



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA PARA SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE

Juan Carlos González de León
Asesorado por el Ing. Byron Arrivillaga

Guatemala, febrero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA
PARA SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN CARLOS GONZÁLEZ DE LEÓN
ASESORADO POR EL ING. BYRON ARRIVILLAGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA PARA SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Electrónica, con fecha 28 octubre de 2010.

Juan Carlos González de León

Guatemala 15 de Octubre 2011

Ingeniero

Carlos Eduardo Guzmán

Coordinador del Área de Electrónica

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería, USAC


Estimado Ingeniero Guzmán

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado, "**CONTROL ELECTRONICO AUTOMATICO DE CARGA PARA SISTEMAS DE ENERGIA RENOVABLE**", del señor Juan Carlos González de León, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente


Ing. Byron Arrivillaga Méndez
Col. 5217

Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
Colegiado 5217
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 80. 2011
Guatemala, 9 de NOVIEMBRE 2011.

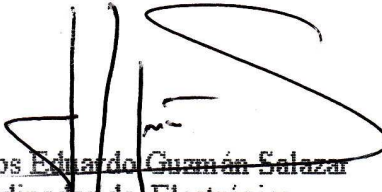
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA PARA
SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE", del estudiante Juan
Carlos González de León, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 74. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JUAN CARLOS GONZÁLEZ DE LEÓN titulado: "CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA PARA SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 22 DE NOVIEMBRE 2,011.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

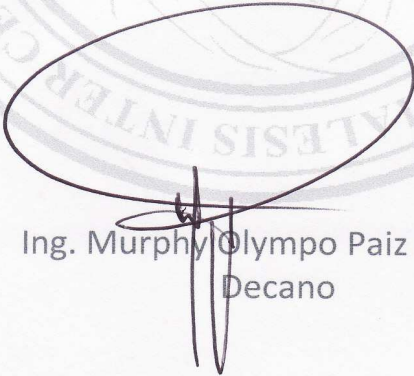


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 099.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA PARA SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos González de León**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 29 de febrero de 2012.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Carlos González y Carmen de León por su dedicación, entrega y perseverancia al formarme como la persona que soy ahora.
- Mis hermanos** Carlos Alberto y Juan Pablo por ser mis primeros amigos y estar allí cuando los he necesitado.
- Mis compañeros** Marcos Morales, Sol Giron, Germán Chew, Manuel Rios y muchos otros que fueron parte importante en este logro, sin ellos no hubiera sido lo mismo.
- Mi novia** Paulina Sica por ser esa persona que hace que todo se mire diferente, dándole muchas alegrías a mi día.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por darme un camino a seguir haciendo lo que más me gusta y da satisfacción.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por darme la oportunidad de aprender en esta gran casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por ser un ente forjador de nuevas personas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE Y LA IMPORTANCIA DEL CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA EN ELLOS	1
1.1. Sistema fotovoltaico solar.....	1
1.1.1. Principio físico del panel solar	3
1.1.2. Tipos de paneles solares	5
1.1.3. Estándares eléctricos en un módulo fotovoltaico.....	10
1.1.4. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	11
1.1.5. Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red.....	12
1.1.6. Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.....	13
1.2. Sistema eólico	17
1.2.1. Tipos de turbinas eólicas	17
1.2.1.1. Turbinas eólicas de eje vertical	18
1.2.1.2. Turbinas eólicas de eje horizontal	19
1.2.2. Elementos que forman un sistema eólico domiciliar.....	20
1.2.3. Potencial eólico en Guatemala (MEM)	24

1.2.4.	Dimensionamiento de un sistema eólico	27
1.3.	Sistema hibrido eólico-solar	34
1.4.	Importancia del control electrónico automático de carga	34
2.	CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA Y PRINCIPIOS DE OPERACIÓN.....	37
2.1.	Aspectos básicos a utilizar en el microcontrolador.....	38
2.1.1.	Dispositivos de entrada/salida a utilizar en el microcontrolador 16f877a.....	40
2.2.	Sensores del control electrónico automático de carga	41
2.2.1.	Sensor de voltaje para el panel solar y la turbina eólica.....	41
2.2.2.	Sensor de voltaje en baterías.....	42
2.2.3.	Sensor de temperatura en baterías.....	42
2.3.	Programación para niveles de carga y descarga	43
2.4.	Interface con la LCD gráfica.....	45
3.	MÉTODOS ESPECIFICOS DE CONEXIÓN CON EL CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA.....	47
3.1.	Conexión con baterías de 12, 24 y 48 voltios	48
3.2.	Conexión con paneles solares	49
3.2.1.	Conexión en serie de paneles solares	50
3.2.2.	Conexión en paralelo de paneles solares	51
3.2.3.	Conexión mixta en paneles solares.....	52
3.3.	Conexión con más de una turbina eólica	53
3.4.	Conexiones entre turbinas y paneles solares.....	54
3.5.	Conexión entre los dispositivos de potencia al control automático de carga.....	54

4.	CONSTRUCCIÓN Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA	55
4.1.	Esquema de programación.....	55
4.2.	Circuito de conexión	63
4.3.	Prueba de prototipo	67
4.4.	Comparación con otros sistemas en el mercado.....	67
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES.....	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICES	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquemático del movimiento de electrones en el panel solar	5
2.	Panel fotovoltaico de silicio monocristalino (izquierda) Panel solar de silicio policristalino (derecha)	7
3.	Panel solar de silicio amorfo	10
4.	Generadores eólicos verticales, aerogenerador savonius (derecha), aerogenerador darriaeus (izquierda)	18
5.	Aerogeneradores horizontales, tripala (izquierda) multipala (derecha)	19
6.	Potencial eólico en Guatemala según Ministerio de Energía y Minas (MEM)	26
7.	Rosa de los vientos procedencia (izquierda) Rosa de los vientos potencia (derecha)	27
8.	Rugosidad del terreno	29
9.	Obstáculos porosos distancia recomendada	30
10.	Obstáculos no porosos, formas de instalar un aerogenerador	31
11.	Altura del montaje respecto al eje del aerogenerador	32
12.	Relación logarítmica entre la rugosidad y velocidad del terreno para diferentes perfiles de viento en cada suelo	33
13.	Esquema general de un control electrónico automático de carga para dos sistemas de energía renovable	38
14.	Pic16f877a con referencia de cada pin	39
15.	Esquema de sensores para el panel solar y la turbina eólica	41
16.	Sensor de temperatura y voltaje en las baterías	42

17.	Pantalla LCD gráfica	45
18.	Conexión de acumuladores, de izquierda a derecha, conexión en paralelo, serie, mixta	49
19.	Conexión serie de paneles solares	50
20.	Conexión en paralelo de paneles solares	51
21.	Conexión mixta de paneles solares (serie paralelo)	52
22.	Turbinas eólicas en paralelo con su respectivo diodo de paso y de bloqueo	53
23.	LCD gráfica conectada al Pic16f877a	63
24.	Toma de muestra en los niveles de voltaje	64
25.	Esquema del sistema de potencia	65
26.	Conexión del teclado al microcontrolador	66

TABLAS

I.	Orden en pines de la LCD gráfica	46
----	----------------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AlInSe₂	Aluminio indio selenio
A	Amperios
GaAs	Arseniuro de galio
GaAlAs	Arseniuro de aluminio galio
CuInSe₂	Cobre indio selenio
Cu₂O	Óxido de cobre
Wp	Potencia pico
CdTe	Teluro de cadmio
V	Voltios
Zn₃P₂	Zinc fosfuro

GLOSARIO

Acumulador	Sinónimo de batería es un dispositivo utilizado para almacenar energía en forma química.
Aerogenerador	Generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento.
Czochralski	Proceso por el cual se forman lingotes de silicio monocristalino.
Diodo	Dispositivo electrónico que permite el paso de corriente en una sola dirección.
Fotoeléctrico	Material que permite el paso de más o menos corriente dependiendo de la intensidad de la luz.
Fusión	Evento que describe la unión de dos a más materiales para formar un nuevo.
Panel solar	Módulo diseñado para convertir la radiación solar en electricidad.
Radiación	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas por el espacio.

Silicio

Material semiconductor muy utilizado para elaborar componentes electrónicos.

Watt

Unidad de potencia del sistema internacional de medidas.

RESUMEN

Un control automático de carga es un dispositivo electrónico utilizado en sistemas de generación de energía renovable, no conectados a la red de distribución eléctrica, como lo pueden ser los sistemas eólicos y solares, para proteger de forma eficiente los efectos producidos por sobrecargas o descargas prolongadas en baterías especiales o de ciclo profundo.

En este trabajo de graduación se presenta el funcionamiento de un control electrónico automático de carga para un sistema híbrido eólico solar, en donde se programa un microcontrolador para monitorear estos dos tipos de sistemas al mismo tiempo o de forma independiente según el tipo de acumulador adquirido, presentando la información del control en una pantalla gráfica, para la mejor comprensión del usuario final, debido al poco o nulo mantenimiento profesional que reciben estos sistemas en los lugares instalados, esto se hace de vital importancia para la población que los está utilizando, permitiendo que alguien con pocos conocimientos técnicos pueda manipular de forma segura este tipo de dispositivos.

OBJETIVOS

General

Elaborar un control automático de carga de fácil configuración para el usuario final, permitiendo dar un mantenimiento al sistema con poca instrucción técnica.

Específicos

1. Describir el funcionamiento de los sistemas de energía renovable solar y eólico que permitan comprender las capacidades de los mismos en el país.
2. Programar un microcontrolador para utilizarlo como elemento de control electrónico que permita la interacción entre los elementos de potencia, sensores y despliegue de información.

INTRODUCCIÓN

Los elementos de control, actualmente se utilizan en prácticamente todas las áreas de la industria, en sistemas de energía renovable no es la excepción; especialmente en sistemas aislados, es decir, sistemas que están en donde no es posible la interconexión con una red de distribución eléctrica nacional, como es el caso en algunas comunidades del interior del país, en donde puede ser factible la utilización de uno o varios de los sistemas de generación de energía renovable para aplicaciones tales como, iluminación pública y comunicación con centros de salud comunitarios.

Un control automático de carga no es más que un dispositivo electrónico especialmente construido para evitar sobrecargas o descargas profundas en elementos que almacenan energía, sin este elemento los acumuladores que tienen una vida media útil de alrededor de veinte años disminuye a casi la mitad o menos, debido a la sobre exposición de parámetros eléctricos no deseados en las mismas.

1. SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE Y LA IMPORTANCIA DEL CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA EN ELLOS

Existen en la actualidad gran variedad de sistemas de energía renovable que utilizan los controles automáticos de carga, tanto para optimizar como para proteger al equipo de generación de sobrecargas y descargas profundas en acumuladores instalados, dependiendo de la aplicación, existen diferentes tipos según tensión y amperaje a soportar o si es necesario tener una carga disipadora que consuma la energía excedente como es el caso de los sistemas eólicos. En este trabajo de graduación se investigan y concentran los esfuerzos por profundizar en sistemas de energía renovables tanto, fotovoltaicos como eólicos incluyendo un sistema híbrido de estos dos sistemas.

1.1. Sistema fotovoltaico solar

La energía irradiada por el sol, relativamente inagotable es generada por la fusión de átomos de hidrógeno y que llega en un año a través de la atmósfera a la superficie terrestre es de tan solo 1/3 de la energía interceptada fuera de ella, el 70 % cae en los mares, sin embargo, la energía que queda es de $1,5 \cdot 10^{17}$ kw/h que en un año cae sobre tierra firme, siendo igual a miles de veces el consumo energético mundial actualmente.

La radiación solar llamada también flujo o densidad de potencia de la radiación solar recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares, es conocida como constante solar y es igual a $1\,353\text{ W/m}^2$ variable $\pm 3\%$ en el año debido a la elipticidad de la órbita terrestre, en la tierra este valor es de aproximadamente $1\,000\text{ W/m}^2$ captado en un día soleado de verano.

La radiación solar puede llegar a la superficie terrestre de forma directa, dispersa y albedo, se le denomina directa a la radiación que incide sobre una superficie en un único y preciso ángulo, en tanto que para la radiación dispersa estos pueden venir de muchos y diversos ángulos y para algunos casos en donde se puede tomar ventaja de la radiación refleja en espejos de agua u otras superficies horizontales este fenómeno es conocido como albedo.

Los sistemas solares fotovoltaicos se pueden dividir en dos grandes grupos, los que están conectados al sistema de red eléctrica nacional y los que no lo están o comúnmente llamados sistemas aislados, los segundos son los que más interesan porque utilizan un control de automático de carga, debiendo ser más eficientes por su poco o nulo mantenimiento, tanto por accesibilidad, como por recursos técnicos en el lugar de instalación.

Los sistemas que están conectados a la red eléctrica usualmente son utilizados para minimizar los gastos provocados por la iluminación en los hogares o edificios, utilizan la red eléctrica como un gran acumulador enviando el excedente generado a las líneas de transmisión, volviéndose a tomar cuando sea necesario, como por ejemplo, para días de poca luz o viento y por las noches.

1.1.1. Principio físico del panel solar

El porqué se puede obtener energía del sol, se debe al fenómeno físico llamado efecto fotoeléctrico, que es en si la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, esto tiene lugar en la célula solar que no es más que un diodo de silicio extendido en una superficie muy amplia, unas decenas de centímetros cuadrados aproximadamente.

Para entender este concepto hay que adentrarse al menos teóricamente en la estructura del silicio como material; el átomo de silicio está formado por 14 electrones de los cuales 4 se encuentran en la capa de valencia disponibles para unirse con otros electrones de valencia de otro átomo del mismo material, y lo que se obtiene es el cristal de silicio químicamente puro y que cada átomo este unido de manera covalente con otros 4 átomos, dando como consecuencia que no hayan dentro del cristal electrones libres.

Para provocar un desequilibrio en los átomos de silicio se introducen átomos con más o menos cantidad de electrones en su capa de valencia, para tener un electrón de más se coloca generalmente un átomo de fosforo que contiene 5 electrones en la capa de valencia, 4 de ellos serán para enlace con otros átomos de silicio y el quinto electrón se moverá por energía térmica y así tener libertad en el retículo de cristal.

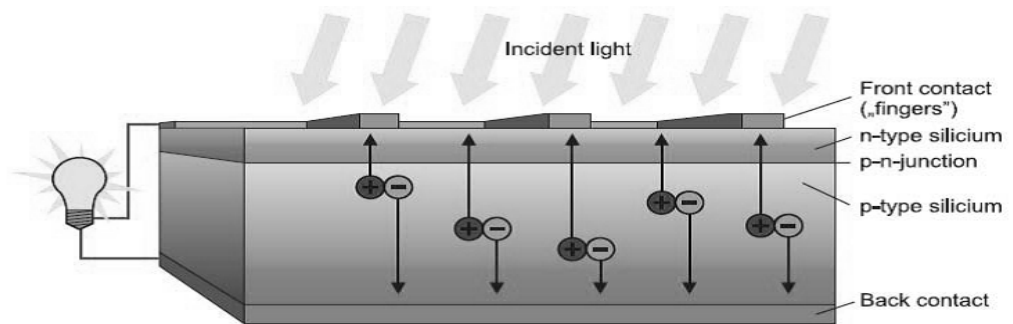
De forma similar pero utilizando átomos de boro que contienen 3 electrones en su banda de valencia, provoca así en el material un espacio disponible para el movimiento de lo que se puede llamar un electrón positivo o comúnmente hueco; al material que contiene fosforo se le puede considerar material tipo n debido al aumento de electrones en el cristal y a su vez al material con boro se le llamará de tipo p, por los huecos o espacios que genera este átomo.

Cuando se juntan estos materiales dopados se forma lo que se conoce como diodo, en la región de unión se forma el área de agotamiento, es en donde los electrones libres y los huecos se recombinañ manteniendo un campo eléctrico permanente.

