



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

NOMBRE DEL PROYECTO

**SISTEMA DE SUMINISTRO DE DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE FUENTES
RENOVABLES DE ENERGIA APLICADO AL SISTEMA DE MONITOREO DE LA
CALIDAD DEL AGUA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON DISPOSITIVOS
MÓVILES**

CARRERA

Ingeniería en Electrónica

NOMBRE DEL ALUMNO

SERGIO GAMBOA TORRES

NÚMERO DE CONTROL

06270045

ASESOR INTERNO:

Dr. Héctor Ricardo Hernández de León

ASESOR EXTERNO:

Dr. Sergio Alberto Gamboa Sánchez

RESIDENCIA PROFESIONAL

JUNIO DEL 2010.

RESUMEN ANTECEDENTES

En la actualidad la gran mayoría de cuerpos de agua superficiales cuentan con impactos negativos en materia ambiental, debido al deterioro de la calidad del agua provocada por los asentamientos humanos. El agua, como sabemos es un líquido vital para la vida del ser humano y es por esta razón que es de gran importancia conocer su calidad y mantenerla dentro de los estándares oficiales para el uso al que se ha destinado.

En este proyecto se plantea el uso de energías renovables para llevar a cabo el funcionamiento de una red de monitoreo de la calidad del agua en la que se encuentra este afluente para este caso aplicando la energía solar fotovoltaica como la opción mas viable para esta aplicación, en el cual se ha diseñado el módulo.

Ya que la crisis energética que afecta al planeta y que tiende a agudizarse en las próximas décadas, exige medidas urgentes que permitan hacer un uso más racional y eficiente de las fuentes de energía disponibles que contribuyan a reducir los riesgos del calentamiento global, protegiendo así al medio ambiente.

INDICE

Índice general

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Fuentes renovables	1
1.1.1 Energía eólica	1
1.1.2 Hidrogeno	1
1.1.3 Energía solar	2
1.2 Definición del problema	2
1.3 Estado del arte	5
1.3.1 Controlador de carga tempo-controlador	5
1.3.2 Controlador de carga SG4- CON MO	6
1.4 Justificación	7
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos	8
1.6 Delimitación del problema	8
1.7 Alcances y limitaciones	8
1.7.1. Alcances	8
1.7.2 Limitaciones	9
1.8. Caracterización del área en que se participó	9
1.8.1. Misión	9
1.8.2. Objetivos	10
1.8.3. Ubicación geográfica	10
1.8.4 Equipo utilizado	11
2 FUNDAMENTOS TEORICOS	13
2.1. Energía solar fotovoltaica	13
2.1.1 Celdas solares	13
2.1.3 Aplicación de celdas fotovoltaicas	16
2.2 Almacenamiento de los sistemas fotovoltaicos	16
2.2.1 Método para el cálculo de una instalación fotovoltaica	17
2.2.2 Horas solares	18
2.2.3 Baterías de gel	18
2.3 Controlador de carga	20
2.4 Microcontroladores	21
2.4.1 Convertidor analógico a digital	21
2.4 Microcontrolador pic 18f450	22
2.4.3 Juego de instrucciones y entorno de programación	23
2.4.4 Programación del pic	23
2.5 MikroC	23
2.6. Protel	24
2.6.1 Diseño electrónico automatizado	24
2.7 Teoría de control	26
2.7.1 Estrategias de control mas frecuentes	28

2.7.2 Reguladores PID	28
2.8 Sistema de monitoreo de la calidad del agua	28
3 DESARROLLO DEL PROYECTO	30
3.1 Fundamentos de los sistemas voltaicos	30
3.2 Control de carga de la batería	33
4 RESULTADOS	39
4.1 Material utilizado	39
4.2 Funcionamiento	39
5 CONCLUSIONES	43
5 BIBLIOGRAFIAS	44
7 ANEXOS	45

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Cartografía del rio sabinal	3
Fig. 2 Monitoreo a mano	4
Fig. 3 Tempocontrolador	6
Fig. 4 CIE-UNAM	9
Fig. 5 Temixco Morelos	10
Fig. 6 Centro de Investigación en Energía	11
Fig. 7 Sistema solar fotovoltaico	12
Fig. 8 Estructura del semiconductor	14
Fig. 9 Conversión directa de la energía solar en energía eléctrica	15
Fig. 10 Unión de baterías	17
Fig. 11 Batería de gel	19
Fig. 12 Controlador de carga	20
Fig. 13 Vista en 3D de un diseño de PCB	24
Fig. 14 Sistema lazo cerrado	27
Fig. 15 Sistema de monitoreo de la calidad del agua	29
Fig. 16 Diagrama del proceso fotovoltaico	30
Fig. 17 Diagrama del sistema solar fotovoltaico	33
Fig. 18 Diagrama de flujo	34
Fig. 19 Diagrama esquemático del controlador de carga	35
Fig. 20 Divisor de tensión	36
Fig. 21 Ubicación de la pantalla LCD	37
Fig. 22 Etapa de potencia	37
Fig. 23 Conexiones del dispositivo	38
Fig. 24 Diagrama de circuito impreso	38
Fig. 25 Tarjeta de control terminada	39
Fig. 26 LCD y leds	40

Fig. 27 Leds indicadores de operación enumerados	40
Fig. 28 Led indicador de operación del circuito de carga	41
Fig. 29 Led indicador de descarga	42
Fig. 30 Curva del comportamiento de un panel solar en un día	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de la instalación fotovoltaica	17
Tabla 2. Características fundamentales	22
Tabla 3. Parámetros a considerar	30
Tabla 4. Nivel de porcentajes de una batería de acuerdo al voltaje	33
Tabla 5. Cambio de potencia en función del tiempo	45

"2010 Año de la Patria, Bicentenario del Inicio de la Independencia y Centenario del Inicio de la Revolución"



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INFORME DE REVISION DEL REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

FECHA: 18 de Junio 2010

C. ING. VICENTE LEON OROZCO
JEFE DEPTO. ING. ELECTRICA y ECA.
PRESENTE

Por este medio, comunicamos a usted el resultado emanado de la revisión al siguiente Informe de Residencia Profesional, realizado durante el semestre ENERO / JUNIO 2010.

a) Nombre de los Residentes :	GAMBOA TORRES SERGIO
b) Carrera:	INGENIERIA ELECTRONICA
c) Nombre del Proyecto:	"Sistema de suministro de electricidad a partir de fuentes renovables de energía aplicado al sistema de monitoreo de la calidad de agua de cuencas hidrográficas con dispositivos móviles"

HA SIDO:

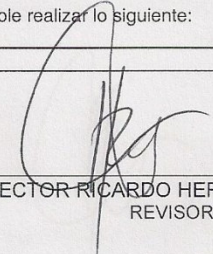
APROBADO

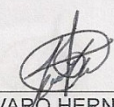
O

NO APROBADO

Indicándole realizar lo siguiente:

ATENTAMENTE


DR. HECTOR RICARDO HERNANDEZ DE LEON
REVISOR


ING. ALVARO HERNANDEZ SOL
REVISOR

Carretera Panamericana Km. 1080, . C.P. 29050, Apartado Postal 599
Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87
<http://www.ittg.edu.mx>



ISO 9001:2000
PROCESO EDUCATIVO
Alcance del Sistema: Proceso Educativo



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA
U.N.A.M.



