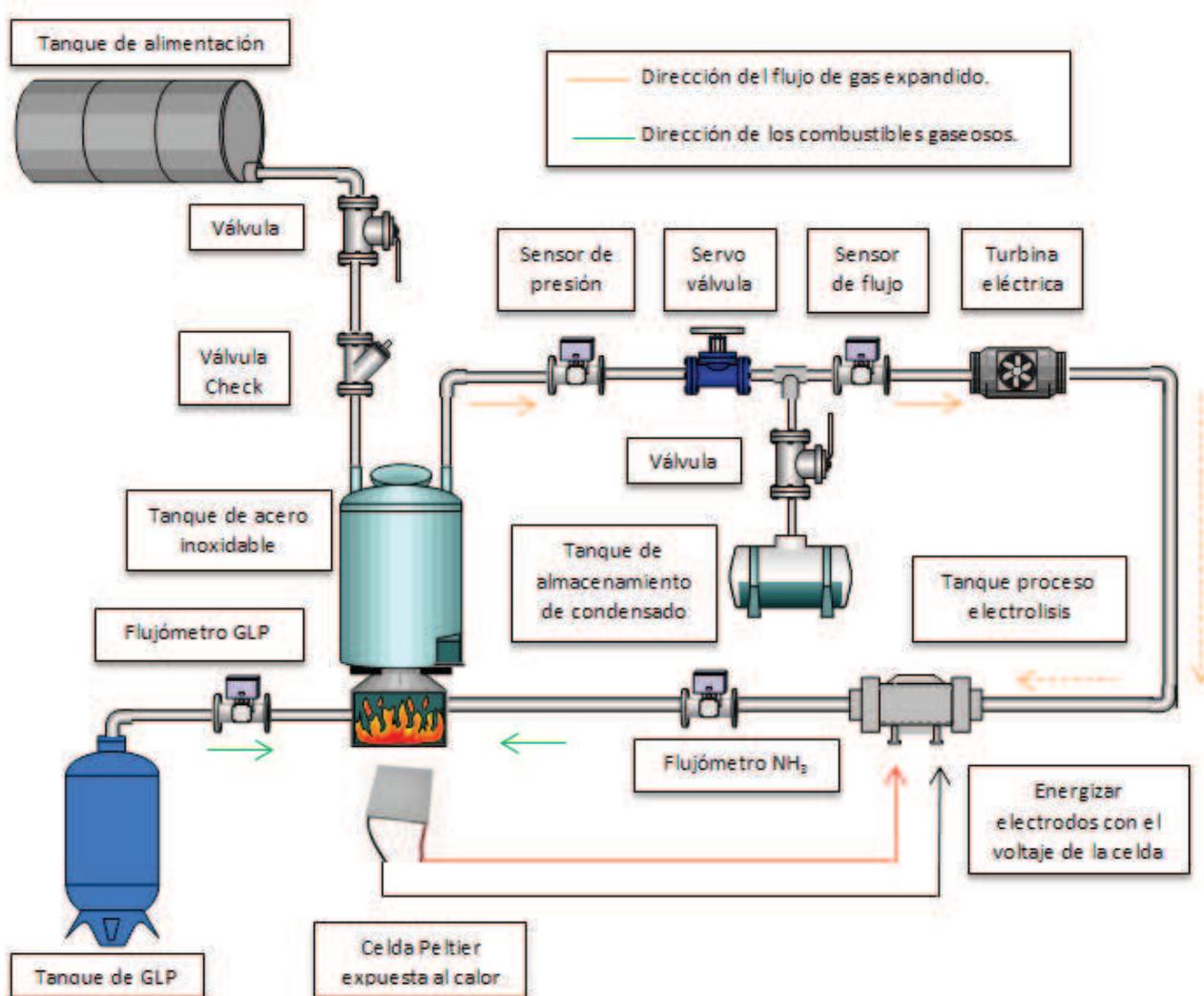


Figura 2.1 Diseño preliminar del prototipo de generación de energía

Con el diseño de este prototipo experimental se tiene como objetivo comprobar la

funcionalidad de todo un sistema para generar energía a partir del gradiente de temperatura, que nace de una celda Peltier (termoeléctrica), y analizar el potencial generado para establecerlo o rechazarlo como un método alternativo de generación.

El gradiente no es más que una diferencia de temperaturas, y la celda deberá estar expuesta a 2 puntos diferentes de temperatura, para generar voltaje en sus terminales. El primer foco de temperatura constituye el calor proveniente de la quema de dos combustibles, el GLP y el amoniaco. Para el segundo foco en cambio se utilizara otros elementos para comprobar la funcionalidad de la celda, como por ejemplo CO_2 , hielo, y la temperatura ambiente.

Una parte del módulo está orientado a generar un combustible gaseoso, específicamente hablando el amonio (NH_3). El combustible se forma por descomposición del aire en una membrana porosa impregnada con un catalizador de titanio, lo que requiere de electrones los mismos que se producen por la fricción del aire en los poros de la membrana. Este último elemento se encuentra alojado tanto a la entrada como la salida del aire en el tanque para el proceso de la electrolisis.

Los compuestos obtenidos por el proceso anterior se combinan con los iones que se generan mediante electrolisis del agua, que está en PH básico. Los electrodos sumergidos en el agua están formados por un enrollado de cobre y un alambre de acero, los cuales requieren de electricidad para el funcionamiento y es ahí donde toman el voltaje y corriente generado por parte de la celda Peltier,

El amoniaco no posee un gran poder calorífico, por tal razón se lo mezcla con GLP, que al quemarlos conjuntamente producen calor, con lo que se incrementa la temperatura y al mismo tiempo el gradiente.

Con la combustión de los combustibles es posible calentar el tanque de acero inoxidable, convirtiéndolo en un caldero. Todo esto para poder expandir el gas que se encuentra en su interior, y posteriormente dirigir el vapor hacia una turbina y generar energía con su movimiento. Teóricamente el vapor del caldero servirá para poder generar el amoniaco con el proceso explicado anteriormente, teniendo todo un ciclo cerrado.

En este capítulo se expone todos los elementos que forma el prototipo. Lo que es el diseño de un pequeño caldero, lo relacionado a como canalizar el vapor o gas hacia la turbina anteriormente mencionada, así como también los elementos de control y visualización del proceso en general.

Dado que es un diseño orientado a la generación de energía, no tendría ningún sentido mostrar solo los valores de voltaje y corriente generados por los diferentes elementos del prototipo. Lo más recomendable sería almacenar esta energía en acumuladores como por ejemplo baterías. Por tal razón también se incluye el diseño e implementación de un cargador de baterías que se acopla a los requerimientos de la planta.

2.2 COMPONENTES DEL MÓDULO

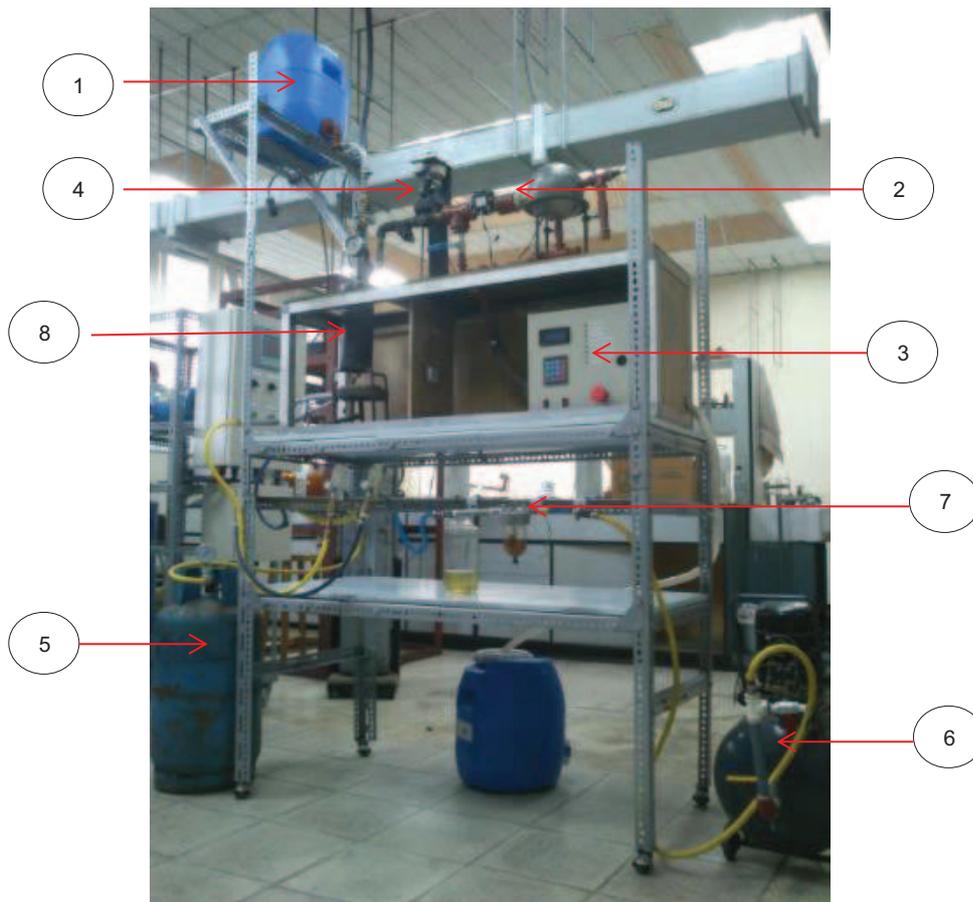


Figura 2.2 Módulo completo del prototipo

1. Tanque principal de agua

2. Sensor de flujo y turbina

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 3. Tablero de control | 4. Válvula |
| 5. Tanque de GLP | 6. Compresor |
| 7. Equipo donde se forma el amoniaco | 8. Tanque de acero inoxidable |

2.2.1 COMPONENTES ESTRUCTURALES

Son elementos que garantizan fijación y soporte de los mecanismos y dispositivos que conforman el módulo. La base completa tiene como dimensiones: 1.4 m de alto, 60 cm de ancho, 1.2 m largo, soportando así el peso de las tuberías y los demás componentes. La estructura está constituida de perfiles de aluminio y tablonces, tratando de garantizar que el módulo este lo más estable posible en cualquier superficie plana.

2.2.1.1 Tanque principal

El tanque utilizado es de acero inoxidable, al ser resistente a altas presiones de trabajo, facilita el desarrollo de este tipo de proyectos. Cabe recalcar la importancia de trabajar con el depósito completamente sellado (hermético), para lo cual se usa un empaque, garantizando así la ausencia de fugas. Tiene una altura de 25.9 cm, un diámetro de 9 cm y un espesor de 1.2 cm, almacenando así un volumen de 1.64 lt, y soporta una presión de 75 atm (Anexo 1). En la figura 2.3 se puede apreciar a simple vista la disposición del tanque.



Figura 2.3 Tanque de acero inoxidable

2.2.1.2 Accesorios de tubería

Se ha utilizado tubería de polipropileno y de hierro galvanizado, las primeras normalmente se usa para agua caliente y fría, que a su vez soportan presiones de

hasta 125 PSI y altas temperaturas, por tal razón se las coloco después de la válvula de control. Las tuberías de hierro se sitúan a la salida del depósito y van hasta la válvula. Se realizó una simulación para comprobar la resistencia del material ante la presión de trabajo (200 psi) con lo cual se consigue trabajar de una manera segura. La simulación en el software Inventor que se muestra en la figura 2.4, indica los puntos críticos donde la pieza recibirá más presión pero como se puede ver prevalece el tono azul y verde lo que significan zonas seguras.



Figura 2.4 Simulación de presión en tubería de hierro

De entre los diferentes accesorios para tubería y acoples del módulo tenemos:

Cantidad	Accesorio	Medida(pulgadas)
3	Codos de hierro	1/2
1	Tee bronce	1/2
3	Uniones de hierro	1/2
1	Reductor bronce	1/2 a 3/8
3	Tee polipropileno	1/2
2	Codos de polipropileno	1/2
6	Uniones de polipropileno	1/2

Tabla 2.1 Listado de tuberías y acoples

2.2.1.3 Servoválvula

Tiene como función, realizar el control del flujo que circula por la tubería, en este caso vapor saturado. Mediante la apertura o cierre de una válvula de compuerta, específicamente con el movimiento de su obturador (actuador).

La válvula se puede apreciar en la figura 2.5, y posee las características que se muestran en la tabla 2.2. Para mayor detalle revisar el Anexo 2.

Identificación	FGT-800
Material	Grafito
Tipo	Compuerta
Elemento de trabajo	Líquidos/gases
Presión de trabajo	Max 800 PSI
Temperatura de trabajo	Max 180°C
Circulación	Línea recta
Rosca NPT	1 / 2''

Tabla 2.2 Características de operación de la válvula



Figura 2.5 Válvula de trabajo (Anexo 2)

El control permite posicionar al obturador, y puede ir desde el 0%(completamente cerrada) a 100%(completamente abierta), según sean los requerimientos. Para el movimiento de abrir o cerrar se utiliza un motor de corriente continua acoplado al vástago de la válvula.

El vástago posee una alta inercia, que hace que los motores a paso tradicionales no puedan proporcionar la fuerza necesaria para el movimiento de la válvula, debido a su bajo torque. Lo que nos lleva a utilizar motores con un torque mayor, de ahí la utilización del motor de DC.

El motor utilizado, garantiza posicionarse en diferentes porcentajes de apertura sin ningún tipo de inconveniente, ya que el control para dicho motor en esencia es simple. En la figura 2.6 se muestra el montaje de la servo válvula.



Figura 2.6 Montaje de la servo válvula

La razón del montaje que se realizó, es debido, a que comercialmente adquirir una servo válvula con las características de trabajo que se expondrán más adelante para poner en funcionamiento el prototipo, es extremadamente costoso. Cabe mencionar también que en este caso se tiene los ejes de los engranes en paralelo.

El sistema de engranajes permite un movimiento giratorio de un eje a otro y es posible establecer una relación de transmisión (i), que indica cómo se transmite la velocidad de rotación de un mecanismo que tiene movimiento circular. Si la relación de transmisión es 2, el mecanismo duplica la velocidad, si es 1 se mantiene, y si es 0.5 la velocidad de salida es la mitad que la entrada. El cálculo de la relación se da a partir del número de dientes de los engranes o bien del estudio de sus velocidades, por medio de la ecuación 2.1.

$$i = \frac{Z_m}{Z_s} = \frac{N_s}{N_m} \quad (2.1)$$

Dónde:

Z_m =número de dientes del engranaje del motor

Z_s =número de dientes del engranaje de salida

N_s =velocidad del engranaje de salida

N_m =velocidad del engranaje del motor

Sustituyendo los valores se tiene:

$$Z_m=33$$

$$Z_s=23$$

$$i = \frac{33}{23} = 1.43$$

Se esperaba que la relación arroje como resultado al menos el valor de uno. Y al ser 1.43 mejora, en una pequeña proporción la velocidad de salida. Lo que indica que el diseño del engranaje que posee la válvula, cumplió con su objetivo. (17)

2.2.1.4 Manómetro

Es un instrumento de medición para poder registrar valores de presión ya sea de aire, agua y otros fluidos no corrosivos. En el mercado existen diferentes manómetros dependiendo de la aplicación que se requiera, por ejemplo existen manómetros llenos de líquido (glicerina) los cuales se utilizan en procesos donde exista presión variable pulsante, y los manómetros secos.

De entre las condiciones que debe cumplir el instrumento de medición para formar parte del proceso, esta poder trabajar con una temperatura de trabajo de hasta 150 °C, y una presión máxima de 200 PSI. Con estas condiciones encontrar un sensor digital, resultaría costoso y más aún cuando se desea con conexión directa al microcontrolador. Dados estos inconvenientes se ha optado trabajar con un manómetro seco tipo Bourdon, que cumple con las condiciones requeridas, y que resulta fácil de conseguir. En la figura 2.7 se muestra el manómetro seleccionado.



Figura 2.7 Manómetro

2.2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO Y ELÉCTRICO

La idea es que un grupo de dispositivos interactúen entre sí, de tal forma que puedan cumplir con los diferentes requerimientos del prototipo de generación de

energía. Se dispone para este caso tanto entradas y salidas digitales, así como canales de conversión A/D por parte de los elementos de control. Dependiendo del caso, será necesario acondicionar las señales, para que la lectura de estas se acoplen a los demás elementos del sistema.

Entre los principales elementos que forman parte del prototipo son:

- Fuentes de alimentación
- Sensores (flujo, temperatura)
- Microcontrolador
- Display LCD
- Puente H
- Motor corriente continua
- Placa de comunicación serial RS-232
- Acondicionadores de voltaje para el micro controlador
- Conversor elevador para manejar a la batería de plomo, entre otros que se explican a continuación.

El diagrama de bloques de la figura 2.8, muestra la forma de conexión de los elementos.

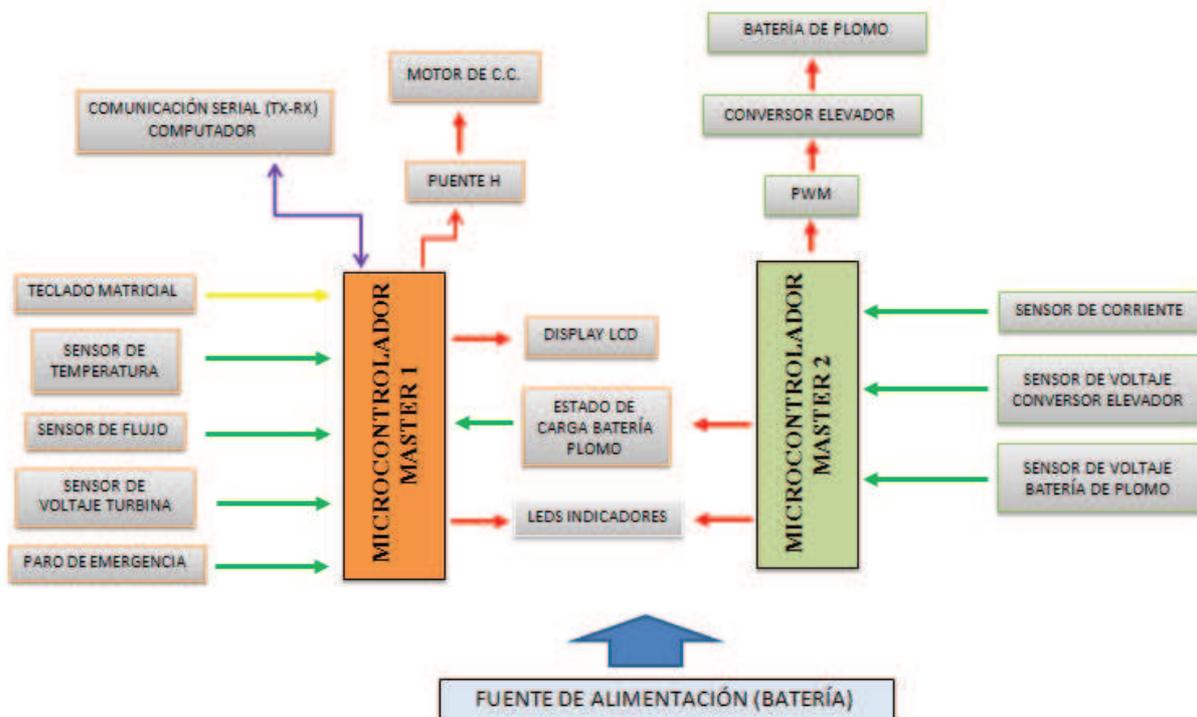


Figura 2.8 Esquema de conexión de los dispositivos

2.2.2.1 Sensores

Son dispositivos diseñados para recibir información desde una magnitud del exterior sea física o química y transformarla en otra, normalmente eléctrica. Los sensores utilizados para este prototipo son:

- Sensor de temperatura
- Sensor de flujo para gas
- Sensor de corriente

2.2.2.1.1 Sensor de temperatura

Tiene como función determinar la temperatura a la cual se encuentra el tanque principal al ser calentado. Para esto se ha seleccionado el integrado LM35, que se caracteriza por sus pequeñas dimensiones y es utilizado especialmente para aplicaciones de medición y control de temperatura. Presenta las características indicadas en la tabla 2.3 (Anexo 3) y también se muestra la forma de conexión con el microcontrolador en la figura 2.9.

Calibración	Directa en °C
Sensibilidad	10mV/°C
Rango de funcionamiento	Entre -55 °C a 150 °C
Voltaje de alimentación	De 4 a 30 V dc
Consumo de energía	Bajo
Costo	Bajo

Tabla 2.3 Características de operación LM35.

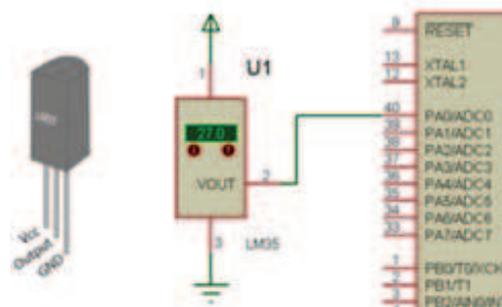


Figura 2.9 Integrado LM35 y su forma de conexión

2.2.2.1.2 Sensor de flujo

Este elemento dentro del prototipo se utiliza para determinar el caudal, del vapor de gas que atraviesa el mismo cuando pasa el vapor a través de la válvula hacia la turbina. Se trata de un sensor de la serie SEN02142B, y como se puede apreciar en la figura 2.10 dispone de un rotor, que cambia de velocidad con diferentes flujos, y en la tapa se encuentra el acondicionador para emitir la señal correspondiente al flujo en pulsos. Es un sensor de efecto hall, es decir que el imán que se encuentra en el extremo del rotor genera un campo magnético, que produce que las cargas móviles de un conductor que se encuentra en la tapa se muevan hacia los lados, haciendo que uno de estos quede cargado positivamente y el opuesto tenga carga contraria. En consecuencia entre ambos lados se establece una diferencia de potencial que se acondiciona a una señal tipo pulso, como se mencionó anteriormente. En la tabla 2.4 se aprecia sus principales características.

Voltaje de funcionamiento	5 V-24 V
Temperatura de trabajo	<120 °C
Presión de trabajo	<1.75 MPa
Rango del caudal	1-120 L/min
Precisión	±3%
Nivel de salida de pulsos de alta	Tensión de señal > 4,5 V
Nivel de salida de pulsos de baja	Señal de tensión <0,5 V

Tabla 2.4 Características del sensor de flujo

El voltaje de salida se puede conectar directamente con el microcontrolador, además al ser tipo pulso es necesario implementar un frecuencímetro en el circuito de control, para luego tratarlo internamente y hacer el equivalente a flujo.



Figura 2.10 Sensor de flujo de trabajo

2.2.2.1.3 Sensor de corriente

En la carga de una batería es indispensable conocer la corriente que circula a través de esta, así se ha seleccionado un sensor cuyo principio de funcionamiento es por resistencia shunt. Que consisten en utilizar una resistencia y determinar la intensidad de corriente que fluye a través de esta carga, mediante la medición de la diferencia de voltaje, utilizando la ley de Ohm. Entre las principales características están su bajo costo, y de una buena precisión en este tipo de aplicaciones. La razón de la selección se explica en la tabla 2.5, comparando con otros tipos de sensores en cuanto a sus características. (18)

Método de medición	Resistor Shunt	Sensor Hall	Transformador
Precisión	Buena	Buena	Media
Precisión vs temperatura	Buena	Pobre	Buena
Costo	Bajo	Alto	Medio
Aislamiento	No	Sí	Sí
Medición de alta corriente	Pobre	Buena	Buena
Offset DC	Sí	No	No
Saturación/histéresis	No	Sí	Sí
Consumo	Alto	Bajo	Bajo
Intrusivo	Sí	No	No
Medición en AC/DC	Ambos	Ambos	AC

Tabla 2.5 Métodos de medición de corriente

El integrado a utilizar es el INA169, en la figura 2.11 se aprecia la forma de conexión de una manera general, para cualquier aplicación en que se requiera medir la corriente. Además en la tabla 2.6 se tiene los parámetros para su funcionamiento (Anexo 4).

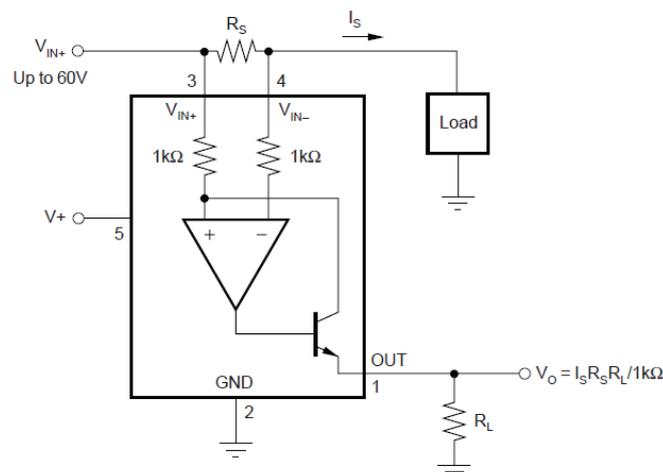


Figura 2.11 Forma de conexión del sensor de corriente

Voltaje de operación (V_{in})	-0.3 V a 75 V	
Temperatura de funcionamiento	-55 ° C a 125 ° C	
Ganancia del amplificador	Gain	$R_L(\Omega)$
	1	1k
	5	5k
	10	10k
	50	50k
	100	100k

Tabla 2.6 Características de operación del INA169

El sensor proporciona una salida en voltaje, el cual está directamente relacionado con la corriente a medir y con dos valores de resistencias adicionales, estructuradas en una fórmula la cual se aprecia en la figura 2.11.

Este sensor tiene entrada diferencial de voltaje, y se obtiene a través de la resistencia R_S , donde la máxima caída de tensión debe ser 2V. En ocasiones este voltaje puede ser en el orden de los milivoltios, por tal razón el integrado incluye un amplificador operacional donde es posible amplificar hasta con 5 valores de ganancia de acuerdo al valor de resistencia R_L que se puede seleccionar en base a la tabla 2.6.

Dado que el sensor proporciona el valor de corriente de la batería al conectarse en serie la resistencia R_S , esta última debe ser de un valor pequeño de tal forma que no exista gran caída de tensión. Así el valor de R_S seleccionado es 0.5Ω , y si se asume el peor de los casos, donde circularía una corriente de 1A a través de esta resistencia, la potencia máxima de disipación sería 0.5W, valor que existe comercialmente.

El valor de R_L seleccionado es $10k\Omega$, con una ganancia de 10 para el amplificador, ya que de esta forma queda establecido que el voltaje de salida máximo del sensor sería 5V cuando circule una corriente máxima de 1A a través de R_S . Este cálculo se realizó con la ecuación de la figura 2.11.

Como el voltaje de salida estaría en un rango entre 0V y 5V, se puede conectar directamente a uno de los canales A/D del microcontrolador, evitando elementos adicionales para acondicionar la señal.