Con esta información se puede explicar el efecto fotoeléctrico, suponiendo que el fotón de luz entra en la región de agotamiento del material tipo p y si este fotón tiene la energía suficiente para romper el enlace del retículo del silicio, será absorbido y creará una pareja electrón-hueco dando como resultado que el electrón generado se moverá en dirección de la región de agotamiento del material tipo n lo mismo ocurrirá si el fotón impacta con energía suficiente en la región de agotamiento del material tipo n, en este caso el hueco generado será atraído por el campo eléctrico generado en la región de agotamiento y se moverá hacia la región de material tipo p.

Todo esto debe ocurrir cerca de la región de agotamiento de cada material para maximizar el movimiento de las cargas, debido a esto las celdas solares tienen un ancho de aproximadamente 0,25 mm a 0,30 mm de espesor.

Figura 1. **Esquemático del movimiento de electrones en un panel fotovoltaico**



Fuente: HULSHORST, Walter. Manual-Instalaciones-Fotovoltaicas-Domésticas. p. 5.

1.1.2. Tipos de paneles solares

Existen muy variados tipos de paneles solares tanto en forma como tamaño pero en las siguientes hojas se pretende hacer una clasificación según su estructura interna entre las que se encuentran los siguientes:

- Silicio monocristalinos

Las celdas solares de silicio monocristalino representan lo mejor de la tecnología fotovoltaica comercial. Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente, el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, posteriormente, las obleas se pulen por ambas caras. Durante el proceso de corte y pulido se desperdicia casi la mitad del material original. Una vez pulidas las obleas se introduce por difusión a alta temperatura un material dopante, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo p si se le añadió boro, o tipo n si se añadió fósforo.

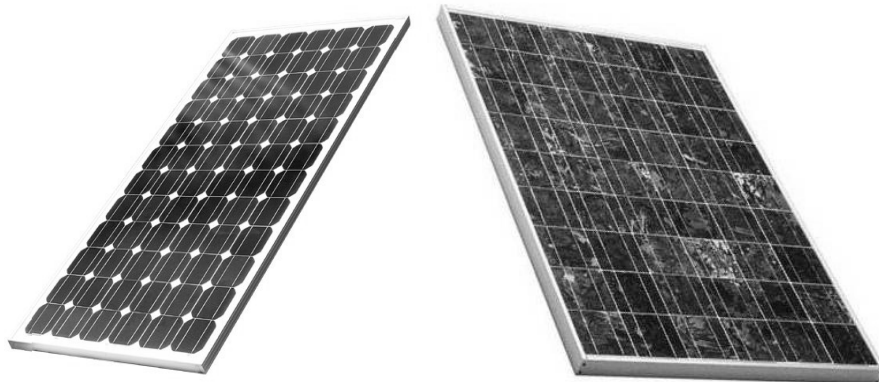
La mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0,5 V independientemente del área superficial de la celda, sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará. El espesor requerido para que se lleve a cabo el efecto fotovoltaico y se evite al máximo la recombinación de portadores de carga es del orden de 3 a 4 μm , por este motivo, la celda se torna extremadamente frágil ocasionando que en el proceso de manufactura se generen más desperdicios.

Existen muchas combinaciones de materiales que poseen las características requeridas para convertir directamente la energía solar con eficiencias mayores que el 13 %, destacando entre ellas el silicio, sulfuro de cadmio y el arsenuro de galio. Muchos otros materiales están aún en estado de investigación y experimentación. Adicionalmente a los materiales y sus combinaciones, se estudian otras configuraciones y procesos para mejorar eficiencias.

Los procesos para formar la unión semiconductor incluyen la difusión a alta temperatura, evaporación para formar una barrera de Schottky en la superficie de un semiconductor como el silicio, crecimiento químico epitaxial de capas (silicio, GaAs, GaAlAs), así como implantación iónica. Los materiales base pueden formarse a través de crecimiento cristalino por varios métodos incluyendo crecimiento cristalino, crecimiento dendrítico, crecimiento de Czochralsky (uno de los más populares) y laminado tipo *ribbon*.

La geometría de la celda ha pasado de ser redonda a cuadrada, esto para lograr una mayor captura de radiación cuando son colocadas varias celdas en serie para formar un módulo. Estos ejemplos ilustran las diferentes técnicas y combinaciones de materiales, diseños de celdas y procesos de fabricación posibles.

Figura 2. **Panel fotovoltaico de silicio monocristalino (izquierda); panel solar de silicio policristalino (derecha)**



Fuente: <<http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm>>.
[Consulta: en marzo 2011].

- **Silicio policristalino**

Las celdas policristalinas son fabricadas y operan de una manera similar a las monocristalinas. La diferencia es que durante su manufactura se emplea un silicio de menor calidad y costo, esto da como resultado celdas de eficiencia ligeramente menor. Al estar compuesta la celda por una serie de granos de silicio, a nivel microscópico, quedan varios huecos entre las uniones de los granos y por lo tanto, en esos microhuecos se interrumpe el fenómeno fotovoltaico. No obstante la diferencia de eficiencias entre el silicio monocristalino y el policristalino es relativamente pequeña y generalmente se absorbe en las evaluaciones de costos.

Si bien el silicio es uno de los materiales más abundantes en la naturaleza, se encuentra como bióxido de silicio en la arena de mar; para utilizarlo en celdas solares se requiere que sea muy puro y en forma cristalina, para lo cual hay que realizar varios procesos. A partir del desmantelamiento de la industria militar soviética a principios de esta década, muchos fabricantes de módulos fotovoltaicos han recurrido a las plantas de fabricación de barras de silicio en Ucrania. Esto ha logrado abatir un tanto los costos de la materia prima y ha repercutido satisfactoriamente en el precio al usuario final.

- Silicio amorfo

Los tipos de celda mencionados anteriormente tienen estructura cristalina, el silicio amorfo no tiene tal estructura. Al silicio amorfo también se le denomina película delgada. Las unidades de silicio amorfo se fabrican depositando capas delgadas de silicio, evaporado al vacío, *sputtering* (erosión iónica), deposición de vapor u otro método sobre un sustrato que puede ser vidrio, plástico o metal. Las celdas de silicio amorfo se presentan prácticamente en cualquier tamaño, siendo la limitante la configuración del domo de evaporación donde se efectúa el proceso.

Debido a que las capas de silicio permiten el paso de parte de la luz solar, se requiere depositar varias capas, una sobre otra. Las capas añadidas incrementan la cantidad de electricidad que la celda puede producir. La producción de electricidad se ve disminuida hasta en un 15 % a las 8 semanas de que inicia la operación de la celda. Esto se debe a que la película delgada presenta una acelerada degradación a partir de que es expuesta a los rayos solares. A partir del cuarto o quinto año de operación las celdas presentan una degradación del 35 al 50 %.

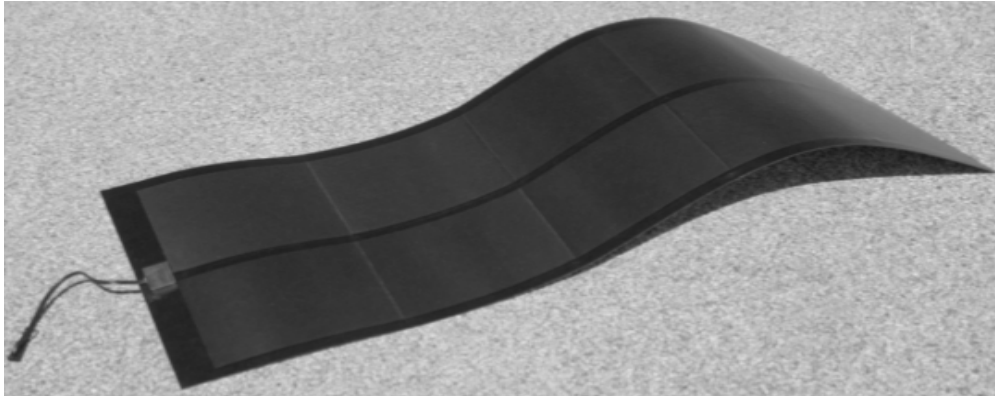
Las eficiencias de las celdas de silicio amorfo son de aproximadamente el 50 % de las celdas cristalinas. Esta tecnología tiende a ser mucho más barata que las cristalinas. Por esta razón el estado actual de la investigación se enfoca hacia el problema de la degradación.

Dentro de los materiales que mayor estabilidad ofrecen en película delgada está el CuInSe_2 , conocida como cobre-indio-selenio este material fue considerado teóricamente posible en 1974 y no fue sino hasta 1990 que comenzó su producción en la compañía norteamericana Chronar. Sin embargo, el CuInSe_2 es un compuesto más costoso que el silicio y actualmente se estudian otras alternativas tales como: AlInSe_2 , Zn_3P_2 y el Cu_2O .

Otro material, el telurio de cadmio CdTe , análogamente al CuInSe_2 , es un material que ha mostrado viabilidad en celdas solares. El CdTe ha mostrado eficiencias iniciales del orden del 15 %. El CdTe se encuentra disponible comercialmente. Sin embargo, para reducir el costo del Watt pico, los esfuerzos se enfocan a abatir el costo de producción. En este aspecto la electrodeposición se identifica como una técnica de bajo costo.

El silicio amorfo es, sin duda, el material fotovoltaico que más se ha instalado en el mundo, esto es debido a la gran cantidad de relojes, calculadoras, radios y demás artefactos domésticos que operan con energía solar.

Figura 3. **Panel solar de silicio amorfo**



Fuente: <<http://es.engadget.com/2009/06/05/xunlight-logra-crear-paneles-solares-flexibles-de-gran-tamano/>>.
[Consulta: en marzo 2011].

1.1.3. Estándares eléctricos en un módulo fotovoltaico

Usualmente se utilizan aquellos módulos fotovoltaicos que proveen una potencia de entre 50 Wp a 150 Wp con 36 celdas solares en serie, sus características eléctricas son las siguientes:

- Potencia de pico (Wp): potencia suministrada por el módulo solar fotovoltaico en condiciones estándar (radiación solar igual a 1 000 W/m², temperatura de 25 °C).
- Corriente nominal (A): es la corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): es la tensión de trabajo del módulo.

En resumen existen, celdas solares las cuales forman los módulos fotovoltaicos o paneles normalmente de 36 celdas conectadas en serie, un conjunto de módulos fotovoltaicos contactados en serie forman una rama y finalmente la conexión eléctrica de muchas ramas en paralelo constituyen un campo.

1.1.4. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los elementos básicos que componen este tipo de sistema son:

- Módulos fotovoltaicos
- Inversor para la conexión a red
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica
- Contador de energía bidireccional

El inversor es uno de los componentes más importantes en sistemas conectados a la red debido a que maximizan la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga, este dispositivo es el encargado de transformar la energía producida por los módulos de 12 V, 24 V, 48 V o más voltaje, en energía alterna para alimentar sistemas o introducirla a la red con la que trabaja en régimen de intercambio.

Los inversores para la conexión eléctrica están equipados con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia paso por paso del generador fotovoltaico siguiendo el punto de máxima potencia y tiene justamente la función de adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga. El dispositivo de intercambio con la red sirve para que la energía eléctrica introducida a la red tenga las mismas características requeridas por esta.

El contador de energía mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su período de funcionamiento siendo este mismo el encargado de determinar el consumo de la red eléctrica en días de poca producción de electricidad y por las noches.

1.1.5. Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red

Los elementos básicos que componen este tipo de sistema son:

- Módulos fotovoltaicos
- Regulador automático de carga
- Inversor
- Sistema de acumulación con baterías

En este tipo de sistemas, la energía es almacenada en baterías o acumuladores, la carga (equipo eléctrico domiciliario) es alimentada por estas a través del regulador automático de carga, que sirve fundamentalmente para prolongar la vida útil de los acumuladores previniendo un exceso de carga por parte de los módulos fotovoltaicos y también de descargas excesivas, resultado de la demanda.

Con el fin de proveer de energía suficiente cuando esta se requiera, se construyen sistemas de acumulación, el cual no es más que un conjunto de baterías recargables, interconectadas para proveer de más amperaje o voltaje según se desee, definiéndolo en el sistema previamente dimensionado, dando una justa autonomía de la alimentación de la carga eléctrica (equipo eléctrico domiciliario), estos acumuladores son por lo general, de tipo estacionario y en muy escasas ocasiones de tipo automoción.

Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir algunos requisitos los cuales son:

- Bajo valor de autodescarga
- Larga vida útil
- Manutención casi nula
- Elevado número de ciclos de carga y descarga

El inversor para los casos de sistemas fotovoltaicos no conectados a la red, pueden ser opcionales debido a que se puede o no prescindir de aparatos que trabajen con corriente alterna.

1.1.6. Dimensionando un sistema fotovoltaico

La forma de dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados a la red, de los no conectados son muy diferentes, dado que en los primeros lo que se busca es mantener una máxima producción de energía durante un año, debido a que está conectado a la red eléctrica, los fallos no son cruciales como en un sistema autónomo, por el contrario en los sistemas no conectados a la red el término fiabilidad se toma muy en cuenta dado que el sistema debe permanecer sin mantenimiento por largos períodos de tiempo; con el siguiente método se puede dimensionar un sistema autónomo sin necesidad de complicados cálculos o de algún programa informático específico.

- Paso 1: estimación del consumo

Para esto se debe tener el consumo en Watt nominal de los aparatos multiplicado por la cantidad de horas que estarán en funcionamiento durante un día, luego se suman las horas de los aparatos; para entonces aplicar un factor de corrección para el caso de aparatos que funcionen con 12 voltios el factor será de 30 % o si son de 120 voltios entonces debe ser del 40 % con lo que se prevén las pérdidas no dimensionadas.

- Paso 2: cálculos del ángulo óptimo de inclinación de los paneles

Esto se hace sabiendo los grados de desviación del país a los que se encuentra con respecto al Ecuador, para optimizar la recepción de los rayos solares, en este caso Guatemala, se encuentra a 14° con respecto al Ecuador con esto se deben colocar los paneles solares con una inclinación de 14° viendo hacia el Sur tomando de referencia el Ecuador.

- Paso 3: dimensionado del generador fotovoltaico

En este país el promedio de horas de sol es de aproximadamente 5 que se encuentran entre las 10:00 horas a las 15:00 horas. Un panel de 50 Watt aportará una potencia nominal promedio por día de 250 Watt que no es más que la multiplicación de las horas de exposición por su potencia media.

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos necesarios se divide el total de Watt necesarios por los aparatos en un día, entre la cantidad de Watt que genera un panel solar diariamente.

- Paso 4: dimensionado del sistema de acumulación

Los datos que deben tener de un acumulador de ciclo profundo son los amperios hora de capacidad, el voltaje de trabajo y el nivel de descarga en porcentaje que puede soportar, ya teniendo estos datos se dividen el voltaje de las baterías con la cantidad de Watt de los aparatos a utilizar para así obtener la corriente diaria necesaria; con esto se puede dimensionar la cantidad de días de autonomía, es decir, el probable número de días en los que no se puedan cargar las baterías, por días nublados u otros fenómenos atmosféricos.

En telecomunicaciones se establece hasta un máximo de 10 días; para saber el número de baterías se utiliza la ecuación, sabiendo la autonomía que es, la corriente por el número de días, dividido la capacidad de la batería en ampere hora por el nivel de descarga soportado por la misma. Resultando esto en el número de baterías conectadas en paralelo que se deben colocar, entre mayor sea la capacidad de la batería menor será el número que se debe utilizar de ellas.

- Paso 5: dimensionado del regulador

Para saber la capacidad necesaria en un regulador de carga, se debe utilizar otra ecuación la cual depende de los Watt producidos por el panel solar, dividido el voltaje medio de la batería a utilizar que usualmente es 12 voltios, el resultado que es un valor en ampere, es el mínimo que debe soportar el control de carga según los aparatos a conectar en el sistema.

- Paso 6: dimensionado del inversor

Para saber cuál es el mejor inversor que se debe utilizar, se necesita saber la potencia nominal de la carga en corriente alterna, ya con el factor de corrección para mantener la estabilidad de los dispositivos.

- Paso 7: dimensionado del cableado

Para determinar el mejor cableado se debe utilizar uno que soporte más corriente que la corriente nominal para con la que trabajará el sistema.