OF/POS/CONS/041/2010

Asunto: Carta de Liberación

M.C. ROBERTO CARLOS GARCÍA GÓMEZ
JEFE DE DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
PRESENTE:

El que suscribe, Dr. Ignacio S. Torres Alvarado, Coordinador de Docencia en el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, informa que el estudiante: **Sergio GAMBOA TORRES**, con número de control **06270045** y alumno de la carrera de Ing. Electrónica, realizó su **Residencia Profesional** en el Centro de Investigación en Energía UNAM, durante el período comprendido del 8 de febrero al 8 de junio del 2010, cubriendo un total de 640 horas. Así mismo me permito informarle que el C. Gamboa Torres, desarrolló el proyecto "*Sistema de suministro de electricidad a partir de fuentes renovables de energía aplicado al sistema de monitoreo de la calidad del agua de cuencas hidrográficas con dispositivos móviles*", bajo la dirección del Dr. Sergio A. Gamboa Sánchez.

A petición del interesado y para los fines legales que mejor le convengan, se extiende la presente en la ciudad de Temixco, Morelos, a los catorce días del mes de junio del dos mil diez.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

DR. IGNACIO S. TORRES ALVARADO
COORDINADOR DE DOCENCIA
CIE-UNAM

ISTA*mlac



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA
COORDINACIÓN DE DOCENCIA



Priv. de Xochicalco s/n Col. Centro Temixco, Mor. C.P. 62580

Cvca. 01 (777) 362 0090 Fax Cvca. 01 (777) 325 0018

www.cie.unam.mx

1 INTRODUCCION

1.1 FUENTES RENOVABLES

Las fuentes renovables de energía se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta. Son aquellas que se regeneran y son tan abundantes que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no; además, usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente. La electricidad, calefacción o refrigeración generados por las fuentes de energías renovables, consisten en el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el viento, los residuos agrícolas u orgánicos. Incrementar la participación de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO₂. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales.

Por ello, se deben implementar otras medidas que realmente sean una solución para el ahorro de energía y se contribuya al bienestar económico de la población y del país e inclusive contribuir a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

1.1.1 ENERGÍA EÓLICA

Es la fuente de energía que está creciendo más rápidamente y, si los gobiernos le aseguran el apoyo necesario, podría cubrir en el 2020 el 12% de toda la electricidad mundial. La energía eólica requiere condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. Se considera que vientos con velocidades promedio entre 5 y 12.5 metros por segundo son los aprovechables.

El viento contiene energía cinética (de las masas de aire en movimiento) que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aeroturbinas, las cuales están integradas por un arreglo de aspas, un generador y una torre, principalmente.

1.1.2 HIDRÓGENO

En las células de hidrógeno se rompe una molécula de agua (H₂O) para obtener hidrógeno con el cual se produce electricidad. El único subproducto resultante es oxígeno y vapor de agua. Estas células se están utilizando en hogares y negocios de algunos países desarrollados; incluso fabricantes de automóviles ya tienen vehículos que funcionan con este sistema.

1.1.3 ENERGÍA SOLAR

La energía solar que recibe nuestro planeta es resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del sol. Esa radiación solar se puede transformar directamente en electricidad (solar eléctrica) o en calor (solar térmica). El calor, a su vez, puede ser utilizado para producir vapor y generar electricidad.

La energía del sol se transforma en electricidad mediante células fotovoltaicas, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. El material base para la fabricación de la mayoría de las células fotovoltaicas es el silicio. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%. Aun así, un metro cuadrado puede proveer potencia suficiente para operar un televisor mediano.

Para poder proveer de energía eléctrica en las noches, las celdas fotovoltaicas requieren de baterías donde se acumula la energía eléctrica generada durante el día.

En la actualidad se están desarrollando sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica, evitando así el uso de baterías, por lo que la energía que generan se usa de inmediato.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la calidad de agua de los principales afluentes del estado de Chiapas, se encuentra en niveles muy bajos, como lo es el caso del río Sabinal (Fig.1) situado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, esto se debe a la cantidad tan alta de contaminación que en la mayor parte de los casos es provocada por los asentamientos humanos, por esta razón los ríos tienen impactos negativos en el medio ambiente y en la salud.

Como sabemos el agua es un recurso vital para la vida, no solo del hombre sino de todos los seres vivos, por eso es de gran importancia conocer cuál es su calidad para determinar si esta es utilizable para riego, potabilización, o simplemente determinar en que niveles de contaminación se encuentra y el tipo de contaminantes que contiene o ya sea para detectar los puntos en los que se contamina para posteriormente regularizar el establecimiento donde se vierten estos tipos de contaminantes.



Fig.1 Cartografía del Río Sabinal.

En el Estado de Chiapas al igual que en el resto del país las instituciones gubernamentales encargadas de realizar los monitoreos para conocer la calidad de los cuerpos de agua, se ven rebasados por el bajo numero de personas involucradas Fig. 2, (sobre todo en el trabajo de campo), y a los altos costos que tiene el muestrear un cuerpo de agua a lo largo de su recorrido, esto solamente se realiza cuando es solicitado por algún ciudadano, o cuando ya se presento un problema ambiental y/o de salud.

Es aquí donde nace la presente propuesta, donde un grupo multidisciplinario considera que se deben unir esfuerzos de algunas áreas del conocimiento, para dar una aplicación inmediata en el monitoreo de la calidad de un Río importante para la capital del Estado de Chiapas, como es el río Sabinal. Esta es una estrategia para rehabilitar la cuenca que se encuentra alterada por diversos contaminantes que previamente se han estudiado por las instituciones gubernamentales.

El monitoreo de la calidad del agua, se lleva a cabo a través de estudios periódicos, sin embargo debido al intervalo de tiempo entre los mismos (normalmente de un mes), es difícil llevar a cabo un control actualizado de la calidad del agua. También existe el problema, de que las autoridades no tienen la información oportuna y confiable para que tomen una decisión acertada acerca del uso que se le da al agua en nuestra comunidad. Con un sistema de monitoreo que funcione a través de dispositivos móviles conectados en red, se puede tener una manera eficiente, oportuna y fiable parámetros que nos ayuden a determinar la calidad del agua en el río Sabinal para mejorar la toma de decisiones.



Fig. 2 Monitoreo a mano.

El agua, como sabemos es un líquido vital para la vida del ser humano y es por esta razón que es de gran importancia conocer su calidad y mantenerla dentro de los estándares oficiales para el uso al que se ha destinado.

Debido a la ubicación y a las condiciones en las que se implementara esta red, el suministro de energía eléctrica para la alimentación de estos dispositivos que serán instalados a lo largo de la cuenca del rio sabinal, es necesario idear la forma de resolver éste problema, por lo que en este proyecto se plantea la posibilidad de La utilización de energías renovables debido a que este proyecto es de índole ambiental y se debe recurrir a estas tecnologías para llevar a cabo un desarrollo sustentable.

El término de energía alternativa o renovable, se refiere a los recursos que podemos utilizar de forma ilimitada, es decir, la cantidad disponible en la tierra y que en la escala de tiempo humana no desaparecerá al ser aprovechada.

El Sol es el recurso más importante, es la principal fuente directa e indirecta en el ciclo de transformación energética dentro de la atmósfera terrestre. Los intentos de aprovechamiento de la energía solar de forma directa, utilizando la tecnología actualmente disponible, tratan de emular lo que la Naturaleza realiza desde hace millones de años: convertir la energía electromagnética irradiada por el Sol en otras formas de energía. Por lo cual para este caso se opto por la utilización de la energía solar fotovoltaica como la opción más viable para esta aplicación. Desarrollando un sistema de control de carga y descarga de una batería de plomo-acido de electrolito líquido.

Por lo que se debe realizar en este trabajo el sistema de suministro de la energía a partir de fuentes renovables para este dispositivo de un consumo no mayor a 3 W a 12V.

1.3 ESTADO DEL ARTE

1.3.1 CONTROLADOR DE CARGA TEMPO-CONTROLADOR

Existen controladores como el GP-3-12-15KM (fig. 3) que además controlar la carga y descarga del acumulador de para pueden ser programados por el usuario, el tiempo que requiere su funcionamiento.