Respecto a su voltaje de operación (V_{in}), en este caso estará conectado a la salida del conversor elevador, el cual opera en un rango comprendido entre 10V y 16V, esto debido a los requerimientos de la batería al momento de ser cargada. Además la fuente de polarización del amplificador operacional ($V+$) es de 5V, de acuerdo a la hoja técnica del sensor. La forma de conexión final del sensor de corriente se aprecia en la figura 2.12.

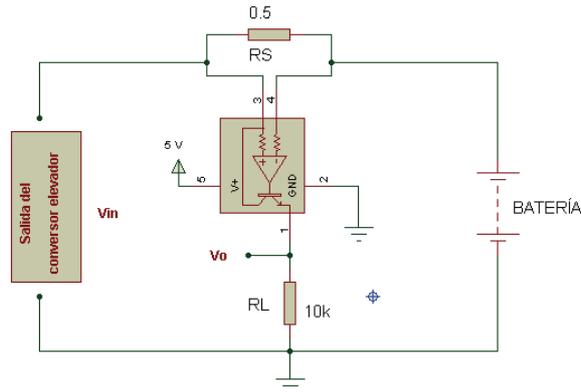


Figura 2.12 Disposición final del sensor INA169

2.2.2.2 Microcontrolador

Para este proyecto se utiliza el Atmega164P, que es un dispositivo programable que posee una gran cantidad de funciones. Para el desarrollo de este prototipo, el lenguaje de programación que se usa es de alto nivel, lo que permite configurar cada una de las funciones del microcontrolador de una forma más general.

Para comunicarse con el exterior el dispositivo dispone de pódicos de entrada y salida datos, así como otras funciones con fines específicos, pero que no son relevantes para este caso. También dispone una memoria eeprom, la cual es no volátil. El integrado dispone de algunas características presentadas en la tabla 2.7, así como su distribución de pines en la figura 2.13. Para mayor detalle del microcontrolador revisar el Anexo 5.

CARACTERÍSTICAS	
Voltaje de operación	2.7 V– 5.5 V
Frecuencia de trabajo	Max 20MHz
Puertos I/O	A,B,C,D de 8bits
Memoria flash programable	16K Bytes

Memoria EEPROM	512 Bytes
8 canales , de 10 bits para ADC(conversor análogo a digital)	
2 canales programables Seriales USART	

Tabla 2.7 Características del microcontrolador Atmega164p

Para el diseño de este prototipo, el circuito de control consta con 2 microcontroladores, a los que conoceremos como MASTER 1 y MASTER 2. Este tipo de microcontrolador dispone de una gran cantidad de pines, pero fueron insuficientes para completar las funciones a controlar del prototipo. Además un programa muy extenso en uno de estos dispositivos, es demasiada carga, lo que lo vuelve lento, cuando debería ser todo lo contrario. De ahí la necesidad de usar 2 circuitos de control que además operan con una frecuencia de 8MHz.

En las tablas 2.8 y 2.9 se indica el fin de cada uno de los pines del microcontrolador Atmega164p, utilizados tanto en el primer como segundo circuito de control.

PIN	NOMBRE	APLICACIÓN
1	PB0	Teclado matricial Fila 1
2	PB1	Teclado matricial Fila 2
3	PB2	Teclado matricial Fila 3
4	PB3	Teclado matricial Fila 4
5	PB4	Teclado matricial Columna 1
6	PB5	Teclado matricial Columna 2
7	PB6	Teclado matricial Columna 3
8	PB7	Teclado matricial Columna 4
9	Reset	Reset
10	VCC	Alimentación 5 V
11	GND	Tierra (GND)
14	PD0	Comunicación Serial Rx
15	PD1	Comunicación Serial Tx
16	PD2	Sensor de Flujo
17	PD3	Led advertencia batería alimentación
18	PD4	Led abriendo válvula
19	PD5	Led cerrando válvula
20	PD6	Led reset válvula
21	PD7	Led comunicación serial

22	PC0	Pines conexión puente H
23	PC1	Pines conexión puente H
24	PC2	Pines LCD
25	PC3	Pines LCD
26	PC4	Pines LCD
27	PC5	Pines LCD
28	PC6	Pines LCD
29	PC7	Pines LCD
30	AVCC	5VDC
31	GND	Tierra (GND)
32	AREF	5 VDC
33	PA7	Pin comunicación Master 2
34	PA6	Led paro de emergencia
35	PA5	Interruptor paro de emergencia
36	PA4	Interruptor auxiliar paro de emergencia
37	PA3	Sensor voltaje turbina
38	PA2	Sensor voltaje celda
39	PA1	Sensor voltaje batería de alimentación
40	PA0	Sensor de temperatura

Tabla 2.8 Distribución de Pines Master 1

PIN	NOMBRE	APLICACIÓN
8	PB7	Comunicación Master 1
9	Reset	Reset
10	Vcc	Alimentación 5 V
11	GND	Tierra (GND)
14	PD0	Led estado de carga batería de plomo
16	PD2	Led error en conexiones
17	PD3	Led carga completa de batería de plomo
20	PD6	Salida PWM
21	PD7	Salida PWM
27	PC5	Conexión rele 3(acople sensor de corriente a la batería)
28	PC6	Conexión rele 2 (acople batería al circuito elevador)
29	PC7	Conexión rele 1 (polarizar circuito elevador)
30	AVCC	5VDC

31	GND	Tierra (GND)
32	AREF	5 VDC
35	PA5	Sensor Voltaje Batería plomo
36	PA4	Sensor Voltaje fuente del elevador
39	PA1	Sensor de Voltaje circuito elevador
40	PA0	Sensor Corriente

Tabla 2.9 Distribución de pines Master 2

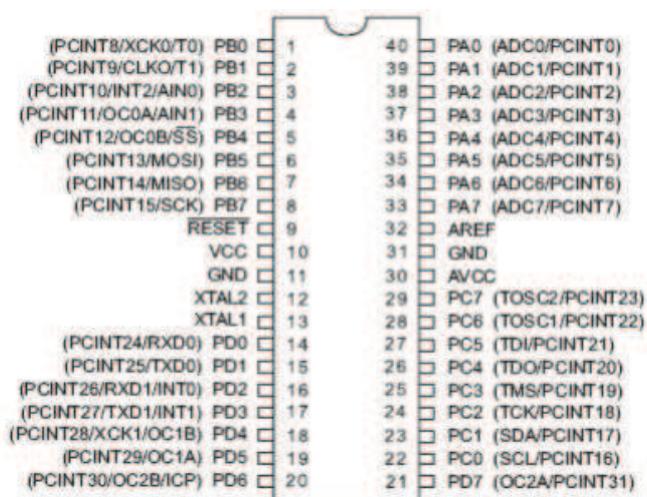


Figura 2.13 Modelo físico del Atmega164p

2.2.2.3 Relés y circuito ULN2003

Es conveniente el uso de relés de estado sólido, para poder acoplar los diferentes voltajes que se maneja al circuito cargador de baterías cuando se enciende el circuito de control. Siendo así, se ha considerado que la fuente disponible para su funcionamiento es 5V DC, y respecto a potencia no tenga un consumo elevado. Los elementos seleccionados son de la marca OMRON tipo G5LE-G y tienen las siguientes características que se presentan en la tabla 2.10 y en la figura 2.14 (Anexo 6)

Voltaje de alimentación bobina	5VDC
Corriente de alimentación	79.4 mA
Resistencia del contacto	100mΩ
Tiempo de operación	10 ms

Voltaje máx. de operación	120VAC-30VDC
---------------------------	--------------

Tabla 2.10 Especificaciones de los relés



Figura 2.14 Diagrama de pines

Para el control de estos últimos dispositivos se utiliza el ULN2003 que es básicamente un driver, que al mismo tiempo permite controlar y amplificar la corriente que sale de los pines del microcontrolador, con lo cual se consigue activar los relés a través de transistores Darlington que posee el dispositivo. En la tabla 2.11 se muestra sus principales características y en la figura 2.15 la forma de conexión.

ULN2003A	5V TTL,CMOS
Salida de Voltaje máxima	50 V
Salida de corriente total	500 mA por driver
Temperatura de Trabajo	-20°C a 85°C

Tabla 2.11 Características del ULN2003

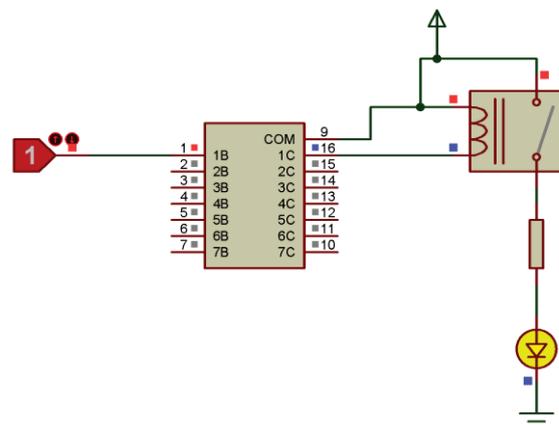


Figura 2.15 Conexión ULN2003 al relé

2.2.2.4 Display LCD

Es una pantalla de cristal líquido, que permite visualizar la representación de caracteres, símbolos, etc. Constituido por un circuito que está integrado por un

controlador así como los pines para la conexión. El dispositivo utilizado dispone de 4 filas y 16 columnas, formado por un número de pixeles. El LCD tiene el aspecto físico mostrado en la figura 2.16.

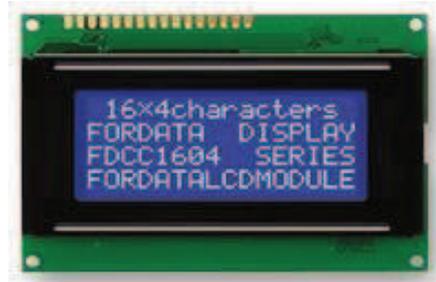


Figura 2.16 LCD (Liquid Cristal Display)

En la tabla 2.12 se detalla la descripción de los pines del display

Pin	Símbolo	Función
1	Vss	Gnd
2	Vdd	+3V a +5V
3	Vee	Ajuste del contraste
4	Rs	Selección del registro control(0)/Registro datos(1)
5	R/W	Señal de lectura(o)/escritura(1)
6	E	Habilitación del módulo ON(1)/OFF(0)
7-14	DB0-DB7	Bus de datos y 4 u 8 bits.
15	A	Polarización de Led de iluminación
16	K	

Tabla 2.12 Distribución de pines de la LCD

En la figura 2.17 se muestra la conexión del LCD con el microcontrolador, utilizando un bus de datos de 4 bits, así como su polarización.

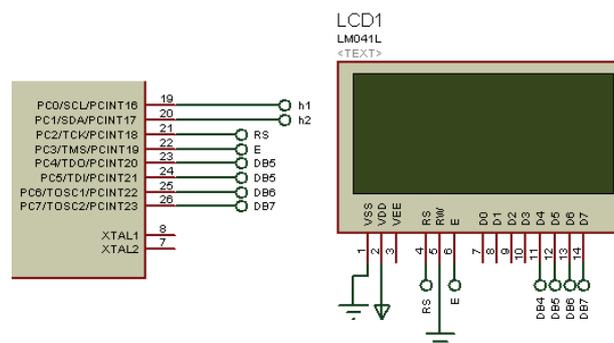


Figura 2.17 Forma de conexión de la LCD

2.2.2.5 Teclado matricial

Es un dispositivo de entrada de datos, consta de 16 pulsadores, que dispone de filas y columnas, conectados entre sí. El uso de este teclado estará dispuesto exclusivamente al control de la válvula. Cada tecla hace referencia al porcentaje de apertura de la válvula, por ejemplo si se presiona el uno, quiere decir que el motor moverá al vástago hasta posicionar al obturador al 10% de su apertura. En la figura 2.18 se muestra la distribución de las teclas en el módulo con sus respectivas funciones.

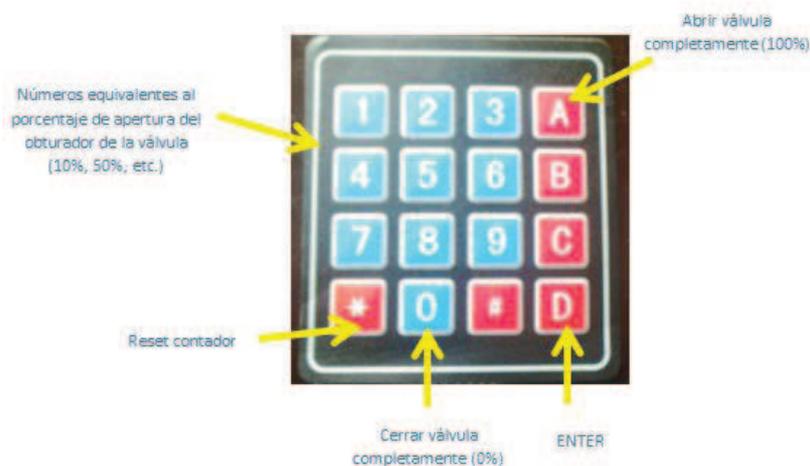


Figura 2.18 Teclas con su respectiva función

La información que se obtiene al presionar los pulsadores, es mediante un barrido de filas y columnas, en este caso un bit, está pasando por los pines PB0, PB1, PB2, PB3 designados como salidas del microcontrolador. Mientras que los pines PB4, PB5, PB6, PB7 designados como entradas, esperando la información, para luego procesarla. La forma de conexión se muestra en la figura 2.19. También se ha habilitado las resistencias de pull-up, para evitar colocar resistencias adicionales al teclado.

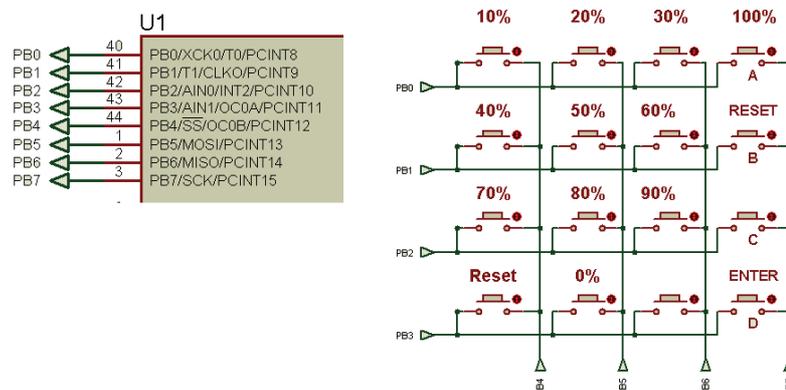


Figura 2.19 Detalles de la conexión del teclado

2.2.2.6 Regulador de carga para batería de litio.

Toda la energía que se produce sea por parte de un panel solar, de un aerogenerador, o en definitiva de algún elemento aplicado a la generación de energía eléctrica, viene acompañado de un regulador de carga para almacenar dicha energía en baterías. Para ello se utiliza un circuito comercial que cumple con estas funciones, y está acondicionado para trabajar con una batería de ion de litio de una celda (3.7V). De esta forma permite acoplar directamente una turbina eléctrica y un panel solar para trabajar en conjunto (elementos que se describirán más adelante con mayor detalle). El regulador se muestra en la figura 2.20.



Figura 2.20 Regulador de carga

A continuación se presenta algunas de sus características:

- Corriente de ingreso: Menor a 1A
- Voltaje de ingreso: 5V max
- Proporciona a través de un puerto USB 2.0 voltaje y corriente de 5V, y de 200 a 800 mA respectivamente.

Este módulo dispone de un indicador led que responde emitiendo luz verde cuando la batería interna de litio está completamente cargada, o caso contrario emite luz roja.

El voltaje de salida del regulador se lo utiliza en conjunto con el convertidor elevador el cual se explicara más adelante su diseño y que se utiliza en la carga de baterías de ácido plomo de 12V.

2.2.2.7 Circuito de comunicación serial

Normalmente los computadores poseen al menos un puerto de comunicación, de norma RS-232. Generalmente cuando se requiere comunicar a un microcontrolador (con señales típicamente entre 3.3 y 5 V) a través de un puerto de norma RS-232 estándar se hace uso de un driver conocido como MAX232, el cual acondiciona la señal de la siguiente forma:

Cuando este circuito integrado recibe un nivel TTL por ejemplo 0V (0L) lo convierte a un nivel comprendido entre +3 y +15 V, y 5V(1L) lo convierte a un nivel comprendido entre -3 a -15 V, y viceversa para convertir niveles de RS 232 a TTL. Así es posible enviar como recibir datos tanto entre el microcontrolador y el computador. Actualmente se dispone de un módulo comercial de comunicación serial con conexión USB estructurado en una pequeña placa, que incluye el driver mencionado anteriormente con las debidas protecciones tal y como se puede apreciar en la figura 2.21.

Adicional el dispositivo viene con su driver de instalación, que permite ser instalado con ayuda de cualquier sistema operativo Windows.

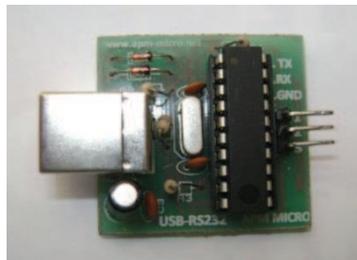


Figura 2.21 Placa de comunicación serial

2.2.2.8 Puente H

Es un circuito electrónico, capaz de manejar cargas de media potencia. Permite realizar el control de motores eléctricos de CC, haciéndolo girar en ambos sentidos, horario y anti horario. El integrado dispone de dos puentes completos con lo que se puede manejar a dos motores. También incluye los diodos de protección de contracorriente para cargas inductivas. Sus entradas son compatibles con niveles de lógica TTL, lo que hace factible acoplar a un

microcontrolador. Básicamente el puente necesita, polarización para la parte de control (V_{cc1}) y para la de potencia (V_{cc2}), adicional dos señales para el control (pines 2 y 7) para que el motor funcione en ambos sentidos de giro. Para esta parte del dimensionamiento se ha considerado los siguientes aspectos:

- El motor de CC requiere de un voltaje de alimentación de 12V dc y una corriente de aproximadamente 80mA
- Para los dispositivos electrónicos la fuente designada es de 5V dc.
- Las señales de control mencionadas anteriormente son 0L (0V) y 1L (5V).

En conclusión se ha seleccionado el puente H, de serie L293D, que cumple con los requerimientos del proyecto, tal y como se puede apreciar en la tabla 2.13 (Anexo 7).

Voltaje de alimentación(V_{cc1} y V_{cc2})	36V
Voltaje de entrada (V_i)	7V
Pico de corriente (I_o)	$\pm 2A$
Potencia de disipación($25^\circ C$)	2075mW
Temperatura de juntura(T_j)	$150^\circ C$

Tabla 2.13 Características de funcionamiento del puente H

A continuación, se puede apreciar en la figura 2.22 la forma de conexión del puente, entendiéndose por h1 y h2 las señales digitales (0L o 1L) desde el microcontrolador, así como su forma de polarización.

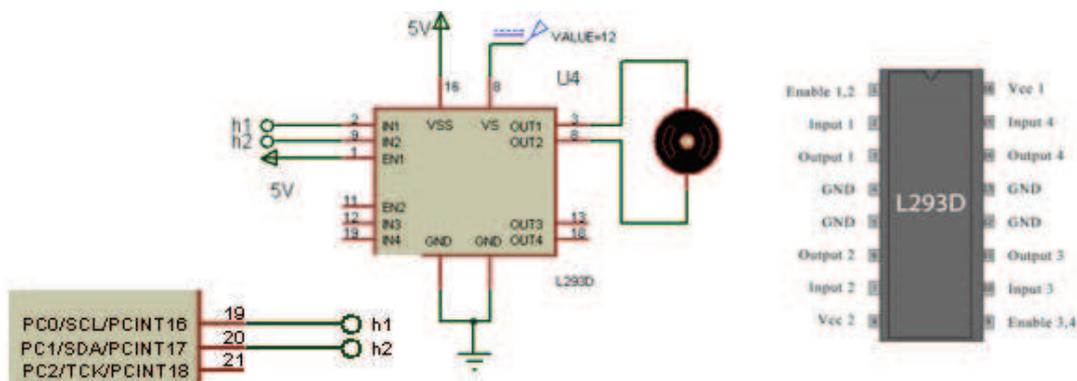


Figura 2.22 Conexión del Puente H

2.2.2.9 Fuente de alimentación

La fuente que suministre la tensión y la corriente necesaria para el funcionamiento de los circuitos electrónicos, será una batería de 12V. La fuente de alimentación será considerada en dos partes. Una fuente de 12V, es decir tomar directamente de los bornes de la batería y una de 5V a través de un regulador de voltaje. La razón es porque ciertos dispositivos del prototipo de generación de energía requieren una mayor fuente de alimentación para su funcionamiento.

El único elemento que utiliza 12V es el motor de corriente continua y entre los elementos que utilizan 5V están:

- Micro controladores
- Sensor de temperatura
- Sensor de flujo
- Display LCD
- Leds
- Puente H
- Sensor de Corriente
- Max 232

El circuito de la fuente completa se muestra en la figura 2.23.

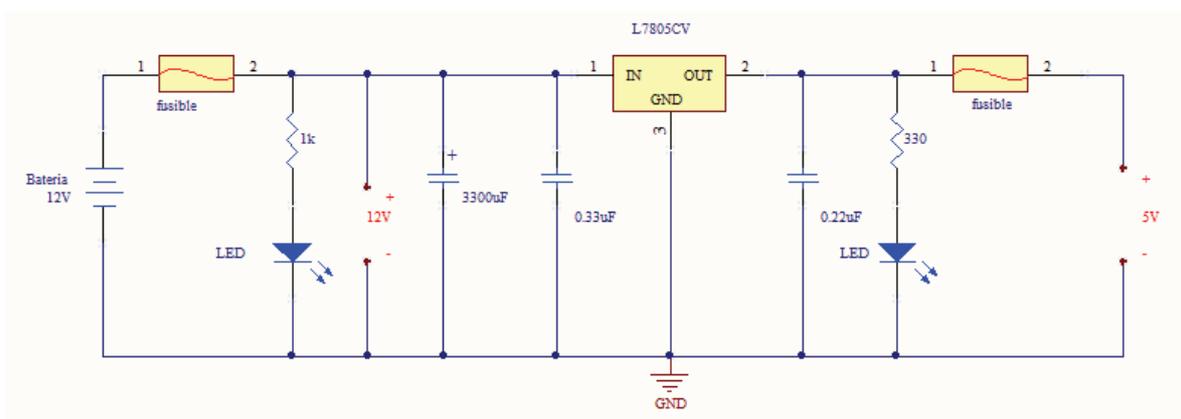


Figura 2.23 Fuente de alimentación del prototipo de generación de energía

Adicionalmente se ha colocado dos fusibles, para proteger a la batería de algún corto circuito que se presente. La batería seleccionada se explicará más adelante en base al consumo de los elementos utilizados.

Cuando la batería se haya descargado deberá ser reemplazada por la otra batería que se encuentra conectada al convertidor elevador, donde se desarrolla el algoritmo de carga. Es necesario intercambiar las baterías nuevamente cuando se presente el mismo problema.

2.2.2.10 Diseño de control de la Servoválvula

El ensamblaje fue hecho con un motor de corriente continua marca ASMO, con juegos de piñones los mismos que están sujetos a la válvula, alcanzando los porcentajes deseados para el control de flujo. Para la apertura o cierre, se basó en el siguiente análisis. Internamente en el microcontrolador, una variable (contador) se incrementa o decrementa, dependiendo de si se abre o se cierra la válvula.

Para ello se hace uso de la memoria eeprom (memoria no volátil, es decir que es no necesita energía para conservar la información) que dispone el microcontrolador, lo que permite guardar la posición actual de apertura de la válvula en todo momento.

Mediante pruebas experimentales se pudo conocer que para la apertura de la válvula, era necesario que el valor del contador que se encuentra dentro de un lazo repetitivo marque los valores que se indican en la tabla 2.14. Así en caso de algún fallo de energía, al encender nuevamente el circuito de control se carga el valor del contador, el cual en base a la tabla 2.14 toma el valor de porcentaje de apertura de la válvula y se lo muestra en la LCD.

Porcentaje de apertura	Contador
10%	208
20%	312
30%	416
40%	520
50%	624
60%	728
70%	780
80%	832
90%	936

100%	1040
------	------

Tabla 2.14 Porcentaje de apertura o cierre de la válvula

Desde el microcontrolador se envía dos señales hacia el puente H, que consisten en dos valores lógicos (H1 y H2), como se aprecia en la tabla 2.15.

Señales desde el microcontrolador		Sentido de giro
H1	H2	
0L	1L	Horario
1L	0L	Anti horario
0L/1L	0L/1L	Reposo

Tabla 2.15 Señales de recepción para el puente H

2.3 FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA TERMOELÉCTRICA.

La celda Peltier entra en funcionamiento siempre y cuando, este expuesto a dos puntos diferentes de temperatura, lo que permite la generación de energía. Como se mencionó al inicio de este capítulo, la una cara de la celda estará expuesta al calor proveniente de la quema de dos combustibles gaseosos, y la otra cara estará expuesta a temperatura ambiente o a otros elementos de baja temperatura, con lo que se conseguiría un gradiente y consecuentemente generación de voltaje y corriente en sus terminales.

La celda seleccionada tienen las características que se muestran en la tabla 2.16, así como su apariencia en la figura 2.24.

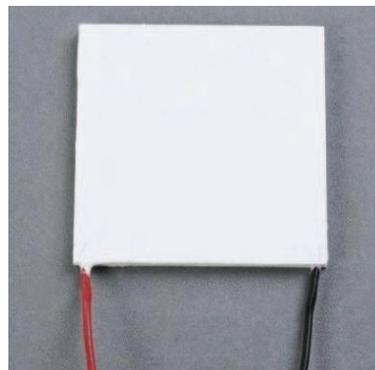


Figura 2.24 Celda Termoeléctrica

Potencia	90W
Voltaje	Vmax 15.2V
Corriente	I _{max} 6 A

Tabla 2.16 Valores nominales de la celda termoeléctrica

Para poder medir la cantidad de voltaje generado por parte de las celdas, por medio del microcontrolador, es suficiente con una conexión directa hacia el canal análogo-digital (PA2) del dispositivo llamado Master 1 programado para la lectura, y posteriormente mostrarlo en la LCD. En el capítulo 4 se describe con mayor detalle las ventajas y desventajas de utilizar la celda Peltier para generar energía por gradiente de temperatura.

La forma de conexión de este y demás elementos electrónicos con los microcontroladores se puede apreciar completa en el Anexo 10.

2.4 FORMA DE OPERAR DE LA TURBINA ELÉCTRICA

Para el prototipo se utiliza la turbina que se muestra en la figura 2.25. Entre las especificaciones del fabricante se tienen las siguientes:

- Generador que proporciona una salida alta con bajas RPM
- Es de corriente continua
- El voltaje y corriente que proporciona depende del movimiento del rotor.



Figura 2.25 Turbina de trabajo

Como se mencionó anteriormente se utiliza un regulador de carga, donde es posible conectar los terminales de la turbina, y poder almacenar toda la energía en la batería de litio y es suficiente con hacer una conexión directa entre estos dos elementos. Para medir la magnitud del voltaje generado a través del

microcontrolador se diseñó un acondicionador con resistencias, el cual se describe a continuación y se muestra en la figura 2.26.