1.2. Sistema eólico

El viento ha sido utilizado desde tiempos muy antiguos, logrando transformar la energía cinética de las masas de aire en energía mecánica, empleada para ejercer movimiento en los molinos o el bombeo de agua, en la actualidad se opta por pequeños sistemas eólicos como aerogeneradores eléctricos para dar energía limpia y renovable a pequeñas comunidades, energía utilizada principalmente en iluminación nocturna y comunicación telefónica de emergencias.

El por qué se produce viento se puede entender como un subproducto del sol, esto se debe a que el sol no calienta de forma uniforme la superficie terrestre llegando a provocar zonas de alta y baja presión dando lugar a diferencias en la velocidad del viento y movimiento de masas de aire en todo el planeta.

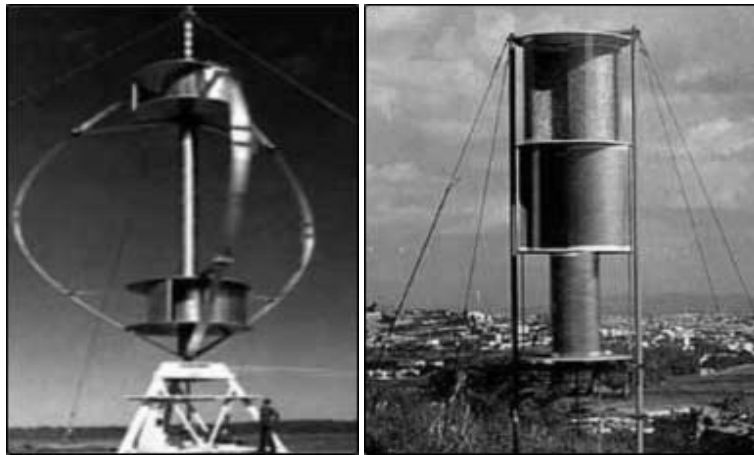
1.2.1. Tipos de turbinas eólicas

Las turbinas eólicas se pueden clasificar según su eje respecto a la orientación del suelo o por su capacidad para generar cierta potencia nominal. Existen dos tipos principales de generadores eólicos según la posición del eje, estos son los de eje horizontal y los de eje vertical, descritos a continuación.

1.2.1.1. Turbinas eólicas de eje vertical

Son llamados así debido a que su eje está perpendicular a la superficie, a continuación se describen algunas ventajas y desventajas de este tipo de aerogenerador, como ventajas se tienen que se puede colocar cerca del suelo, no necesitan de una torre estructuralmente fuerte, aprovecha muy bien los vientos con poca velocidad y son menos propensas a romperse por vientos fuertes, como desventaja se tiene que suelen ser menos eficientes que los generadores horizontales.

Figura 4. **Generadores eólicos verticales, Aerogenerador Savonius (derecha), Aerogenerador Darrieus (izquierda)**



Fuente: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/eolica.php>>.

[Consulta: en marzo 2011].

1.2.1.2. Turbinas eólicas de eje horizontal

Estos son llamados así debido a que su eje está paralelo al suelo, algunas ventajas que se pueden mencionar son: entre más alta se encuentre la turbina se pueden aprovechar los vientos más fuertes, en promedio a cada 10 metros de altura se tiene un incremento energético del 20 %. En cuestión de desventajas se tienen que son difíciles de instalar debido a su magnitud o altura, pueden afectar los radares de los aeropuertos y necesitan un control cuidadoso de lo contrario pueden presentar fatiga en su estructura.

También se pueden clasificar por la potencia generada, como sistemas macroeólicos los cuales pueden producir energía en el rango de los 100 kwatt a decenas de megawatt y sistemas microeólicos de gran versatilidad y con producción de energía menor a los 100 kwatt, en este último tipo se centraran los esfuerzos debido a que estos son los utilizados para la generación de energía en sistemas domiciliares o comunitarios.

Figura 5. **Aerogeneradores horizontales, tripala (izquierda),
multipala para bombeo (derecha)**



Fuente: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/eolica.php>>.

[Consulta: en marzo 2011]

1.2.2. Elementos que conforman un sistema eólico domiciliario

En forma muy particular los elementos que se integran a un sistema eólico domiciliario se diferencian de uno como el que se ve en granjas eólicas en gran parte por la envergadura y cantidad de energía que se puede producir.

- Aspas

Desde que se crearon los molinos de viento han existido diferentes tipos de aspas dependiendo las necesidades, en algunos casos las aspas para bombeo de agua deben ser múltiples para generar más poder de rotación con menos viento, otro tipo muy común son las aspas de los aerogeneradores en los campos eólicos, las cuales son de gran envergadura utilizando solamente 3 aspas y llegando a tener una longitud de hasta 100 metros elaboradas de esta manera para generar con pocas vueltas grandes cantidades de energía aprovechando al máximo los vientos fuertes.

También se cuentan con diseños más pequeños para comunidades u hogares en el área rural, el tamaño de las aspas de estos aerogeneradores oscila entre el metro y medio hasta los tres metros de longitud, teniendo una capacidad promedio de 100 kWatt y por último se tienen las aspas de eje vertical que pueden ser muy diversas existen las llamadas de doble espiral muy eficientes en comparación con otras con el mismo tipo de eje.

- Generador eléctrico

La función del generador es transformar la energía mecánica procedente del rotor en energía eléctrica.

Existen diferentes tipos de generadores:

- * Generador de corriente continua (dínamos)
- * Generador de corriente alterna
- * Síncronos o alternadores
- * De polos formados por electroimanes alimentados por corriente continua.
- * De polos formados por imanes fijos o permanentes
- * Asíncronos o de inducción
- * De jaula de ardilla
- * De rotor devanado

Las dínamos, generadores de corriente continua, son máquinas eléctricas sencillas que tienen la ventaja de no necesitar sistemas especiales para cargar baterías y generan corriente aún para bajas velocidades de giro. Sin embargo, su uso cada vez es menor, se han ido reemplazando por los generadores de corriente alterna, ya que presentan el inconveniente de que necesitan un mantenimiento periódico y son más pesadas y caras que los generadores de corriente alterna de igual potencia, aunque hay que tener en cuenta que son idóneos para los aerogeneradores de muy pequeño tamaño (decenas de vatios).

Los generadores síncronos o alternadores que existen son de velocidad variable, es decir, suministran corrientes de frecuencia variables. Por lo tanto, para conectarlos directamente a la red de corriente alterna es preciso utilizar un convertidor de frecuencia como elemento intermedio entre el generador y la red.

Esta desventaja se compensa con una mayor eficiencia de la turbina y una mejor compatibilidad con la red. Principalmente, este tipo de generadores se usan en máquinas que alimentan instalaciones autónomas, como en aplicaciones para iluminación, calefacción, etcétera y la mayoría utilizan alternadores de imán permanente ya que se trata de la configuración más sencilla y robusta.

El generador asíncrono o de inducción se caracteriza porque usa corriente de la red eléctrica para crear su campo magnético. En principio, este tipo de generador no es capaz de operar sin la red. Sin embargo, sistemas electrónicos pueden engañar a los generadores de inducción por medio de condensadores para cargar el campo, permitiendo así a estos generadores ser utilizados en sistemas de potencias aislados. Por ejemplo, las turbinas eólicas Vergnet trabajan con generadores de inducción en sistemas híbridos eólico-diésel y para cargar baterías.

- Controlador

El control automático de carga es en principio el mismo que en los sistemas solares fotovoltaicos los cuales proveen protección a las baterías en caso de utilizarse y algunos también mantienen con control sobre la velocidad de aerogenerador accionando frenos en caso de ser vulnerable a los vientos demasiado fuertes.

El controlador automático de carga deberá tener un modo de disipar la energía en caso que las baterías ya se hayan cargado, en algunos casos se colocan resistencias para transformar la energía en calor y así no dañar el aerogenerador o accionar los frenos para que vaya disminuyendo la producción de energía.

- Torre

Es el elemento que determina la altura a la que estará funcionando la turbina eólica, con lo cual describe su importancia debido a que en turbinas de eje horizontal un aumento en la altura permite vientos más estables y de mayor velocidad y constancia. Están construidas con materiales de alta resistencia a las inclemencias del tiempo, en algunos casos son muy utilizadas las torres reticuladas que forman una estructura liviana pero con gran capacidad de resistencia a la tensión.

- Baterías

Son utilizadas en caso de no tener una red de distribución eléctrica en las cercanías, de ser necesarias serían de preferencia de acumuladores carga profunda como las utilizadas en los sistemas solares fotovoltaicos.

1.2.3. Potencial eólico en Guatemala (MEM)

Guatemala, se encuentra afectado por el patrón de los vientos alisios. Estos vientos se desplazan con una componente del Norte (puede ser NNE, NE, NNO) durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero; debido a un sistema de alta presión que se ubica por esa época en la parte central de los Estados Unidos Norteamericanos y la prolongación de este sistema de presión a través del Golfo de México y la Península de Yucatán (en la república Mexicana), el viento penetra al territorio del Golfo de México por el departamento de Izabal y se encañona entre las Sierras del Merendón y Las Minas.

Estos hacen que los vientos se aceleren y registren velocidades un poco más altas en el Oriente del país. Estos vientos pasan a la zona central y se dirigen a la parte Noroeste del país disminuyendo considerablemente su velocidad, el área cubierta por estos vientos estaría comprendida entre la Sierra de los Cuchumatanes y el Pie del Monte de la Costa Sur.

Durante los meses de marzo a junio, el viento mantiene un componente Sur, por la presencia de sistemas de baja presión ubicados a lo largo del Océano Pacífico que son responsables de gobernar la circulación o flujo del viento. Cuando estos sistemas de presión son los suficientemente grandes, hacen que el viento logre rebasar los macizos montañosos del Pie de Monte y la Sierra de los Cuchumatanes, llegando hasta los departamentos de Alta Verapaz, Huehuetenango y El Quiché.

En los restantes meses de julio a septiembre, el viento también mantiene una componente Norte, debido a la presencia del anticiclón semipermanente del Atlántico, que mantiene un flujo a través del departamento de Izabal; excepto en situaciones donde aparecen los huracanes o tormentas tropicales que hacen que el flujo cambie completamente, pero ello, de forma transitoria.

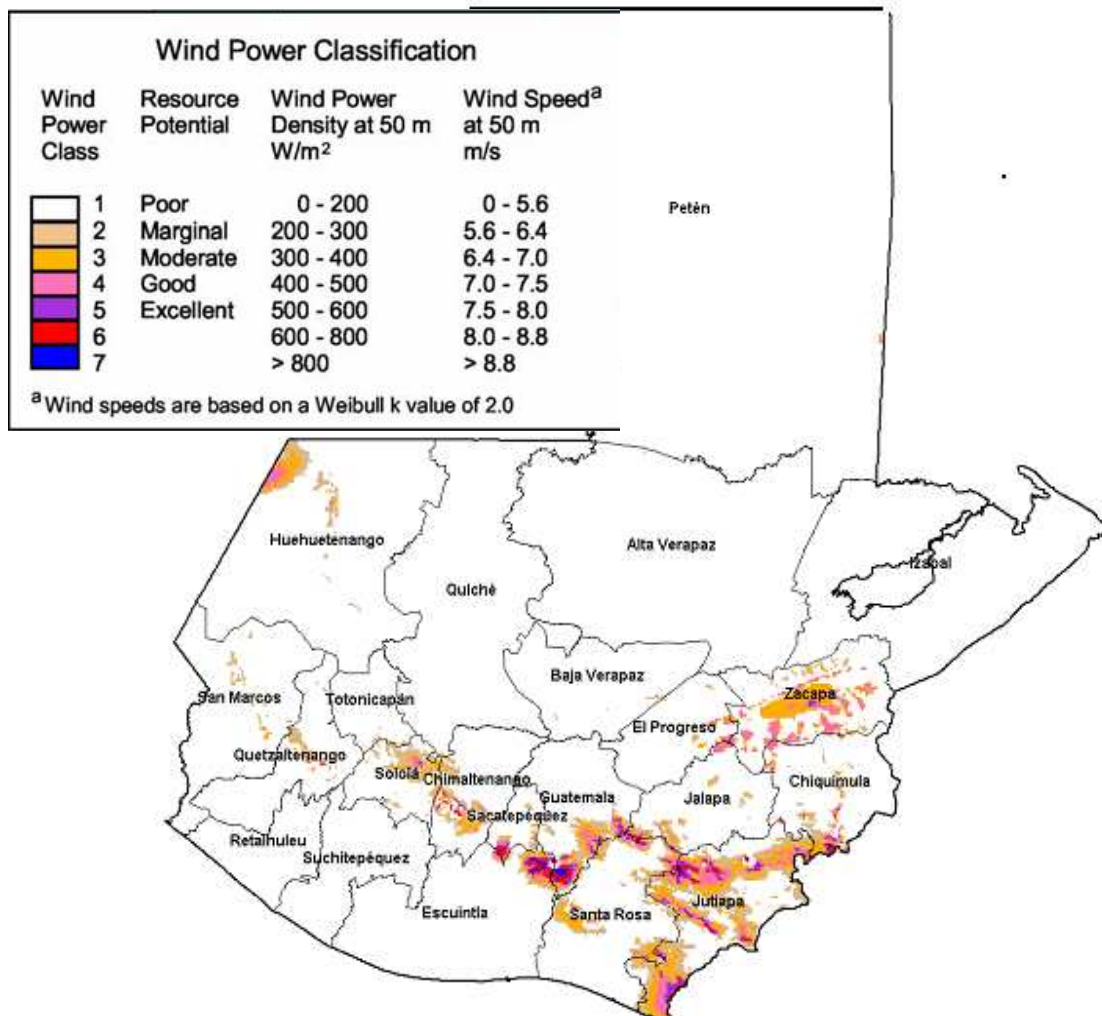
Existen lugares que han sido evaluados, lográndose llevar los estudios a nivel de factibilidad. Dentro de estos estudios se encuentra el proyecto eólico Buenos Aires, con una potencia de 15 MW y una producción en promedio anual de energía de 40 GWh. Este proyecto se encuentra en el lado Sur Oriente del departamento de Guatemala, en la falda del volcán de Pacaya y a 35 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala.

En el documento denominado Plan de Negocios, del Proyecto Eólico El Rodeo, se contempla la instalación de una potencia de 3 900 kW y una producción anual de 11 100 672 kWh. Este proyecto se encuentra ubicado en la aldea El Rodeo del municipio de San Marcos, a 285 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Adicionalmente, existen entidades privadas que se encuentran realizando mediciones de viento (velocidad y dirección), con el objeto de definir la capacidad del proyecto de generación eólica. Estas estaciones de medición se encuentran en Jutiapa, en Villa Canales y en San Vicente Pacaya.

Finalmente, el desarrollo de proyectos de energía eólica en Guatemala puede ser un complemento a la producción proveniente de centrales hidroeléctricas, ya que cuando estas centrales presentan sus niveles más bajos de generación en época de verano, la generación eólica presenta sus niveles más altos, por lo que, su época de producción tiende a ser complementaria con las centrales hidroeléctricas.

Es común que el aumento de la velocidad en los vientos haga disminuir las precipitaciones.

Figura 6. **Potencial eólico en Guatemala según el Ministerio de Energía y Minas**



Fuente: MEM. Mapa del potencial eólico en Guatemala con el programa desarrollado para el proyecto *Solar and Wind Resource Assessment (SWERA)* Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. p. 7.