Las luminarias solares requieren de un controlador que regula el estado de carga y descarga de las baterías, así como enciende y apaga la luminaria según se programe.

Las principales funciones del tempo controlador son:

- *Previene de una sobrecarga de las baterías por el panel fotovoltaico*
- *Previene una descarga excesiva de la batería por la luminaria, desconectándola por un valor bajo del voltaje de la batería.*
- *Mantiene a la batería en su estado de máxima carga posible.*
- *Controla el tiempo de operación de la luminaria solar.*
- *Sirve como punto de interconexión entre el panel fotovoltaico, el banco de baterías y la luminaria solar.*

Tempo-controlador GP - 3TC - 12 - 15KM (Fig 3).

CARACTERISTICAS:

Tempocontrolador integrado de carga de 12 vcd, 15A.

Tipo de regulación: automática por conmutación de relays.

Voltaje nominal 12V.

Corriente máxima de cargas 15A.

Corriente máxima de módulos 15A.

Protección contra corriente en sentido inverso hacia panel solar.

Tiene indicadores luminosos de:

1.- actividad solar

3.- batería baja

2.- carga activada

4.- fusible abierto

Tiempo de activación de lámparas programable.

Protección contra sobrecargas con fusible de 15A.

Máximo voltaje de carga: 14.6 +/-0.2v.

Desconexión de carga por bajo voltaje: 11.7 v.

Reconexión de carga: 12.6 v.

Corriente de consumo en operación normal: 10 mA.

Protección contra descargas atmosféricas.

Tiene conectores anticorrosivos de fácil acceso que admiten cables hasta calibre 6 AWG.

Fabricado con un gabinete de plástico y base de aluminio, con las siguientes medidas:

Largo: 150mm. Ancho: 113mm. Alto: 46mm.

Peso Aproximado 525 gr.



Fig.3 Tempocontrolador

1.3.2. CONTROLADOR DE CARGA SG-4 CON-MO4

También se encuentran otros controladores como el **SG-4 CON-MO4** SunGuard de Morningstar.

La tecnología de este controlador provee confiabilidad excepcional, Alta calidad y bajo costo. Diseño tipo serie.(no por derivación tipo Shunt) 100% estado sólido, Compensación de temperatura, especificado para sobrecarga 25%, no necesita compensación adicional, consumo propio de 6 mA. Gabinete ABS resistente a impactos totalmente encapsulado en epoxy. Controlador solar de 4.5 Amp.

1.4 JUSTIFICACION

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.

Dentro de la Identificación y selección del sistema de suministro de electricidad a partir de fuentes renovables de energía para un dispositivo que consta de un desarrollo de interfaz electrónica entre un dispositivo móvil y un módulo de sensores para monitorear los parámetros que determinan la calidad del agua en cuencas hidrográficas. Se determino que lo mas recomendable es la utilización de módulos fotovoltaicos (paneles solares) debido a que las condiciones en las que se encontrara esta red de monitoreo son mas aptas para el manejo de estos dispositivos además de que son los mas usados y por consiguiente mas comerciales descartando así el uso de aerogeneradores ya que estos requieren condiciones tales como condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos, además de ser mas costosos, menos comerciales así como también la posibilidad de utilizar celdas de hidrogeno ya que además de tratarse de tecnologías en desarrollo, son mas costosas y requieren de un mantenimiento mas frecuente.

Incrementar la participación de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO₂. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales.

Los principales beneficios que brinda el uso de este dispositivo son de diversa índole, entre los cuales podemos mencionar:

- a) El aspecto ecológico ambiental, al lograr que la energía no se desperdicie, se ocasiona una disminución en la demanda de su producción y por consiguiente la disminución del efecto invernadero
- b) Es económico, al no existir desperdicio de energía se paga por un menor consumo y prolonga la vida útil del equipo y
- c) El aspecto tecnológico, al desarrollar tecnología propia que propicia el desarrollo del país al no depender de los avances de la tecnología extranjera. Con la finalidad de poder acoplarlo al resto del sistema de monitoreo.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar y aplicar un sistema de suministro de electricidad a partir de fuentes renovables de energía a un sistema para monitorear la calidad del agua de cuencas hidrográficas con dispositivos móviles.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Adquirir conocimientos para instalar un sistema solar fotovoltaico.
2. Desarrollar un sistema de control de carga y descarga de una batería de gel, siendo alimentada con un modulo solar fotovoltaico.
3. Monitorear en tiempo real el proceso de carga y descarga de una batería de gel.

1.6 DELIMITACION DEL PROBLEMA

En el presente trabajo se pretende desarrollar un sistema de suministro de electricidad para una red de monitoreo que determina la calidad del agua de un rio con dispositivos móviles a partir de fuentes renovables de energía en el cual se estudió el funcionamiento de un modulo fotovoltaico, el diseño y funcionamiento de un controlador de carga así como el calculo del almacenamiento y de la capacidad de potencia que debe suministrar el modulo fotovoltaico en función a la carga que se desea alimentar. Así como también, el estudio, comportamiento y funcionamiento de estos equipos en función al las variables y a las condiciones del clima. Y la posibilidad de utilizar otras alternativas de suministro energético como lo son los aerogeneradores o celdas de hidrogeno.

1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.7.1 ALCANCES

Esta investigación solo pretende implementar el uso de energía solar fotovoltaica debido a que esta es la mas viable en esta aplicación ya que las condiciones en las que se encontrara esta red de monitoreo es mas propicia para este proyecto.

1.7.2 LIMITACIONES

A diferencia de los controladores convencionales este se limita a no poder ser programado manualmente es decir únicamente puede ser programado por el diseñador en caso de llegar a necesitar de alguna modificación.

1.8 CARACTERIZACION DEL AREA EN QUE SE PARTICIPÓ

El desarrollo del presente trabajo de residencia profesional fue desarrollado en el Departamento de materiales solares del Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México CIE-UNAM (Fig. 4).

El CIE es el principal centro de investigación en energías renovables en México, participa en la formación de recursos humanos de alto nivel y en docencia en programas de la UNAM y de otras instituciones de educación superior del país, principalmente del Estado de Morelos. En el CIE se realizan además acciones de relevancia en la vinculación y divulgación con los sectores público, privado y social.



Fig. 4 CIE-UNAM

1.8.1 MISIÓN

Formar investigadores de calidad, capaces de generar nuevo conocimiento y concebir estrategias técnicas y metodologías que solucionen problemas clave y prioritarios en el desarrollo del país.

1.8.2 OBJETIVOS

Producir investigación original tanto básica como aplicada

a) Los Estudios de Maestría tienen como objetivo desarrollar una alta capacidad para la actividad profesional, el ejercicio de la docencia, así como la iniciación a la investigación teórica y aplicada.

b) Los Estudios de Doctorado tienen el propósito de desarrollar en los estudiantes la capacidad de proponer y realizar investigación (teórica y aplicada) original y de frontera.

c) Realizar investigación científica y tecnológica en la generación, transmisión, conversión, almacenamiento, utilización e impactos de la energía, en particular de las fuentes renovables. Llevar a cabo estudios, asesorías y capacitación a instituciones en el área de la ingeniería. Formar estudiantes de licenciatura y posgrado a través de cursos y tesis y difundir conocimientos adquiridos en el área, para alcanzar el desarrollo sustentable del país.

1.8.3 UBICACIÓN GEOGRAFICA

El Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México CIE-UNAM está situado en la ciudad de Temixco en el estado de Morelos en el centro de la República Mexicana. (Fig. 5).