Para el diseño se asume como valor máximo de salida de la turbina $V_{turbina} = 31V$, para que de esta forma la salida máxima del acondicionador diseñado sea $V_O = 5V$, todo esto como una precaución para el microcontrolador respecto al tema sobrevoltajes. Para el cálculo se asume $R_4=10.6\text{ K}\Omega$

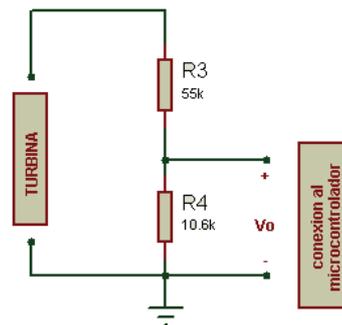


Figura 2.26 Acondicionador del voltaje de la turbina

$$V_0 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{turbina}$$

$$5V = \frac{10.6k}{10.6k + R_3} 31V$$

$$R_3 = 55k\Omega$$

Para R_3 se tiene dos resistencias de $110\text{ k}\Omega$ en paralelo dando en total $55\text{ k}\Omega$, Se consideró 31 V ya que de este modo se facilitan los cálculos así como conseguir los valores de las resistencias.

2.5 ASISTENCIA DEL PANEL SOLAR

La clave de la generación de energía es con el movimiento de la turbina, pero al mismo tiempo hay que considerar que si esta por alguna razón no está funcionando, la batería interna de litio que dispone el regulador de carga empezaría a descargarse, lo que no es conveniente.

Para evitar este problema se ha seleccionado otra fuente de energía y lo mejor es que es renovable. Se está hablando de la energía solar y para este caso se tiene

un panel fotovoltaico, Obviamente va a depender de las condiciones climáticas para su funcionamiento. De este modo la batería de litio esta almacenando los voltajes y corrientes tanto del panel solar como de la turbina. Según las especificaciones del regulador de carga, es posible colocar un panel que proporcione máximo 5V y 1A, y el elemento seleccionado se puede apreciar en la figura 2.27.



Figura 2.27 Panel solar de trabajo

2.6 SELECCIÓN DEL CONVERTOR DC/DC

2.6.1 ANÁLISIS PREVIO

El circuito de control como se mencionó anteriormente funciona con una batería de 12V recargable. En algún punto se descargaría y para volverla a carga sería necesario utilizar un cargador externo, elemento que no tendría relación con el desarrollo de este proyecto a simple vista.

Considerando este factor se analizó la alternativa de diseñar un cargador de baterías propio del prototipo, de este modo se tendría un módulo completo respecto al tema de generación de energía. Es necesario señalar los requerimientos para que entre en funcionamiento y que se listan a continuación:

- Que aproveche la energía proveniente de la turbina eléctrica y del panel solar.
- Este cargador debe ser capaz de proporcionar el voltaje necesario para cargar a la batería, comúnmente valores de 12V hasta 15V como máximo, en las baterías de ácido plomo tradicionales.
- La fuente de alimentación para el cargador de baterías deber ser constante.

Puestos en conocimientos estos puntos, se procedió al diseño de la siguiente manera.

EL regulador de carga proporcionar un voltaje de salida constante de 5V por medio de la batería de litio interna, sería más que suficiente para cumplir uno de los requerimientos mencionados. Sin olvidar claro que estos 5V dependen del funcionamiento del panel solar y la turbina, con lo que se estaría cubriendo otro de los requerimientos, ya que los dos últimos elementos mencionados teóricamente siempre estarían en funcionamiento dentro del prototipo.

Para cubrir el último requerimiento, es necesario utilizar algún elemento o módulo que permitan elevar los 5V hasta los 15V que sería el peor de los casos. Para ello se ha seleccionado un convertor DC/DC elevador, que cumple con lo mencionado anteriormente y además es posible controlar sus acciones por medio de un microcontrolador.

Este convertor será capaz de manejar todo lo relacionado a voltaje y corriente que necesite la batería de la manera más estable posible. La configuración mostrada en la figura 2.28 tiene todo el diseño para el cargador de baterías, que incluye el convertor elevador.

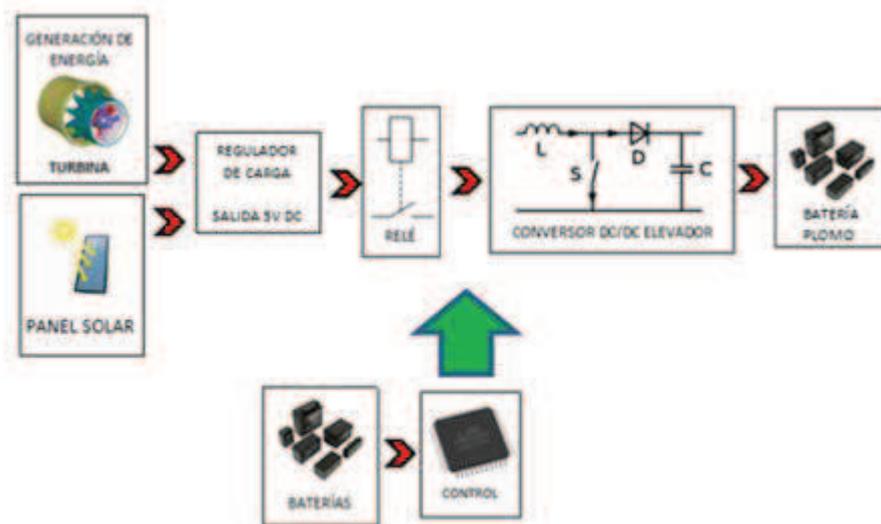


Figura 2.28 Diagrama de bloques para el cargador de baterías.

Al implementarse esta configuración se va a garantizar que exista un valor de voltaje mínimo de operación del convertor, para proteger así al resto de elementos que forma el cargador de baterías.

2.6.2 ANÁLISIS DE OPERACIÓN DEL CONVERTOR DC/DC

Este convertor permite hacer la transferencia de energía, desde una fuente de menor tensión a otra de mayor. Es decir se considera como fuente de menor tensión a la salida del regulador de voltaje y como fuente de mayor tensión al voltaje destinado para la batería, comúnmente entre 12V y 15V. Los elementos que intervienen en la operación de este sistema son una inductancia L , un transistor de efecto de campo Q , un diodo D , y un capacitor C . En la figura 2.29 se muestra el circuito.

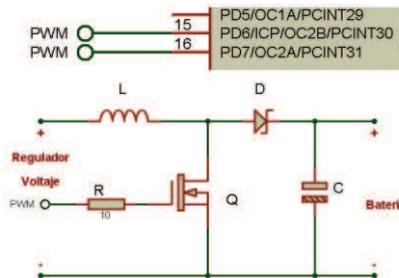


Figura 2.29 Configuración Boost

Para transferir la energía, es necesario cargar a la inductancia, para ello se utiliza al transistor Q . Cuando está cerrado empieza a incrementarse la corriente en la inductancia, pero al abrir violentamente, se produce un di/dt que induce una tensión en el inductor mencionado. En las formas de onda de la figura 2.30 se aprecia los voltajes y corrientes de los elementos del convertor.

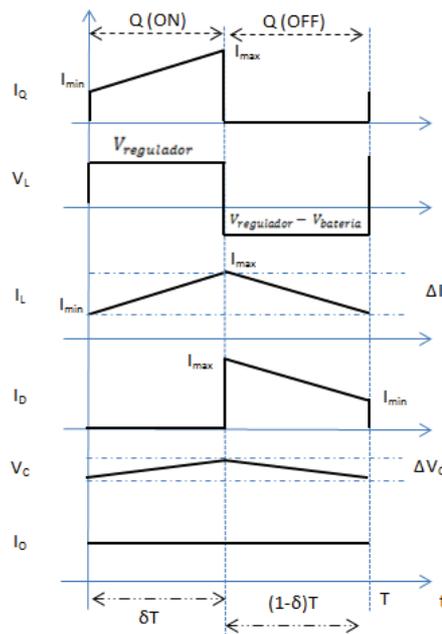


Figura 2.30 Gráficas del funcionamiento del convertor elevador (29)

Con las ecuaciones que se presentan desde la 2.2 hasta la 2.6, se justifica el dimensionamiento de los elementos que forman el convertidor, en función de parámetros como la frecuencia de operación del transistor, así como la relación de trabajo.

Voltaje de salida
$$V_{bateria} = \frac{V_{regulador}}{1 - \delta} \quad (2.2)$$

Corriente por la inductancia
$$I_L = I_{regulador} = \frac{I_{bateria}}{1 - \delta} \quad (2.3)$$

Rizado de corriente por la bobina
$$\Delta I_L = \frac{V_{regulador} \cdot \delta}{f \cdot L} \quad (2.4)$$

Rizado de voltaje por el condensador
$$\Delta V_C = \frac{I_{bateria} \cdot \delta}{C \cdot f} \quad (2.5)$$

Inductancia crítica
$$L_{Cr} = \frac{V_{bateria} \cdot \delta \cdot (1 - \delta)^2}{2 \cdot f \cdot I_{bateria}} \quad (2.6)$$

2.6.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL CONVERTOR

INDUCTOR

Primero se hace un análisis previo de las variables que intervienen en el dimensionamiento, por ejemplo:

- El valor del rizado en la inductancia, es importante, ya que puede causar pérdidas por el calentamiento, generar ruido audible, y posiblemente producir fallas en otras partes del circuito, debido a los campos magnéticos que generara la inductancia. La solución sería trabajar a frecuencias altas (PWM) o en todo caso conseguir una inductancia grande.
- Si se tiene frecuencias altas se puede reducir el tamaño tanto de la inductancia como del capacitor.

- El diseño debe garantizar que el valor de L sea mayor a la inductancia crítica, para que el convertidor no opere en el modo de conducción discontinua, ya que la corriente en la inductancia sería cero, y para aplicaciones como el cargador de baterías no es recomendable. (18)
- Todo el dimensionamiento debe realizarse para las peores condiciones.

Con las recomendaciones anteriores, se plantean los siguientes parámetros para el funcionamiento del convertidor boost:

- ✓ Salida máxima del convertidor $V_o = V_{baterias} = 15V$
- ✓ Voltaje de entrada mínima $V_{in} = V_{turbina} = 5V$
- ✓ Corriente máxima de salida del convertidor $I_o = I_{bateria} = 250mA$
- ✓ La máxima frecuencia que se puede conseguir en el microcontrolador con el cristal interno de 8MHz es 31,25 KHz

Se determina la relación de trabajo de la ecuación 2.2

$$\delta = 1 - \frac{V_{regulador}}{V_{Baterias}} = 1 - \frac{5}{15} = 0,67$$

Aplicando la ecuación 2.3, se determina la corriente de entrada, proveniente del regulador de carga.

$$I_{regulador} = \frac{I_{bateria}}{1 - \delta} = \frac{0,25 A}{1 - 0,67} = 0,75 A$$

Se escoge un valor arbitrario de rizado (10%), para determinar la variación de la corriente en la inductancia, y el valor medio de la corriente será igual a la corriente de entrada por parte del regulador (I_L).

$$\Delta I = 10\% \cdot I_L \tag{2.7}$$

$$\Delta I = 10\% \cdot 0,75 = 0,075 A$$

Se puede determinar la corriente máxima y mínima, en la bobina de la siguiente forma:

$$\Delta I_L = I_{max} - I_{min}$$

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 0,75 + \frac{0,75}{2} = 1,125 \text{ A} \quad (2.8)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 0,75 - \frac{0,75}{2} = 0,375 \text{ A} \quad (2.9)$$

Por medio de la ecuación 2.4, ya es posible calcular el valor de la inductancia.

$$L = \frac{V_{\text{regulador}} \cdot \delta}{\Delta I \cdot f} = \frac{5V \cdot 0,67}{31,25\text{kHz} \cdot 0,075A} = 1429,3\mu\text{H}$$

Para asegurar si la inductancia calculada puede trabajar en el modo de conducción continua, se calcula la inductancia crítica de la ecuación 2.6, es decir calcular el mínimo valor de L.

$$L_{cr} = \frac{V_o \cdot \delta \cdot (1 - \delta)^2}{2 \cdot I_o \cdot f} = \frac{15V \cdot 0,67 \cdot (1 - 0,67)^2}{2 \cdot 0,25A \cdot 31,25\text{kHz}} \geq 70\mu\text{H}$$

Conociendo estos valores se ha seleccionado la siguiente inductancia, que tiene las características, detalladas en la tabla 2.17 así como su forma en la figura 2.31.

Serie	Inductancia [μH]	Resistencia [Ω]	Corriente DC [A]
7447076	150	0.045	5

Tabla 2.17 Principales características de la inductancia



Figura 2.31 Inductor de 150 μH seleccionado (Anexo 8)

Con el nuevo valor de la inductancia, y conociendo su resistencia interna es posible calcular las pérdidas en el cobre, para ello es necesario recalculer el rizado de corriente.

$$\Delta I_L = \frac{V_{\text{regulador}} \cdot \delta}{f \cdot L} = \frac{5 \cdot 0,67}{31,25\text{kHz} \cdot 150\mu\text{H}} = 0,71 \text{ A}$$

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta I}{2} = 0,75 + \frac{0,075}{2} = 0,78\text{A}$$

$$P_{CU} = I_L^2 \cdot R_L = 0,75^2 \cdot 0,045 = 0,025W$$

Diodo

Para esta parte se considerará los siguientes aspectos, y se asume un voltaje de caída (V_F) de 2V, al momento de la conducción

- ✓ Voltaje de polarización inverso

$$V_{RRM} > V_{out} - V_F = 15V - 2V = 13V$$

- ✓ Corriente media en el diodo

$$I_F > I_{out} = I_{bateria} = 250mA$$

- ✓ Corriente pico en el diodo

$$I_p > I_{Lmax} = 0,78A$$

Como elemento se ha seleccionado el diodo Schottky MBR4045CTPbF. Si bien está diseñado para soportar altas corrientes y voltajes, tiene la característica de recuperación rápida, que resulta ser idóneo para esta aplicación. Además que tiene una caída de voltaje de 0.58V. En la figura 2.32 se tiene la distribución de pines del diodo.

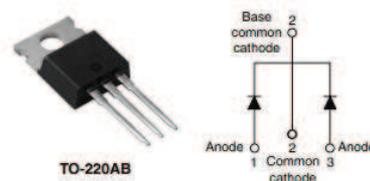


Figura 2.32 Diodo Schottky seleccionado (Anexo 9)

También se calcula la potencia disipada por parte del diodo, de la siguiente forma

$$P_D = V_F \cdot I_{MEDIA} \quad (2.13)$$

$$P_D = 0,58V \cdot 0,25A = 0,145W$$

Transistor

Se consideran los siguientes aspectos para la selección, más un voltaje de caída (V_F) de 2V.

- ✓ Voltaje drenaje-fuente

$$V_{DS} > V_{out} + V_F = 15V + 2V = 17V$$

- ✓ Corriente en drenaje

$$I_D > I_{Lmax} = 0,78A$$

Como elemento se ha seleccionado el mosfet IRFZ44N. De igual manera este elemento está diseñado para trabajar con altos voltajes y corrientes, pero el tiempo de encendido como el de apagado, el voltaje de activación y el voltaje de caída, son valores pequeños que lo hacen compatible al diseño del conversor. Las principales características se muestran en la tabla 2.18

Parámetros	Valores
V_{DS}	55V
I_D	49A
Voltaje de caída(V_F)	1.3V
Voltaje de activación (V_{GS}) mínimo	2V

Tabla 2.18 Principales características del transistor elegido

Para la activación del transistor es necesario colocar una resistencia. Después de realizar varias pruebas con diferentes valores, se seleccionó 10Ω , con lo que se tiene una mejor activación del mosfet, es decir mejoró la forma de onda del voltaje drenaje-fuente. A continuación se calcula la potencia de disipación, mediante la fórmula 2.14, considerando las peores condiciones:

$$P_D = I_L^2 \cdot R_{DS(ON)} \cdot \delta + \frac{1}{2} \cdot V_{DC} \cdot I_L \cdot (t_r + t_f) \cdot f \quad (2.14)$$

$$P_D = 0,75A^2 \cdot 17.5m\Omega \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 0,75 \cdot (60ns + 45ns) \cdot 31.25kHz$$

$$P_D = 28.25 \text{ m W}$$

Los elementos no generan una gran potencia de disipación, por tal motivo no surge la necesidad de incorporar algún tipo de disipador para el control de temperatura del elemento.

CAPACITOR

Para el cálculo se utiliza la ecuación 2.5, considerando un rizado del 2%.

$$C \geq \frac{I_o \cdot \delta}{\Delta V_C \cdot f} \geq \frac{0,25A \cdot 0.61}{15 \cdot 2\% \cdot 31.25kHz} \geq 1.62\mu F$$

Una de las recomendaciones para la selección de este elemento es que sea de un valor grande (hablando en el orden de microfaradios), para reducir el rizado lo más posible. Para el conversor se selecciona un capacitor de 1000 μF y de 50 V, que resulta fácil de conseguir en el mercado y que es de bajo costo.

2.6.4 SENSOR DE VOLTAJE PARA LA SALIDA DEL CONVERTOR

Constituye un divisor de voltaje mediante dos resistencias, tal y como se puede ver en la figura 2.33. El microcontrolador a través del ADC, recibe la señal de voltaje, y la trata internamente para el proceso de control.

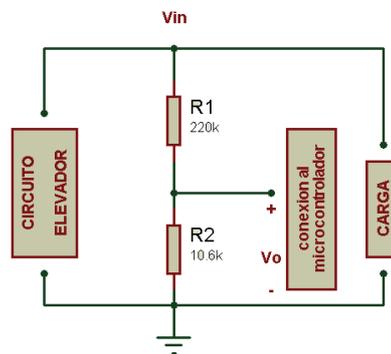


Figura 2.33 Sensor de voltaje para circuito elevador

Para el diseño se asume como valor máximo de salida del circuito elevador $V_{\text{elevador}} = 109V$, para que de esta forma la salida máxima del acondicionador diseñado sea $V_o = 5V$, todo esto como una protección de sobrevoltaje para el microcontrolador. Para el cálculo se asume $R_2 = 10.6 K\Omega$

$$V_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{\text{elevador}}$$

$$5V = \frac{10.6k}{10.6k + R_1} 109V$$

$$R_1 = 220.4k\Omega$$

Para R1 se tiene dos resistencias de 110 k Ω en serie, sumando en total 220 k Ω , Se consideró 109V, ya que de este modo se facilitan los cálculos así como conseguir los valores de las resistencias. Difícilmente se alcanzara este valor de voltaje en el conversor, pero no hay que olvidar que si por alguna razón la carga se desconecta, el voltaje de salida puede incrementarse considerablemente ocasionando daños especialmente al circuito de control. De esta manera se garantiza una protección adicional.

2.7 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR PARA EL CONVERTOR DC/DC ELEVADOR

Cuando se carga baterías, existen etapas donde es imprescindible mantener constante o el voltaje o la corriente, que proporciona en este el conversor elevador. Por esta razón es necesario implementar un controlador que puede ser analógico o digital y que sea este el que dirija las acciones del conversor DC/DC.

Antes de continuar cabe mencionar que para el prototipo solo se implementan dos etapas del algoritmo completo de carga, ya que no constituye un proyecto dirigido hacia la carga de baterías en sí.

Para ello es necesario identificar los voltajes y corrientes a utilizarse, identificados por las etapas del algoritmo y que se muestran claramente en la figura 2.34.

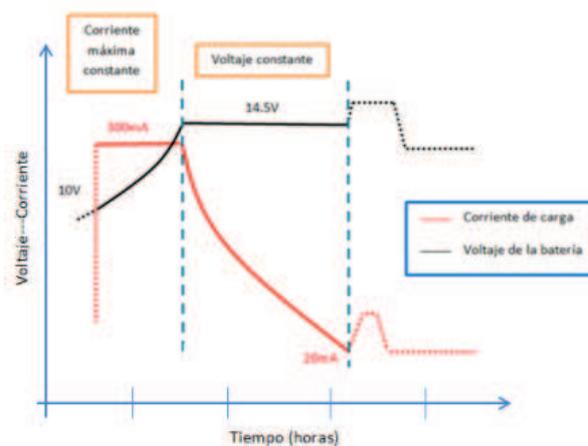


Figura 2.34 Algoritmo de carga utilizado para batería de plomo (30)

Se hace uso de la etapa de corriente constante o corriente máxima y la de sobrecarga, con lo que al fin se recupera aproximadamente el 95% o más de la carga total de una batería. La etapa siguiente, la de ecualización es opcional y se utiliza básicamente cuando la batería tiene carga completa y sigue conectada al cargador, con lo que se omite esta etapa.

Cuando se ve la necesidad de implementar un controlador para convertidores dc/dc es necesario conocer que a menudo, él o los análisis se basan en modelos matemáticos ya establecidos, como se verá más adelante. A continuación se hace el análisis del controlador a implementarse en el microcontrolador para que se acople de mejor forma al convertidor de potencia elegido.

Controlador PI

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt$$

- *Agrega un polo en el origen a la función de transferencia en lazo abierto, por lo que aumenta el orden del sistema, y agrega un polo finito a la función de transferencia en lazo cerrado.*
- *El controlador al ser colocado en compensación en serie con la planta del sistema, añade un cero $S = -K_i/K_p$, tanto en lazo abierto como en cerrado.*
- *Al aumentar el tipo del sistema, mejora el error en estado estacionario en un orden, por ejemplo, si el error a una entrada es constante, el controlador lo reduce a cero, pero la parte integral empeora la estabilidad, aumentando el sobreimpulso de la respuesta transitoria y las oscilaciones.*
- *El controlador constituye un filtro paso bajo, por lo que agrega un polo en lazo cerrado y disminuye el ancho de banda, con lo que filtra los ruidos de alta frecuencia.*
- *Si K_p , es muy grande, el cero se desplaza hacia el origen, convirtiéndose en un derivador puro, y como la derivada de una señal escalón es un impulso; la derivada de un cambio brusco de la señal sería una señal de gran amplitud, que puede saturar o dañar los componentes.*
- *El controlador PI puede mejorar la respuesta transitoria, mejorando el amortiguamiento y reduciendo el sobreimpulso con la parte proporcional (K_p).*

Reduce el error en estado estable con la parte integral, cabe mencionar también que si K_i no está calculado adecuadamente puede llegar a hacer que el sistema se vuelva inestable, debido al desplazamiento de los polos hacia la derecha. (31)

Para el diseño del controlador se tomó en cuenta el “modelo de pequeña señal” del convertidor (19). La idea es manejar un modelo lineal, para analizar los circuitos con transistores. Dado un punto de operación y una zona de funcionamiento es posible encontrar un modelo que facilite el análisis de circuitos. Se ha establecido la función de transferencia mostrada en la ecuación 2.15 para el convertidor que se aprecia en la figura 2.35, en base a los elementos que lo conforman, cuando se trabaja en modo de conducción continua.

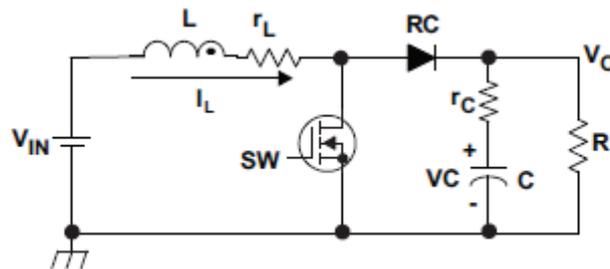


Figura 2.35 Convertidor elevador

$$\frac{V_O}{d} = G_{do} \frac{\left(1 + \frac{s}{w_{z1}}\right) \left(1 - \frac{s}{w_{RHP-zero}}\right)}{1 + \frac{s}{w_0 \cdot Q} + \frac{s^2}{w_0^2}} \quad (2.15)$$

Dónde:

$$G_{do} \approx \frac{v_o^2}{v_{in}} \quad (2.16)$$

$$w_{RHP} \approx \frac{R}{L} \left(\frac{v_{in}}{v_o}\right)^2 \quad (2.17)$$

$$w_{z1} = \frac{1}{r_c \cdot C} \quad (2.18)$$

$$w_0 \approx \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \cdot \frac{v_{in}}{v_o} \quad (2.19)$$

$$Q \approx \frac{w_0}{\frac{r_L}{L} + \frac{1}{C \cdot (R+r_c)}} \quad (2.20)$$

Las condiciones que debe cumplir el convertor son las siguientes:

- Haciendo el análisis conjuntamente con el diagrama de Bode, la ganancia en lazo abierto debe ser alta en bajas frecuencias, para reducir el error estacionario.
- La frecuencia de corte debe ser lo más alta posible, pero de una magnitud menor a la frecuencia de conmutación ($31.25\text{KHz}-1.9 \times 10^4 \text{rad/s}$), para permitir que el sistema responda a los transitorios lo más rápido posible.
- La pendiente en la que se encuentre la frecuencia de conmutación debe tender a -20 dB .
- El margen de fase debe ser grande para garantizar estabilidad.

Para verificar si se cumple con las condiciones citadas, se realizó una prueba, con los elementos dimensionados en el capítulo anterior para el convertor, y de carga se toma una batería de 12V , con una fuente de alimentación de 3.7V . El circuito se aprecia en la figura 2.36.

Remplazando los valores tanto en las ecuaciones anteriores como en el circuito de potencia tendríamos:

$$Wz1=43.5\text{k}$$

$$W_{rhp\text{-zero}}=8,6\text{k}$$

$$W_o=2,1\text{k}$$

$$Q=1,5$$

$$G_{do}=57,6$$

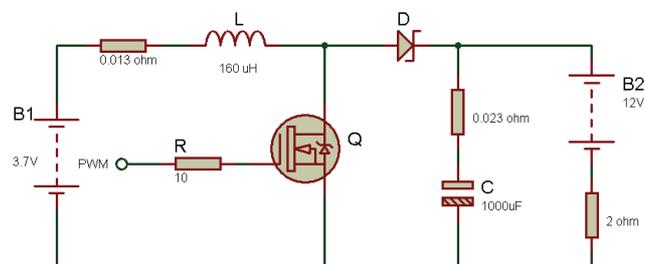


Figura 2.36 Convertor diseñado

Estructurando la función de transferencia se tiene:

$$\frac{V_o}{d} = \frac{-57,6s^2 - 2E6s + 21,4E9}{s^2 + 1.4E3 + 4.3E6}$$

Para obtener los diagramas de Bode se utiliza una herramienta del programa MATLAB que con una sola instrucción es posible obtener los resultados gráficos. En la figura 2.37 se puede apreciar la respuesta en lazo abierto del convertidor elevador.