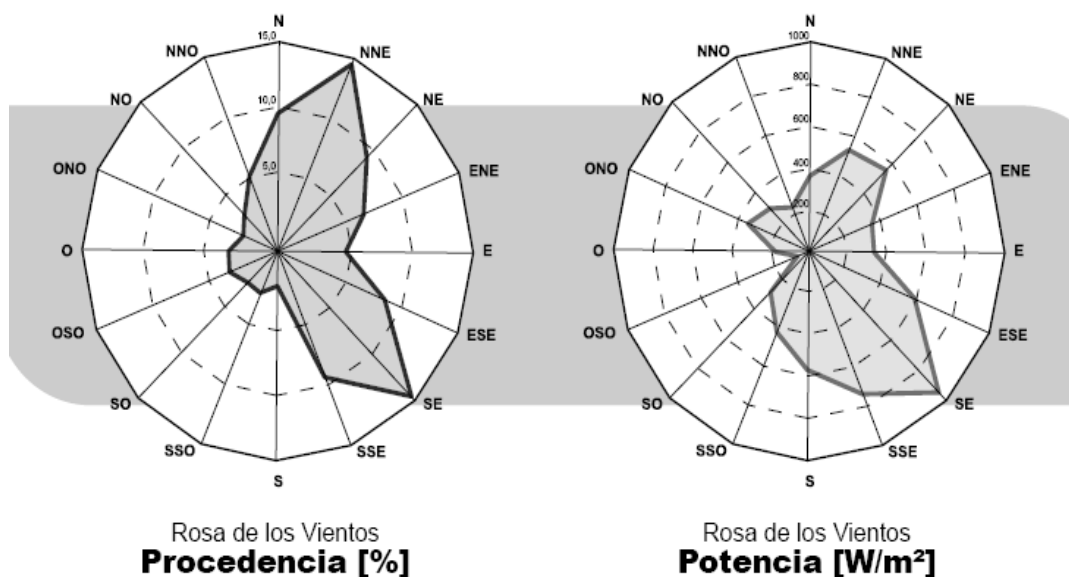
1.2.4. Dimensionamiento de un sistema eólico

Primero se deben reconocer ciertos parámetros para determinar si es apto el lugar en donde se desee colocar un aerogenerador.

- Conseguir datos fiables del viento:

Usualmente se puede recurrir a la rosa de los vientos, que no es más que una grafica que indica, la velocidad del viento en metros sobre segundo y la dirección en grados.

Figura 7. **Rosa de los vientos procedencia (izquierda),
Rosa de los vientos potencia (derecho)**



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Energía eólica*, guía técnica. p. 4.

La primera gráfica en la figura 7, determina el viento de procedencia, el cual indica dos direcciones NNE y el SE, se completa el trabajo realizando una gráfica de la rosa de vientos en función de la potencia, con lo cual se determina que la dirección SE tiene mejores condiciones y en esa dirección se debe colocar el aerogenerador.

La potencia de los vientos depende de tres factores:

- El área por donde pasa el viento (rotor)
- La densidad de aire
- La velocidad del viento

Para calcular la potencia del viento se debe considerar primero el flujo masivo de viento dado por:

P: densidad del viento

A: área por donde pasa el viento

V: velocidad del viento

La ecuación de flujo masivo es:

$$M = \rho \cdot A \cdot V$$

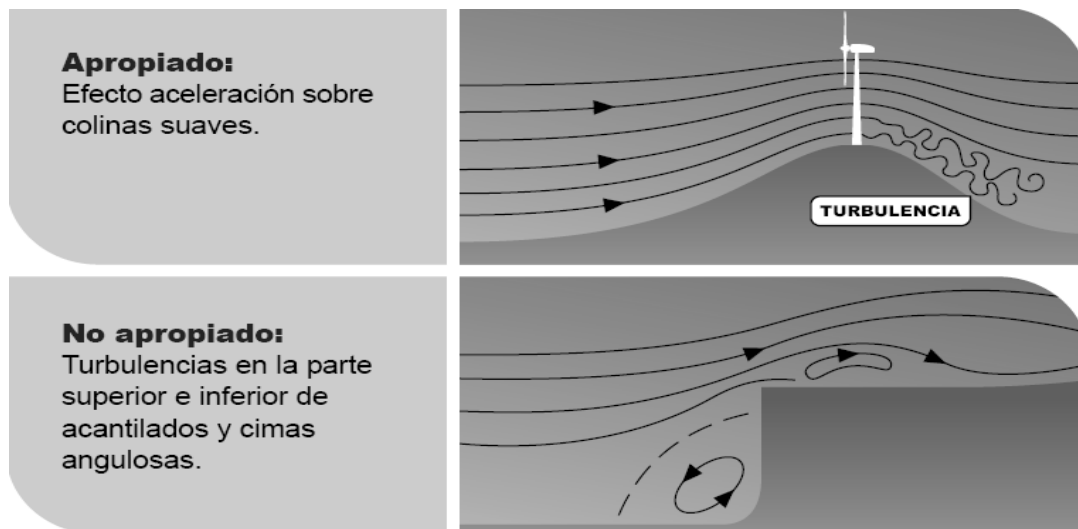
Y la potencia debido a la energía cinética es:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

- Orografía

Los accidentes suaves del terreno como colinas u otros parecidos ayudan a maximizar la velocidad del viento en la cima, en cambio un accidente abrupto genera turbulencias que disipan la energía de los vientos como se muestra a continuación.

Figura 8. **Rugosidad del terreno**



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Energía eólica*, guía técnica. p. 5.

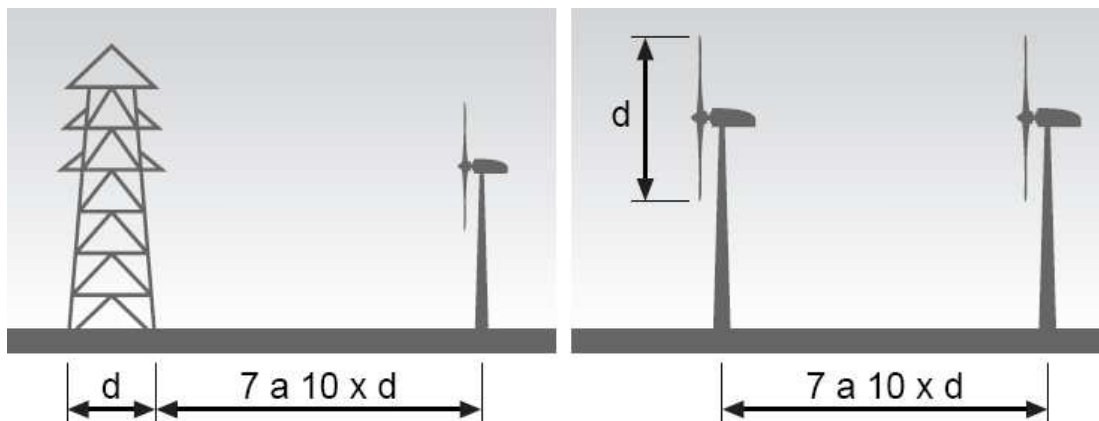
- **Obstáculos**

La mayoría de los obstáculos pueden ser árboles, edificios u otro aerogenerador, los obstáculos se dividen en dos clases, porosos los cuales dejan pasar el viento provocando turbulencia y los no porosos que impiden el paso del viento.

- * **Obstáculos porosos**

Como lo son verjas, arbustos, vallas, torres de celosía e incluso otros aerogeneradores si es imposible evitarlo, se aconseja instalar el aerogenerador a una distancia de entre 7 y 10 veces el diámetro del obstáculo.

Figura 9. **Obstáculos porosos distancia recomendada**

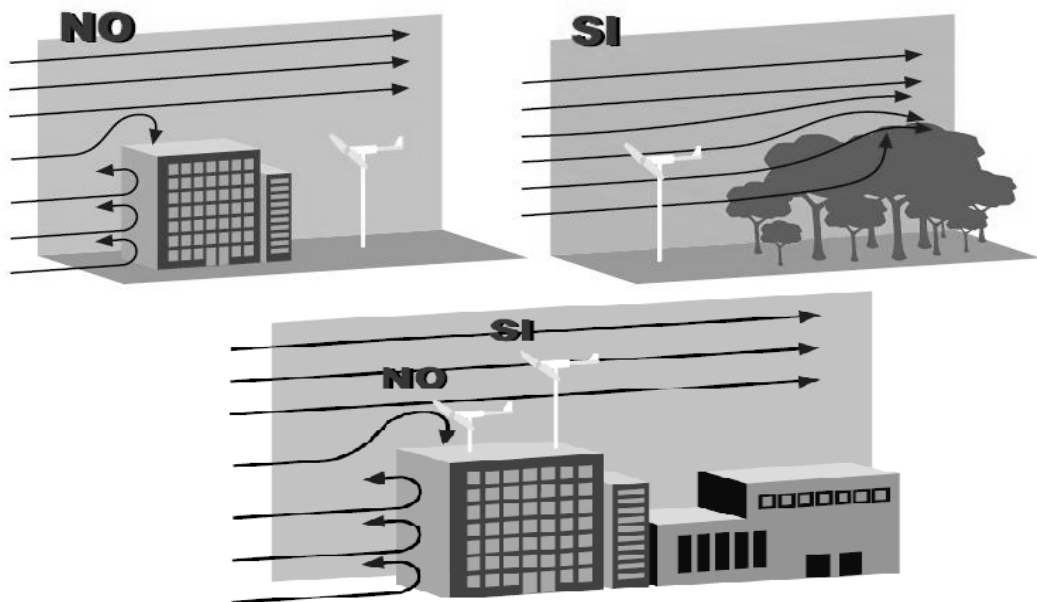


Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Energía eólica*, guía técnica. p. 6.

* Obstáculos no porosos

Como casas, edificios, arboledas muy densas o vallas que generen mucha turbulencia, se aconseja instalar el aerogenerador a barlovento (por delante) del obstáculo como se muestra en la figura siguiente.

Figura 10. **Obstáculos no porosos, formas de instalar un aerogenerador**

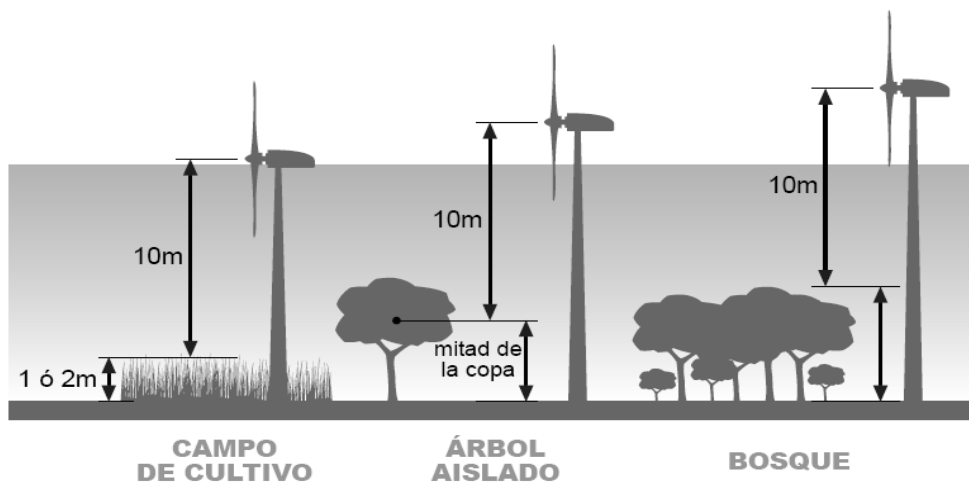


Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Energía eólica*, guía técnica. p. 6.

- Altura del montaje

Es aconsejable tener una altura de 10 metros al suelo medidos desde el eje del aerogenerador con esto se asegura, una velocidad de viento constante con pocas turbulencias.

Figura 11. **Altura de montaje respecto al eje del aerogenerador**

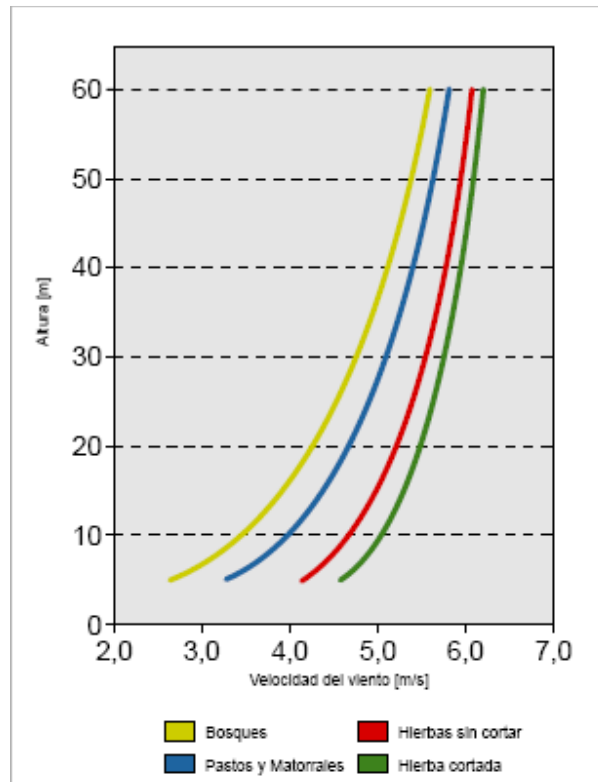


Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. *Energía eólica*, guía técnica. p.8.

- Rugosidad y perfil de viento

La rugosidad del terreno determina como aumenta la velocidad del viento con la altura respecto del suelo, por lo general, la velocidad del viento aumenta con la altura, el perfil de la velocidad de viento se pronuncia con el aumento de la rugosidad del terreno, como consecuencia la velocidad disminuye como se muestra en la siguiente figura.

Figura 12. **Relación logarítmica entre la rugosidad y la velocidad del terreno para diferentes perfiles de viento en cada suelo**



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. Energía eólica, guía técnica. p. 7.

Se determina el consumo diario, es decir, la carga del sistema y así saber la capacidad que debe tener el generador eólico, determinando si es rentable la instalación, según la velocidad del viento en el lugar designado, se ha comprobado que generadores eólicos de 1,5 kwatt pueden suministrar electricidad de hasta 300 kilowatt/h al mes, con viento promedio de 6,2 m/s lo que indica su gran capacidad.

1.3. Sistema híbrido eólico-solar

En cuanto a los sistemas híbridos, son aquellos que tienen dos o más sistemas ya sea de energía renovable o no para generar suficiente electricidad y cubrir todas las necesidades en hogares o comunidades completas, estos sistemas se logran implementar debido a los recursos disponibles en el lugar o instalación donde se desee electricidad.

Los tipos más comunes de sistemas híbridos incluyen, un generador eléctrico a base de combustible y un dispositivo de energía renovable, aunque también se consideran sistemas híbridos solo con energía renovable, en este caso particular se consideran los sistema eólico-solares debido a que pueden ser utilizados en muchas comunidades que no tengan disponibles ríos con caudales constantes u otro tipo de generador utilizable.

1.4. Importancia del control electrónico automático de carga

Como es de esperar, en sistemas de energía renovable es necesario y de vital importancia debido a su complejidad en cuestión de control, se debe tomar en cuenta para el desarrollo de proyectos híbridos eólico-solares, uno de los puntos claves en este dispositivo esta en los rangos de carga y descarga en los elementos de almacenamiento y que se deben monitorear constantemente para maximizar la energía convertida, así como las velocidades producidas por el viento en el aerogenerador que puede en algún momento superar los niveles permitidos y tener la capacidad de dañar permanentemente el aparato generador.

Es necesario tomar en cuenta que para el momento en el que las baterías estén ya cargadas el aerogenerador se debe desconectar a estas e idealmente y de forma autónoma conectar a cualquier dispositivo que haga las veces de resistencia disipadora necesaria para tener un control sobre la energía producida.