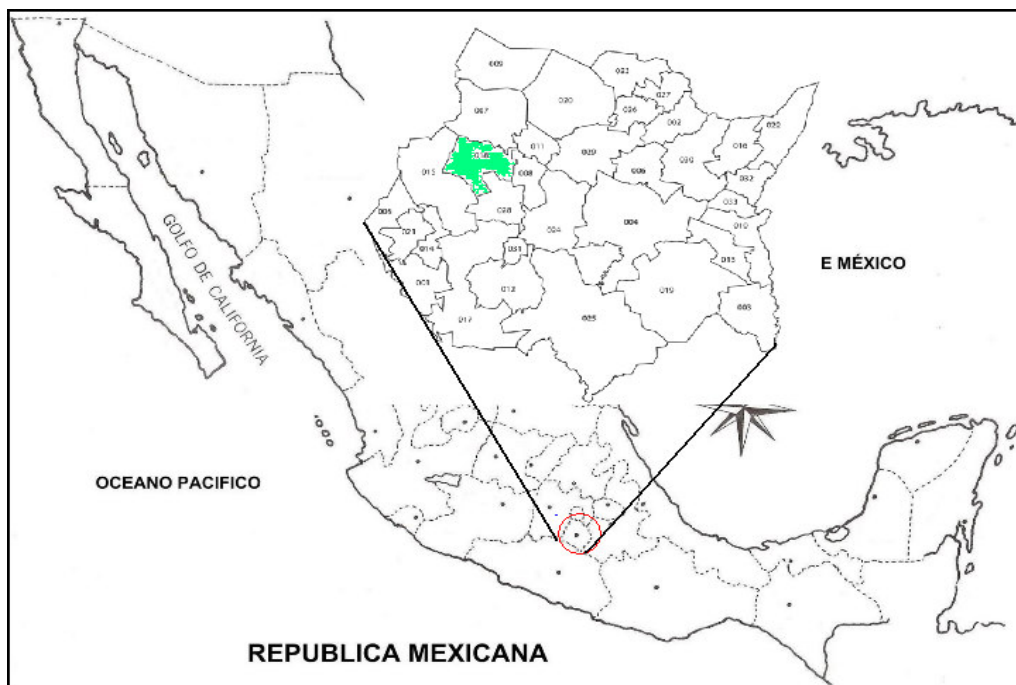


Fig.5 Temixco Morelos.

El CIE se encuentra situado sobre la Avenida Xochicalco s/n. Centro. C.P 62580. Temixco, Morelos. México. Tomar la Autopista de cuota a Cuernavaca (autopista 95) fig. 6, seguir las indicaciones que digan Acapulco Cuota, salir en la salida que dice Brisas; seguir los señalamientos de la Ex Hacienda de Temixco. Al llegar al semáforo en la avenida con camellón (que es la carretera federal), dar vuelta a la izquierda; en el siguiente semáforo (donde hay un Domino's en la esquina), dar vuelta a la derecha, después de pasar el puente, en la primera calle, dar vuelta a la derecha (en la esquina está la escuela preparatoria José María Morelos y Pavón) y en la primera calle dar vuelta a la izquierda. Al fondo se encuentra el CIE.

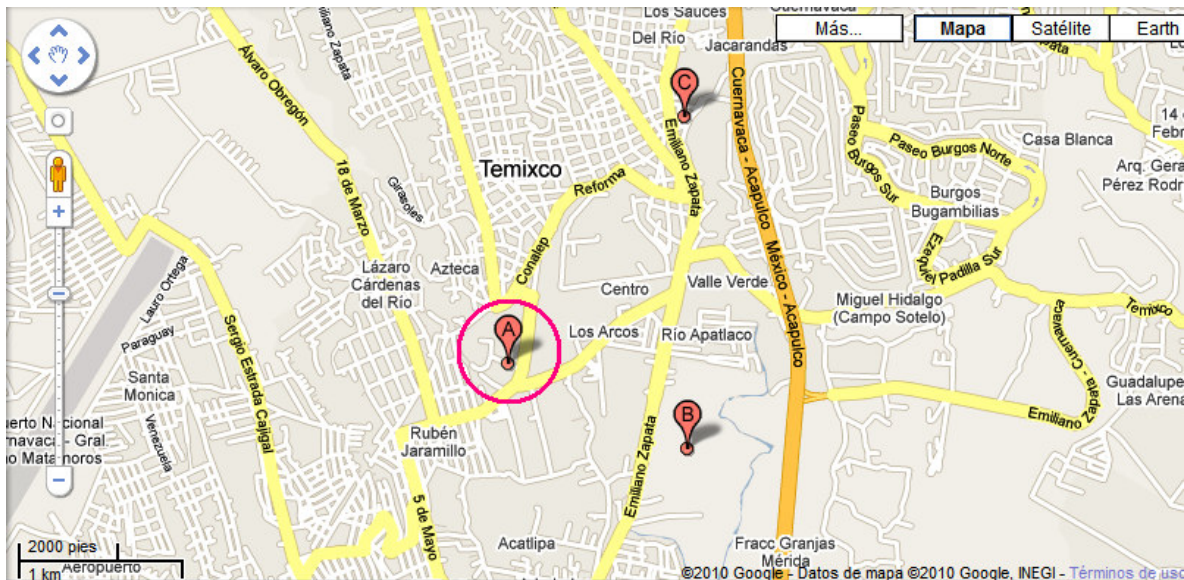


Fig. 6 Centro de Investigación en Energía

1.8.5. EQUIPO UTILIZADO

Modulo fotovoltaico policristalino de alto rendimiento (potencia pico nominal 60 w)

CARACTERISTICA PRINCIPAL

La tecnología de última generación de las celdas Kyocera, conjuntamente con procesos de fabricación totalmente automáticos, dan como resultado estos módulos fotovoltaicos policristalinos de alta eficiencia.

La eficiencia de conversión de las celdas solares Kyocera es superior al 14%.

El frente del módulo es de vidrio templado, de bajo contenido de hierro. Las celdas están encapsuladas entre capas de material plástico (E.V.A.) para darles resistencia a la humedad, estabilidad a la radiación ultravioleta y aislación eléctrica. La cara posterior esta formada por un polímero de capas múltiples de alta resistencia a la acción mecánica (PET).

El marco es de aluminio anodizado, para dar al módulo su resistencia estructural y facilidad de instalación.

1 batería "Delkor". De 35Ah de 12 v consta de 6 placas de 2,12 V en total 12 V.
(Fig. 7).

Software; protel y MikroC.



Fig. 7 Sistema solar fotovoltaico

2 FUNDAMENTO TEORICO

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente de los rayos del sol, gracias al efecto fotoeléctrico de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina. También están en fase de laboratorio métodos orgánicos.

Se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas y para producir electricidad para redes de distribución.

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por un cristal o lámina transparente superior y un cerramiento inferior entre los que queda encapsulado el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas. La lámina inferior puede ser transparente, pero lo más frecuente es un plástico de tedlar.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.

2.1.1 CELDAS SOLARES

Son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química. El principio de funcionamiento de una celda solar fotovoltaica está basado en el comportamiento de los semiconductores ya mencionados, y está constituida por un disco monocristalino de silicio, dopado en la capa superficial que en este caso se encuentra expuesta al Sol cuyas características son tipo n y su espesor es de 0.6mm, mientras que en la parte inferior se encuentra una capa de material tipo p con un espesor hasta de 0.4 mm, a partir de esta composición, se produce una unión p-n capaz de generar corriente eléctrica a través de un circuito externo de modo que puede producir trabajo útil (ver fig. 9) donde se aprecia la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica, donde la capa expuesta al sol es de tipo n y la inferior de tipo p.

Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; éste es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años.

Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años. Estas celdas trabajan a un 14% de su capacidad con respecto a la cantidad de energía radiante recibida, si la radiación varía, la corriente de la celda tendrá también una variación proporcional.

Adicionalmente, su variación está en función del ángulo de incidencia de los rayos solares respecto a la superficie de la celda, entonces para un uso eficiente, es importante implementar un sistema de ajuste que reciba la máxima cantidad de energía radiante.