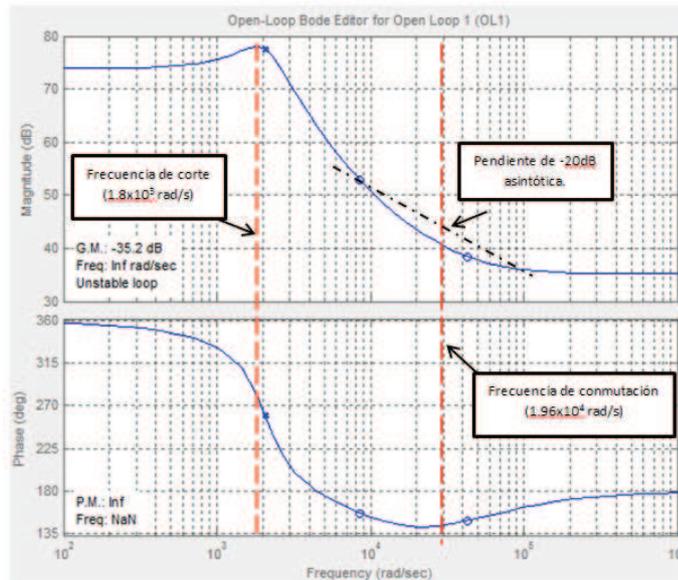


Figura 2.37 Respuesta en lazo abierto

Lo primero que se puede concluir con estos resultados, es que al tener un margen de fase infinito, el sistema es estable, además la frecuencia de conmutación está en el rango de una pendiente de -20 dB, y también la frecuencia de corte es menor a la frecuencia de conmutación.

Dado que se está trabajando con microcontrolador se considera implementar el controlador PI digitalmente resulta más conveniente. En este caso los valores de ganancias son pequeños y es necesario discretizar por medio de un tiempo de muestro (T).

Para comprobar la funcionalidad del compensador elegido se realizó una simulación añadiendo un polo y un cero al azar, en lazo abierto. Los resultados se pueden observar en la figura 2.38.

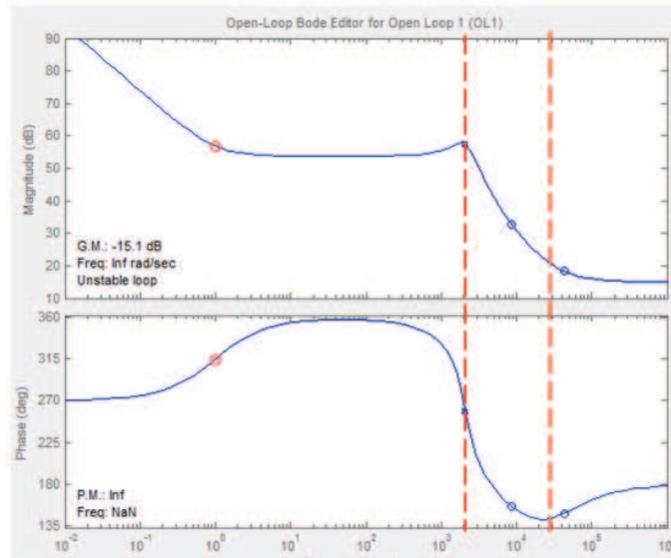


Figura 2.38 Conversor elevador más compensador en lazo abierto

La diferencia entre las frecuencia se mantiene, así el margen de fase, e inclusive se incrementó la ganancia considerando que aún no está cerrado el lazo. Cabe mencionar también que para cargar adecuadamente la batería es necesario implementar un PI tanto para mantener la corriente como el voltaje constante. (18)

2.8 CONTROLADOR DIGITAL

La función de transferencia para un controlador PID digital se convierte en:

$$U(z) = Kp \left[1 + \frac{T}{T_i \cdot (1 - z^{-1})} + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{T} \right] E(z) \quad (2.21)$$

La función discreta se puede presentar de la siguiente forma:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1 - z^{-1}} + c(1 - z^{-1}) \quad (2.22)$$

Dónde:

$$a = Kp \quad b = \frac{Kp \cdot T}{T_i} \quad c = \frac{Kp \cdot Td}{T} \quad (2.23)$$

Pero para implementar este concepto al microcontrolador es necesario hacer una aproximación, que resulta fácil y proporciona buenos resultados, así cada término del controlador se puede aproximar por:

Proporcional

$$Kp \cdot e(t) = Kp \cdot e(n) \quad (2.24)$$

Integral

$$Ki \int e(t) dt = Ki \cdot T \cdot \sum_i e_i \quad (2.25)$$

Derivativo

$$Kd \frac{e(t)}{dt} = Kd \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad (2.26)$$

Algoritmo completo del controlador PID, para implementarse digitalmente.

$$u(n) = Kp \cdot e(n) + Ki \cdot T \cdot \sum_i e_i + Kd \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad (2.27)$$

Existen varias formas para estructurar un PID, para este proyecto se utilizara el modelo en paralelo que se muestra en la figura 2.39.

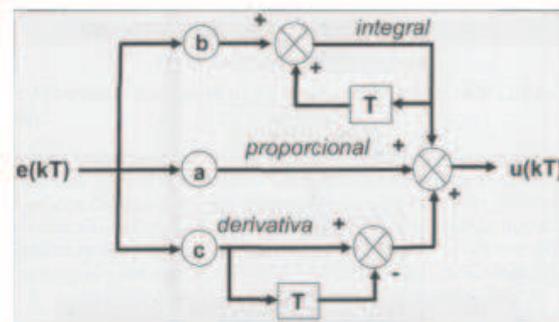


Figura 2.39 Diseño paralelo de controlador PID (32)

2.9 SELECCIÓN DE BATERÍAS

2.9.1 BATERÍA DE ÁCIDO PLOMO

El diseño de este prototipo como ya se menciona está orientado a la generación de energía a partir de varios elementos, y la manera más adecuada de administrar esta energía sería almacenar en baterías.

Elementos como la turbina o el panel solar no siempre presentan valores de voltaje y corriente constantes por poner un ejemplo, y es necesario utilizar un elemento que soporte estos cambios, por tal razón el uso de baterías.

Como menciono anteriormente si por alguna razón la batería que alimenta al circuito de control se descarga, se puede intercambiar por la batería que está siendo cargada a través del conversor elevador.

En la tabla 2.19 se lista los voltajes y corrientes necesarios para poner en funcionamiento todo el circuito de control con los diferentes elementos del prototipo, poder seleccionar la batería adecuada.

Elemento	Voltaje[V]	Corriente[A]
Atmega164p x2	5	500m
LCD	5	100m
Ina169	5	125u
LM35	5	2u
L293D control	5	60m
Sensor de flujo	5	15m
Reles x2	5	160m
LEDS X10	5	150m
Uln2003	5	1.35m
Motor DC	10-12	100m
Suma de Corrientes		1.08
Corriente total más factor de seguridad(1.2)		1.30

Tabla 2.19 Tabla resumen de voltaje y corrientes

Además para determinar del tiempo de autonomía de la batería aplicaremos la fórmula 2.28.

$$t = \frac{H}{\left(\frac{IH}{C}\right)^k} \quad (2.28)$$

Dónde:

- ❖ t = Tiempo de autonomía
- ❖ C= Capacidad de autonomía amperios-hora(AH) del fabricante
- ❖ H= Tiempo horas por el fabricante
- ❖ I= Intensidad que necesitamos en amperios
- ❖ K= Exponente Peukert 1.1 Gel y 1.3 Plomo Acido

La batería de plomo seleccionada tanto, para fuente de alimentación como para objeto de carga tiene las características que se muestran en la tabla 2.20.

Marca	INNOVATIVE
Serie	BT1.3
Capacidad	12V /1.3 AH
Voltaje de carga	14.4 a 15 V
Voltaje de uso estándar	13,5 a 13,8V
Corriente de carga	Menor a 0.39A

Tabla 2.20 Características de la batería de plomo ácido

Para determinar la autonomía, sustituimos los datos en la ecuación 2.28.

$$t = \frac{20 H}{\left(\frac{1.3A * 20 H}{1.3 AH}\right)^{1.3}}$$

$$t = \frac{20 H}{83.22}$$

$$t = 0,41 \text{ horas} = 24 \text{ min } 36 \text{ seg}$$

Recordar que este cálculo es valor teórico, y en el capítulo de pruebas se comprobara la validez. La batería se muestra en la figura 2.40.



Figura 2.40 Batería de plomo seleccionada

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS

3.1 GENERALIDADES

Para este proyecto se utiliza dos microcontroladores de la familia ATMEL, para la parte de control del prototipo. Uno de ellos, al cual le conoceremos como MASTER 1, tiene como función controlar todo lo relacionado a los efectos de la expansión del gas, lo que incluye también el tratamiento de los datos de los diferentes sensores explicados anteriormente, de tal forma que permite regular la apertura o cierre de la válvula, y poder observar como varia el voltaje de generación por parte de la turbina.

El segundo circuito, o MASTER 2, está programado para administrar la energía proveniente del panel solar y de la turbina (regulador de carga), y transferirla a la batería de plomo ácido controlando lo relacionado a voltaje y corriente.

3.2 INICIALIZACIÓN

Como primer paso se inicializa el microcontrolador a utilizar, en este caso el Atmega164PA, a continuación el reloj de trabajo interno de 8 MHz. Adicionalmente es necesario configurar ciertos aspectos que cada microcontrolador hace uso exclusivo y que están marcados en la tabla 3.1

ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	MASTER 1	MASTER 2
PUERTOS	Se dispone de 4 puertos, uno de ellos para convertir señales analógicas a digitales y que constituyendo canales de entrada de datos, más 3 puertos para procesos específicamente digitales, siendo tanto de entrada como salida de datos.	X	X
LCD	Un display de 16 filas por 4 columnas que muestra los valores de temperatura, flujo, etc. Así como mensajes dependiendo de la ejecución del programa.	X	

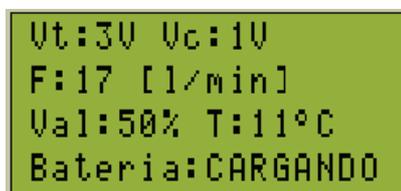
UART	Permite realizar la comunicación serial, entre el microcontrolador y el computador, así mismo es posible visualizar y controlar el proceso desde el Labview.	X	
TIMERS	Para esta parte se tiene configurado en modo PWM (para el master 2) con la posibilidad de variar el ancho de pulso y poder analizar el efecto de ese cambio. Y como contador de pulsos (para el master 1), para lectura del sensor de flujo.	X	X

Tabla 3.1 Principales funciones del microcontrolador

3.3 PROGRAMA PRINCIPAL MASTER 1

Se inicia con la definición de variables, configuración de puertos y demás elementos a utilizarse por medio del microcontrolador, seguidamente hace una lectura rápida de las variables almacenadas en la eeprom para su respectivo procesamiento. El programa se encuentra desarrollado dentro de un lazo repetitivo, que está procesando información constantemente. El microcontrolador ejecuta instrucciones en tiempos relativamente pequeños, y es capaz de detectar cualquier cambio o anomalía y proceder con la respectiva acción de control.

En el lazo principal del master1, siempre se está procesando la información proveniente de los sensores de temperatura, flujo, y el voltaje de la celda Peltier. Una vez procesados todos los datos, el microcontrolador los muestra en la LCD tal y como se puede apreciar en la figura 3.1.



```

Ut:3V Uc:1V
F:17 [l/min]
Val:50% T:11°C
Bateria:CARGANDO

```

Figura 3.1 Visualización de los parámetros de control

En la figura 3.2 se muestra el diagrama de flujo, de la secuencia del programa desarrollado de forma global. Para facilitar el proceso de control se trabaja con subrutinas las cuales se explicaran más adelante, y con lo que se logra un mejor

entendimiento.

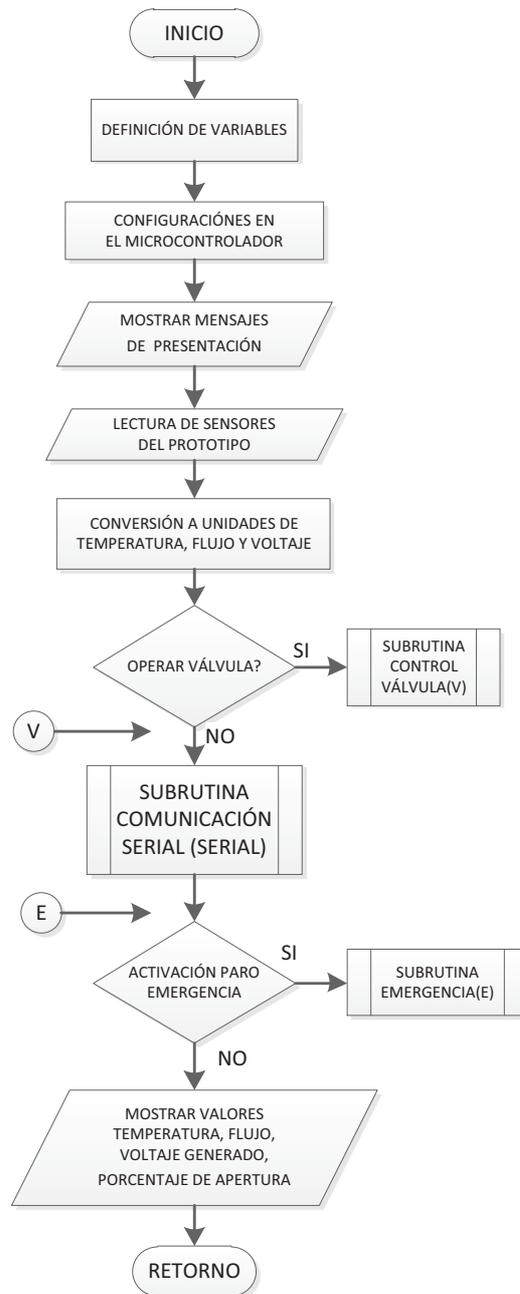


Figura 3.2 Diagrama de flujo del programa general

En cualquier instante se puede abrir o cerrar la válvula de control. Para ello se utiliza el teclado matricial, presionando los diferentes números. Es posible trabajar con los diferentes porcentajes de apertura, de esta forma se puede ver un cambio en la generación de energía por parte de la turbina.

Para este proyecto es aconsejable trabajar con porcentajes bajos, ya que de lo contrario todo el gas comprimido en el tanque saldría en un solo golpe, y no se podría visualizar el efecto de expandir el gas. Mientras se ejecuta la rutina de la válvula, los valores mostrados en la LCD no se pueden actualizar debido a que se ha priorizado esta subrutina. Pero el tiempo de ejecución, es relativamente pequeña, teniendo en cuenta la inercia del vástago de la válvula para hacer algún movimiento ante la acción del motor DC.

Cuando los saltos son con una diferencia del 10%, el programa no demora más de 3 seg en responder, respecto a saltos más grandes donde obviamente con lleva un mayor tiempo de ejecución. Una vez cumplidos estos tiempos el microcontrolador actualiza todos los datos de forma inmediata. En la figura 3.3 se muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado para el master 1 con las diferentes subrutinas.

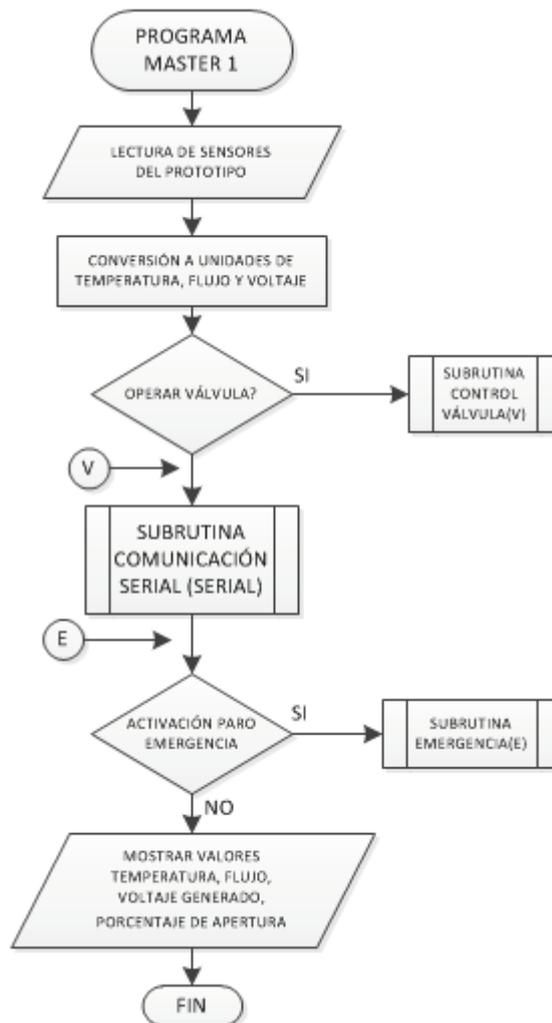
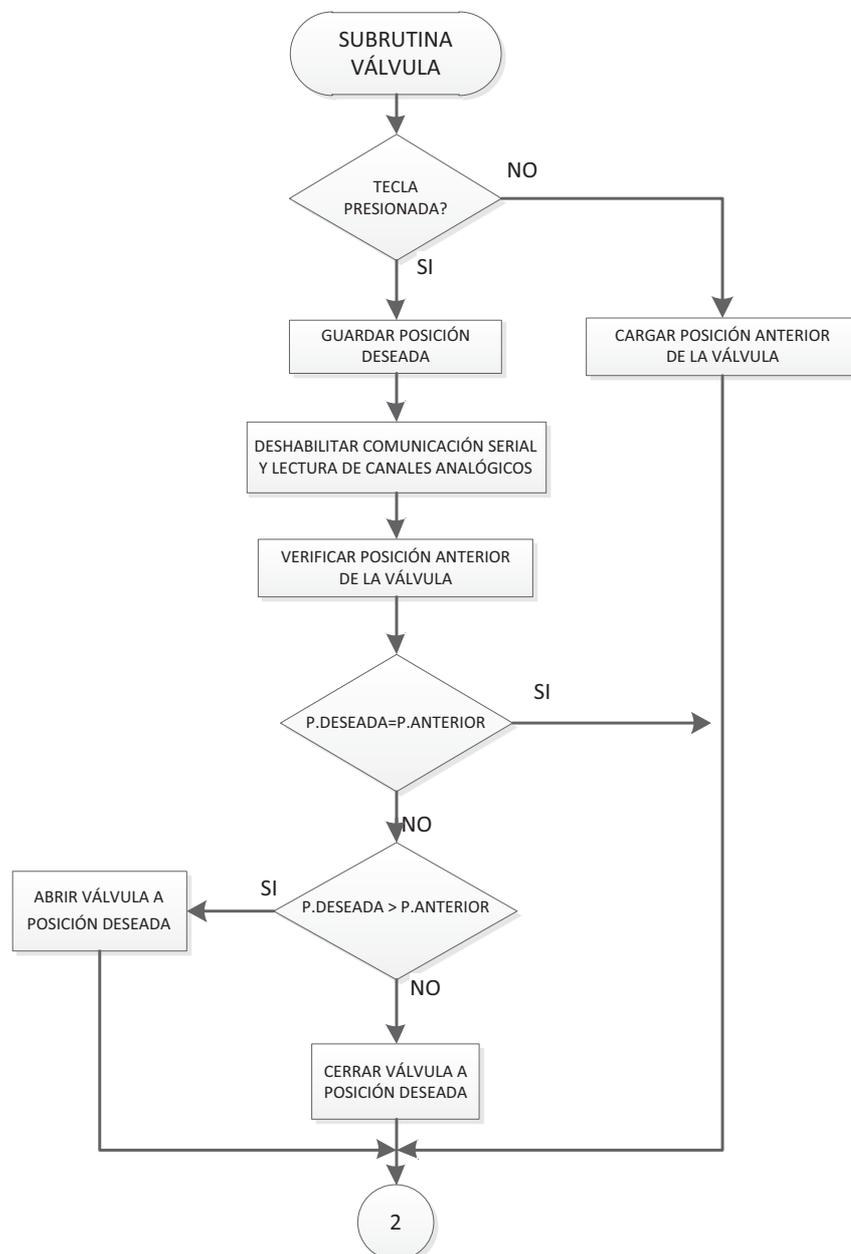


Figura 3.3 Diagrama de flujo Master 1

3.3.1 SUBROUTINA CONTROL VÁLVULA

Cada vez que esta subrutina es llamada se guarda tanto la posición deseada como la posición anterior de la válvula, y a continuación se hace una comparación entre estos dos datos. Si se da el caso, que la apertura deseada es mayor a la posición anterior, un contador que está almacenado en la memoria interna del microcontrolador (eeprom) se incrementa abriendo la válvula hasta llegar a la posición deseada. Caso contrario el contador empieza a decrementar cuando la posición deseada es menor al valor almacenado como posición anterior, cerrando así la válvula. En la figura 3.4 se muestra el diagrama de flujo de esta subrutina mencionada.



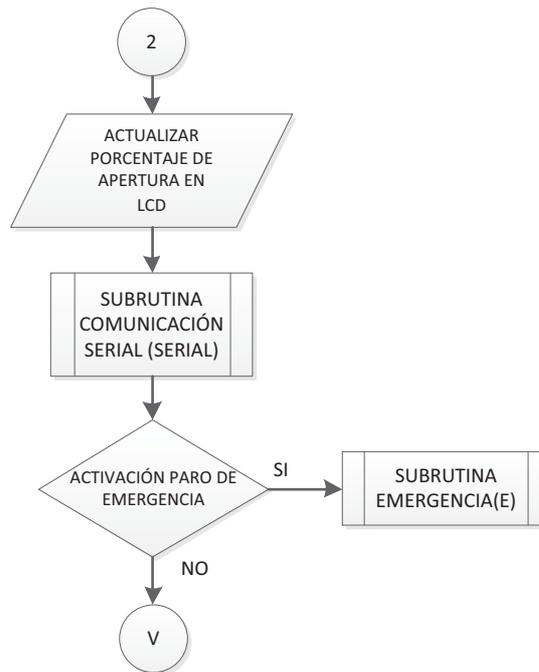


Figura 3.4 Diagrama de flujo subrutina control válvula

El teclado matricial forma parte de este control, para ello es necesario presionar las diferentes teclas. Cada tecla corresponde a un porcentaje de apertura, es decir que si se presiona el #2 por ejemplo, de la posición en la que se encuentre la válvula pasara ahora al 20% de apertura. En caso de que se presione la misma tecla por segunda oportunidad, el programa simplemente se salta esta rutina.

Inmediatamente después de procesar esa información se actualiza la variable definida para almacenar el porcentaje de apertura, y la muestra en la LCD y al mismo tiempo la nueva posición deseada se vuelve posición anterior, y se guarda el dato en la eeprom.

3.3.2 SUBROUTINA EMERGENCIA

Dado que el prototipo no contiene un sensor digital de presión, no es posible tomar valores mediante el circuito de control, de este modo la única forma es verificando con el manómetro. Dado esta desventaja, se ha implementado un pulsador de emergencia que hace correr una subrutina cuando la situación así lo amerite. El programa muestra el mensaje de la figura 3.5 cuando se activa el pulsador tipo hongo.

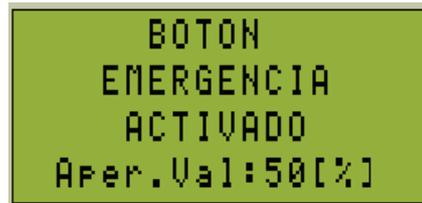


Figura 3.5 Mensaje paro de emergencia

El prototipo está diseñado para trabajar en un rango entre 100 a 200 PSI. Si por alguna razón el manómetro marca valores superiores a los indicados, o se presenta algún inconveniente en las tuberías o el depósito, presionar inmediatamente el pulsador de emergencia. El control se realiza exclusivamente en la válvula. Abriéndola al 50% y aliviando toda la presión almacenada en el tanque y en las tuberías.

Después de liberar el pulsador, la válvula queda abierta en la posición indicada anteriormente, y para poder ganar presión nuevamente dentro del depósito es necesario operar el teclado matricial. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 3.6.



Figura 3.6 Diagrama de flujo subrutina emergencia

3.3.3 ENVIÓ Y RECEPCIÓN DE DATOS CON EL LABVIEW

Se estructuró una subrutina para esta parte, la cual no muestra un mayor grado de complejidad con respecto a las anteriores. Entra en funcionamiento una vez que el microcontrolador detecta que el Labview arranco, de esta forma todos los datos se envían en un solo paquete.

En conclusión todo dependería de cómo se desee operar el prototipo, es decir con o sin la ayuda del Labview. Adicionalmente se ha colocado un indicador led que informa si la conexión entre el computador y el microcontrolador se ha logrado exitosamente. En la figura 3.7 se muestra el diagrama de flujo de esta subrutina de comunicación serial.

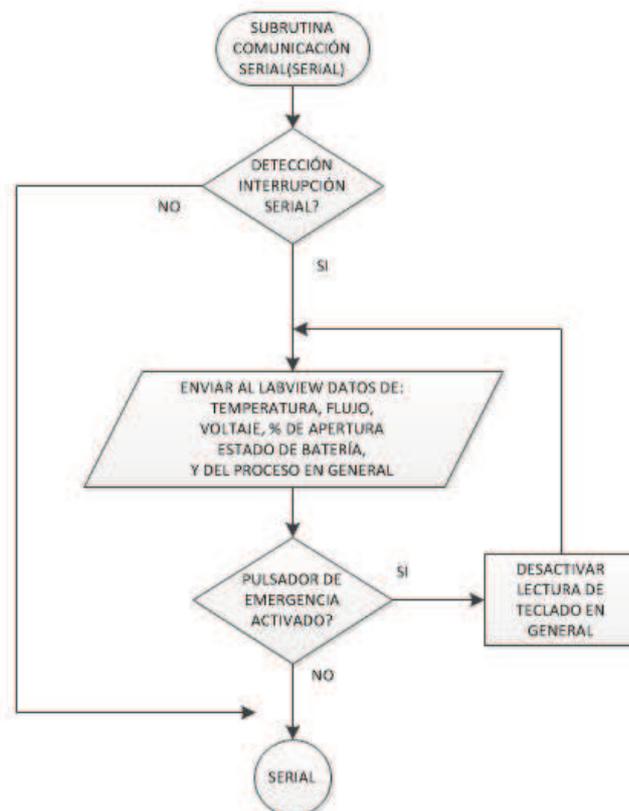


Figura 3.7 Subrutina comunicación serial en microcontrolador

3.4 PROGRAMA MASTER 2

Este microcontrolador está programado para realizar el control de carga de una batería, considerando las limitaciones del prototipo. Básicamente el proceso de

carga utiliza la energía proveniente del regulador de carga, es decir, de la batería de litio, que utiliza la energía tanto del panel solar como de la turbina.

Si dicha batería de litio esta descargada, el algoritmo de carga no se efectúa, e inmediatamente se enciende un led indicador en el panel de control, y es necesario esperar hasta que la batería este cargada. En la figura 3.8 se muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado para cargar la batería de plomo.