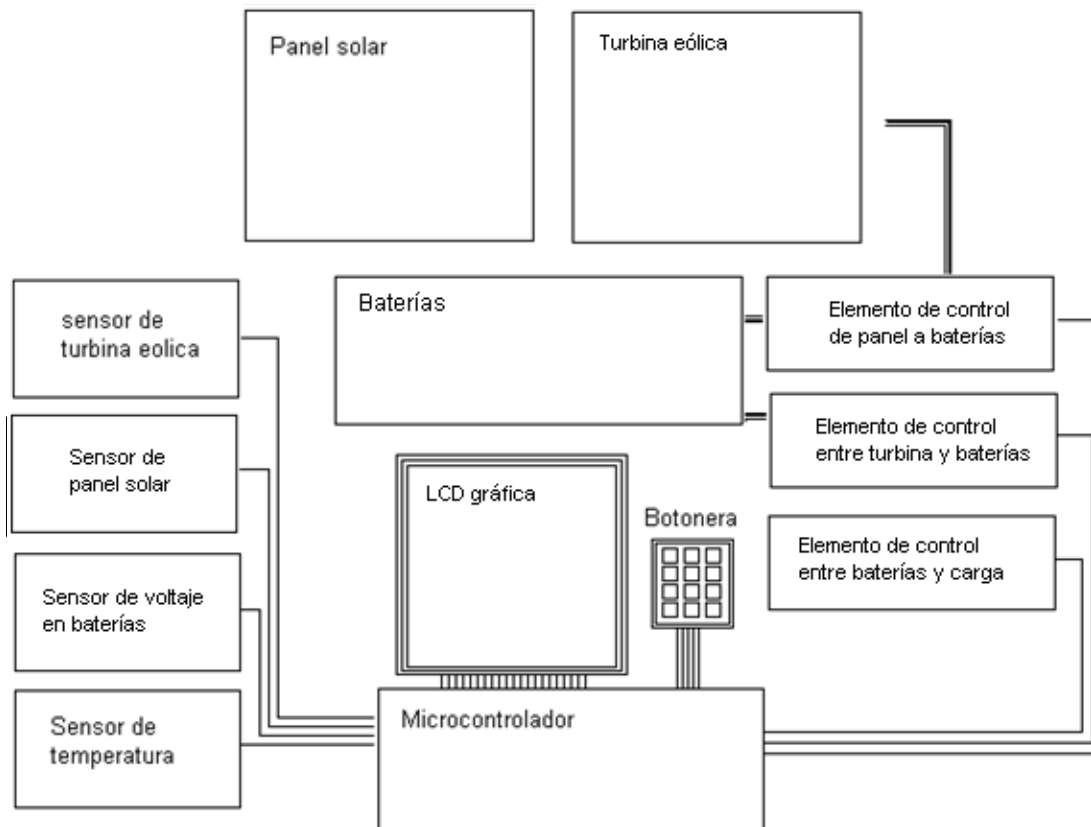
2. CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA Y PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

Se puede considerar como el centro de control en un sistema de energía renovable muy utilizado especialmente en sistemas aislados, internamente debe tener algún dispositivo que interprete las señales de los sensores de voltaje tanto para uno o más paneles solares, sensores de temperatura para evitar daños en baterías y algún tipo de protección en caso de estar utilizando la turbina eólica, monitoreándolos en todo momento.

Estos parámetros de protección tienen como fin específico evitar daños en forma parcial o permanente a los dispositivos de acumulación, es decir, las baterías e incluso debe tener la capacidad para proteger de corrientes inversas que inutilicen a los elementos de generación utilizando diodos de potencia y fusibles para este fin.

A continuación se presenta un esquema general de un control automático de carga eólico solar, permitiendo visualizar los elementos que lo constituyen, en este capítulo se pretende dar a entender el funcionamiento básico de los sensores que interactúan con los elementos de generación de energía y carga a la cual alimentarán las baterías.

Figura 13. **Esquema general de un control electrónico automático de carga para dos sistemas de energía renovable**



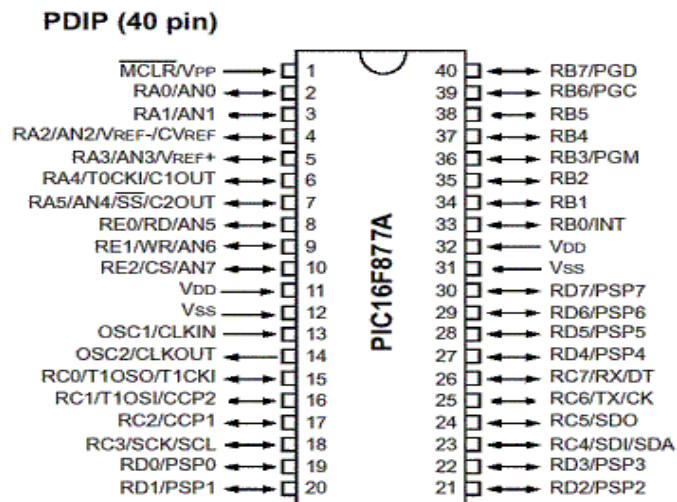
Fuente: elaboración propia.

2.1. Aspectos básicos a utilizar en el microcontrolador

Internamente el control automático de carga cuenta generalmente con un microcontrolador, en este caso el microcontrolador a utilizar es el Pic16f877a, dispositivo en su versión de 40 pines el cual contiene numerosas herramientas para diversas aplicaciones, entre las cuales se pueden mencionar los convertidores analógico digital, comunicación serial síncrona y asíncrona, entradas y salidas digitales entre otras.

El convertidor analógico digital se utiliza para monitorear a los diferentes sensores y las salidas digitales para el switcheo entre los dispositivos de control y protección. Este mismo elemento interactúa con una pantalla gráfica y una botonera para la interfaz humana. En el apéndice se muestran los pasos elementales para saber cómo programar un microcontrolador.

Figura 14. **Pic16f877a con referencia de cada pin**



Fuente: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>.

[Consulta: en abril 2011].

2.1.1. Dispositivos de entrada/salida a utilizar en el microcontrolador 16f877a

El microcontrolador cuenta con varios puertos de comunicación con el mundo externo, tres de ellos de ocho pines configurados con las letras B, C y D, respectivamente, un puerto de 3 pines identificado como E y con 5 pines el puerto A, como se puede apreciar efectivamente en la figura anterior, cada uno de los puertos pueden ser configurados de modo específico como entrada o salida de datos digitales o analógicos según sean las necesidades de la aplicación, a velocidades en reloj de hasta 20 Mhz utilizando un cristal externo el cual se conecta al pin 13 del microcontrolador.

El puerto A puede ser dedicado exclusivamente a la conversión analógica digital, con el cual se pretenden detectar en paneles fotovoltaicos y generadores eólicos los niveles en voltaje y temperatura de baterías para luego desplegar esta información de forma precisa, en una pantalla de LCD gráfica los datos obtenidos, indicando las fluctuaciones en los niveles de carga y descarga de las mismas. Estos datos permiten al microcontrolador tomar decisiones de cuál de los dispositivos debe estar interactuando entre sí.

Interesante es saber que este elemento funciona solamente con cinco voltios como máximo, altamente efectivo de poco consumo y espacio, la alimentación es tomada de las baterías para luego ser regulado con un diodo zener. Esto limita el voltaje también de los sensores optimizando consumo de energía en los mismos.

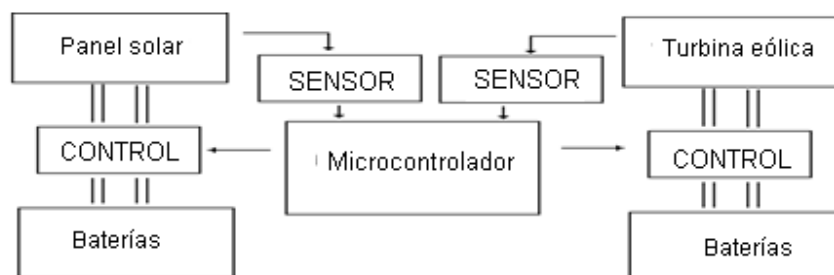
2.2. Sensores del control electrónico automático de carga

Son elementos diseñados específicamente para tomar muestras de control, es decir, detectar cambios en algún elemento de forma continua o discreta, para luego tomar decisiones según el dato obtenido de los mismos, existe gran variedad de sensores como aplicaciones que lo necesiten, como ejemplo se pueden mencionar los sensores para detectar diferencias de presión, temperatura, voltaje, corriente, nivel de agua, densidad y muchos más, los sensores utilizados en el control automático de carga se describen a continuación.

2.2.1. Sensor de voltaje para el panel solar y la turbina eólica

Estos dispositivos funcionan como un voltímetro, formado por un divisor de voltaje que tiene a su salida 5 voltios, el sensor tiene un límite máximo en su entrada de hasta 100 voltios, esto se logra únicamente con resistencias de alta precisión llamados potenciómetros multivoltas. Con esto se evita la variación por el rango de toleración en resistencias de valor fijo normalmente utilizadas.

Figura 15. Esquema de sensores para el panel solar y la turbina eólica



Fuente: elaboración propia.

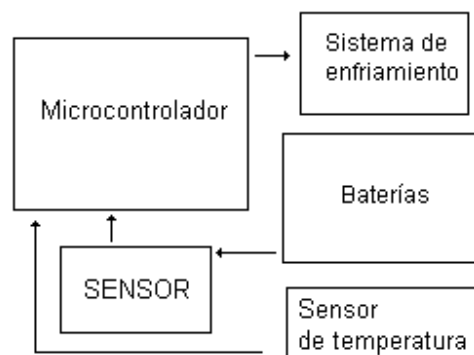
2.2.2. Sensor de voltaje en baterías

En cuanto a este sensor el principio de operación es similar al anterior, la diferencia se encuentra en la funcionalidad final, en donde a este se le puede considerar como el sensor maestro de los demás, debido que de él depende si se activan o desactivan los dispositivos de control.

2.2.3. Sensor de temperatura en baterías

El sensor de temperatura a utilizar es el lm35 el cual detecta un alto rango de valores variando desde 2 °C hasta 50 °C perfecto para muchas aplicaciones prácticas, el objetivo de usar un sensor como este es mantener estable la temperatura de las baterías a un valor promedio de entre 23 °C a 27 °C, mayor a esto se activa un ventilador hasta lograr la temperatura deseada.

Figura 16. **Sensor de temperatura y voltaje en baterías**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Programación para niveles de carga y descarga

Los elementos realmente condicionantes para determinar los niveles son las baterías, siendo de vital importancia la descarga profunda que estas puedan tener, sabiendo que si el sistema no está generando energía y los niveles de carga se reducen a un 5 % del valor de descarga nominal se debe emitir una señal sonora obligando a una desconexión de los dispositivos conectados a las baterías, hasta que se restablezca la carga media de los acumuladores, el nivel recomendado para acumuladores de 12 voltios es dado por el fabricante siendo ideal tener baterías del mismo fabricante en caso de necesitar más de una, idealmente la descarga no debe reducirse a más del 20 % del valor nominal.

El controlador electrónico automático de carga tiene preestablecido una desconexión de los dispositivos generadores a 14,5 voltios para maximizar la carga y no sobrecargar los acumuladores, en el caso de re conexión se define un 95 % es decir 11,5 voltios para baterías de 12 voltios, teniendo una alarma que sonará en caso de descarga a 11 voltios aproximadamente al 91%. El mismo proceso se sigue para baterías de 24 voltios y 48 voltios.

La sintaxis utilizada en el programa *mikrobasic for pic* para las librerías del convertidor analógico digital se muestra a continuación.

- `Adc_init`

Inicializa las herramientas de la librería ADC (convertidor analógico digital) se coloca siempre al inicio del todo programa, la única condición es que para utilizar los puertos del microcontrolador se tienen que configurar como entradas.

Sintaxis: `Adc_Init ()` inicializa el módulo analógico digital

- `Adc_Get_Sample`

Toma una muestra del canal analógico indicado, el puerto está predeterminado al inicio cuando se crea el proyecto por tipo de microcontrolador utilizado en el programa.

Sintaxis: `TRISA=%11111111` puerto a configurado como entrada.

`Adc_Init ()`

`a = Adc_Get_Sample(0)` a retiene el valor analógico del puerto en el pin cero.

- `Adc_Read`

Inicializa la lectura del canal asignado de forma constante utilizando el reloj interno del microcontrolador.

Sintaxis: `TRISA=%11111111` puerto a configurado como entrada.

`Adc_Init ()`

`a = Adc_read(0)` "a" retiene el valor analogico del canal cero en el puerto A.

2.4. Interface con la LCD gráfica

Una pantalla glcd (LCD gráfica) es un dispositivo de visualización muestra 128x64 pixeles monocromática investigada para este proyecto, pero existen de muy variadas formas incluso de pantalla táctil o a color, tiene como función presentar la información de todos los sensores al usuario final, con lo cual se pretende dar a entender forma intuitiva el funcionamiento y control del sistema.

El programa *mikrobasic for pic* permite realizar de forma clara y ordenada el despliegue de información en la pantalla glcd el modelo a utilizar es el atm12864d con módulo controlador ks108.

Figura 17. Pantalla LCD gráfica



Fuente: elaboración propia.

La tabla que a continuación se muestra indica el orden lógico en los pines de una pantalla LCD gráfica atm128x64d, para interactuar con el microcontrolador, los pines DB0 al DB7 es el bus de datos, VDD voltaje de alimentación, Vss es tierra de circuito, VEE voltaje de alimentación para contraste, A, K y VO sirven para manipular el contraste, R/W pin de lectura escritura, RES es reinicio en tanto que CS1,CS2, E son utilizados para el control de parámetros internos.

Tabla I. **Orden de pines en la LCD gráfica**

PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SIGNAL	Vss	VDD	VO	D/I	R/W	E	DB0	DB1	DB2	DB3
PIN	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SIGNAL	DB4	DB5	DB6	DB7	CS1	CS2	RES	VEE	A	K

Fuente: <<http://www.hebeiltd.com.cn/lcm.datasheet/ATM12864D.pdf>>

[Consulta: en abril 2011].

3. MÉTODOS ESPECÍFICOS DE CONEXIÓN CON EL CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMÁTICO DE CARGA

En la actualidad existe una gran variedad de dispositivos de almacenamiento de energía, así como, generación de la misma, con base a esto se debe contemplar la necesidad de interconectar los diferentes dispositivos para optimizar el recurso disponible. Con esto en mente un control automático recibe información de los sensores mencionados en el capítulo anterior y dependiendo de esto se activan o desactivan elementos de potencia que interactúan con los paneles o turbinas hacia las baterías de almacenamiento de energía.

También, se logra controlar con los mismos sensores el nivel de voltaje en baterías, conmutándolas entre la carga que utilizará la energía almacenada en las mismas a niveles seguros que permitan protegerlas. Este capítulo muestra la forma correcta de instalar paneles, turbinas y baterías según voltaje y ampere deseados, es de tomar en cuenta, dispositivos como los diodos de paso y bloqueo que permiten un flujo continuo entre los elementos conectados.

3.1. Conexión con baterías de 12, 24 y 48 voltios

Como principal dispositivo de almacenaje se encuentran las baterías de ciclo profundo, las cuales cuentan con una gran variedad en voltajes y capacidades (amperios) como los 6, 12, 24 y 48 voltios, en realidad también las baterías automotrices pueden ser usadas en almacenamiento de sistemas de energía renovable pero esto tiene consecuencias como una reducción en la vida útil de la misma y que deben estar muy ventiladas ya que emanan gases volátiles (hidrógeno) al momento de estar siendo cargadas. El coste de las baterías de ciclo profundo sea 3 o 4 veces mayor a una de automóvil la inversión se recupera con el tiempo efectivo de trabajo de estos dispositivos.

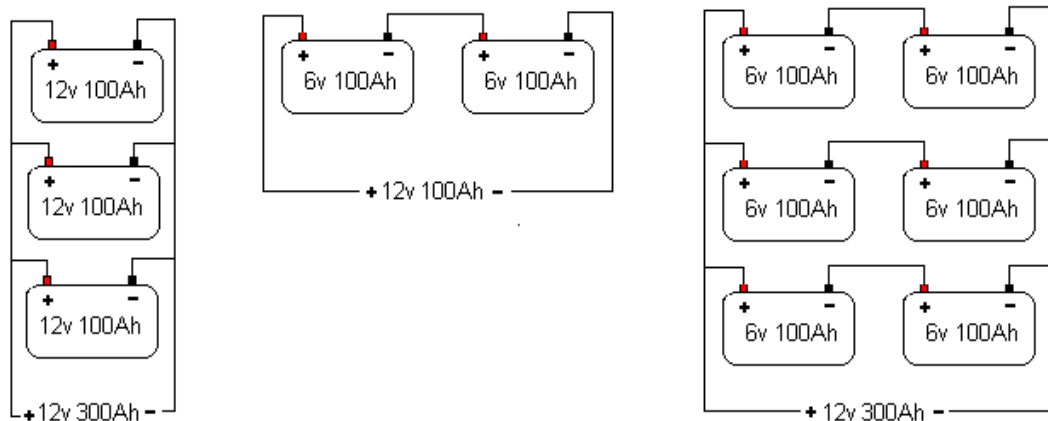
El tipo de conexión con las baterías puede ser de tres maneras muy sencillas, siempre siguiendo los parámetros de la ley de ohm:

- En serie (mayor voltaje)
- En paralelo (mayor corriente)
- En serie-paralelo (mayor corriente y voltaje)

La disposición o modo de conexión de las baterías dependerá mucho de cuanta carga necesita almacenar y la cantidad de voltaje que puede sostener la batería.