Los semiconductores tipo p son materiales dotados de carga eléctrica de signo positivo principalmente y se les llama "huecos" debido a la ausencia de electrones; en cambio, los de tipo n poseen carga eléctrica pero negativa y están constituidos por electrones libres principalmente. Existen diversos materiales para construir este tipo de semiconductores pero el Silicio es el más utilizado porque al doparlo, es posible que adquiera alguna de estas dos características, para convertirlo en semiconductor tipo n se dopa con fósforo o con arsénico, en cambio para convertirlo en tipo p se dopa con boro o con galio, (Fig. 8).

Aquí se muestran los tipos de semiconductores gracias al dopaje del silicio: con boro genera un hueco con carga eléctrica positiva tipo p, en cambio, el fósforo genera un electrón libre con carga positiva tipo n, utilizados en las celdas fotovoltaicas. (Fig. 8)

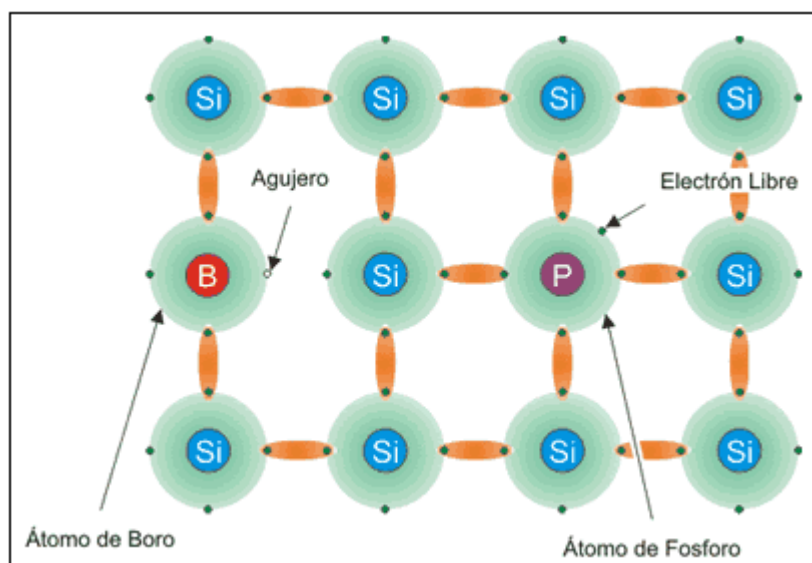


Fig. 8. Estructura del semiconductor

De acuerdo a las coordenadas geográficas del centro de la república mexicana, es recomendable colocar el panel solar con una inclinación de 20°. Orientado hacia el sur de manera que este quede lo mas perpendicular posible hacia el sol. (Fig. 9).

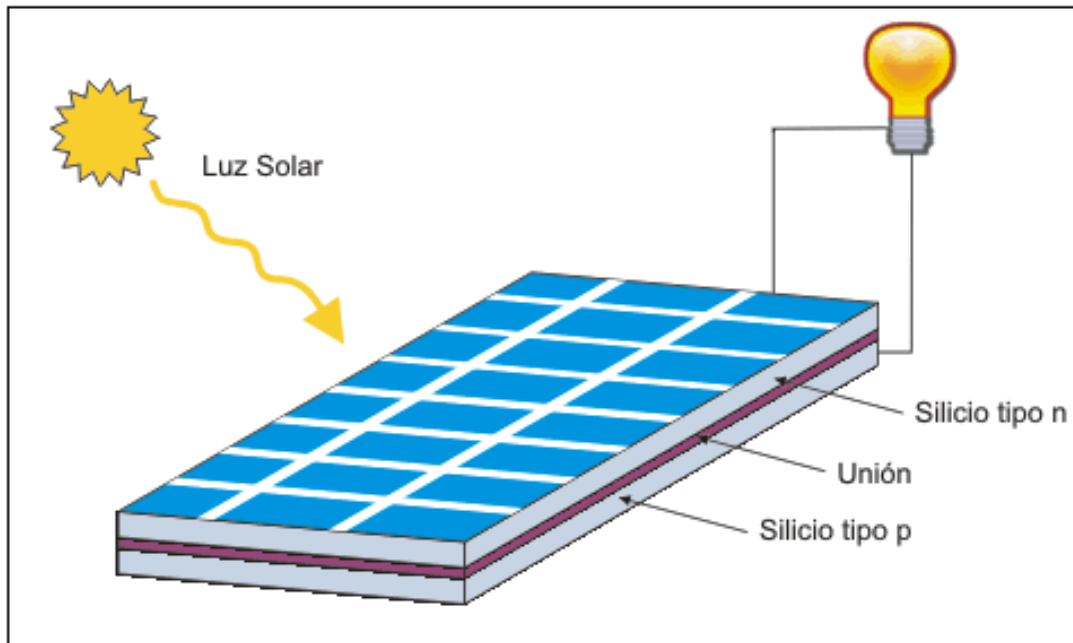


Fig. 9. Conversión directa de la energía solar en energía eléctrica

Puesto que una sola celda fotovoltaica se construye para tener un voltaje de trabajo cercano a 0.5 V, estas generalmente se conectan juntas en serie (positivo con negativo) para proporcionar voltajes más grandes. Los paneles se fabrican en una amplia gama de tamaños para diversos propósitos que generalmente caen en una de tres categorías básicas.

Otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y sensores que son utilizados para mantener orientados los paneles fotovoltaicos en ángulo recto con respecto a la dirección de la energía radiante del Sol. Los mecanismos de seguimiento pueden casi duplicar la salida de energía de un conjunto de paneles fotovoltaicos. Se requiere de un análisis cuidadoso para determinar si el incremento en la inversión y la complejidad mecánica de un dispositivo de seguimiento es rentable.

2.1.3 APLICACIONES DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Durante gran parte de los años ochenta y de principios de los años noventa el mayor mercado para los paneles solares estaba en las fuentes de alimentación para áreas remotas y algunos productos de consumo (relojes, juguetes y calculadoras).

Sin embargo a mediados de los años noventa fue lanzado un importante esfuerzo para desarrollar paneles solares integrados en la construcción de edificios para ser conectados a la red.

El tejado fotovoltaico actualmente está liderando el desarrollo del mercado en Japón, Europa y los EE.UU. Japón tiene actualmente un programa que apunta a construir 70.000 hogares solares, con lo cual para el año 2010 esperan alcanzar unos 4.820 MW producidos por sistemas fotovoltaicos. En Europa, varios países están apoyando la construcción de hogares solares, con el Parlamento Europeo proponiendo un esquema 1.000MW.

2.2 ALMACENAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Frecuentemente es necesario almacenar la energía debido a que ésta se requiere aun cuando el Sol no está brillando (ya sea durante la noche o en períodos de cielo nublado) o en cantidades mayores a las que pueden ser provistas directamente del conjunto. Se utilizan generalmente baterías de "ciclo profundo" diseñadas especialmente. A diferencia de las baterías normales, éstas pueden descargar cerca de la mitad de la energía almacenada varios miles de veces antes de se que deterioren. Cada batería para este fin generalmente se adquiere de 2 V, y el conjunto total de baterías esta formado generalmente por varias baterías conectadas en serie o en paralelo (fig. 10) para proporcionar el nivel de energía requerido. Las baterías deben ser las adecuadas para satisfacer cada uso particular, dependiendo de la radiación solar diaria total, la carga total, la carga máxima y el número de días de almacenaje requerido.