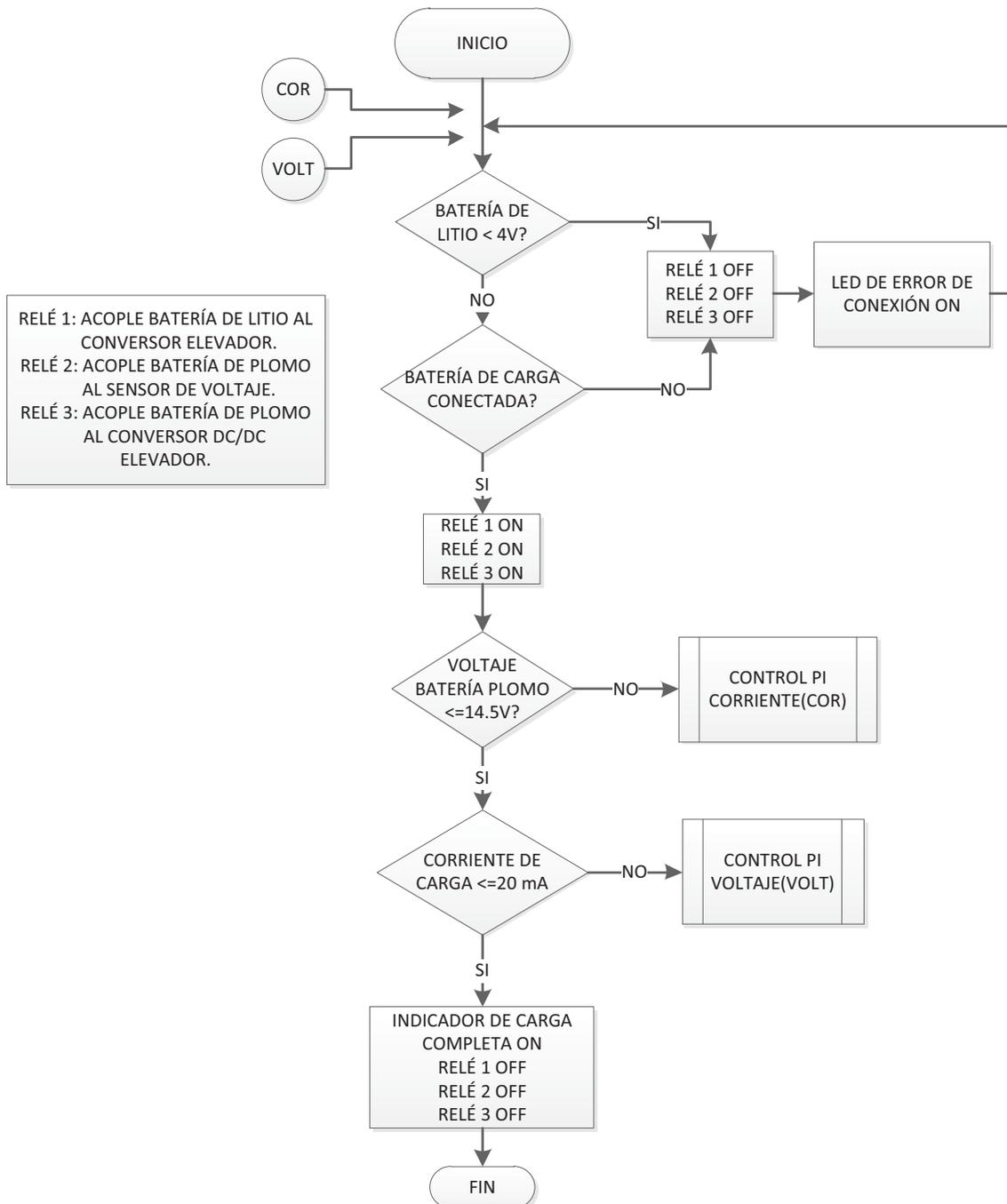


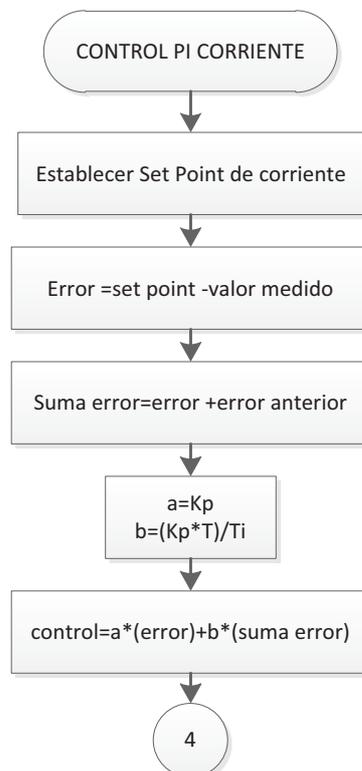
Figura 3.8 Algoritmo de carga de batería de plomo

3.4.1 CONTROLADOR PI DE CORRIENTE

Es necesario implementar este controlador, ya que la primera etapa del cargador de baterías exige administrarle una corriente máxima constante. La batería en esta parte del algoritmo empieza a elevar su voltaje hasta llegar a los valores nominales establecidos por los fabricantes como puede ser por ejemplo, 14.5V o 14.9V, pero por efectos mismos de la carga la corriente puede tender a elevarse y este efecto debe ser corregido por el circuito de control. La ecuación que describe el controlador a utilizarse es:

$$u(n) = K_p \cdot e(n) + K_i \cdot T \cdot \sum_i e_i \quad (3.1)$$

Donde $u(n)$ es la salida del controlador, $e(n)$ es el error generado por el set point de corriente y la corriente de carga, y el sumatorio representa la acumulación del error, T es el tiempo de muestreo. Una vez indicado estos factores se procedió a implementarlo en el microcontrolador, cabe mencionar también que los valores de las ganancias (K_p y K_i) se los ajusto manualmente y se describen en el siguiente capítulo. En la figura 3.9 se presenta el diagrama de flujo del controlador PI de corriente.



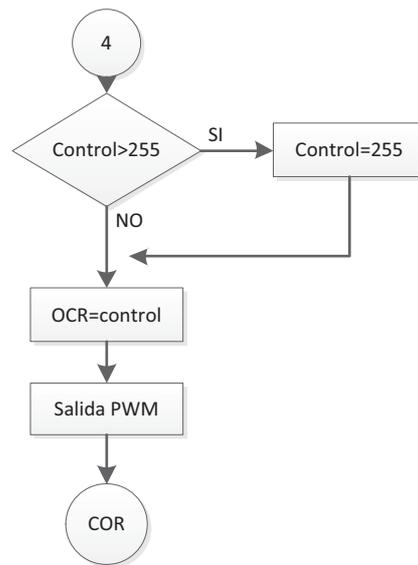
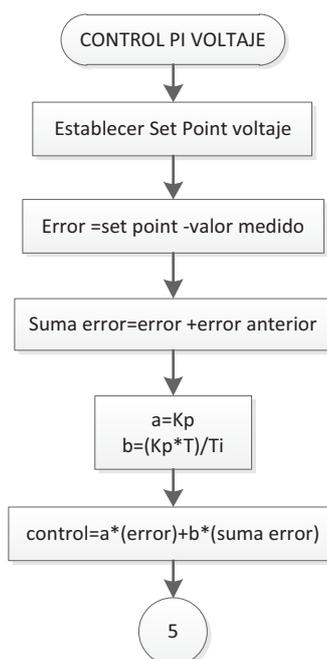


Figura 3.9 Subrutina control PI de corriente

3.4.2 CONTROLADOR PI DE VOLTAJE

Esta acción de control aparece cuando el voltaje en la batería ha llegado a 14.5V, lo que es equivalente a tener el 80% de carga total. Es indispensable que el conversor elevador proporcione un voltaje fijo y constante, de tal forma que después de un tiempo la corriente que circule por la batería sea mínima, un 2% de la capacidad de la batería o menos, lo que equivale aproximadamente a 20mA para las baterías utilizadas en este proyecto. En la figura 3.10 se observa el diagrama de flujo del PI de voltaje desarrollado en el microcontrolador.



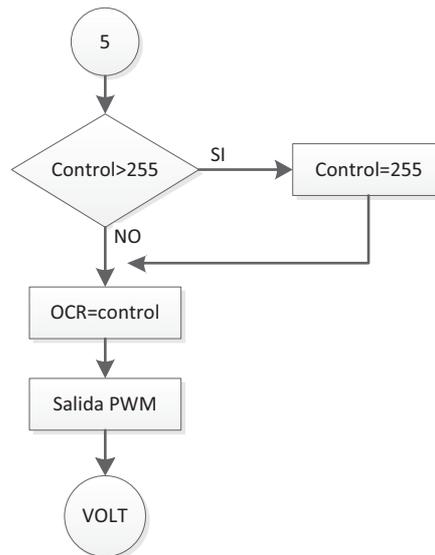


Figura 3.10 Algoritmo PI de voltaje

3.5 DISEÑO HMI EN LABVIEW

El objetivo de desarrollar la interfaz hombre-máquina, es orientado a realizar un control en modo automático de algún modulo o planta y más aún cuando es a distancia, de tal forma que pueda facilitar el monitoreo y control de un proceso.

En este caso particular y como se mencionó al no disponer de un sensor de presión que se acople al microcontrolador, es indispensable estar siempre pendiente de esta variable. Con lo cual no se podría asegurar un control a distancia, caso contrario al disponer de los elementos necesarios se tendría otros resultados.

El circuito de control lo que permite manipular es básicamente la apertura de la válvula, el resto, por así decirlo es automático, tan solo hay que considerar las advertencias que muestran tanto la LCD como en los LEDS.

Con la idea anterior se desarrolló la interfaz en el Labview, que resulta bastante amigable, considerando que es más simple al trabajar en el computador con solo dar un click. En la figura 3.11 se muestra la apariencia del panel frontal de la interfaz realizada.

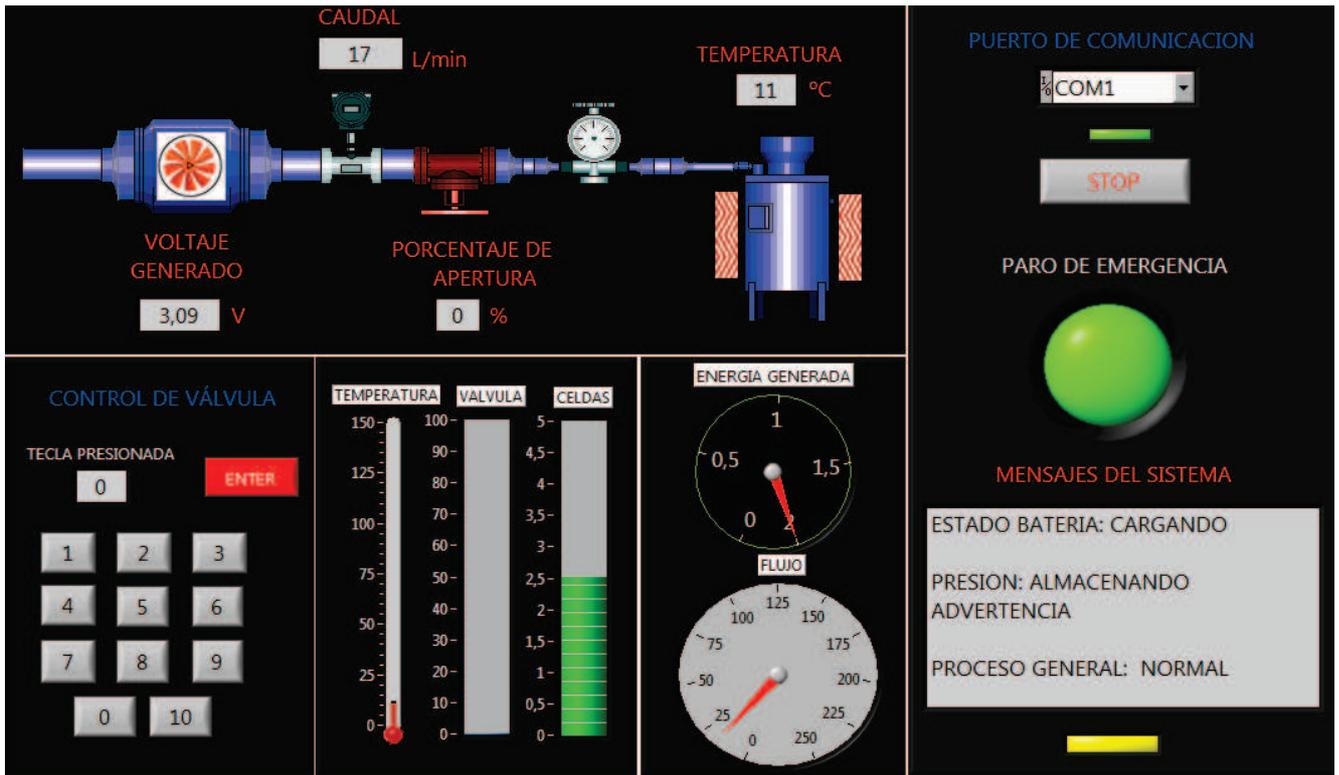
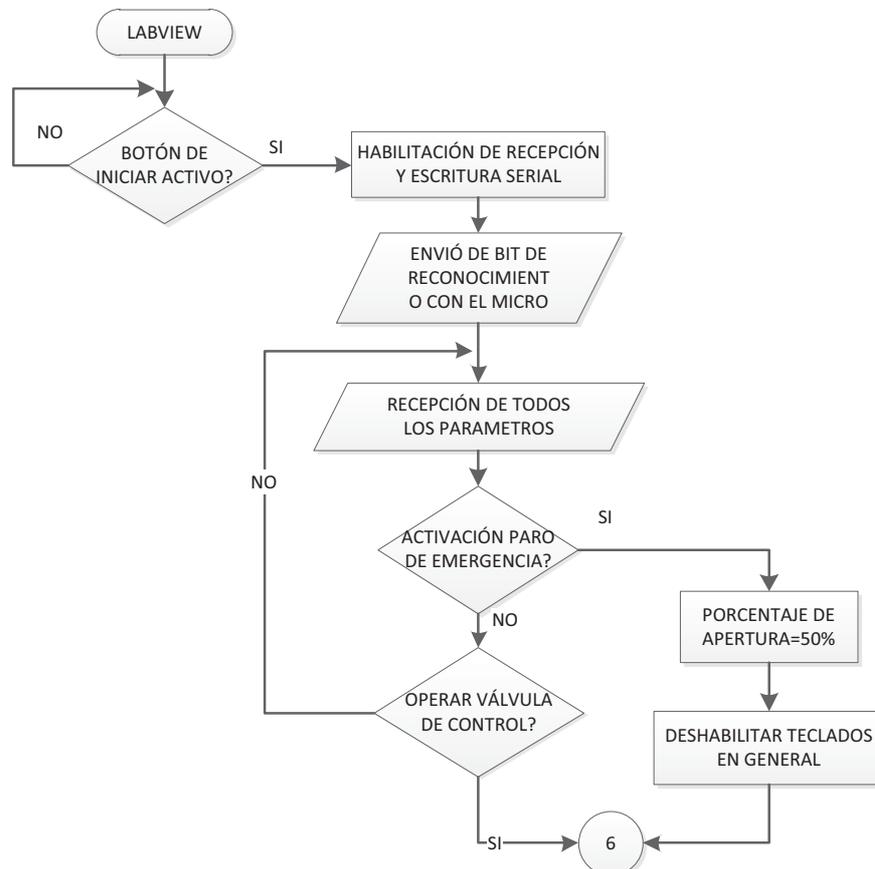


Figura 3.11 Pantalla de operación en la PC

El diagrama de flujo del programa desarrollado en este software se encuentra en la figura 3.12.



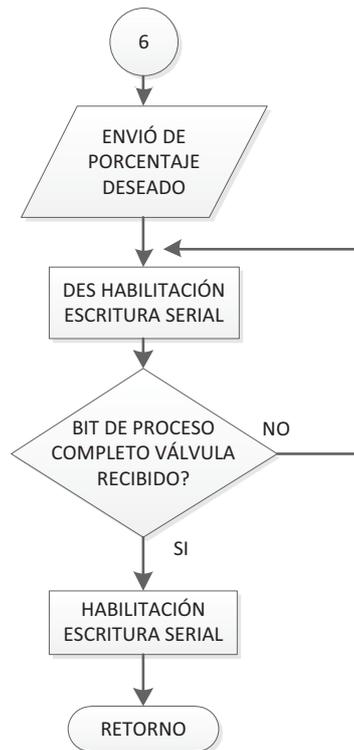


Figura 3.12 Diagrama de flujo de la HMI

Antes que se inicie el funcionamiento del programa es necesario seleccionar el puerto de comunicación, en este caso sería el COM1, y que está marcado por el puerto USB donde se conecte la placa RS-232 en el computador, tal y como se puede apreciar en la figura 3.13. Y cuando surja la necesidad de parar la operación mediante el Labview basta con presionar el botón de stop.



Figura 3.13 Arranque y paro del Labview

En algún momento del proceso se puede experimentar varios eventos, y es necesario saber interpretar los diferentes mensajes que se muestran en la pantalla. Después de iniciar el proceso, se muestra el mensaje de la figura 3.14, quiere decir que no se corre ningún tipo de riesgo y se está cumpliendo el proceso normalmente. Adicional el indicador debajo de los mensajes tiene que permanecer en amarillo cuando se cumple esta etapa.

Respecto a la batería se tiene indicadores para cuando se está cargando o ya se ha cargado completamente.

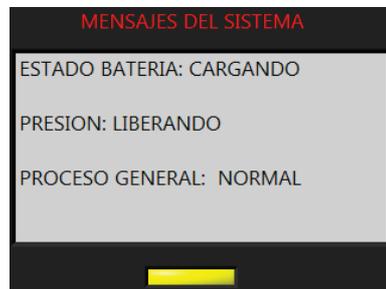


Figura 3.14 Primer mensaje del Labview

Mientras se está ganando presión en el depósito, necesariamente la válvula debe estar completamente cerrada, y es muy importante tomar las precauciones del caso en la presión. Si bien el tanque al ser de acero inoxidable soporta altas presiones, no es recomendable exponerse a posibles riesgos que involucren las presiones altas. El sistema mostrará el mensaje de la figura 3.15

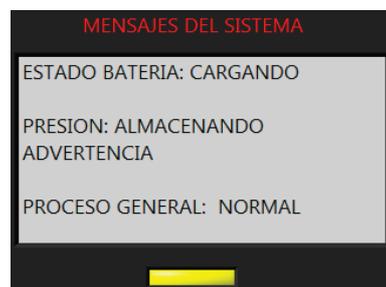


Figura 3.15 Segundo mensaje del sistema

En el caso que se detecte que la presión sobrepaso los niveles esperados de trabajo, inmediatamente presionar el botón de emergencia, que puede ser el que se encuentra en el Labview o en el panel de control, como los de la figura 3.16.



Figura 3.16 Botones de emergencia

Si se presionó el que se encuentra en el Labview inmediatamente se abre la válvula al 50%, con lo que se empieza a liberar la presión y se muestra el mensaje de la figura 3.17.



Figura 3.17 Paro de emergencia Labview

Obviamente al ser un paro de emergencia obliga a que se deshabilite esencialmente los teclados tanto el que está conectado al microcontrolador como el del Labview. Para que el sistema vuelva a su estado inicial basta con dar un click sobre el botón de emergencia presionado. De igual manera sí se presionó el paro de emergencia del panel de control, se cumple lo anteriormente dicho. Y si se encuentra conectado el microcontrolador al computador se muestra en el Labview el mensaje de la figura 3.18.



Figura 3.18 Paro de emergencia activado desde el microcontrolador

Si el indicador debajo de la pantalla de mensajes se torna rojo, quiere decir que la acción de emergencia se ejecutó desde el microcontrolador, y obviamente en de Labview sigue intacto. De igual forma para volver al proceso normal es necesario

desactivar el botón de emergencia en el microcontrolador. También se tiene un teclado para el control de la válvula, y para operar hay que seleccionar la tecla deseada, que corresponde al porcentaje de apertura de la válvula, que va desde 0 (0% completamente cerrada) a 10 (100% completamente abierta), tal y como se aprecia en la figura 3.19. Una vez presionada la tecla es necesario activar la tecla “ENTER” para completar la acción.



Figura 3.19 Teclado para control de válvula

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez que se cumplió con la parte de diseño y la construcción del prototipo de generación de energía, es necesario analizar su funcionamiento así como el comportamiento de los diferentes sensores, actuadores, y el conversor elevador diseñado para funcionar en este proyecto.

Cabe mencionar también que se experimentó con varios elementos para funcionar en conjunto con el caldero, y poder así obtener un mayor provecho del proyecto, elementos como hielo seco (CO_2), agua y aire comprimido, cuyos resultados se expondrán más adelante.

4.1 PRUEBAS DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA.

Utilizando la celda Peltier y exponiéndola a un gradiente de temperatura, se realizó diferentes mediciones para comprobar la funcionalidad de este método. Los resultados de las pruebas se recogen en la tabla 4.1, y se consideró elementos como un tanque de dióxido de carbono que proporciona una temperatura cercana a los $0\text{ }^\circ\text{C}$, la temperatura ambiente, que en ese momento se encontraba a $22\text{ }^\circ\text{C}$, y el calor que expulsan dos cautines sumando una temperatura de $90\text{ }^\circ\text{C}$.

Para los datos de temperatura se utilizó el sensor LM35, y se combinó los diferentes elementos. Cabe mencionar también que el tanque de CO_2 no siempre mantenía el flujo constante y por eso el sensor detectaba diferentes temperaturas.

Experimento	T1 ($^\circ\text{C}$)	T2 ($^\circ\text{C}$)	Voltaje en terminales [V]
1	0	90	2.052
2	5	90	1.45
3	10	90	1.05
4	0	22	0.23
5	22	90	0.6

Tabla 4.1 Pruebas con la celda

Con los datos obtenidos se observa que a mayor gradiente, mayor voltaje. Lamentablemente no fue posible realizar pruebas con un mayor número de celdas y poder apreciar su capacidad al realizar una conexión en serie, por ejemplo.

Durante las pruebas se pudo apreciar también, que en ciertas ocasiones el valor de voltaje en los terminales de la celda se hace cero. Esto es debido a que las placas que conforman este elemento no tienen una gran separación y siempre que se aplicaba calor en la una cara, había la tendencia de que este mismo calor se pase a la otra cara, y obviamente ya no existe ni gradiente ni voltaje.

La mejor forma de sacar provecho a la celda en el prototipo fue colocarla frente al calor, que se produce de la combustión de los gases, y que al mismo tiempo calienta el caldero. Probando de esta forma se volvió a experimentar el fenómeno anterior, con las caras de la celda. Sin embargo ya se encontraba frente a un gran foco de temperatura, el voltaje generado no se mostraba tan pronunciado y se mantiene en el orden de los milivoltios. Se trató de aislar de una mejor manera los focos de temperatura, pero lamentablemente el diseño de la celda no permite operar de una mejor manera.

El objetivo era poder utilizar el voltaje proveniente de la celda para el proceso de la electrolisis, pero dado que su voltaje es pequeño, y no existe disponibilidad de más celdas, se decidió conectar en serie un panel solar de 13V, que va a depender mayormente de las condiciones climáticas, para finalmente proceder con el proceso de la electrolisis.

4.2 PRUEBAS DE EXPANSIÓN DEL GAS

Las pruebas se realizaron con el depósito de acero inoxidable completamente hermético, con el único objetivo de expandir lo más posible el gas que se encuentre en su interior, por medio de una fuente calorífica externa.

En la búsqueda de mejorar el prototipo específicamente con la expansión del gas, conjuntamente con la acción del caldero, se utilizó varios elementos, los cuales se detallan a continuación, así como sus ventajas y desventajas.

4.2.1 PRUEBAS CON CO₂

Para ello se utilizó hielo seco, que constituye el estado sólido del CO₂, y que se encuentra en los depósitos a -79° C, y al ambiente a -48° C. Comercialmente se tiene en forma de bloques. Para iniciar el proceso, se introducía el hielo en el depósito y se lo sellaba herméticamente, para así, ganar presión sin ningún tipo de fugas. Cuando el tanque empieza a calentarse por medio de la energía térmica el CO₂ empieza a expandirse. De esta experimentación se concluye lo siguiente:

- Al expandir el CO₂ de esta forma se logra alcanzar presiones superiores a los 500 PSI, dentro del depósito de acero inoxidable. Es decir que el método resulta factible, ya que la idea principal era ganar un flujo constante por un mayor periodo de tiempo, con lo que se lograría hacer girar a la turbina. Al tener una mayor cantidad de gas acumulado, y evitar perder toda esta presión en un solo instante de tiempo, fue necesario incorporar la válvula de control, donde el porcentaje de apertura siempre se conservó en los rangos bajos.
- El gas que se origina en el depósito, conservaba una temperatura de 30°C, con lo que la turbina trabajaba sin mayor complicación. Así, y por un tiempo de aproximadamente una media hora, fue posible mantener a la turbina girando.
- El gas a la salida es seco.
- Por las dimensiones del depósito, solo es posible introducir la cantidad de 3 Kilos, esto por las características expuestas en el capítulo 2. Además durante el proceso no es posible añadir más, por la acción de volver a abrir y cerrar la tapa hermética del tanque.
- Lo ideal con el CO₂ sería poder reutilizarlo, mantenerlo en un lazo cerrado, para evitar sus emisiones al ambiente. Es decir, que una vez que el gas atravesó la turbina, aprovechar una parte para la generación del combustible gaseoso y la otra retornar al depósito. Para esta última parte todo implicaba el uso de una bomba que proporcione la presión necesaria para poder introducir el gas.

Dado que el prototipo está orientado a ser de bajo costo, no tiene sentido el uso de equipo que utilicen altas potencias, por tal motivo se omite el uso de estos elementos.

- Otra desventaja nace del CO₂ mismo, por sus características térmicas, al cambiar de fase rápidamente acumula grandes presiones, a gran velocidad. Estos efectos pueden ser altamente peligrosos si no se dispone de tuberías de acero, que en este caso soporten tales presiones, ya que de lo contrario podría sufrir riesgo la vida de la persona que se encuentre operando.
- Cabe mencionar que la idea del prototipo, es que no sea contaminante, y como es de conocimiento, el exceso de gases como el CO₂ en el planeta, es una de las principales causas del calentamiento global, por estas razones se buscó otro método que permita la expansión del gas.

4.2.2 PRUEBAS CON AIRE

Otro elemento que formó parte de experimentación fue el aire. La idea para que exista un flujo adecuado, es mediante una cámara de combustión. Es decir, en un espacio casi cerrado era necesario mantener el calor, y mediante el ingreso de aire a la cámara, se impulse el aire caliente haciendo mover la turbina.

La desventaja de este método como se pudo ver, es que al momento del ingreso del aire es necesario que disponga de alguna fuerza de empuje, parecida a la de un compresor. Poniendo en práctica todo este sistema los resultados serían excelentes, pero el principal inconveniente es que se dependía de una fuente de energía para alimentar el compresor, que maneja una alta potencia y en cambio la potencia de salida del prototipo es menor a la entrada. Nuevamente no tenía ningún sentido experimentar de esta forma, lo que llevo a buscar otro elemento.