Como por ejemplo, se pueden colocar 2 baterías de 6 voltios en serie y se obtendrá una batería de 12 voltios o se pueden colocar en paralelo y obtener 6 voltios pero un mayor rango de ampere.

Figura 18. **Conexión de acumuladores, de izquierda a derecha
conexión en paralelo, conexión en serie,
conexión mixta**



Fuente: elaboración propia.

Los dispositivos se pueden configurar para obtener más voltaje o más corriente o de forma mixta, la disposición de las baterías dependerá específicamente de las necesidades que se tengan de energía y la capacidad económica prefijada para este fin.

3.2. Conexión con paneles solares

Existen paneles solares que generan diferentes voltajes siguiendo los estándares de 12, 24 y 48 voltios los más utilizados, estos se pueden considerar como baterías dependientes de la cantidad de luz solar que logren convertir en energía utilizable, existen dos configuraciones necesarias para obtener más voltaje o más corriente.

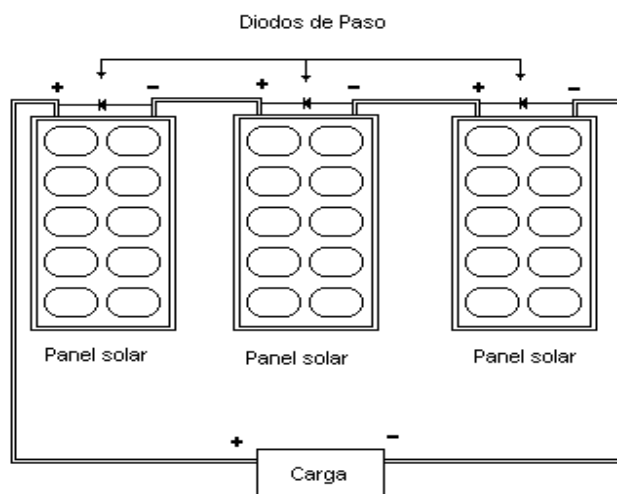
Recordar siempre que los paneles solares en realidad muestran un voltaje más alto que el mostrado en su hoja de especificaciones a circuito abierto, es decir, los paneles que muestran doce voltios idealmente, en realidad arrojan voltajes de alrededor diecisiete voltios y lo mismo sucede con los demás tipos de paneles, según el número de celdas con el que esté construido pueden enviar más o menos carga como se mencionó anteriormente.

3.2.1. Conexión en serie de paneles solares

En lo que respecta a más voltaje los paneles solares se deben interconectar en serie como se muestra a continuación, con lo que se logra obtener la misma corriente que genera un solo panel solar pero V total a la salida.

$$V \text{ total} = V_{\text{panel1}} + V_{\text{panel2}} + V_{\text{panel3}}$$

Figura 19. Conexión en serie de paneles solares



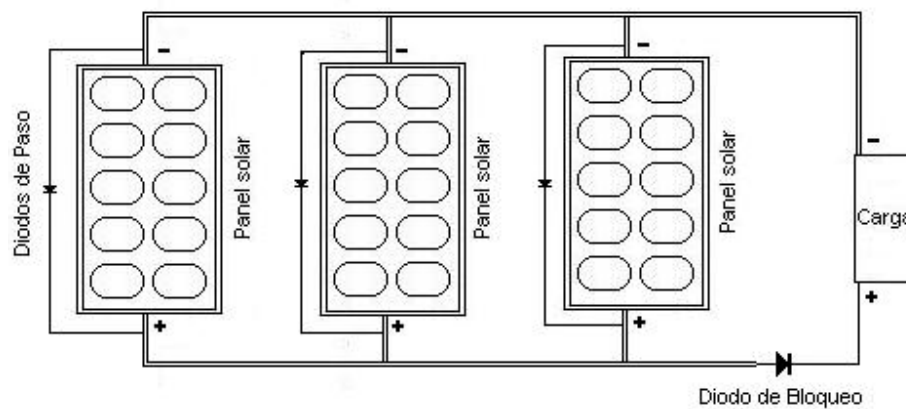
Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Conexión en paralelo de paneles solares

En lo que respecta a más corriente los paneles se deben conectar en paralelo uno al otro colocando un diodo de paso proporcional a la corriente nominal a circuito abierto del panel al que esté conectado y un diodo de bloqueo para evitar el flujo de corriente en la dirección opuesta, el cual debe ser dimensionado a 1,56 veces la corriente a cortocircuito del arreglo de paneles utilizado.

$$I_{\text{total}} = I_{\text{panel1}} + I_{\\text{panel2}} + I_{\text{panel3}}$$

Figura 20. Conexión en paralelo de paneles solares

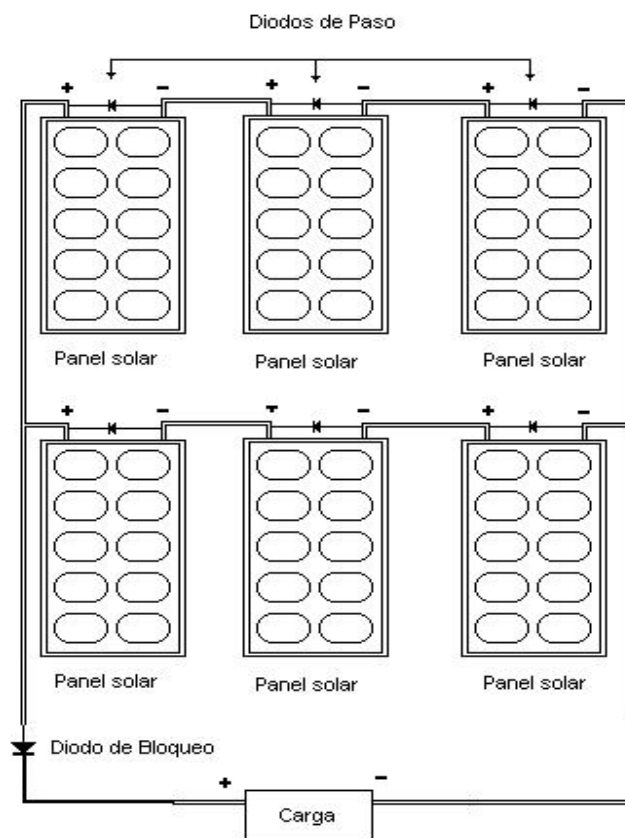


Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Conexión mixta en paneles solares

No es más que un arreglo adecuado entre dispositivos conectados en serie y en paralelo para logra un voltaje y corriente deseados como se muestra en la figura 4 a continuación.

Figura 21. **Conexión mixta de panel solar (serie-paralelo)**

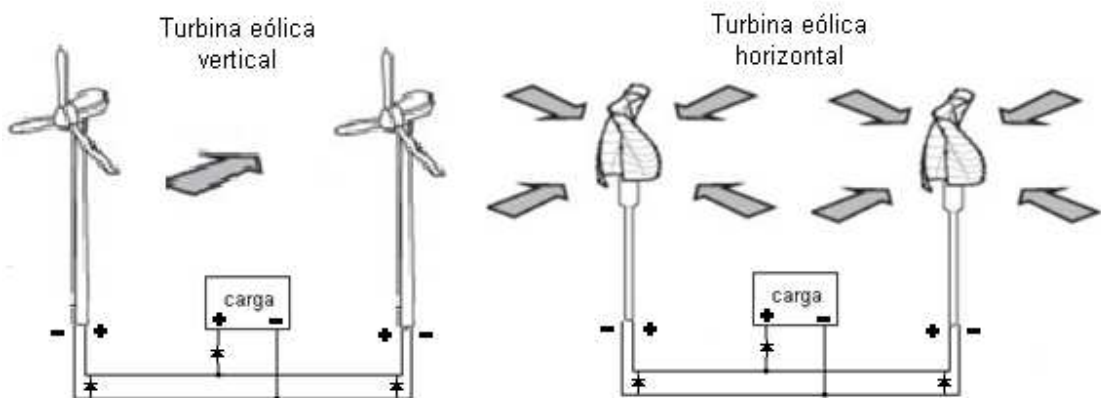


Fuente: elaboración propia.

3.3. Conexiones con más de una turbina eólica

Algunas empresas ofrecen turbinas eólicas con la posibilidad de interconectarlas en serie o paralelo para obtener mayor versatilidad en corriente y voltaje, en el caso de contar con más de una turbina eólica sin estas ventajas, se deben conectar en paralelo, con su respectivo diodo de bloque en cada una para evitar que cualquiera de las dos turbinas sea resistencia de la otra como en el caso de los paneles solares. Se debe recordar que este diodo debe soportar 1,5 veces la corriente nominal de la turbina a la que esté conectada.

Figura 22. Turbinas eólicas en paralelo con sus respectivos diodos de paso y bloqueo



Fuente: <http://e-eolica.blogspot.com/2008_12_01_archive.html>.

[Consulta: en abril 2011].

3.4. Conexiones entre turbinas y paneles solares

Al intentar conectar una turbina y un panel solar, se debe tomar en cuenta que existen dos posibles casos, el primero que uno de los dos sistemas este generando electricidad y el segunda que los dos estén entregando energía, para ambos casos se deben colocar diodos de bloqueo y así evitar la inversión de la corriente tanto en la turbina como en el panel, en consideración para el segundo caso se deben tomar medidas adecuadas para que los dos dispositivos funcionen como baterías conectadas en paralelo, manteniendo un voltaje nominal promedio que aumenta la velocidad con la que se cargan los acumuladores. Todo esto, se logra evidentemente con el control automático de carga monitoreando constantemente.

3.5. Conexión entre los dispositivos de potencia al control automático de carga

Los dispositivos (acumuladores, paneles solares, turbinas eólicas) antes mencionados deben contar con interconexiones altamente eficientes, que permitan la transferencia de energía con las menores pérdidas posibles, desde la señal de control enviada por el microcontrolador hacia los generadores y acumuladores, esta labor la realiza un relevador que soporte corrientes elevadas, alrededor de 40 amperios activándose con tan solo 12 voltios, con la posibilidad de controlar hasta dos procesos con este mismo dispositivo, existen también los llamados relés de estado sólido, que son dispositivos de alto desempeño y que a diferencia de los anteriores no contienen partes móviles que se desgasten con el tiempo, debido a altas corrientes, con la única desventaja de permitir solo un movimiento al dejar pasar los electrones.

4. CONSTRUCCIÓN Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS DE CARGA

4.1. Esquema de programación

El programa permite ingresar a un menú visualizado en la glcd (LCD gráfica), el cual muestra 3 opciones en baterías que se pueden controlar respectivamente de 12, 24 y 48 voltios, indicando para cada selección, el nivel de voltaje en el panel solar, en la turbina eólica si está conectada, por supuesto el nivel de carga en la batería y la temperatura promedio de la misma, todo el programa está ordenado en *procedures*, que permiten manejar de forma ordenada todos los procesos, a continuación se muestra la sintaxis y explicación de todo el programa.

En el *main* o inicio de programa se inicializan las librerías de control tanto del ADC (convertidor analógico digital) como el glcd, se limpia pantalla y se llama al primer procedimiento nombrado “ menu_1” . Para ver sintaxis de programación ir al apéndice 1.

<i>main:</i>	inicio de programa
'Main program	
glcd_init()	inicializar librerías de glcd
adc_init()	inicializar librerías del convertidor a/d
glcd_fill(0)	limpia la pantalla
menu_1	llama al procedimiento menú_1
<i>end.</i>	finaliza el programa

El procedimiento llamado `menú_1` muestra en pantalla la opción para el ingreso al menú de selecciones de voltaje que viene dado en el *procedure* submenú.

<code>sub procedure menu_1()</code>	procedimiento <code>menú_1</code>
<code>dim c as byte</code>	declarar la variable "c" como byte
<code>menu:</code>	inicio del ciclo infinito
<code>glcd_line(65,54,125,54,1)</code>	dibuja una línea en pantalla
<code>glcd_write_text(" Menu #",5,7,1)</code>	escribe la palabra menú
<code>c= portc.0</code>	recibe el dato del puerto c y lo guarda
<code>if c=1 then</code>	sentencia condicional si c= 1 ingresa
<code>glcd_fill(0)</code>	limpia la pantalla
<code>glcd_line(65,54,125,54,1)</code>	dibuja una línea
<code>glcd_write_text(" Menu #",5,7,1)</code>	escribe la palabra menú
<code>delay_ms(1000)</code>	retraso de 1 segundo
<code>submenu</code>	llama al procedimiento submenú
<code>end if</code>	fin de la sentencia condicional
<code>goto menú</code>	regresa al inicio del ciclo infinito
<code>end sub</code>	fin del procedimiento <code>menú_1</code>

El procedimiento nombrado como submenú, despliega en pantalla, dicha selección de voltajes, permitiendo interactuar con el usuario por medio de un teclado. Con la tecla 2 selecciona un voltaje, con la tecla numeral confirma dicha selección e ingresa al valor de voltaje deseado. Para regresar la pantalla anterior se utiliza el botón asterisco.

sub procedure submenu()	Procedimiento submenú
dim a,b,c as integer	dimensionar variables como enteras
glcd_fill(0)	limpiar pantalla
glcd_write_text("selec batery",64,0,1)	escribir texto en pantalla
glcd_line(0,9,127,9,1)	línea
glcd_line(65,54,125,54,1)	línea
glcd_write_text("12 volt",64,3,1)	escribir texto en pantalla
glcd_write_text("24 volt",64,4,1)	escribir texto en pantalla
glcd_write_text("48 volt",64,5,1)	escribir texto en pantalla
glcd_write_text("back",64,7,1)	escribir texto en pantalla
glcd_write_text("select",1,7,1)	escribir texto en pantalla
portc.0=0	inicializar puerto con cero
portc.1=0	inicializar puerto con cero
portd.7=0	inicializar puerto con cero
c=0	inicializar variable con cero
while true	ciclo infinito
a=portc.0	"a" toma el valor del puerto C en su pin cero
b=portc.1	"b" toma el valor del puerto C en su pin uno
c=c+b	Contador para selección de batería

<pre> while c=1 glcd_write_text("12 volt",64,3,0) glcd_box(64,39,127,47,0) glcd_write_text("24 volt",64,4,1) glcd_write_text("48 volt",64,5,1) delay_ms(1000) if portc.0=1 then doce end if b=portc.1 c=c+b wend while c=2 glcd_write_text("12 volt",64,3,1) glcd_write_text("24 volt",64,4,0) glcd_write_text("48 volt",64,5,1) delay_ms(1000) if portc.0=1 then </pre>	<pre> sentencia condicional mientras c = 1 escribe texto blanco sobre la caja creada dibuja cajas sobre el texto de 48 voltios escribe texto negro sobre caja creada escribe texto negro sobre caja creada retraso de 1 segundo sentecia condicional para elegir 12 voltios llama a procedimiento de 12 voltios fin de la sentencia condicional revisa lo que tiene el puerto de selección contador para salir de la sentencia while fin de la sentencia while Sentencia condicional mientras c = 2 sentencia condicional para elegir 24 voltios </pre>
--	---

veinte4	llama al procedimiento de 24 voltios
end if	fin de la sentencia condicional
b=portc.1	
c=c+b	contador para salir de la sentencia
	<i>while</i>
wend	fin de la sentencia <i>while</i>
while c=3	Sentencia condicional mientras c = 3
glcd_write_text("12 volt",64,3,1)	
glcd_write_text("24 volt",64,4,1)	
glcd_write_text("48 volt",64,5,0)	
delay_ms(1000)	
if portc.0=1 then	sentencia condicional para elegir 48
	voltios
cuatroy8	llamar al procedimiento de 48 voltios
end if	fin de la sentencia condicional
b=portc.1	
c=c+b	
wend	
if c=4 then	sentencia para el reinicio de
	contador C
c=0	C vuelve a cero
end if	fin de sentencia condicional
if portd.7=1 then	sentencia condicional para retroceder
break	obliga a salirse del <i>while</i> de ciclo
	infinito
end if	fin de la sentencia condicional

wend	fin del ciclo infinito
if portd.7=1 then	sentencia condicional de retroceso
exit	obliga a regresar al <i>procedure</i> anterior
end if	fin de la sentencia condicional
end sub	fin del <i>procedure</i> submenú