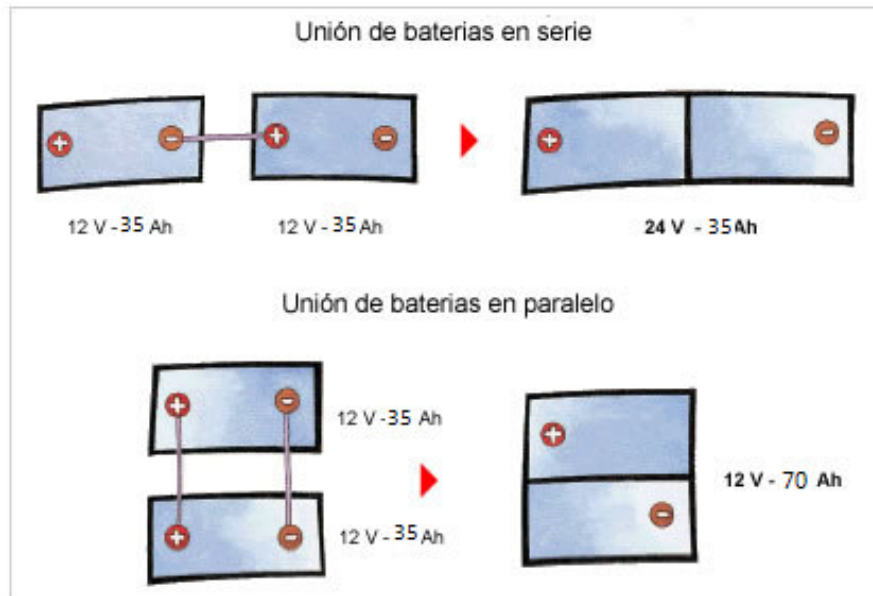


Fig. 10 Unión de baterías

2.2.1. MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Para el cálculo de una instalación fotovoltaica se necesita saber la carga a consumir y el voltaje de alimentación, si es posible para una mejor comprensión hacer una tabla como la siguiente (tabla 1). Y poner por ejemplo si lo que se requiere alimentar es una lámpara de 12 vcd a 15W.

Tabla 1. Dimensiones de la instalación fotovoltaica

Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas (h)	Energía (W-h)
lampara	1	15	12	180

A continuación se deben seguir los siguientes pasos partiendo de estos datos para determinar la corriente que se requiere nombraremos cada paso con la letra A;

a) Cálculo de la corriente requerida

- A1 Carga total diaria (sumar la columna Energía (W-h))*
- A2 Tensión CD del sistema (generalmente 12 ó 24 V)*
- A3 Carga diaria corriente (A1/A2)*
- A4 Multiplicar con el factor de seguridad 20% (para compensar las pérdidas en las baterías y otros componentes)*
- A5 Carga diaria corriente corregida (A4*A3)*
- A6 Promedio de horas de sol por día.*
- A7 Amperaje que el sistema tendrá que producir (A5/A6)*

Una vez terminada esta primera etapa, se procede a calcular el número de paneles, basado de los datos obtenidos en la etapa anterior precedido por la letra B.

b) Cálculo del número de paneles

B1 Amperaje máximo del modulo solar seleccionado

(según especificaciones del fabricante 60 W)

B2 Divida la línea A7 entre la B1 para obtener el número de módulos que se necesita

B3 Redondee al número completo inmediato superior

Y por último, para determinar las dimensiones del almacenamiento se siguen estos últimos pasos precedidos ahora por la letra C.

c) Cálculo del número de baterías

C1 Carga total diaria (A5)

C2 Días de reserva (este es el tiempo que el sistema tiene que estar funcionando sin sol)

*C3 Capacidad nominal del banco de baterías (C1*C2)*

C4 Factor de profundidad de descarga (generalmente 70%, significa que siempre se deja un 30% de reserva en las baterías)

C5 Capacidad corregida del banco de baterías (C3/C4)

C6 Capacidad nominal de batería

(según especificaciones del fabricante)

C7 Número de baterías (C5/C6)

C8 Número de baterías (redondear C7)

2.2.2 HORAS SOLARES

Es el promedio de horas en las que el sol proporciona un promedio de 1000W de potencia por metro cuadrado durante un día en condiciones ideales. Para el caso del centro de la república mexicana se consideran 5 horas solares.

2.2.3 BATERIA DE GEL

Las baterías de GEL son también estacionarias, por lo que se caracterizan por su larga duración. La diferencia radica en que el electrolito está gelificado, de modo que no precisan de mantenimiento y pueden funcionar colocadas en cualquier posición.

La gama de productos con tecnología de GEL ofrece baterías en elementos, de 2 V y en monoblocs, así como baterías de GEL en recipientes monobloc diseñadas especialmente para aplicaciones de energía solar fotovoltaica de mediana y pequeña potencia, ver (fig. 11).



Fig. 11 Batería de gel

Es un acumulador de descarga profunda (especialmente diseñado para aplicaciones solares), que almacena la energía producida por el generador fotovoltaico, pudiendo entregarla al consumo en el momento que se produce la demanda. Este elemento tiene una vida útil de aprox. 5 años, transcurrido ese tiempo, y mediante una evaluación técnica previa, deberá procederse al recambio del mismo.

El tiempo aproximado de carga de una batería de gel de 10 A/h a 12 VDC. Esta en función a la potencia del modulo fotovoltaico que la alimenta, para este caso, al ser alimentada con un panel que proporciona una corriente de 15Vdc a 2 A durante 5 horas al día. Solo basta con dividir la capacidad de la batería (10 A/h), con la corriente del panel solar (2A), por lo que ésta se cargara en 5 horas, en caso de estar totalmente descargada.

Las baterías de arranque tienen placas más frágiles y están diseñadas para entregar corrientes altas durante sólo por pocos segundos. Algunas baterías de arranque denominadas marinas tienen placas de grosor intermedio.

Las baterías pueden conectarse en serie para incrementar el voltaje, o en paralelo para incrementar la capacidad en Amperios hora del sistema de acumulación.

2.3 CONTROLADOR DE CARGA

Es un dispositivo electrónico que evita sobrecargas o descargas excesivas de los acumuladores como el de la (fig. 12), y asegura que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia. Construido con componentes electrónicos de alta calidad, su vida útil excede ampliamente la garantía dada por el fabricante.

Los equipos solares requieren de un controlador que regula el estado de carga y descarga de las baterías, así como enciende y apaga según se programe.

Las principales funciones del tiempo controlador son:

- *Previenen de una sobrecarga de las baterías por el panel fotovoltaico*
- *Previenen una descarga excesiva de la batería por el equipo, desconectándola por un valor bajo del voltaje de la batería.*
- *Mantiene a la batería en su estado de máxima carga posible.*
- *Controla el tiempo de operación de la luminaria solar.*
- *Sirve como punto de interconexión entre el panel fotovoltaico, el banco de baterías y la luminaria solar*



Fig. 12 Controlador de carga

2.4 MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

También conocidos como puertos de E/S, generalmente agrupadas en puertos de 8 bits de longitud, permiten leer datos del exterior o escribir en ellos desde el interior del microcontrolador, el destino habitual es el trabajo con dispositivos simples como relés, LED, o cualquier otra cosa que se le ocurra al programador.

Es básicamente una microcomputadora planteada para ser utilizada como controlador integrado o dedicado, el cual asiste en el monitoreo y control de la operación de una máquina, parte de un aparato o un proceso. Un microcontrolador es un circuito integrado programable diseñado especialmente para controlar sistemas electrónicos, se emplea para realizar una tarea determinada para la cual se debe programar. Contiene todos los componentes de una computadora, Dispone de procesador, memoria de programa, memoria RAM, memoria EEPROM, líneas de entrada y salida de datos y además esta asociado a múltiples recursos como contadores, temporizadores, convertidor analógico a digital, comparadores, y otras facilidades que lo hacen adaptable. Puede controlar cualquier cosa que imaginemos y suele estar contenido en el mismo aparato o módulo que controla.