4.2.3 PRUEBAS CON VAPOR DE AGUA

Este método, consiste en introducir agua en el tanque de acero inoxidable, el cual expuesto al calor permite que el agua cambie de estado, transformándose en gas. Mientras la válvula permanezca cerrada la presión empieza a acumularse, y al

momento de abrir la válvula, aparece un flujo, el cual será guiado a través de tuberías hacia la turbina eléctrica.

Tras experimentar este método se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Este también constituye un buen método para la generación de energía. Ya no se corre el peligro del CO₂, respecto a las presiones, porque son manejables con las tuberías que comercialmente se tiene acceso y es posible trabajar tranquilamente hasta unos 200 PSI. En la tabla 4.2 se aprecia algunos resultados, donde se alcanzaron diferentes flujos variando el porcentaje de apertura de la válvula, haciendo al mismo tiempo que la presión del tanque cambie.

Flujo [L/min]	Presión en el depósito [PSI]	Voltaje generado[V]
56	45	2,54
42	10	2,83
40	60	1,21
36	55	1,23
30	20	2,3
33	5	1,56
33	3	0,69

Tabla 4.2 Pruebas en el Prototipo de Generación de Energía

Cabe recalcar que para flujos menores de 25 lt/min, independientemente de que presión se maneje, la turbina ya no genera energía.

- También presenta algunos efectos secundarios como por ejemplo, resulta que no es un gas seco, lleva parte líquida, la que si no es tratada adecuadamente podría afectar a la turbina misma y/o algún dispositivo electrónico como los sensores. Es indispensable colocar purgas en el trayecto del vapor, así como también trampas de vapor para eliminar el condensado.
- Este tipo de vapor se le conoce como vapor saturado, y para implementarlo en este proyecto resultaba ser más que suficiente. Es necesario mencionar

también que el vapor llamado sobrecalentado es el ideal para hacer mover turbinas o máquinas en general, pero para alcanzarlo hay que calentar el agua hasta una temperatura mayor a la del punto de ebullición del líquido, y es necesario otro tipo de caldera.

Una vez terminada la parte de experimentación con los diferentes métodos antes mencionados, se estructuró la tabla 4.3 que recoge un resumen:

Características	Tanque CO ₂	Hielo Seco	Aire Comprimido	Agua
Fuente Contaminante	Si	Si	No	No
Fuentes Adicionales	No	No	Si	No
Presión dentro caldero	Alta	Alta	Media	Media
Costos operativos	Alto	Alto	Medio	Bajo
Tiempo de funcionamiento	Largo	Mediano	Largo	Corto
Método regenerativo	No	Complejo	No necesario	Si
Condiciones ambientales de trabajo	Peligrosa	Peligrosa	Amigable	Amigable

Tabla 4.3 Resumen de los elementos experimentados

SELECCIÓN FINAL

El elemento elegido para trabajar en el caldero es el vapor de agua, adicionalmente se tiene un tanque para poder alimentar al tanque de acero inoxidable con agua cuando se agote la reserva.

4.3 PRUEBAS DE CALENTAMIENTO DEL CALDERO

Para lograr el proceso de expansión es necesario elevar la temperatura del depósito, para que así el agua se evapore y el gas adquiera un mayor volumen. Por tal razón se inició las pruebas con dos tipos de niquelinas de 220V AC, las cuales se aprecia en la figura 4.1. Se diferencian en su potencia, y se ajustan perfectamente a la forma del tanque de acero.

La idea de estas pruebas era conocer el tiempo que demoraba el agua, o el hielo seco, en cambiar de fase, para expandir el gas. Y al mismo tiempo conocer la máxima presión se podía obtener de este intercambio de calor.



Figura 4.1 Niquelinas de prueba

La niquelina cilíndrica pequeña cubre el 1/3 del caldero, pero dado que su potencia no era alta, tomo casi 2 horas en calentar al depósito, y obviamente al elemento en su interior. Mientras que la segunda niquelina cilíndrica, de mayor potencia cubría totalmente al caldero y se consiguió el cambio de fase en un tiempo de aproximadamente 20 min, cabe recalcar que el consumo de la niquelina era el principal inconveniente. Estos tiempos fueron independientes si era el agua, o el hielo seco, lo que marco diferencia fue las presiones que se alcanzaron. Con el CO_2 se alcanzó presiones superiores a los 500 PSI, y con el agua se obtuvo hasta 200 PSI. Como se mencionó anteriormente las presiones excesivas necesitan tuberías de acero para evitar cualquier tipo de peligro.

Seguidamente se trató de controlar la cantidad de calor que llega al caldero, lo que se vería reflejado en la presión que se acumulaba en el depósito. Para ello se utilizó un control ciclo integral, y dado que la niquelina es una carga resistiva no existiría problema. Básicamente sería un control de potencia, donde el principio de funcionamiento se basa en permitir pasar un determinado número de ciclos de la onda senoidal para polarizar a la niquelina, y otro número de ciclos para mantener apagada, una explicación gráfica se apreciar en la figura 4.2.

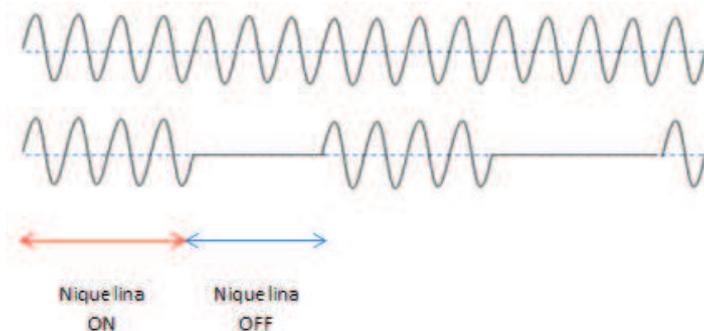


Figura 4.2 Control por ciclo integral

La idea de este procedimiento, era poder darle al caldero un tiempo para que se pueda enfriar, y evitar al mismo tiempo que la presión se eleve en forma exponencial. Lamentablemente no hubo éxito y la presión seguía elevándose. Se intentó otro procedimiento, pero esta vez orientado a dejar que el depósito tenga un mayor tiempo de enfriamiento. Se utilizó una ventana de histéresis, es decir se tiene dos limitantes un superior y un inferior, tal y como se puede apreciar en la figura 4.3.

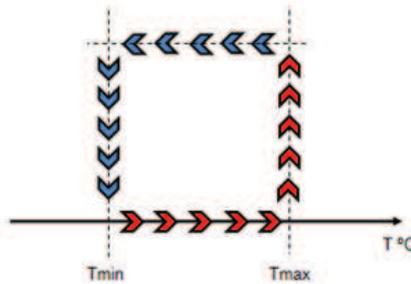


Figura 4.3 Ventana de histéresis para control de niquelina.

Todo funcionaba con la ayuda del sensor de temperatura (LM35), lo que se convirtió en un control ON-OFF. Es decir, si la temperatura del depósito excedía el valor máximo, se enviaba la señal de control, a través de un relé para desconectar la niquelina de la red. Caso contrario si la temperatura del depósito era igual a la establecida como temperatura mínima, se enviaba la orden para desconectar. Lamentablemente este tipo de control, tomaba demasiado tiempo cuando llegaba el momento de enfriar al depósito, y la presión seguía incrementándose.

Se llegó a la conclusión que es necesario elementos adicionales, como son los sistemas de enfriamiento para el caldero, con lo que se tendría un mejor control en la presión. Pero obviamente implementar este sistema mencionado implicaría un mejor diseño y una mayor inversión. Dado que hasta el momento todos los elementos para realizar el calentamiento del caldero, consumen demasiada energía se buscó un proceso alternativo. El más propicio fue mediante la combustión, energía térmica en definitiva, y esa es la razón de porque se trabaja un tanque de GLP de consumo doméstico.

Al trabajar conjuntamente con el agua, se obtenía presiones manejables, ahora era necesario tener cuidado al trabajar con este combustible ya que con cualquier chispa se enciende. La principal desventaja fue en el tiempo que toma el depósito

en ganar presión. En la tabla 4.4 se presenta un resumen comparando todos los métodos mencionados.

Método de Calentamiento	Características
Por control de fase directo	Alimentación 110-220V AC Electrónica de potencia Tiempo en alcanzar presión de 20 a 30 min Tiempo de enfriamiento del depósito ≈1h
Por control ciclo integral	Alimentación 110-220V AC Relés Tiempo en alcanzar presión de 20 a 30 min Tiempo de enfriamiento del depósito ≈1h
Por lazo de Histéresis	Alimentación 110-220V AC Sensor de temperatura Relés Tiempo en alcanzar presión de 20 a 30 min
GLP	Tanque de uso domestico Tiempo en alcanzar presión ≈2h

Tabla 4.4 Métodos de calentamiento y enfriamiento del caldero

Inicialmente las pruebas se realizaron con el tanque de GLP, tiempo después se implementó un pequeño módulo donde se produce el nuevo combustible gaseoso (NH_3), y se obtuvieron otros resultados como era de esperarse.

4.4 PRUEBAS DE COMBUSTIÓN ENTRE GLP Y NH_3

El objetivo es determinar el poder calorífico del nuevo combustible, cuando se trata de calentar al caldero, lo que se vería reflejado directamente en el tiempo que toma en llegar a una presión específica el vapor de agua, cuando se trabaja herméticamente. Para ello se realizó dos pruebas, en la que se determinaría el tiempo que cada uno de los combustibles calienta el caldero hasta una presión de 120 PSI.

Utilizando el tanque de GLP y con un flujo de 1 lt/min se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.5, así como una apreciación gráfica de la llama en la figura 4.4.

Intervalo de tiempo (min)	Presión del caldero (PSI)
36	35
44	70
50	100
56	120

Tabla 4.5 Pruebas con GLP



Figura 4.4 Quemador con GLP

Una de las desventajas del amoníaco como se pudo apreciar, es que necesitaba a varios momentos una fuente ignición (un fosforo encendido por ejemplo) ya que no podía mantener la combustión por mucho tiempo. Por esta razón para la siguiente prueba se utilizó una parte del GLP. Ya que este gas si mantiene la llama encendida tras retirar la fuente de ignición.

Se estableció un flujo pequeño de GLP de aproximadamente 1 lt/min y un flujo de amoníaco de 10 lt/min. La diferencia radico esencialmente en el color de la llama de la combustión, como se ve en la figura 4.5. En la tabla 4.6 se observa como en menos tiempo se logra llegar a la presión de 120 PSI.

Intervalo de tiempo (min)	Presión del caldero (PSI)
21	50
27	70
30	100
33	120

Tabla 4.6 Pruebas con GLP + Amoníaco



Figura 4.5 Quemador con la mezcla de los dos gases

De los datos tabulados en las tablas podemos observar que se incrementó el poder calorífico del quemador, donde la proporción de amoniaco y GLP es de 10 a 1 respectivamente.

4.5 REQUISITOS Y RESULTADOS FINALES

Para el módulo donde se genera el combustible gaseoso, es necesario citar los principales requerimientos para su funcionamiento. Primeramente el flujo de aire deber ser al menos de 15 l/min, y con aire o vapor seco. Lamentablemente el vapor de agua que genera el caldero era un gas con bastante humedad (no es seco), por lo que no fue posible usarlo para producir el amonio (NH_3).

Pero queda expuesto que sería factible utilizar el CO_2 ya que este si constituye un gas seco, tan solo hay que tomar las debidas precauciones y recomendaciones descritas anteriormente.

Independientemente del elemento a introducirse en el caldero, existen formas para mejorar el funcionamiento de este último, donde la más destacada es evitar que el calor se disipe al exterior. Una alternativa es utilizar un recubrimiento de fibra cerámica de vidrio, que es capaz de trabajar hasta $1000\text{ }^\circ\text{C}$, con lo que se mantiene encerrado el calor, en un afán por mejorar el rendimiento. Las tuberías que llegan hasta la válvula también se recubrieron con fibra de vidrio cumpliendo con el principio anterior.

Las pruebas finales con los elementos mencionados, se las realizo durante tres días a la semana, en un mes y por un periodo de tres horas. Todo con el fin de comprobar la durabilidad del combustible del tanque de GLP.

Hay que incluir también las pruebas anteriores donde no se disponía de la fibra y obviamente existía consumo de combustible. De todas maneras en estas pruebas solo se ha utilizado un tanque de gas doméstico, por lo que hasta la fecha actual no ha sido necesario cambiar el tanque, e incluso con la relación de gases establecida anteriormente se tiene un gran ahorro de recursos.

No hay que olvidar también que el circuito de control opera con una batería, la cual de acuerdo a las pruebas realizadas no se descarga hasta los 10V (valor donde se enciende el indicador de batería baja), durante un intervalo de 3 horas.

De acuerdo a las pruebas finales se procedió a calcular la potencia y el rendimiento tanto del caldero como del conversor elevador.

4.6 PRUEBAS DE SENSORES Y ACONDICIONADORES

4.6.1 RESPUESTA DEL SENSOR DE FLUJO

Se trabajó con varios sensores de flujo con el único fin de seleccionar el más apropiado para el proyecto. En un inicio se disponía de un sensor para líquidos, el FP85A, con la característica que es de paletas rotativas, pero el flujo de gas ocasionaba que las paletas aceleren y desaceleren, y por tal razón el indicador no era estable. El sensor se aprecia en la figura 4.6.



Figura 4.6 Sensor de paletas FP85A

Dado este inconveniente se adquiero un nuevo sensor el AWM720P1. Donde el principio de funcionamiento de este sensor se basa en la transferencia de calor.

Existe un elemento sensor que se encuentra en contacto directo con la trayectoria del flujo de gas. Al cambiar de temperatura el sensor, varía el valor de su resistencia, con lo cual el valor de voltaje de salida es equivalente al flujo que circula. En la tabla 4.7 se aprecia las principales características del sensor.

Rango de Operación	0 – 200 (litros por minuto) lpm
Voltaje de Salida	1 – 5 Vdc
Temperatura de funcionamiento	-25 °C a 85 °C
Voltaje de alimentación	8 – 15 Vdc
Tipo de Salida	Exponencial
Potencia de Consumo	60 mW máx.

Tabla 4.7 Sensor de flujo AWM720P1

En las pruebas con CO₂, el sensor trabajo perfectamente, pero dado la necesidad de cambiar el método de trabajo, con vapor saturado, el sensor ya no respondió de la mejor manera, ya que solo funcionaba con gases secos, de ahí la búsqueda de un nuevo sensor.

El sensor definitivo que se utiliza en el proyecto es el G1'1/4 water flow sensor, dado que el voltaje de salida del sensor ya está acondicionado, se puede acoplar directamente al microcontrolador. La salida es tipo pulso, tal y como se aprecia en la figura 4.7.

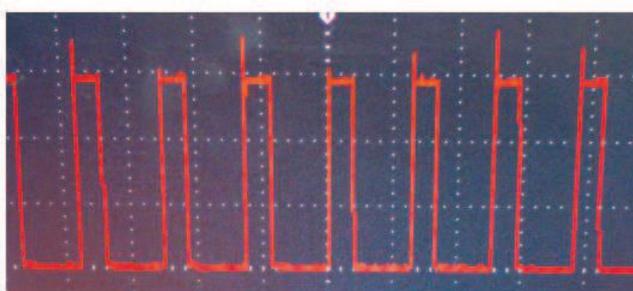


Figura 4.7 Respuesta sensor Water Flow Sensor

En la tabla 4.8 se recoge una muestra de la funcionalidad del sensor

Flujo [L/min]	Frecuencia [Hz]
2	10
5	22

7	31
10	43

Tabla 4.8 Respuesta del sensor de flujo final

4.6.2 PRUEBAS DE LA TURBINA

La respuesta en cuanto al voltaje de generación depende exclusivamente del flujo de gas al chocar con las aspas de la turbina. Algunos resultados se pueden apreciar en la tabla 4.2 con vapor saturado. Como también se realizó pruebas con el CO₂, se pudo apreciar en cambio que el voltaje era casi constante, tal y como se puede apreciar en la figura 4.8.

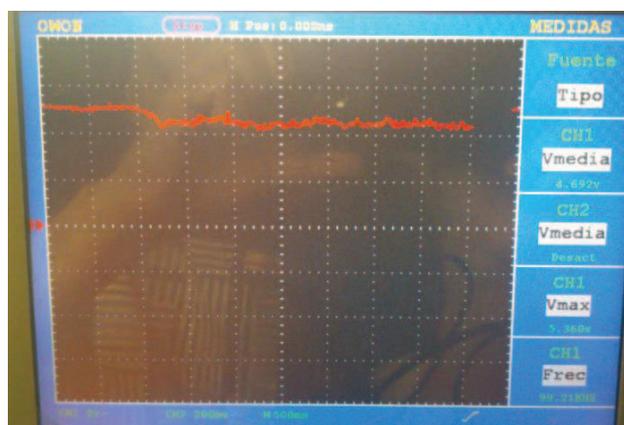


Figura 4.8 Variación de voltaje de la turbina

4.6.3 RESPUESTA DEL SENSOR DE CORRIENTE

Para la parte del cargador de baterías del prototipo, es necesario de un sensor de corriente para conocer el estado de carga de la batería. Se utiliza el sensor INA169, que está diseñado para este tipo de aplicaciones. En base al diseño establecido en el capítulo 2 para el sensor, se recogió algunas pruebas, que se muestran en la tabla 4.9. Como se mencionó antes la salida del sensor es en voltaje, en visto de eso se realizó una comparación entre la salida real y la teórica para establecer el error.

Corriente deseada[A]	Voltaje real de salida del sensor	Voltaje de salida teórico del sensor[V]	Error %
500m	2.516	2.5	0.64

400m	2.041	2	2.05
300m	1.531	1.5	2.07
200m	1.047	1	4.7
150m	0.764	0.75	1.87
100m	0.52	0.5	4

Tabla 4.9 Pruebas del sensor INA 169

Se puede concluir que el sensor funciona sin mayores complicaciones, y como se aprecia en la tabla anterior se marca un error, y dado que se va a emplear en un controlador se ajustó el valor del setpoint por programación.

Adicionalmente se muestra su forma de onda, vista en el osciloscopio, en la figura 4.9 para un valor de corriente de 92 mA.

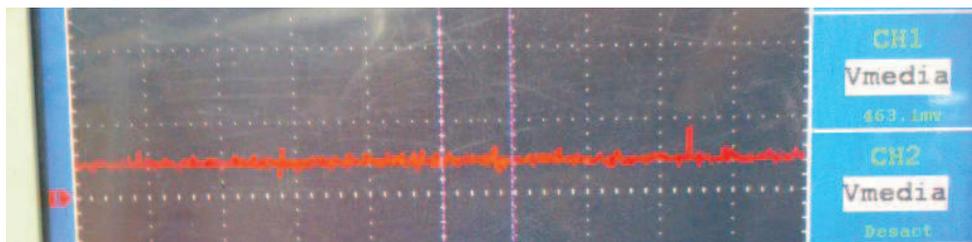


Figura 4.9 Voltaje de salida del sensor para 92mA

4.6.4 PRUEBAS DEL CIRCUITO ELEVADOR

El objetivo de este conversor es elevar el voltaje proveniente del regulador de carga, que a su vez recoge la energía tanto del panel solar como de la turbina, para enviarle a la batería de plomo de 12V. Para las pruebas se ha utilizado como carga la batería descrita en el capítulo 2. Para este conversor en especial no es posible trabajar sin tener conectada una carga, de otra manera el voltaje puede incrementarse y los principales efectos se verían en los elementos que conforma este conversor.

El voltaje de salida del elevador está directamente vinculado con la relación de trabajo (δ) que se aplica a la compuerta del transistor para su activación. Básicamente consiste en aplicar una señal PWM, y dependiendo del tiempo en alto y bajo se tendrá una mayor o menor salida de voltaje.

4.6.4.1 Conducción continua

El tema de la corriente es muy importante cuando se habla de convertidores DC/DC, y es necesario garantizar conducción continua, lo que se cumple al momento de dimensionar sus elementos. Es decir que la corriente de entrada al convertidor nunca debe ser cero, ya que esta corriente estaría llegando en este caso a la batería que esta puesta de carga. En la figura 4.10 se muestra la corriente de entrada tomada a través de una resistencia de 1Ω en serie con la inductancia, para evitar grandes caídas de tensión. Dado que se maneja valores en el orden de los milivoltios, se ha multiplicado los valores 10 veces para tener una mejor apreciación del rizado de corriente.

El valor de rizado de corriente según la gráfica sería la diferencia entre el valor máximo y mínimo, y dividido para la resistencia de 1Ω , equivalente a $0.76A$. Comparándolo con el valor calculado en el capítulo 2, resulta que se tiene un error de $0.05 A$. Valor aceptable considerando que se tiene pérdida en la inductancia del convertidor.

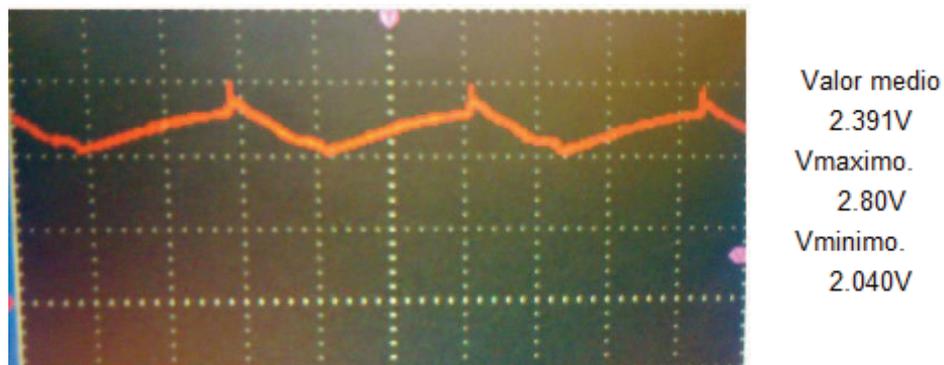


Figura 4.10 Forma de onda de la corriente de entrada al convertidor

4.6.4.2 Conmutaciones del transistor

En la figura 4.11 se aprecia la forma de onda del disparo proporcionada por el microcontrolador (onda de color roja), y también el voltaje colector-emisor del transistor (onda color amarilla).

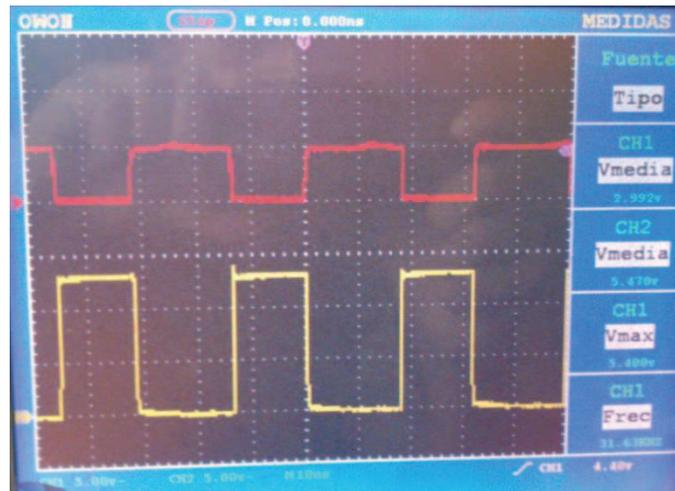


Figura 4.11 Formas de onda de los disparos

Además dado que se utiliza el circuito elevador para 2 etapas de carga de la batería. En la figura 4.12 se muestra el voltaje colector-emisor cuando se encuentra en la etapa de corriente constante, y en la figura 4.13, el voltaje cuando se maneja la etapa de voltaje constante.

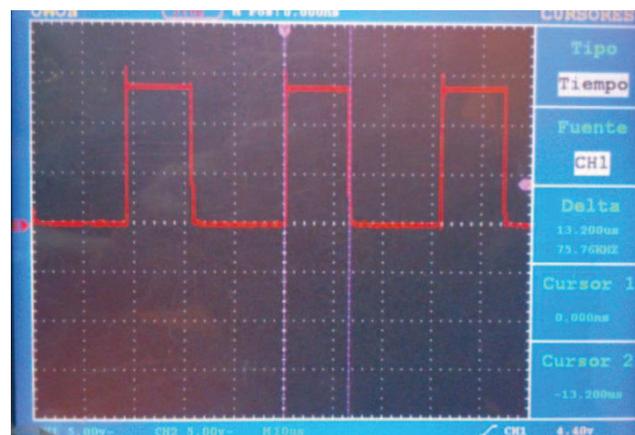


Figura 4.12 Voltaje colector-emisor en corriente constante

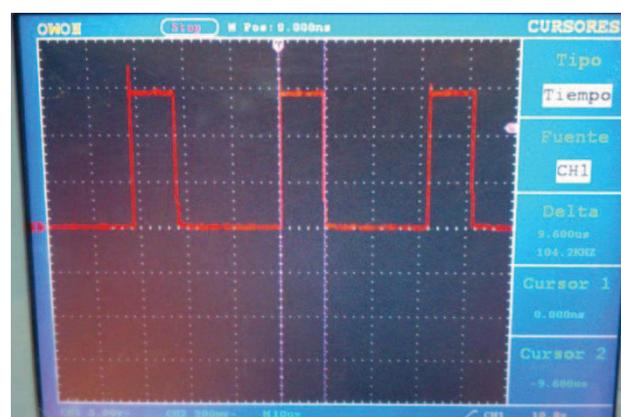


Figura 4.13 Voltaje colector-emisor en voltaje constante

4.7 SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PI

4.7.1 CONTROLADOR PI DE VOLTAJE

El controlador diseñado tiene como función mantener el voltaje de salida del conversor elevador constante. Todo en base a un setpoint seleccionado a utilizarse en el algoritmo de carga de la batería. Para la sintonización del controlador se utilizó el método de prueba y error, hasta conseguir los mejores resultados.

En el procedimiento primero se ajustó la ganancia proporcional hasta obtener una mejor respuesta de la planta, y posteriormente incrementar suavemente la ganancia integral hasta eliminar el error, lo más posible entre la señal del setpoint y la realimentación.

En la figura 4.14 se muestra el voltaje de salida del conversor en conjunto con el controlador para cuando el algoritmo de carga se encuentra en la etapa de voltaje constante.

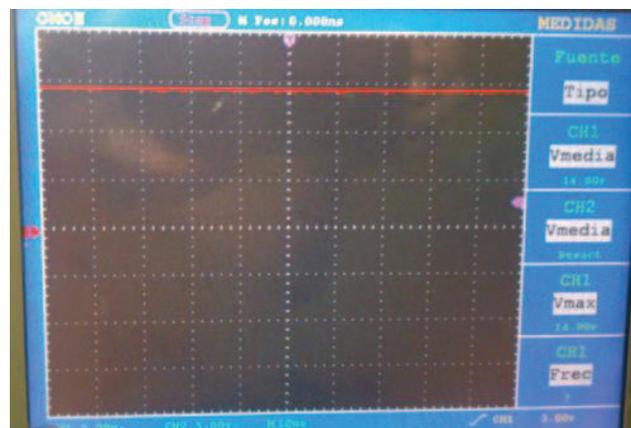


Figura 4.14 Acción del controlador PI de voltaje

Como se aprecia el voltaje de salida no presenta picos pronunciados, por la acción del controlador. Además el microcontrolador está programado para cargar las baterías de 12V, donde, en base a las especificaciones del fabricante de la batería escogida en el capítulo 2, el voltaje debe estar en el rango desde los 14.5V hasta 15V. En la figura 4.15 se tiene una segunda imagen del controlador.