Por último, al ya seleccionar un voltaje, por ejemplo el de doce voltios, despliega en pantalla el voltaje elegido, los voltajes que detectan los sensores en panel y turbina respectivamente, así como, los niveles de voltaje en baterías y mostrando si esta sin carga, con voltajes por debajo de los 11,5 voltios, cargándose si se encuentra entre los 11,5 y 13,5 voltios o con carga completa para cuando el sensor detecto un voltaje mayor a los 14 voltios. Teniendo siempre la opción de regresar al menú anterior.

sub procedure doce()	Inicio del procedimiento de 12 voltios
dim x,eol,y,z as string [1]	asignación de variables como <i>strings</i>
dim dato0,dato1,dato2,a as float	asignación de variables como flotante
dim dato3,temp as float	asignación de variables como flotante
glcd_fill(0)	limpia pantalla
glcd_write_text	
("selec 12 voltios",65,0,1)	Escribe el voltaje seleccionado
glcd_line(0,9,127,9,1)	dibuja una línea en pantalla
glcd_write_text("back * ",64,7,1)	escribe el regreso a pantalla anterior
while true	ciclo infinito de <i>while</i> (mientras)

<pre> dato0=adc_get_sample(0) a=dato0/10.23 floattostr(a,x) glcd_Write_text("PANEL",65,2,1) Glcd_write_text(x,0,2,1) </pre>	<p>toma muestras del ADC pin 0 del panel</p> <p>divide el dato para la relación de voltajes</p> <p>convierte una variable <i>float</i> a <i>strings</i></p> <p>Escribe la palabra panel en pantalla</p> <p>coloca el valor obtenido en pantalla</p>
<pre> dato1=adc_get_sample(1) a=dato1/10.23 floattostr(a,eol) Glcd_Write_text("EOLICO",65,3,1) glcd_write_text(eol,0,3,1) </pre>	<p>toma muestras de voltaje de la turbina</p> <p>divide el dato para la relación de voltajes</p> <p>convierte una variable <i>float</i> en <i>strings</i></p> <p>escribe en pantalla la palabra eólico</p> <p>escribe en pantalla el valor de voltaje</p>
<pre> dato2 = adc_get_sample(2) a=dato2/10.23 if (a <=11.5) then portd.0=0 portd.1=0 portd.2=0 glcd_write_text ("SIN CARGA ",90,5,0) else </pre>	<p>toma muestras de voltaje en las baterías</p> <p>divide el dato para la relación de voltajes</p> <p>panel a batería</p> <p>turbina a batería</p> <p>baterías sin carga</p>

```

if (a>11.5) or (a<13.5) then
portd.0=0          panel a batería
portd.1=0          turbina a batería
portd.2=1          baterías a casa

Glcd_write_text
("CARGANDO ",90,5,0)
else
if (a>13.5) then
portd.0= 1          panel libre
portd.1= 1          turbinas a resistencias disipadoras
portd.2= 1          baterias a casa
Glcd_write_text
("CARGA COMPLETA",90,5,0)
end if end if end if

floattostr(a,y)    convierte de float a string
Glcd_Write_text
("BATERIA",65,4,1)
glcd_write_text(y,0,4,1)    glcd_write_text("Voltios",65,0,1)
                             escribe lo que tenga el adc en la glcd

dato3=adc_get_sample(3)
temp=dato3/(1023/500)
inttostr(temp,z)
Glcd_write_text(z,1,7,1)
Glcd_Write_text("C",55,7,1)

if portd.7=1 then
break

```

```

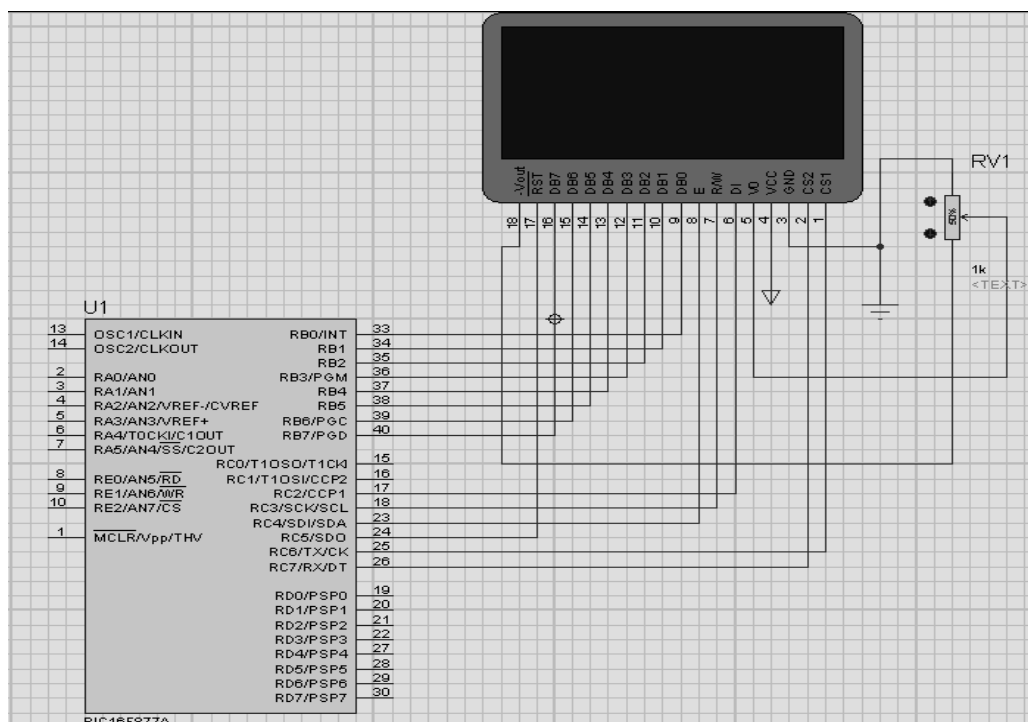
end if
wend
if portd.7=1 then
exit
end if
end sub

```

4.2. Circuito de conexión

Interconexión del microcontrolador con glcd atm128x64d la cual se logra a través de los puertos b y c del Pic 16f877a previamente programado.

Figura 23. LCD gráfica conectada al Pic16f877a

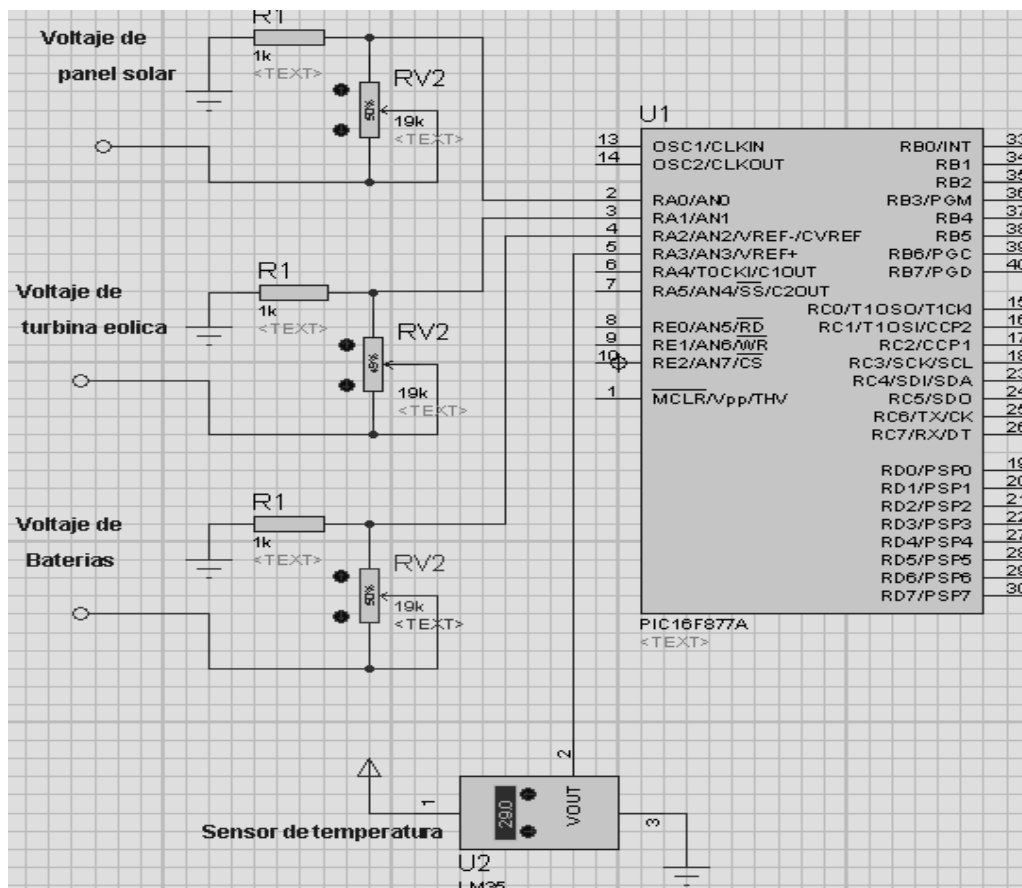


Fuente: elaboración propia.

En la gLCD la nomenclatura “DI” también puede ser llamado “R/S” en algunos casos, el potenciómetro permite variar el contraste en pantalla, nunca se debe probar la gLCD con un microcontrolador no programado previamente, debido a que puede quemarse.

Las muestras para los niveles de voltaje se toman después de cada una de las entradas de los dispositivos como la turbina, el panel y la batería, el circuito se muestra a continuación.

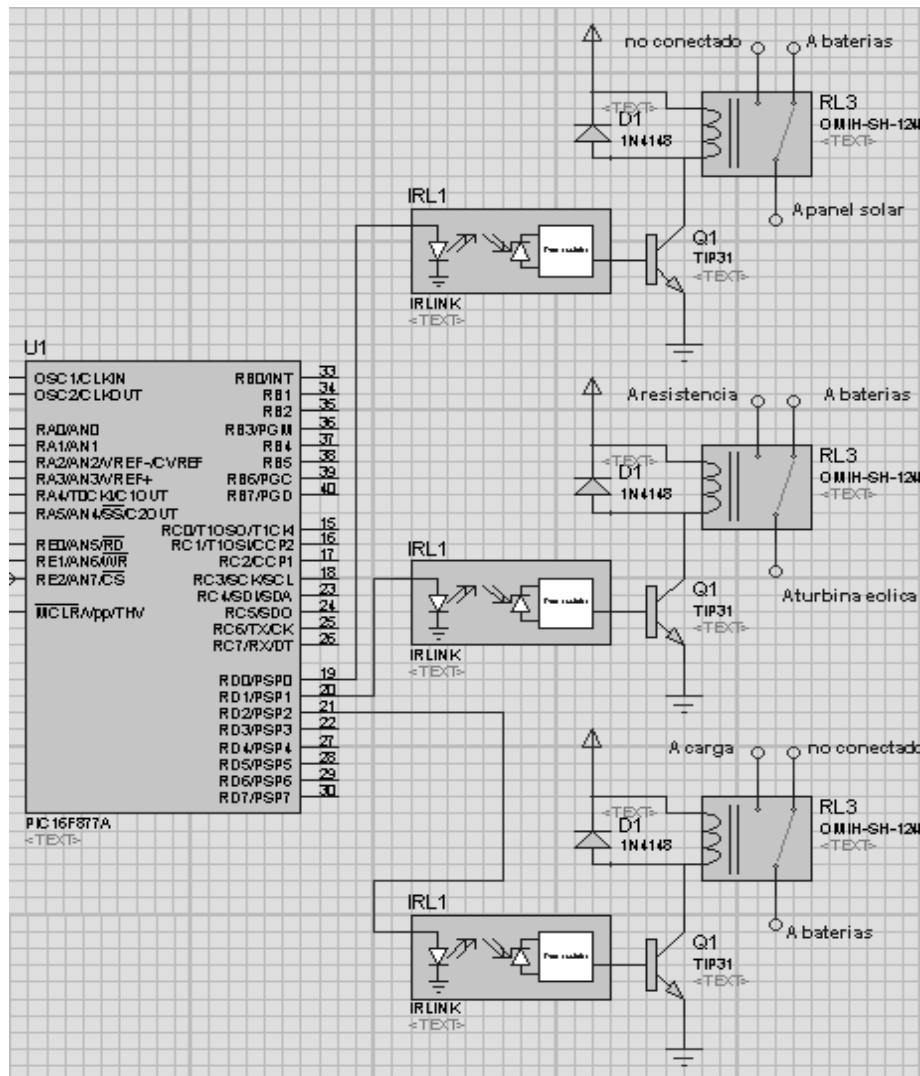
Figura 24. Toma de muestra en los niveles de voltaje



Fuente: elaboración propia.

Para la sección de potencia se deben utilizar reles de 40 amperios a un máximo de 480 W en 12 voltios de 960 W en 24 voltios y 1 920 W a 48 voltios, recordando siempre utilizar los diodos de potencia adecuados para cada elemento.

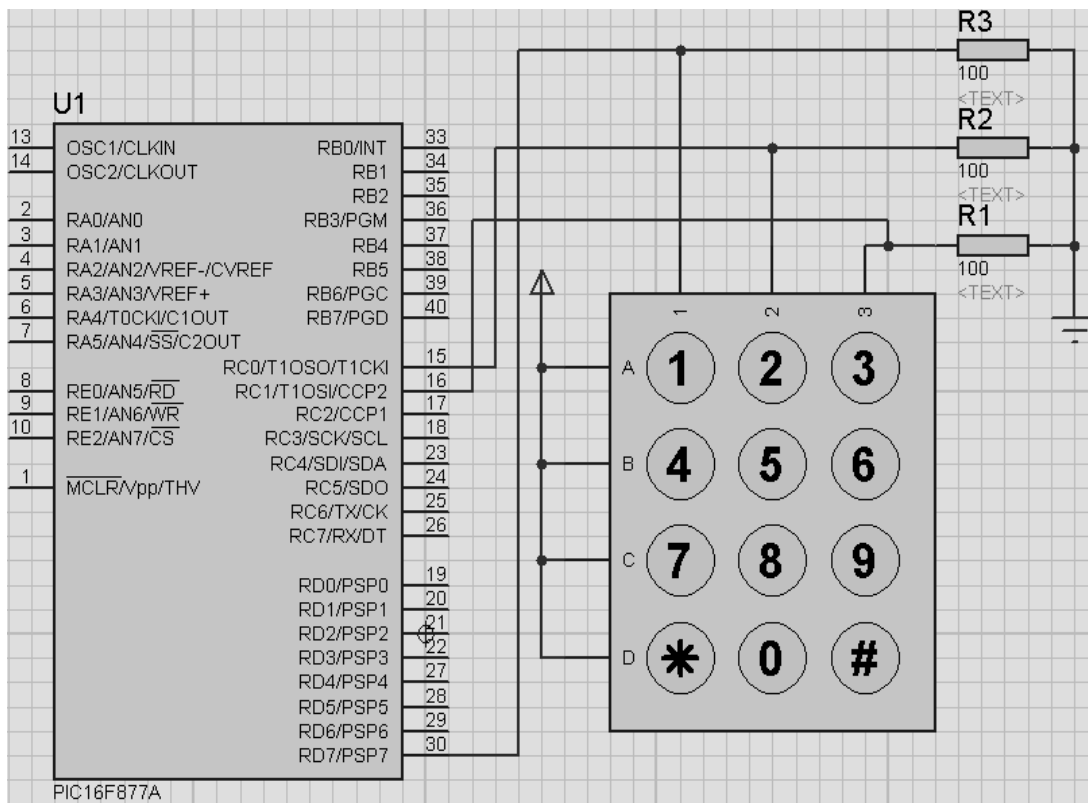
Figura 25. Esquema del sistema de potencia



Fuente: elaboración propia.