Algunos puertos de E/S tienen características especiales que le permiten manejar salidas con determinados requerimientos de corriente, o incorporan mecanismos especiales de interrupción para el procesador.

2.4.1 CONVERTIDOR ANALÓGICO/DIGITAL

Como es muy frecuente el trabajo con señales analógicas, éstas deben ser convertidas a digital y por ello muchos microcontroladores incorporan un conversor A/D, el cual se utiliza para tomar datos de varias entradas diferentes que se seleccionan mediante un multiplexor.

Las resoluciones más frecuentes son 8 y 10bits, aunque hay microcontroladores con conversores de 11 y 12 bits, para resoluciones mayores es preciso utilizar conversores A/D externos. Los conversores A/D son uno de los periféricos más codiciados en el mundo de los microcontroladores y es por ello que muchísimos PIC los incorporan, siendo esta una de las características más destacables de los dispositivos que fabrica Microchip.

Típicamente cualquier pin de E/S puede ser considerada E/S de propósito general, pero como los microcontroladores no pueden tener infinitos pines, ni siquiera todos los pines que queramos, las E/S de propósito general comparten los pines con otros periféricos. Para usar un pin con cualquiera de las características a él asignadas debemos configurarlo mediante los registros destinados a ello.

2.4.2. MICROCONTROLADOR PIC18F4550

PIC18f4550: microcontroladores de 10 bits, con gran variedad de número de pines y prestaciones medias/altas.

Ventajas de los microcontroladores PIC de Microchip:

- *Amplia gama: gran variedad de familias que permiten adaptar el uC a las necesidades de cada aplicación*
- *Gran variedad de unidades funcionales (temporizadores, USART, I2C, SPI, unidades de comparación/captura/PWM, Convertidores A/D, USB, receptores/transmisores de RF, Ethernet, etc.)*
- *Precios competitivos*
- *Buen soporte (datasheet, libros, notas de aplicación, seminarios, mucha información disponible en internet)*

Tabla 2 Características fundamentales

CARACTERISTICAS	PIC18F4550	PIC18F2450
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	32.768	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256	256
Interrupciones	20	20
Líneas de E/S	35	24
Temporizadores	4	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	1	2
Módulos de Comparación/Captura/PWM Mejorado (ECCP)	1	0
Canales de Comunicación Serie	MSSP. EUSART	MSSP. EEUSART
Canal USB	1	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	1	0
Canales de Conversión A/D de 10 bits	13 Canales	10 Canales
Comparadores Analógicos	2	2
Juego de Instrucciones	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)
Encapsulado	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines	PDIP 28 pines SOIC 28 pines

2.4.3 JUEGO DE INSTRUCCIONES Y ENTORNO DE PROGRAMACIÓN.

El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada sleep.

Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware llamado MPLAB que incluye un simulador software y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C, BASIC como Mikroelectrónica. Microchip también vende compiladores para los PICs de gama alta ("C18" para la serie F18 y "C30" para los dsPICs) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

2.4.4 PROGRAMACIÓN DEL PIC

Para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PICs que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (In Circuit Serial Programming, programación serie incorporada) o LVP (Low Voltage Programming, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de unos 13 voltios.

2.5 MIKRO C

MikroC PRO para PIC es compilador de C completo para microcontroladores PIC de Microchip. Está diseñado para desarrollar, construir y depurar PIC basado en aplicaciones embebidas. Este entorno de desarrollo de rango amplio conjunto de características tales como: Fácil de utilizar el IDE, un código muy compacto y eficiente, la riqueza de hardware y software de bibliotecas, documentación completa, simulador de software, soporte de hardware depurador, COFF la generación de archivos y mucho más. Numerosos ejemplos ya hechos que son bien explicados le dará buen comienzo para su proyecto integrado.

2.6 PROTEL

Protel es un programa CAD de la empresa Altium para el diseño de circuitos electrónicos en su fase esquemática y el diseño del circuito o placa impresa (Fig.13). Este software también permite la programación y simulación de circuitos FPGA.

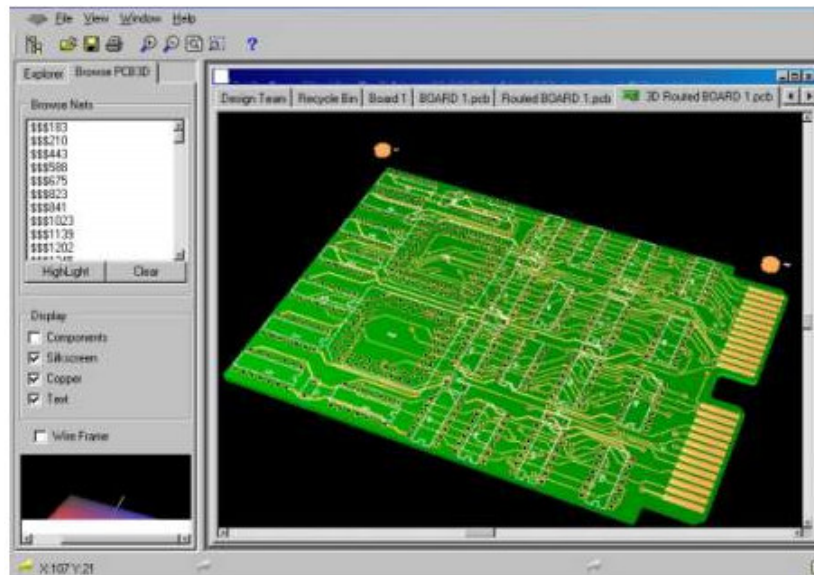


Fig. 13 Vista en 3D de un diseño de PCB.

2.6.1 DISEÑO ELECTRÓNICO AUTOMATIZADO

Los diseñadores de circuitos impresos a menudo utilizan programas de diseño electrónico automatizado (EDA por sus siglas en inglés), para distribuir e interconectar los componentes. Estos programas almacenan información relacionada con el diseño, facilita la edición, y puede también automatizar tareas repetitivas.

La primera etapa es convertir el esquemático en una *lista de nodos* (o *net list* en inglés). La lista de nodos es una lista de las patas y nodos del circuito, a los que se conectan las patas de los componentes. Usualmente el programa de *captura de esquemáticos*, utilizado por el diseñador del circuito, es responsable de la generación de la lista de nodos, y esta lista es posteriormente importada en el programa de ruteo.

El siguiente paso es determinar la posición de cada componente. La forma sencilla de hacer esto es especificar una rejilla de filas y columnas, donde los dispositivos deberían ir. Luego, el programa asigna la pata 1 de cada dispositivo en la lista de

componentes, a una posición en la rejilla. Típicamente, el operador puede asistir a la rutina de posicionamiento automático al especificar ciertas zonas de la tarjeta, donde determinados grupos de componentes deben ir. Por ejemplo, las partes asociadas con el subcircuito de la fuente de alimentación se le podría asignar una zona cercana a la entrada al conector de alimentación. En otros casos, los componentes pueden ser posicionados manualmente, ya sea para optimizar el desempeño del circuito, o para poner componentes tales como perillas, interruptores y conectores, según lo requiere el diseño mecánico del sistema.

El computador luego expande la lista de componentes en una lista completa de las patas para la tarjeta, utilizando plantillas de una biblioteca de *footprints* asociados a cada tipo de componentes. Cada footprint es un mapa de las patas de un dispositivo, usualmente con la distribución de los *pad* y perforaciones recomendadas. La biblioteca permite que los *footprint* sean dibujados sólo una vez, y luego compartidos por todos los dispositivos de ese tipo.

En algunos sistemas, los *pads* de alta corriente son identificados en la biblioteca de dispositivos, y los nodos asociados son etiquetados para llamar la atención del diseñador del circuito impreso. Las corrientes elevadas requieren de pistas más anchas, y el diseñador usualmente determina este ancho.