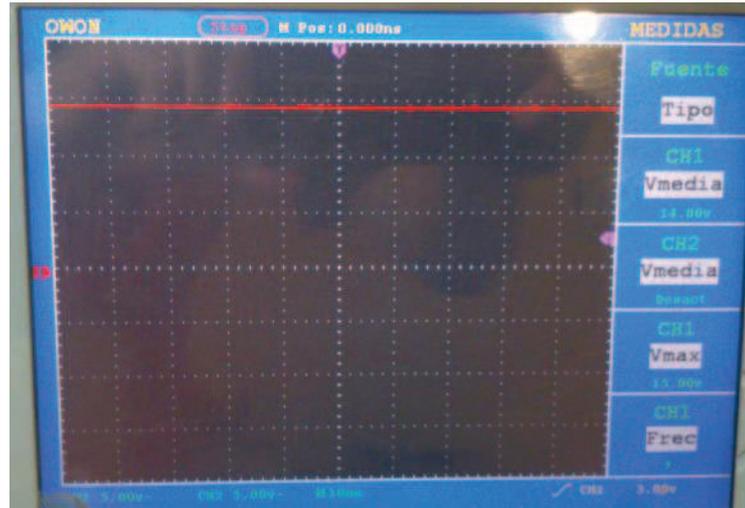


Figura 4.15 Acción del controlador PI de voltaje segundo ejemplo

4.7.2 CONTROLADOR PI DE CORRIENTE

El controlador implementado en esta parte, mantiene la corriente constante, en base al setpoint que se desee, como puede ser 150 mA o 200 mA, dependiendo de las especificaciones de corriente para la batería seleccionada.

De igual manera, se utilizó el método de prueba y error, para la sintonización, tratando que el error en estado estable sea lo más cercano a cero. En la figura 4.16 se puede apreciar la acción del controlador (onda color rojo) cuando cambia el setpoint (onda color amarillo).

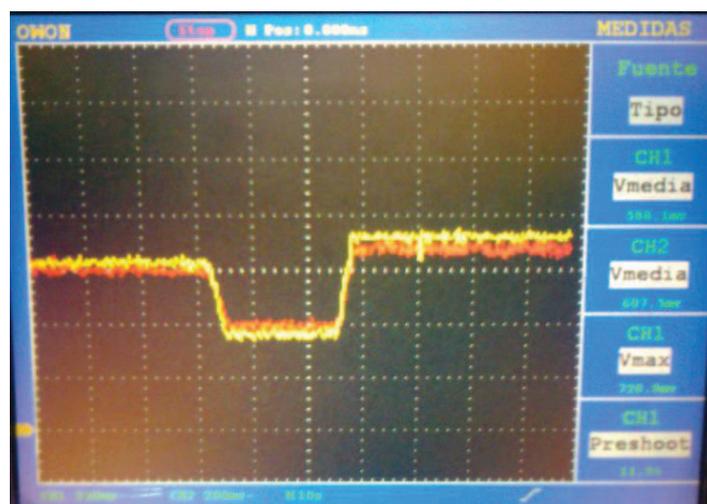


Figura 4.16 Acción del controlador PI de corriente.

Como se puede apreciar con la acción del controlador se aseguró que no exista sobrepicos, en cambio el error en estado estable no fue posible corregirlo completamente ya que siempre mantenía un error de 0.019V. Al final no fue tan crítico, y lo que se hizo fue compensar el error en el setpoint cuando funcione la etapa de corriente constante.

4.7.3 GENERACIÓN DE LAS SEÑALES DE CONTROL

La señal apropiada para el control del transistor (mosfet), es una señal PWM tal y como se mostró anteriormente en la figura 4.11 en la forma de onda amarilla.

La forma de onda corresponde a una señal de frecuencia de 31,25Khz, con una amplitud de voltaje de 5V, voltaje necesario para la activación del mosfet.

4.8 PRUEBAS DE CARGA DE LA BATERÍA DE PLOMO

Se realizaron varias pruebas con la batería, para comprobar la funcionalidad del programa en el microcontrolador y el diseño del convertidor elevador. En la tabla 4.10 se puede apreciar los voltajes y corrientes en la batería con una corriente de carga de 200 mA (valor teórico), para la etapa 1.

Voltaje [V]	Corriente [A]	Tiempo [h:m]
12,79	0,214	0:00
12,84	0,216	0:05
12,93	0,216	0:10
12,97	0,214	0:15
13,01	0,216	0:20
13,07	0,214	0:25
13,09	0,214	0:30
13,11	0,216	0:35
13,14	0,216	0:40
13,18	0,216	0:45
13,20	0,216	0:50
13,25	0,214	0:55
13,28	0,216	1:00
13,30	0,214	1:05
13,32	0,216	1:10
13,33	0,214	1:15
13,36	0,214	1:20

13,37	0,214	1:25
13,39	0,216	1:30
13,42	0,216	1:35
13,45	0,216	1:40
13,49	0,214	1:45
13,50	0,214	1:50
13,52	0,216	1:54

Tabla 4.10 Variables en el proceso de carga de la batería

Como se puede apreciar la corriente está en un rango entre 214 mA y 216 mA, lo cual no constituye un gran problema, ya que lo importante es tratar de mantener la corriente lo más estable posible, y no fue necesario hacer cambios en el programa.

Cabe mencionar que al trabajar con este setpoint, la batería de litio del regulador de carga, se descargó después que transcurrió 1h y 54 min. Es decir que por la acción del conversor la corriente de ingreso al elevador y por ende la corriente de salida de la batería de litio era muy alta.

Una de las posibles fallas puede ser que el panel solar o la turbina no estaban proporcionando la energía suficiente o simplemente el setpoint de corriente era muy alto. En la tabla 4.11 se puede apreciar una nueva prueba, pero esta vez con una corriente de carga de 150 mA.

Etapa	Voltaje [V]	Corriente [A]	Tiempo [h:m]
1	10.33	0.1306	0:00
	12.83	0.1301	0:15
	13.10	0.1301	0:30
	13.18	0.1303	0:45
	13.20	0.1304	1:00
	13.22	0.1304	1:15
	13.30	0.1303	1:30
	13.36	0.1304	1:45
	13.40	0.1300	2:00
	13.42	0.1300	2:15
	13.44	0.1302	2:30
	13.53	0.1300	3:00
	13.60	0.1300	3:15
	13.71	0.1299	3:45

1	13.73	0.1299	4:00
	13.77	0.1293	4:20
	13.86	0.1303	4:50
	13.94	0.1298	5:20
	14.09	0.1303	4:50
	14.28	0.1303	6:20
	14.65	0.1302	6:50
2	14.81	0.1207	7:20
	14.78	0.1167	7:45
	14.81	0.980	8:10
	14.81	0.787	8:30
	14.82	0.551	8:45
	14.81	0.389	9:00
	14.81	0.115	9:10
Fin del algoritmo de carga			

Tabla 4.11 Variables en el proceso de carga de la batería

Cabe mencionar que el problema de la descarga de la batería de litio del regulador de carga ya no se dio como en el caso anterior, lo que permitió trabajar de una mejor manera. Pero en cambio se presentó la desventaja del tiempo de carga, que tomó aproximadamente 9 horas, sin olvidar que toda esa energía proviene mayormente del panel solar, ya que mantiene un voltaje constante la mayor parte del tiempo, respecto a la turbina.

4.9 POTENCIA Y RENDIMIENTO DEL CONVERTOR ELEVADOR

RENDIMIENTO

Para esto es necesario mencionar los valores de voltaje y corriente máximos, que se utilizaron tanto a la entrada como a la salida del convertor.

Los valores son:

Voltaje de entrada: $V_{IN} = 5v$

Corriente de entrada $I_{IN} = 800m A$

Voltaje de salida: $V_{OUT} = 14.7v$

Corriente de salida $I_{OUT} = 150mA$

$$\%n = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} * 100 = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{V_{in} \cdot I_{in}} * 100$$

$$\%n = \frac{14.7 \cdot 0.15}{5 \cdot 0.8} * 100 = 55.12\%$$

En este caso el rendimiento bajo, ya que la corriente de salida se redujo en 100mA, respecto al valor que se diseñó originalmente. Pero es posible mejorar el rendimiento aumentando la corriente de salida si se manejara por ejemplo dos baterías de litio en paralelo, para que cada una aporte con la mitad de la corriente total.

POTENCIA

Para determinar este factor es necesario tomar el voltaje y la corriente que proporciona el conversor para alimentar a la batería, y sustituir en la ecuación 4.1

Voltaje de salida: $V_{OUT} = 14.7v$

Corriente de salida $I_{OUT} = 150m A$

$$P = V * I \quad 4.1$$

$$P = 14.7 [V] * 0.15 [A]$$

$$P = 2.2 [W]$$

4.10 POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LA CALDERA

RENDIMIENTO

Para este caso se utiliza el método directo y para ello es necesario utilizar la ecuación 4.2

$$n = \frac{Pv \cdot (Hv - hfe)}{b \cdot PCI} \quad 4.2$$

Pv: Producción de vapor [Kg/h]

Hv: entalpia de vapor [Kcal/Kg]

hfe: entalpia del fluido de entrada [Kcal/Kg]

b: consumo de combustible [lt de combustible/h]

PCI: Poder calorífico inferior del combustible [Kcal/ lt de combustible]

Para determinar la producción de vapor se toma una presión intermedia de trabajo del depósito, para determinar el flujo de salida, en este caso 100 PSI. También es necesario determinar el flujo másico, lo que se relaciona directamente con la densidad del vapor y el flujo volumétrico. Para ello de las pruebas realizadas se toma el valor del flujo aproximado a la presión seleccionada. Flujo volumétrico = 50 lt/min.

Existen tablas ya definidas acerca de la densidad, relacionando la presión y la temperatura, o también programas que facilitan este trabajo. En este caso se hace uso del programa "ChemicalLogic SteamTab Companion", de donde se obtuvieron los siguientes datos al ingresar el valor de la presión:

Presión = 100 PSI = 6.894 bar

Temperatura = 164.332 °C

Densidad = 3.61 Kg/m³

Con estos datos es posible determinar el flujo másico de la siguiente forma:

P_v [Kg/h] = densidad x flujo volumétrico

$$P_v = \frac{3.61 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{30 \text{ lt}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$P_v = 6.498 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

La entalpia de vapor se relaciona con la presión de salida del gas cuando choca con la turbina.

$P_{\text{out}} = 1 \text{ atm} = 14.7 \text{ PSI} = 1.01 \text{ bar}$

$$H_v = 2674.95 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 639.13 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Para obtener la entalpia del fluido de entrada (hfe), basta indicar la temperatura e introducirla en el programa anteriormente mencionado.

$$T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$hfe = 62.98 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 14.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

El poder calorífico del combustible también se puede determinar por medio de tablas, y como en este caso se utiliza el gas licuado de petróleo se tiene:

$$PCI = \frac{10950 \text{ Kcal}}{\text{Kg}} \cdot \frac{0.537 \text{ Kg}}{\text{lt}} = 5880.15 \frac{\text{Kcal}}{\text{lt}}$$

El consumo del combustible se lo ha aproximado, ya que el tanque de GLP de 15 Kg constituye la fuente calorífica.

$$b = 2 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

Reemplazando todos los valores en la ecuación 4.2 se tiene:

$$n = \frac{6.498 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \left(639.13 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} - 14.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right)}{2 \frac{\text{lt}}{\text{h}} \cdot 5880.15 \frac{\text{Kcal}}{\text{lt}}} \cdot 100\%$$

$$n = \frac{4056.89}{11760.3} \cdot 100\%$$

$$n = 34.5\%$$

Como se puede observar el rendimiento calculado es bajo, y está calculado con valores promedios, pero es posible aumentar este valor si se trabaja con un flujo de vapor más alto, el cuales si es posible obtener de acuerdo a las pruebas realizadas en el prototipo. Por ejemplo si se trabaja con un flujo de vapor de 70 lt/min, el rendimiento sube al 80%. Pero obviamente no todo es perfecto, esto implicaría abrir la válvula a un porcentaje de apertura mayor, que al mismo tiempo ocasionaría que la presión almacenada en el tanque empiece a decaer rápidamente.

POTENCIA

La potencia de una caldera se lo puede expresar en relación a la cantidad de vapor que se puede generar por una caldera en una hora, lo que depende

mayormente de su diseño, construcción y manejo. La cantidad de vapor se lo determina con los datos de la fórmula del rendimiento de la siguiente forma:

$$6.498 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot \left(639.13 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} - 14.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) = 4056.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Y la potencia promedio de la caldera es:

$$P = 4056.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \cdot 4.18 \frac{\text{KJ}}{1 \text{ Kcal}} \cdot 1 \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 4,71 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

$$P = 4.71 \text{ Kw}$$

4.11 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Después de estudiar este prototipo experimental, se concluyó que el vapor de agua proveniente del caldero, no es útil para la generación del amoniaco como combustible gaseoso. Ya que este vapor en vez de mejorar la combustión al mezclar con el GLP, la llama se apagaba y no tenía ningún sentido seguir con este método.

La única manera en que el vapor saturado sirva para la generación del NH_3 , es reduciendo su humedad, lo cual se logra con equipos adicionales como unidades de mantenimiento o condensadores, donde la principal desventaja es su costo.

Para las pruebas finales del módulo se utilizó un compresor de baja potencia, el cual proporcionaba un flujo de aire máximo de 15 lt/min para la generación del amoniaco.

De este modo se mezcla los dos combustibles gaseosos para generar un mayor poder calorífico, permitiendo expandir el gas en el interior del tanque de acero inoxidable.

Respecto al vapor de agua, dado que no es un gas contaminante, una vez que atravesaba la turbina se lo libera al ambiente, donde se puede comprobar su alta humedad.

Al tratar de hacer un promedio de cuanto potencia genera en si el prototipo, los resultados a simple vista serían bajos. Ya que si bien la caldera es el elemento

que mayor potencia genera respecto a otros elementos como la turbina y el panel solar, la potencia que utiliza el compresor para su funcionamiento es alta, opacando a la de la caldera.

Así, el prototipo queda abierto para futuros estudios y mejoras tendientes a su escalabilidad, pero deja algunas conclusiones las cuales se detallan en el siguiente capítulo. En la figura 4.17 se aprecia el montaje final del prototipo.

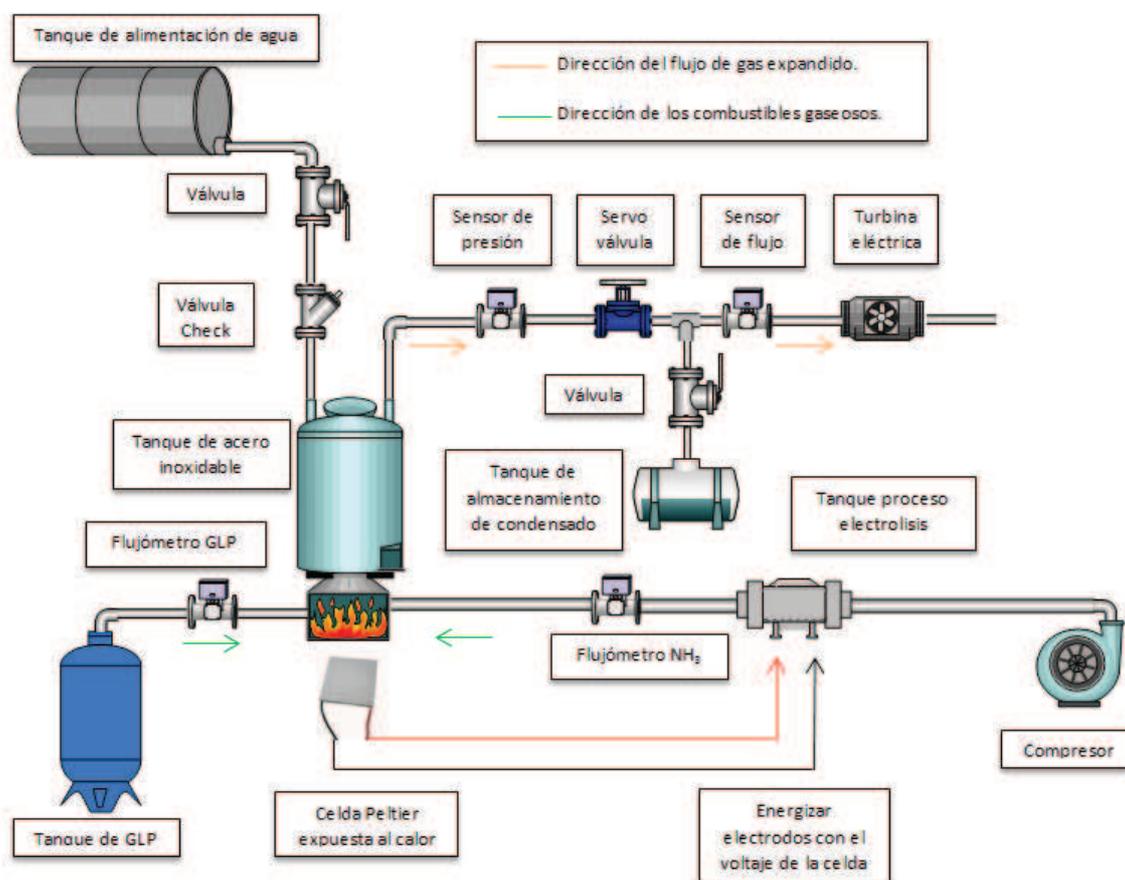


Figura 4.17 Montaje final del prototipo

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las celdas Peltier comerciales, para su funcionamiento cuentan con sus valores de voltaje, corriente y potencia nominales. Es decir, que cuando se alimenta a la celda con los valores mencionados, se puede diferenciar la cara caliente y la fría, alcanzando la potencia esperada.
En el presente proyecto se utilizó la celda de forma contraria, exponiendo las caras a un gradiente de temperatura, donde por el efecto termoeléctrico empieza a circular una corriente y generar un voltaje en los terminales de la celda, valores que difícilmente alcanzarán la potencia nominal.
Después de experimentar con diferentes valores de temperatura, se concluyó que el método más efectivo, es trabajar con temperaturas menores a cero grados y superiores o cercanas a 100° C, con lo que se logra alcanzar un mayor gradiente de temperatura proporcionando un mayor voltaje de salida por parte de la celda.
- El efecto del gradiente térmico como medio de generación de energía, dentro del presente proyecto, si bien resultaba ser un método novedoso, su funcionamiento está directamente relacionado con el diseño de la celda. Factor que en muchas ocasiones reducida el voltaje de la celda a cero.
Si bien el prototipo funciona con diferentes fuentes que proporcionan energía, la suma de las potencias por parte de la celda Peltier, la turbina eléctrica, y el panel fotovoltaico, constituyen un buen respaldo de energía si se almacena, independientemente del dispositivo escogido.
- Toda la energía que se pueda generar a partir de un panel solar o de una turbina, indispensablemente deberá utilizar baterías y estar acompañadas con su respectivo regulador de carga para limitar los sobre voltajes y corrientes. De esta manera se garantiza el cuidado de las baterías (acido-

plomo comúnmente) utilizadas en este tipo de aplicaciones, específicamente por su capacidad.

- La turbina en este tipo de proyectos juega un papel muy importante, lo más adecuado es seleccionar un equipo que no posea una alta inercia, tal que pueda girar ante cualquier agente externo. No es conveniente extraer demasiada corriente a este elemento, ya que puede sufrir algún efecto de frenado, y ya no proporcionaría ningún voltaje.
- Respecto al cargador de baterías, el conversor diseñado permite el desarrollo de esta actividad, proporcionando el voltaje necesario según lo establecido por el fabricante de la batería a utilizarse, con lo que no existe ningún tipo de problema, en esta parte. El principal inconveniente radica en la corriente de ingreso al conversor, que se combina con la relación de trabajo a la que esté funcionando el conversor, lo que al final depende de la acción de los controladores PI, proporcionando la corriente de carga para la batería y que indispensable deberá mantenerse estable.

Normalmente el conversor está operando con una relación de trabajo mayor a 0.5. Si se reemplaza estos valores en la ecuación 5.1, la corriente de ingreso al conversor deberá ser al menos el doble de la de salida. Lo que obligó a reducir la corriente de carga de la batería, y conservar la energía de la batería de litio un mayor tiempo.

$$I_{in} = \frac{I_{out}}{1 - \delta} \quad 5.1$$

- La generación de energía a través del proceso de expansión de un gas, en este caso vapor de agua es eficiente siempre y cuando se cumpla con los siguientes requerimientos: alta presión de trabajo, flujo constante, largos periodos de funcionamiento, factibilidad de regeneración del vapor y buen dimensionamiento de la capacidad del caldero en función de la demanda requerida. El rendimiento del prototipo en sí, es bajo ya que las condiciones estructurales no son las óptimas para aprovechar este método de

generación, pero queda expuesto que con un mayor presupuesto se puede lograr un mejor desempeño del sistema.

- Para realizar el calentamiento del tanque de acero inoxidable que simula la funcionalidad de un caldero, existe un sin número de técnicas que permite realizar esta actividad. Se debe considerar la temperatura a la cual se necesita llegar, así como el tiempo que tarda la presión en alcanzar valores de operación. De los controles electrónicos aplicados a la niquelina se observó que el control de fase directo y el de fase integral nunca cumplieron satisfactoriamente los requerimientos del proceso. Mientras que un control ON-OFF era suficiente, con lo cual se concluye que no siempre los controles más complejos son los indicados, más bien es el proceso el que justifica el método a utilizarse.
- El calentamiento del caldero con el uso del tanque de GLP, logra elevar la temperatura y presión del tanque pero se necesita tener en cuenta la siguiente observación. Es necesario realizar un aislamiento térmico al caldero con lo que se consigue concentrar la temperatura en el mismo lugar y no perder la energía calorífica.
- Finalmente se obtuvo un combustible gaseoso, el cual no requiere de grandes recursos para su elaboración. Si se trabaja en conjunto con el GLP en las proporciones de flujo establecidas en el capítulo anterior, se logra un ahorro tanto económico como energético. Si se invierte un poco más de tiempo y recursos en el prototipo se podría establecer ya con seguridad otra fuente de energía calorífica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Como una mejora del prototipo, para mantener un flujo constante de vapor o gas, que llega a la turbina, es necesario cambiar el depósito por uno de mayor capacidad, si el ingreso se lo hace por tandas. Lo que tomaría un

mayor tiempo para poder alcanzar una alta presión, conjuntamente con el intercambiador de calor. Si bien otra opción es colocar 2 tanques en paralelo, donde, el segundo entraría en acción cuando al primero se le agote la reserva, la activación deberá ser obligatoriamente por electroválvulas. Y es ahí donde aparece la principal desventaja, ya que el prototipo no dispone de la fuente necesaria para la activación de dichas válvulas, que normalmente funcionan con energía alterna.

- Obtener energía con la celda termoeléctrica constituye un método novedoso, donde puede utilizarse las condiciones climáticas de la ciudad de Quito, para comprobar su funcionalidad. Lamentablemente por asuntos ajenos al proyecto no fue posible conseguir más celdas, ya que se comprobó que una sola no es capaz de mantener un voltaje constante y peor aún de gran magnitud.

Es por eso que se recomienda utilizar un grupo de celdas, y conectarlas en serie, para obtener mejores resultados. Todo esto si existe la oportunidad y los recursos para conseguirlos.

- Al trabajar con temperaturas altas pueden ocasionar quemaduras, y es necesario utilizar protecciones tanto para los equipos como para las personas que operan el sistema. Se debe forrar los cables con cinta auto fundible, separar los componentes electrónicos lo mayor posible de la fuente de calor, y proteger a las personas colocando aislamiento térmico en las tuberías, seguido de su enchaquetado para lo cual la lana de fibra de vidrio trabaja muy bien.
- Reducir o eliminar el consumo energético innecesario. Se busca consumir eficientemente los recursos, es decir, desarrollar una conciencia cultural del ahorro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Energía Maremotermica, Origen y Funcionamiento

<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>

[2] Energía Maremotermica, Ciclo de Potencia de Vapor

http://www.ecodesarrollo.cl/descargas/Energia_Maremotermica.pdf

[3] Maquinas Eléctricas Rotativas, Principio de Funcionamiento de un Generador Eléctrico

<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448127641.pdf>

[4] Generadores Eléctricos de Alterna y Continua.

http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores

[5] Gas Natural, Composición.

<http://www.innergy.cl/quees.htm>

[6] Teoría de la Llama

<http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-llama>

[7] Mechero de Bunsen, Forma de la llama y Temperatura de exposición.

<http://www.100ciaquimica.net/labor/material/mechero.htm>

[8] Temperatura de Llama y Auto ignición

<http://www.fullmecnica.com/t/temperatura-llama-y-temperatura-de-ignicion>

[9] Temperaturas de Ignición y Auto ignición.

<http://es.scribd.com/doc/60704482/5/TEMPERATURAS-DE-IGNICION-Y-AUTOIGNICION>

[10] Temperatura de Ignición de Algunos Elementos

http://www.redproteger.com.ar/temp_ignicion.htm

[11] Propiedades de los gases, Compresión y Expansión

http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_fyq3/tema2/index2.htm

[12] Características del GLP

<http://es.scribd.com/doc/51502314/5/Caracteristicas-del-GLP>

[13] Captura y Almacenamiento de CO₂

<http://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/captura-almacenamiento-co2-greenfacts.pdf>

[14] Hoja de Seguridad para CO₂ comprimido.

[http://www.aga.com.ec/International/Web/LG/EC/likelgagaec.nsf/repositorybyalias/pdf_msds_c/\\$file/Carbon%20Dioxide.pdf](http://www.aga.com.ec/International/Web/LG/EC/likelgagaec.nsf/repositorybyalias/pdf_msds_c/$file/Carbon%20Dioxide.pdf)

[15] Información sobre GLP.

<http://www.regoproducts.com/PDFs/L-592SpanishServicemansManual.pdf>

[16] Conceptos de carga. Algoritmos para carga de baterías.

<http://www.sidei.cl/pdfs/Carga%20de%20Baterias.pdf>

[17] Relación de transición entre engranajes.

<http://www.tecnosjulo.com/1eso/2012/02/02/relacion-de-transmision/>

[18] Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional. Diseño y Construcción de un Sistema de Regeneración de Energía con Ultracapacitores para Bicicleta, Abril 2012.

[19] Modelo de pequeña señal. Conversor DC/DC elevador.

<http://www.ti.com/lit/an/slva274a/slva274a.pdf>

[20] Generador de Corriente Alterna y Continúa.

<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas21B.htm>

[21] Generador de corriente, Principio de funcionamiento.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccin/generador/generador.htm>

[22] Tipos de vapor de agua.