Para la interfaz con el teclado y facilitar la programación se tomaron solamente 3 teclas, la tecla dos (2) se utiliza para seleccionar los distintos niveles de voltaje, el asterisco (*) para regresar a un menú anterior y el numeral (#) para confirmar selección. A continuación se muestra la conexión con el microcontrolador.

Figura 26. **Conexión del teclado al microcontrolador**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Prueba de prototipo

Para la prueba se puede colocar, en el sensor que toma las muestras de voltaje en la batería, una fuente regulada que permita variar los voltajes a los valores preestablecidos según programación y así determinar si realiza las conmutaciones en los relevadores en la zona de potencia, dependiendo de cada una de las condiciones antes preseleccionadas.

4.4. Comparación con otros sistemas en el mercado

Los sistemas de energía renovable actualmente cuentan con mucha versatilidad en el caso de control automático de carga, específicamente en Guatemala existen muy pocas empresas dedicadas al comercio de este tipo de sistemas debido a factores tecnológicos y de desarrollo, la mayoría de los sistemas comparados son de países como México y EEUU, siendo este y la falta de conocimiento el principal obstáculo, de sistemas de energía renovable en Guatemala y de forma más específica los sistemas mixtos de energía renovable.

Los sistemas de control automático de carga más simples, tienen entre sus características solamente diodos Led indicadores de carga o descarga en baterías con un límite de 6 amperios máximo, usualmente, utilizables para un solo sistema de energía renovable. Llegando hasta los más complejos que utilizan un control de PWM para mantener una carga constante en las baterías y múltiples funciones como las de temperatura en baterías y control de velocidad del viento conectado con el anemómetro instalado en la turbina eólica. Por supuesto en este tipo de control tanto la turbina, paneles y control automático de carga son hechos por la misma empresa para mantener un estándar de fabricación así como una comunicación eficiente entre los dispositivos.

CONCLUSIONES

1. Se logró comprender lo que es una celda solar, desde su estructura interna hasta el funcionamiento.
2. La información que se muestra en la LCD gráfica al usuario final es precisa y concisa por lo que facilita su comprensión.
3. Los elementos que conforman un control electrónico automático de carga tanto físicos y en especial de programación se elaboraron siguiendo las secuencias lógicas de carga y descarga según el tipo de batería seleccionada.

RECOMENDACIONES

1. El controlador automático de carga, se debe alimentar únicamente con 12 voltios, aunque se utilicen configuraciones de veinticuatro y cuarenta y ocho voltios.
2. Para la instalación del sistema se debe tomar en cuenta la polaridad de los elementos a conectar, de lo contrario se pueden dañar de forma permanente los mismos.
3. El orden que se debe utilizar para conectar al control automático de carga es primero la batería, segundo el panel solar y por último, la turbina eólica, para su desconexión se va del último al primero.
4. Se debe situar el sistema de acumulación de energía y control en un lugar aislado y ventilado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Biomass Users Network (BUN-CA). *Manuales sobre energías renovables*. Costa Rica: Solar fotovoltaica. 2002. 42 p. ISBN: 9968970891.
2. BOYLESTAD, Robert. L. *Introducción al análisis de circuitos*. 10ª ed. México: Pearson Educación, 2004. 1248 p. ISBN: 9702604486.
3. ENRÍQUE HARPER, Gilberto. *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. México: Limusa, 2010. 368 p. ISBN: 9786070502699.
4. FENECA, FOCER, E&CO, BUN-CA. *Modelos empresariales para servicios energéticos aislados: Manuales de energía renovable*. Costa Rica: FENECA, FOCER, E&CO, BUN-CA. 2001. 49 p. ISBN: 9968970867.
5. HERNÁNDEZ CHAN, Rubén. Dirección general de energía. *Energía eólica en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas 10 p.

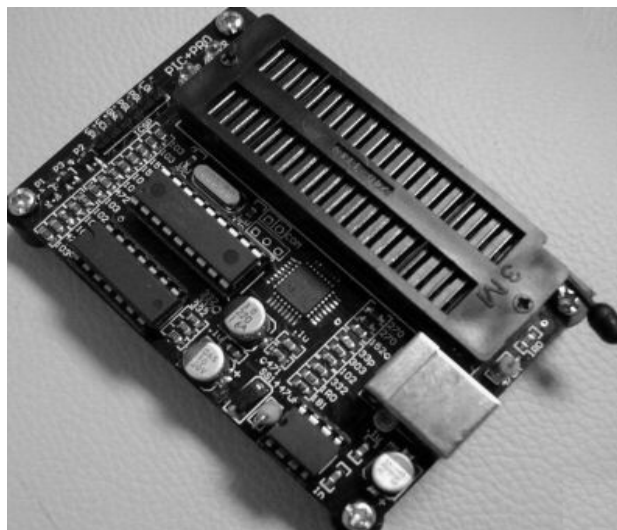
6. HULSHORST, Walter; CRIADO, Víctor. Universidad Politécnica de Madrid. *Manual práctico de evaluación de una instalación de energía fotovoltaica a pequeña escala*, [en línea] disponible en Web:<www.leonardo-energy.org/español>. [Consulta: en marzo 2011].

APÉNDICES

Apéndice 1. Programación de un microcontrolador

Para hacer funcionar un microcontrolador se requiere de algunos dispositivos adicionales estos son el programador de Pic's (*hardware*), el programa que viene con este dispositivo (el programador de Pic's) y un programa especializado que permita generar un archivo .hex que se adapte al microcontrolador utilizado, a continuación se encuentra una guía rápida del programador utilizado.

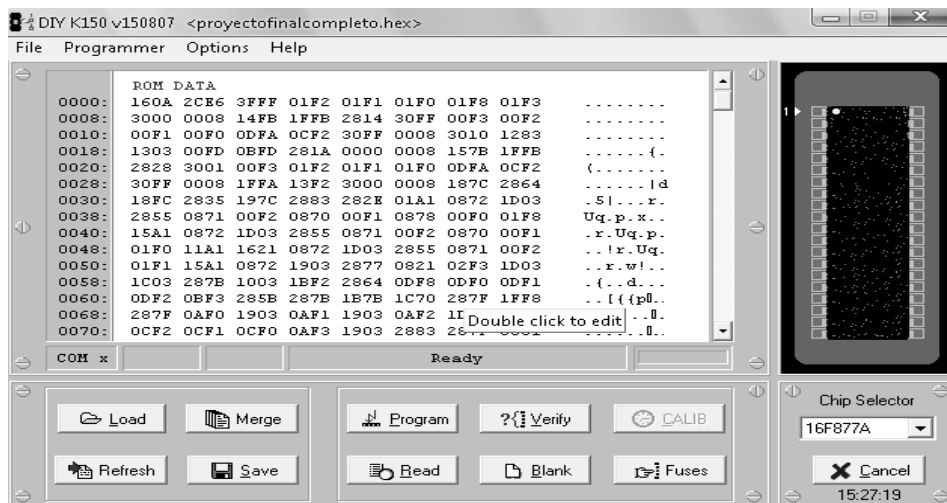
Programador de Pic's Pic+pro k150



Fuente: elaboración propia.

El programa que utiliza este programador de Pic's es el DYK K150 V150807 en la siguiente figura se muestra la ventana principal de control muy intuitivo.

Ventana de aplicación del programa para el programador k150



Fuente: elaboración propia.

Pasos para cargar un programa en el microcontrolador:

- Paso 1
Instalar el programa específico para el programador y conectar el usb en un puerto de la computadora, se debe detectar instantáneamente.
- Paso 2
Como se puede apreciar en la figura anterior en la parte inferior derecha se escoge el microcontrolador a utilizar.

- Paso 3

El archivo .hex que contiene el programa del se carga presionando el botón *load* en la parte inferior izquierda, para el caso en que ya tenga cargado el programa, pero si se realizaron cambios, se presiona *refresh* que actualiza el programa con los últimos cambios realizados.

- Paso 4

Inserte el microprocesador con la numeración correspondiente en el programador y con el botón *blank* borre toda información del mismo.

- Paso 5

Oprima el botón *program* para programar el microcontrolador y listo.

Actualmente existen diferentes programas para generar el archivo .hex, la diferencia básica está realmente en el modo de simulación en cada uno de estos, los dos programas investigados son:

- * De la empresa *Oshonsoft* el *Pic simulator ide* versión 6.83
- * De la empresa *Mikroelektronik* el programa *Mikrobasic for Pic* ver:
3.8

El programa *pic simulator ide* utiliza un lenguaje *basic* y herramientas de simulación bastante completas para el aprendizaje y aplicación, pero el programa *mikroelektronika for pic's* cuenta con infinidad de librerías que supera en mucho al anterior, y es por las librerías especializadas en lcd gráfico que se opta por trabajar con este.

Apéndice 2. **Sintaxis utilizada en la LCD gráfica
para *microbasic for Pic***

A continuación se presenta la sintaxis a utilizar en el programa, este grupo de rutinas permite declarar el puerto y los pines a utilizar en el Pic.

```
dim GLCD_DataPort as byte sfr external
dim GLCD_CS1 a sbit sfr external
dim GLCD_CS2 a sbit sfr external
dim GLCD_RS a sbit sfr external
dim GLCD_RW a sbit sfr external
dim GLCD_EN a sbit sfr external
dim GLCD_RST a sbit sfr external
```

La siguiente sintaxis se utiliza por la librería glcd para direccionar el pin a utiliza por la pantalla grafica.

```
dim GLCD_CS1_Direction as sbit sfr external
dim GLCD_CS2_Direction as sbit sfr external
dim GLCD_RS_Direction as sbit sfr external
dim GLCD_RW_Direction as sbit sfr external
dim GLCD_EN_Direction as sbit sfr external
dim GLCD_RST_Direction as sbit sfr external
```

- Rutinas básicas

Glcd_init

Se utiliza para inicializar el modulo glcd configurado previamente con las rutinas anteriores.

Sintaxis: glcd_init()

Glcd_Set_Side

Permite colocar el puntero en una dirección del eje x el cual puede ser desde 0 a 127 o según sea el ancho del la pantalla.

Sintaxis: Glcd_init()
Glcd_Set_Side (10)

Glcd_Set_X

Posiciona el puntero en una dirección vertical de 0 a 63, utilizada generalmente con la anterior para disponer de toda la pantalla.

Sintaxis: Glcd_init()
Glcd_Set_X (25)

Glcd_Set_Page

El módulo glcd divide en 8 páginas de 8 x 127 puntos y con esta rutina se puede seleccionar cualquiera de estas con numeración desde 0 hasta 7 de arriba hacia abajo.

Sintaxis: Glcd_init ()
Glcd_Set_Page (4)

Glcd_Read_Data

Lee un dato ubicado en una posición previamente indicada por los anteriores parámetros explicados.

```
Sintaxis: dim a as byte 'declaramos la variable "a" como byte
          Glcd_init()
          Glcd_Set_Side(10)
          Glcd_Set_X(10)
          a=Glcd_Read_Data()
```

Glcd_Write_Data

Escribe un dato ubicado en una posición previamente indicada por los anteriores paramentro indicados.

```
Sintaxis: dim a as byte 'declaramos la variable "a" como byte
          a=1
          Glcd_init()
          Glcd_Set_Side(10)
          Glcd_Set_X(10)
          Glcd_Write_Data( a )
```

- Rutinas avanzadas

Glcd_Fill

Permite limpiar completamente la pantalla o rellena la pantalla según la sintaxis que se coloque.

Sintaxis: Glcd_init ()

Glcd_fill (0) ' limpia la pantalla de la glcd

Glcd_fill (255) 'rellena la pantalla de la glcd

Glcd_Dot

Dibuja un punto en algún lugar de la pantalla según la sintaxis el primer parámetro posición "x" puede ser de 0 a 127, la posición "y" de 0 a 63, el último parámetro indica el color del punto, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_init()

Glcd_dot (posición x, posición y, color)

Glcd_Line

Dibuja una línea, los primeros 2 parámetros indican la posición inicial y los segundos la posición final, los parámetros en "x" pueden ir desde 0 hasta 127, los parámetros en "y" pueden ir de 0 hasta 63, último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_Init()

Glcd_Line (inicial x, inicial y, final x, final y, color)

Glcd_V_Line

Dibuja una línea vertical, el primer parámetro indica la posición inicial y el segundo la posición final en el eje vertical, pueden tomar valores desde 0 hasta 63, el tercer parámetro indica la posición en "x" y puede tomar valores de 0 a 127, el último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_Init()

Glcd_V_Line (posición inicial y, posición final y, posición en x, color)

Glcd_H_line

Dibuja una línea horizontal, el primer parámetro indica la posición inicial, el segundo la posición final en el eje horizontal, pueden tomar valores desde 0 hasta 127, el tercer parámetro indica la posición en "y" la cual puede tomar valores de 0 a 63, el último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_Init()

Glcd_H_Line (posición inicial x, posición final x, posición en y, color)

Glcd_Rectangle

Dibuja un rectángulo en pantalla, los primeros dos parámetros indican la esquina superior izquierda tanto en “x” como en “y”, y los segundos dos parámetros la esquina inferior derecha en “x” y “y” respectivamente, los parámetros en “x” pueden tener valores desde 0 hasta 127 y los parámetros en “y” valores de 0 a 63, el último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_Init ()

Glcd_rectangle(x superior, y superior, x inferior, y inferior,
color)

Glcd_Box

Dibuja una caja en pantalla, los primeros dos parámetros indican la esquina superior izquierda tanto en “x” como en “y”, y los segundos dos parámetros la esquina inferior derecha en “x” y “y” respectivamente, los parámetros en “x” pueden tener valores desde 0 hasta 127 y los parámetros en “y” valores de 0 a 63, el último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_Init ()

Glcd_box(x superior, y superior, x inferior, y inferior,
color)

Glcd_Circle

Permite dibujar un círculo en pantalla, el primer y segundo parámetro indican el centro del círculo en “x” y “y”, el tercer parámetro indica el radio que tiene el círculo, el último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Glcd_Init ()
Glcd_circle(x, y, radio, color)

Glcd_Set_Font

El programa permite utilizar varias fuentes preestablecidas, con esta sentencia se determina con qué tipo de fuente se desea trabajar algunas de las cuales son font_glcd_sistem3x5, Font_glcd_sistem5x7, Font_glcd_5x7, Font_glcd_caracter8x7.

Sintaxis: glcd_set_font(Font_glcd_sistem5x7,5,7,32)

Glcd_Write_char

Permite escribir caracteres el primer parámetro indica el carácter, el segundo la página de 0 a 7, el tercer parámetro la posición en “x” de 0 a 127 el último parámetro indica el color, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla.

Sintaxis: Gld_write_char(“caracter”, pagina, posición en x, color)

Glcd_Write_Text

Da la capacidad al usuario de escribir un texto o variable presentando los parámetros de página de 0 a 7 como primer parámetro, posición dentro de la página como segundo parámetro de 0 a 127 y color del texto, 0 para blanco, 1 para negro y 2 para que cambie de color según el relleno de pantalla como último parámetro.

Sintaxis: Glcd_Writ_Text("texto o variable", página, posición en x,
color)

Glcd_Image

Esta sintaxis permite crear un dibujo cargarlo en una herramienta llamada "glcd bitmap editor" la cual permite generar una imagen en "paint" con las dimensiones de la pantalla a utilizar, para luego insertarla en el programa.

Sintaxis: Glcd_Image(@nombre de imagen)