<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-steam.html>

[23] Guía de vapor para la industria. Descripción y distribución del vapor.

http://www.cnpml.org.sv/ucatee/ee/docs/GUIA_VAPOR_FINAL.pdf

[24] Elementos para eficiencia de una caldera.

http://www.termodinamica.cl/cgi-bin/procesa.pl?plantilla=/v2/noticias_display.html&id_art=19&nseccion=Noticia

[25] Poder Calorífico, Concepto.

http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm

[26] Poder Calorífico de los Elementos más Comunes

<http://cadascu.wordpress.com/2011/05/25/poder-calorifico-de-las-sustancias-mas-comunes/>

[27] Efecto Seebeck, Definición

http://sensgeneradoreslograzzo.blogspot.com/2009_02_01_archive.html

[28] Celda Peltier, Estructura y Partes

<http://electronicacompleta.com/lecciones/disipadores/attachment/disipador-4/>

[29] RASHID, Muhammad, Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos. Segunda edición. Hall hispanoamericana, S.A. México. 1995.

[30] Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Cargador de baterías de Plomo-Acido de 48 Voltios, Quito, 2011.

[31] Resumen de las principales características de controladores PID.pdf

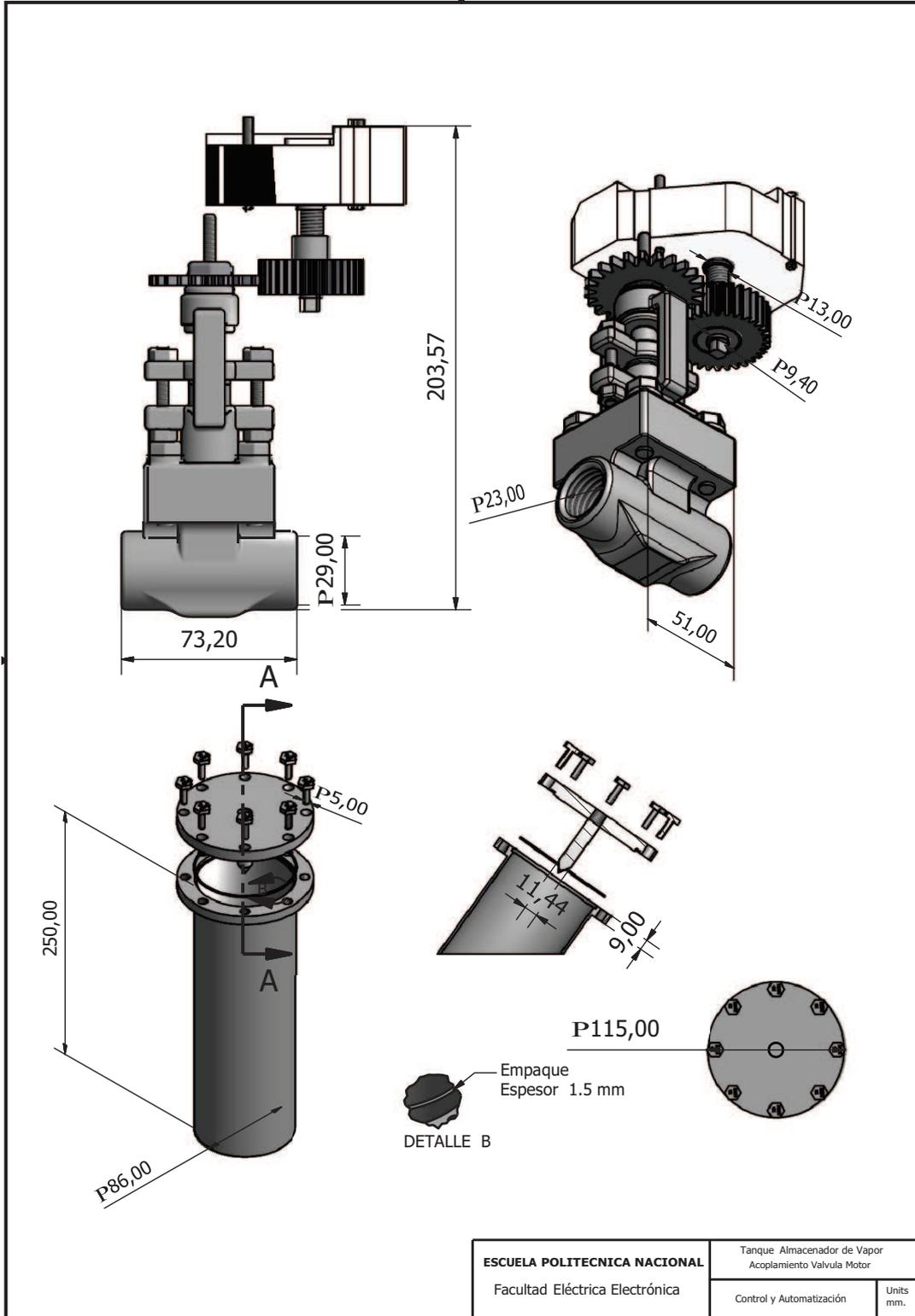
<http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/resumen%20controladores.pdf>

ANEXOS

Características eléctricas y/o mecánicas de los diferentes elementos utilizados en el proyecto.

- | | |
|-----------------|---|
| Anexo 1 | Depósito de acero inoxidable, acoplamiento válvula y motor. |
| Anexo 2 | Válvula de trabajo. |
| Anexo 3 | Sensor de temperatura. |
| Anexo 4 | Sensor de corriente. |
| Anexo 5 | Microcontrolador |
| Anexo 6 | Reles. |
| Anexo 7 | Puente H. |
| Anexo 8 | Inductancia del circuito elevador. |
| Anexo 9 | Diodo rápido para el circuito elevador. |
| Anexo 10 | Diseño y construcción de las placas electrónicas. |

ANEXO 1



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Facultad Eléctrica Electrónica

Tanque Almacenador de Vapor
Acoplamiento Valvula Motor

Control y Automatización

Units
mm.

ANEXO 2



Forged Steel Gate Valves, ANSI Class 800

Fig No: FGT-800

1/2" ~ 2" DN15 ~ DN50

Features :

Forged steel gate valves are available in two bonnet designs. The first design is the Bolted Bonnet, With male-female joint, spiral wound gasket, made in F304L/graphite. Ring joint gasket are also available on request. The second design is the welded bonnet, with a threaded and seal welded joint. On request a full penetration strength welded joint is available.

Gate valve Design Construction and Specifications :

Gate valves conform to API602, BS5352, and ASME B16.34.

Each are tested according to API598

Marking is per MSS SP-25.

Construction is as follows :

Full Port or Conventional Port

Outside Screw and Yoke

Two piece self aligning packing gland

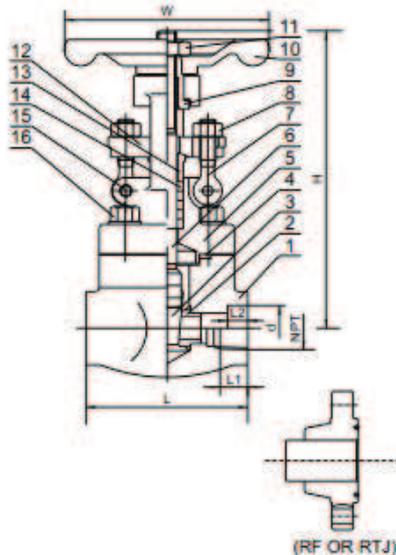
Bolted bonnet with spiral-wound gasket.

Integral backseat

Flange Ends to ASME B16.5

Socket weld Ends to ASME B16.11

Screwed Ends (NPT) to ANSI/ASME B1.20.1



DIMENSIONS

unit:mm

NPS	d	L2	NPT	L1	L	W	H
1/2	21.6	10	1/2	15	78	100	145
3/4	27	13	3/4	18	92	100	150
1	34	13	1	18	106	125	175
1-1/4	42.5	13	1-1/4	19	120	160	200
1-1/2	48.5	13	1-1/2	19	114	160	205
2	61	16	2	25	144	160	230

MATERIALS LIST

NO	Name	MATERIAL		
1	BODY	A105	F304(L)	F316(L)
2	SEAT RING	A182 F6	F304(L)	F316(L)
3	WEDEG	A182 F6	F304(L)	F316(L)
4	GASKET	F304+GRAPHITE F316+GRAPHITE		
5	BONNET	A105	A304(L)	F316(L)
6	STEM	A182 F6	A304(L)	F316(L)
7	GLAND EYEBOLT	A193 B7	A193 B8	
8	GLAND NUT	A194 2H	A194 8	
9	YOKE NUT	A276 410		
10	HANDWHEEL	60-40-18		
11	H.W.NUT	A194 2H	A194 8	
12	GLAND	A276 410	F304(L)	F316(L)
13	GLAND FLANGE	A105	F304(L)	F304
14	STEM PACKING	FLEXIBLE GRAPHITE		
15	PIN	F304		
16	BONNET BOLT	A193 B7	A193 B8	

Other Materials Also Available On Requested

<http://www.modentic.com.tw/>

ANEXO 3

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 $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- 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 $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

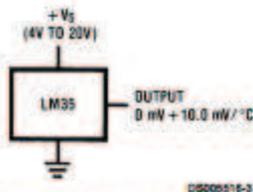
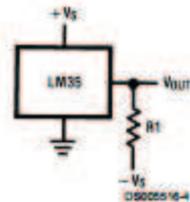


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ 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

ANEXO 4



Burr-Brown Products
from Texas Instruments



INA139
INA169

SBOS181A – DECEMBER 2000 – REVISED JANUARY 2003

High-Side Measurement CURRENT SHUNT MONITOR

FEATURES

- COMPLETE UNIPOLAR HIGH-SIDE CURRENT MEASUREMENT CIRCUIT
- WIDE SUPPLY AND COMMON-MODE RANGE
- INA139: 2.7V to 40V
- INA169: 2.7V to 60V
- INDEPENDENT SUPPLY AND INPUT COMMON-MODE VOLTAGES
- SINGLE RESISTOR GAIN SET
- LOW QUIESCENT CURRENT (60 μ A typ)
- SOT23-5 PACKAGE

APPLICATIONS

- CURRENT SHUNT MEASUREMENT:
Automotive, Telephone, Computers
- PORTABLE AND BATTERY-BACKUP SYSTEMS
- BATTERY CHARGERS
- POWER MANAGEMENT
- CELL PHONES
- PRECISION CURRENT SOURCE

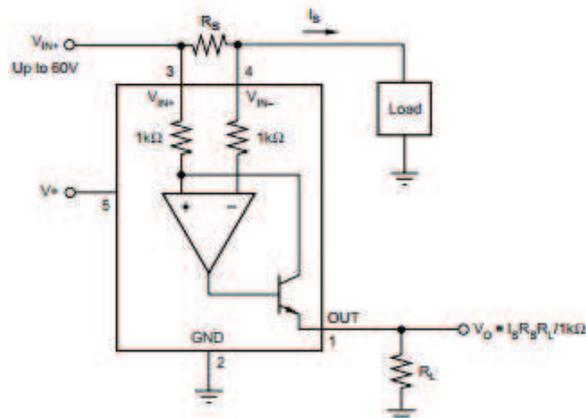
DESCRIPTION

The INA139 and INA169 are high-side, unipolar, current shunt monitors. Wide input common-mode voltage range, high-speed, low quiescent current, and tiny SOT23 packaging enable use in a variety of applications.

Input common-mode and power-supply voltages are independent and can range from 2.7V to 40V for the INA139 and 2.7V to 60V for the INA169. Quiescent current is only 60 μ A, which permits connecting the power supply to either side of the current measurement shunt with minimal error.

The device converts a differential input voltage to a current output. This current is converted back to a voltage with an external load resistor that sets any gain from 1 to over 100. Although designed for current shunt measurement, the circuit invites creative applications in measurement and level shifting.

Both the INA139 and INA169 are available in SOT23-5 packages and are specified for the -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ industrial temperature range.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS
INSTRUMENTS
www.ti.com

Copyright © 2000, 2003, Texas Instruments Incorporated

ANEXO 5

Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 × 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
 - 16/32/64K 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
 - 512B/1K/2K Bytes EEPROM
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1/2/4K Bytes 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
 - Six PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
Differential mode with selectable gain at 1x, 10x or 200x⁽¹⁾
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Two Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- 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
 - 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega164P/324P/644P
- Speed Grades
 - ATmega164P/324P/644P: 0 - 8MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 8 MHz, 5V, 25°C for ATmega644P
 - Active mode: 8 mA
 - Idle mode: 2.4 mA
 - Power-down Mode: 0.8 µA



**8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 16/32/64K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega164P
ATmega324P
ATmega644P**

Automotive

PCB Relay G5LE

A Cubic, Single-pole 10-A Power Relay

- High Capacity (-E) and 0.8mm Contact Gap (-G) versions
- Subminiature "sugar cube" relay with universal footprint.
- Conforms to EN 61810-1. UL recognized/ CSA certified.
- UL class-F coil insulation model available (UL class-B coil insulation for standard model).
- Withstands impulse of up to 4,500 V.
- 400-mW and 360-mW coil power types available.
- RoHS Compliant



400-mW Type

Rated voltage	5 VDC	9 VDC	12 VDC	24 VDC	48 VDC
Rated current	79.4 mA	45 mA	33.3 mA	16.7 mA	8.33 mA
Coil resistance	63 Ω	200 Ω	360 Ω	1,440 Ω	5,760 Ω
Must operate voltage	75% max. of rated voltage (max.)				
Must release voltage	10% min. of rated voltage (min.)				
Max. voltage	130% of rated voltage at 85°C, 170% of rated voltage at 23°C				
Power consumption	Approx. 400 mW				

Note: The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with a tolerance of ±10%.

■ Characteristics

Contact resistance	100 mΩ max.	
Operate time	10 ms max.	
Release time	5 ms max.	
Bounce Time	Operate: Approx. 0.6ms Release: Approx. 7.2ms	
Max. switching frequency	Mechanical: 18,000 operations/hr Electrical: 1,800 operations/hr at rated load	
Insulation resistance	100 MΩ min. (at 500 VDC)	
Dielectric strength	2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min between coil and contacts 750 VAC, 50/60 Hz for 1 min between contacts of same polarity 1,500 VAC (for suffix -G) 50/60Hz for 1 min between contacts of same polarity	
Impulse withstand voltage	4,500 V (1.2 x 50 μs) between coil and contacts	
Insulation Distance	Creepage (Typ)	3.3 mm
	Clearance (Typ)	2.7 mm
Tracking Resistance (CTI)	250 V	
Vibration resistance	Destruction:	10 to 55 to 10 Hz, 0.75-mm single amplitude (1.5-mm double amplitude)
	Malfunction:	10 to 55 to 10 Hz, 0.75-mm single amplitude (1.5-mm double amplitude)
Shock resistance	Destruction:	1,000 m/s ²
	Malfunction:	100 m/s ²
Endurance	Mechanical:	10,000,000 operations min. (at 18,000 operations/hr)
	Electrical:	100,000 operations min. (at 1,800 operations/hr) for standard type
		36,000 operations min. (10A at 250VAC)
		100,000 operations min. (at 1,800 operations/hr, 12A 250 VAC) - applicable for G5LE-1-E, NO contact only
Ambient temperature	Operating: -40°C to 85°C (with no icing)	
Ambient humidity	Operating: 5% to 85%	
Weight	Approx. 12 g	

ANEXO 7

L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS009B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

- Featuring Unijunction L293 and L293D Products Now From Texas Instruments
- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- Thermal Shutdown
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functional Replacements for SGS L293 and SGS L293D
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

description

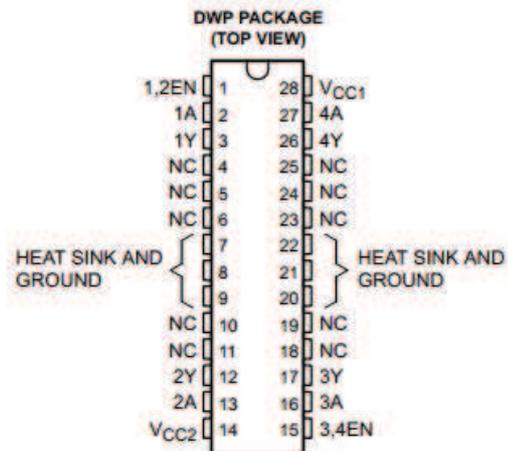
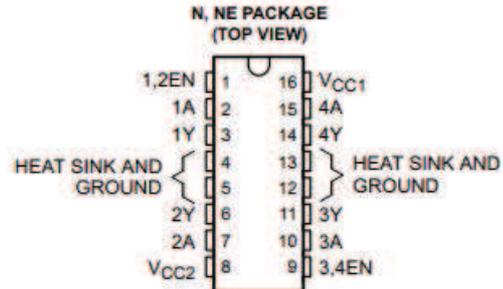
The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression.

A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2} , is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

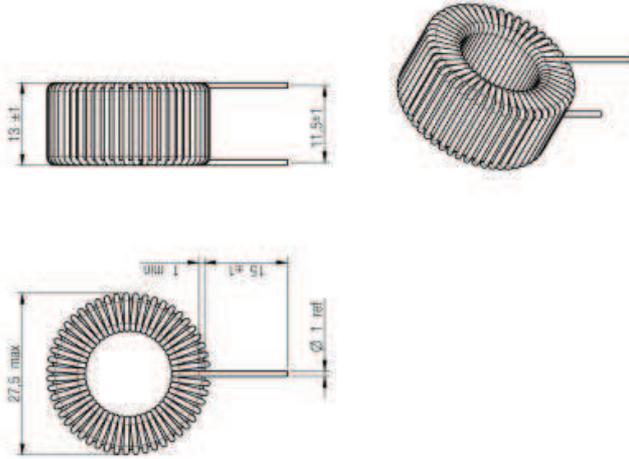
PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

ANEXO 8

A Dimensions: [mm]



C Schematic:



D Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	10 kHz / 5 mA	L	µH	±20%
Rated current	ΔT = 40 K	I _R	A	max.
DC Resistance	R _{DC}	0.0MS	Ω	max.



E General information:
 It is recommended that the temperature of the part does not exceed 105°C under worst case operating conditions.
 Ambient temperature: -40°C to +65°C (referring to I_R)
 Operating temperature: -40°C to +105°C
 Storage temperature (in tray packaging): -20°C to +40°C; 75% RH max.
 Test conditions of Electrical Properties: 20°C, 33% RH
 if not specified differently

Scale - 1:1

REV	DATE	BY	CHECKED	DESCRIPTION
7.0	2012-12-04	SSI	SSI	Wurth Elektronik eBox GmbH & Co. KG EMC & Inductive Solutions Max-Gym-Str. 1 74638 (Waldenbury) Germany Tel: +49 (0) 79 42 945 - 0 www.wue-online.com eBox@wue-online.com
7.1	2012-10-24	SSI	SMu	
7.2	2012-10-24	SSI	SMu	
7.3	2012-12-04	SSI	SSI	

WE-FI Leaded Toroidal Line Choke

Order- No.	7447076
COMPLIANT	ROHS REACH
WÜRTH ELEKTRONIK	
SIZE	A4

The choke, component has been designed and developed for use in general electronic equipment only. The product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is required or where a failure of the product is reasonably expected to cause personal injury or death, unless the user has conducted an approved specific product safety test. However, Würth Elektronik eBox GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as nuclear, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation infrastructure control, rail control, air traffic control, transportation signal, disaster prevention, medical, public information network, etc. Würth Elektronik eBox GmbH & Co. KG must be informed about the nature of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

ANEXO 9

Bulletin PD-20872 rev.A 02/07

International
IOR Rectifier

MBR4045CTPbF

SCHOTTKY RECTIFIER

40 Amp

$$I_{F(AV)} = 40\text{Amp}$$

$$V_R = 45\text{V}$$

Major Ratings and Characteristics

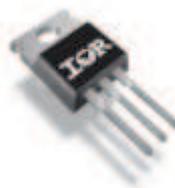
Characteristics	Values	Units
$I_{F(AV)}$ Rectangular waveform (Per Device)	40	A
I_{FRM} @ $T_C = 118^\circ\text{C}$ (Per Leg)	40	A
V_{RRM}	45	V
I_{FSM} @ $t_p = 5 \mu\text{s sine}$	900	A
V_F @ $20\text{Apk}, T_J = 125^\circ\text{C}$	0.58	V
T_J range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

Description/ Features

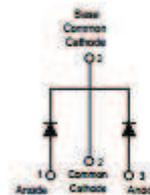
This center tap Schottky rectifier has been optimized for low reverse leakage at high temperature. The proprietary barrier technology allows for reliable operation up to 150°C junction temperature. Typical applications are in switching power supplies, converters, free-wheeling diodes, and reverse battery protection.

- $150^\circ\text{C } T_J$ operation
- Center tap TO-220, D²Pak and TO-262 packages
- Low forward voltage drop
- High purity, high temperature epoxy encapsulation for enhanced mechanical strength and moisture resistance
- High frequency operation
- Guard ring for enhanced ruggedness and long term reliability
- Lead-Free ("PbF" suffix)

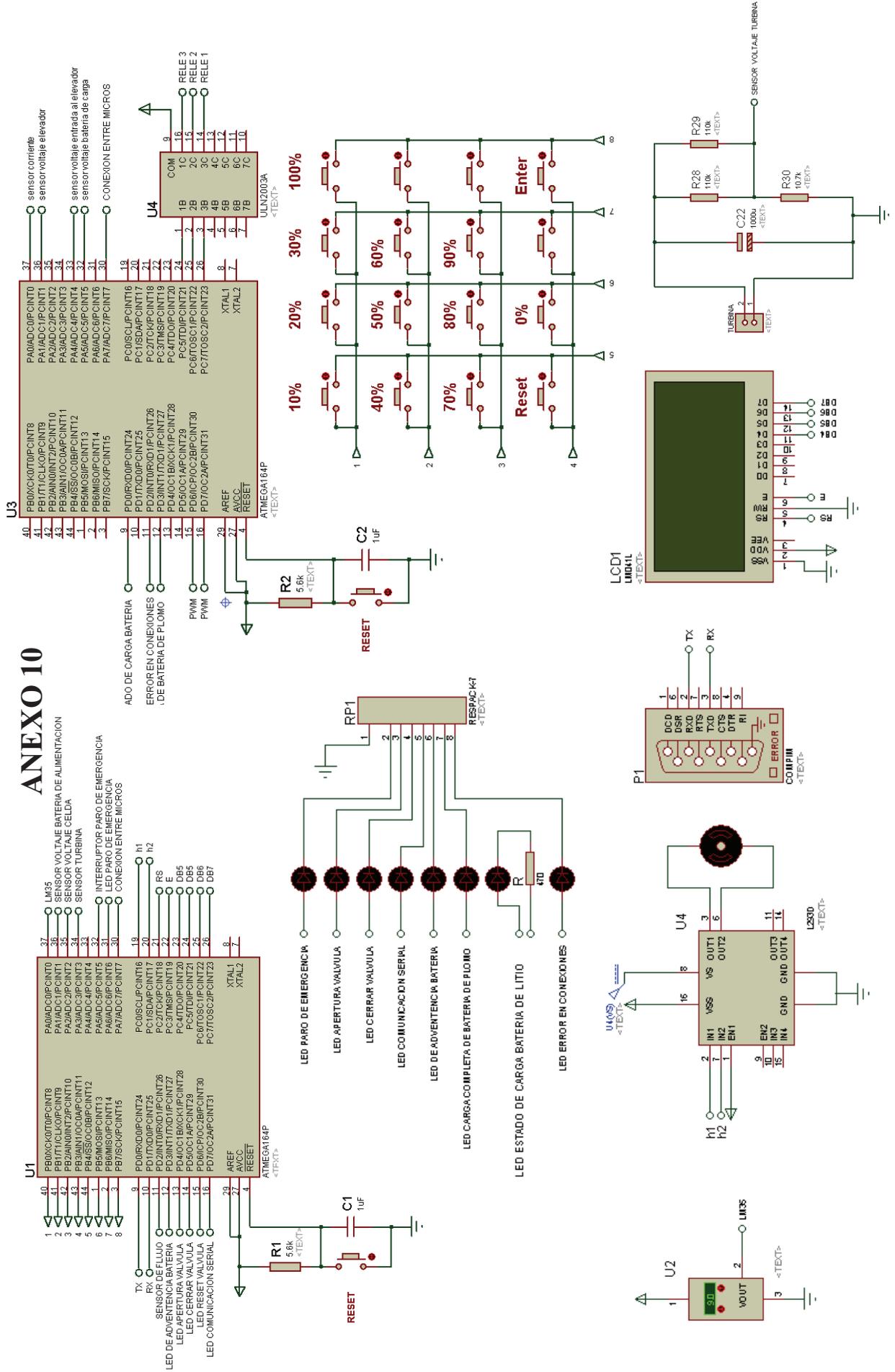
Case Styles



TO-220

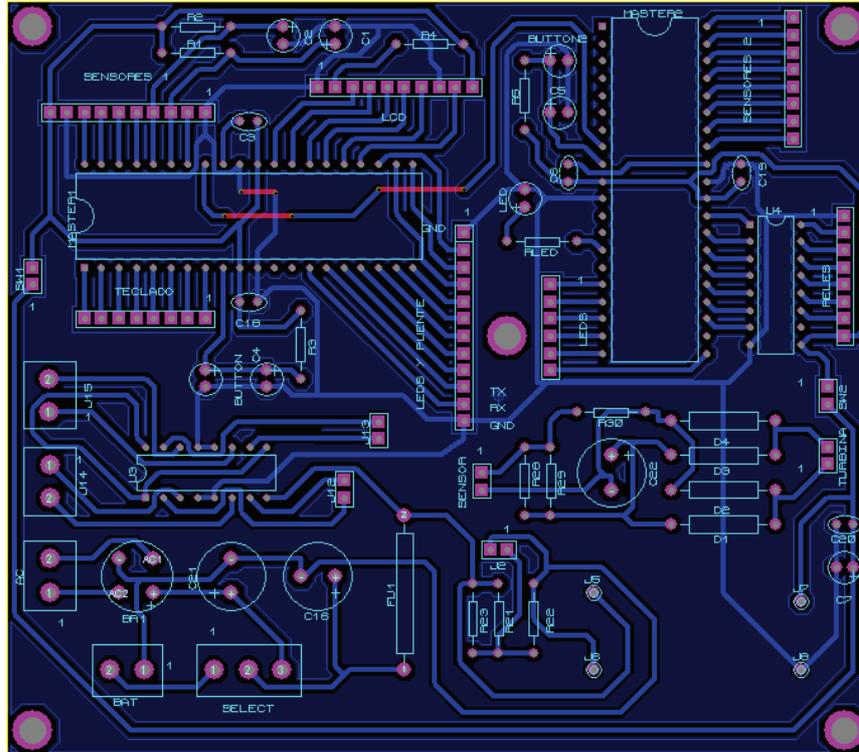


ANEXO 10



ANEXO 10

Circuito de control



Circuito cargador de baterías.