Luego el programa combina la lista de nodos (ordenada por el nombre de las patas) con la lista de patas (ordenada por el nombre de las patas), transfiriendo las coordenadas físicas de la lista de patas a la lista de nodos. La lista de nodos es luego reordenada, por el nombre del nodo.

Luego el programa trata de rutear cada nodo en la lista de señales-patas, encontrando secuencias de conexión en las capas disponibles. A menudo algunas capas son asignadas a la alimentación y a la tierra, y se conocen como plano de alimentación y tierra respectivamente. Estos planos ayudan a blindar los circuitos del ruido.

El problema de ruteo es equivalente al problema del vendedor viajero, y es por lo tanto NP-completo, y no se presta para una solución perfecta. Un algoritmo práctico de ruteo es elegir la pata más lejana del centro de la tarjeta, y luego usar un *algoritmo codicioso* para seleccionar la siguiente pata más cercana con la señal del mismo nombre.

Después del ruteo automático, usualmente hay una lista de nodos que deben ser ruteados manualmente para poder de esta forma imprimir el pcb y poder ser planchado.

2.7 TEORÍA DE CONTROL

La Teoría de Control es un campo interdisciplinario de la ingeniería y las matemáticas, que trata con el comportamiento de sistemas dinámicos. A la salida deseada de un sistema se la llama *referencia*. Cuando una o más variables de salida de un sistema necesitan seguir cierta referencia sobre el tiempo, un controlador manipula la entrada al sistema para obtener el efecto deseado en la salida del sistema.

Un regulador de lazo cerrado utiliza la realimentación para controlar los estados y las salidas de un sistema dinámico. El nombre de "lazo cerrado" hace referencia al camino que sigue la información en el sistema: las entradas al proceso (p. ej, la tensión que se aplica a un motor eléctrico) afecta a las salidas del proceso (p. ej., la velocidad o el par que ofrece el motor). Estas salidas se miden con sensores (captadores en el lenguaje de control) y se procesan, una vez comparadas con la referencia o consigna, mediante un controlador o regulador; el resultado, una señal de control, se añade a la entrada al proceso, cerrando el lazo. El control de lazo cerrado siempre debe estar formado por: - Un proceso - Medida y transmisión de la variable - Controlador - Elemento final de control

El control con lazo cerrado presenta las siguientes ventajas sobre el control en lazo abierto:

- corrección de las perturbaciones (tales como rozamiento impredecible en un motor)
- buen comportamiento incluso con incertidumbre en el modelo, es decir, en aquellos casos en que la estructura del modelo no representa perfectamente la realidad del proceso o los parámetros del modelo no se pueden medir con absoluta precisión
- permite estabilizar procesos inestables
- tolerancia a variaciones en los parámetros

La única desventaja del control en lazo cerrado, frente al control en lazo abierto, es que el primero reduce la ganancia total del sistema. Esto lleva al uso conjunto del control en lazo abierto y cerrado, para mejorar el rendimiento.

Una arquitectura muy frecuente para un regulador en lazo cerrado es el regulador PID.

La salida del sistema $y(t)$ se compara con el valor de referencia $r(t)$, a través de las medidas de un sensor. Se alimenta el error e al regulador C . Se define el error e como la diferencia entre el valor de referencia y la salida del sistema. En función

del error, el regulador modifica su salida, que es precisamente la alimentación u al proceso que se está controlando, P . El sistema en la (fig.14), es un sistema sencillo de una sola entrada y una sola salida, *SISO* (del inglés *single-input-single-output*); los sistemas más complejos, *MIMO* (*Multi-Input-Multi-Output*) son bastante frecuentes. En estos casos, las variables se representan mediante vectores en lugar de valores escalares.

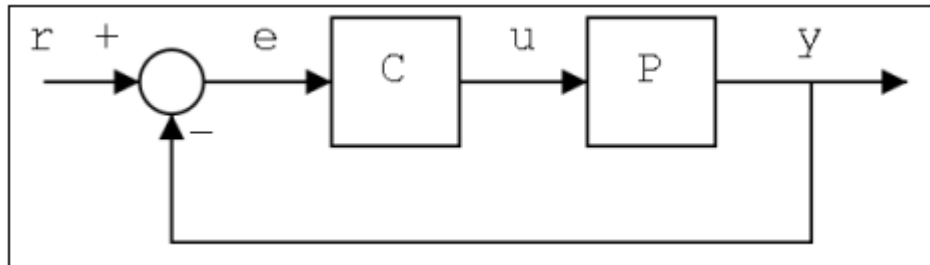


Fig. 14 Sistema lazo cerrado

Si suponemos que el regulador C y el proceso P son lineales e invariantes en el tiempo (es decir, los elementos de su función de transferencia $C(s)$ y $P(s)$ no dependen del tiempo), el sistema de la figura se puede analizar aplicando la transformada de Laplace sobre las variables. Esto proporciona las siguientes relaciones:

$$Y_{(s)} = P_{(s)}U_{(s)}$$

$$U_{(s)} = C_{(s)}E_{(s)}$$

$$E_{(s)} = R_{(s)} - Y_{(s)}$$

Despejando $Y(s)$ en función de $R(s)$ se obtiene:

$$Y_{(s)} = \left(\frac{P_{(s)}C_{(s)}}{1+P_{(s)}C_{(s)}} \right) R_{(s)}$$

2.7.1 ESTRATEGIAS DE CONTROL MÁS FRECUENTES

Cada sistema de control debe garantizar en primer lugar la estabilidad del comportamiento en lazo cerrado. En los sistemas lineales, esto se puede conseguir directamente mediante asignación de los polos. En los sistemas no lineales hay que recurrir a teorías específicas, habitualmente basadas en la Teoría de Aleksandr Lyapunov para asegurar la estabilidad sin tener en cuenta la dinámica interna del sistema. En función de la especificación de requisitos del sistema (es decir, de las condiciones que deseamos imponer a la salida) se debe escoger una estrategia de control u otra. A continuación se presenta una lista de las técnicas de control más habituales:

2.7.2 REGULADORES PID

El **regulador PID** probablemente sea el diseño de control más empleado, por ser el más sencillo. "PID" son las siglas de Proporcional-Integral-Derivativo, y se refiere a los tres términos que operan sobre la señal de error para producir una señal de control. Si $u(t)$ es la señal de control que se envía al sistema, $y(t)$ es la medición que se hace de la señal de salida y $r(t)$ es la salida deseada, el error se define como $e(t) = r(t) - y(t)$ y un regulador PID toma el aspecto.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \dot{e}(t)$$

El primer sumando aplica una señal proporcional al error. El segundo evalúa cual ha sido la evolución del error, y cobra más importancia cuando el error cometido es pequeño pero constante., El tercero término evalúa cual será la tendencia, y cobra más importancia cuando el error cometido se produce por instantes.

La dinámica deseada en lazo cerrado se obtiene ajustando los tres parámetros K_p , K_i y K_d . Este ajuste a menudo se hace iterando de manera empírica y sin conocimiento previo del modelo del sistema. A menudo se puede asegurar la estabilidad usando únicamente el término proporcional. Los reguladores PID son la clase más usada de sistemas de control: sin embargo no se pueden usar en varios casos más complicados, especialmente si se consideran sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output, múltiples entradas y salidas).

2.8 SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

En la cuenca del Río sabinal se encuentra ubicada una red de sensores que monitorean los parámetros físicoquímicos del agua, esta red de sensores (Ph, temperatura, continuidad, etc) esta conectada una in-

terfaz o tarjeta de adquisición de datos que consta de un microcontrolador (de gama media) que se encarga de recepcionar los datos analógicos y digitales, convertirlos, y por medio de comandos AT se comunica con el dispositivo móvil enviándole los datos en el formato requerido por este para su correcta interpretación(fig. 15).

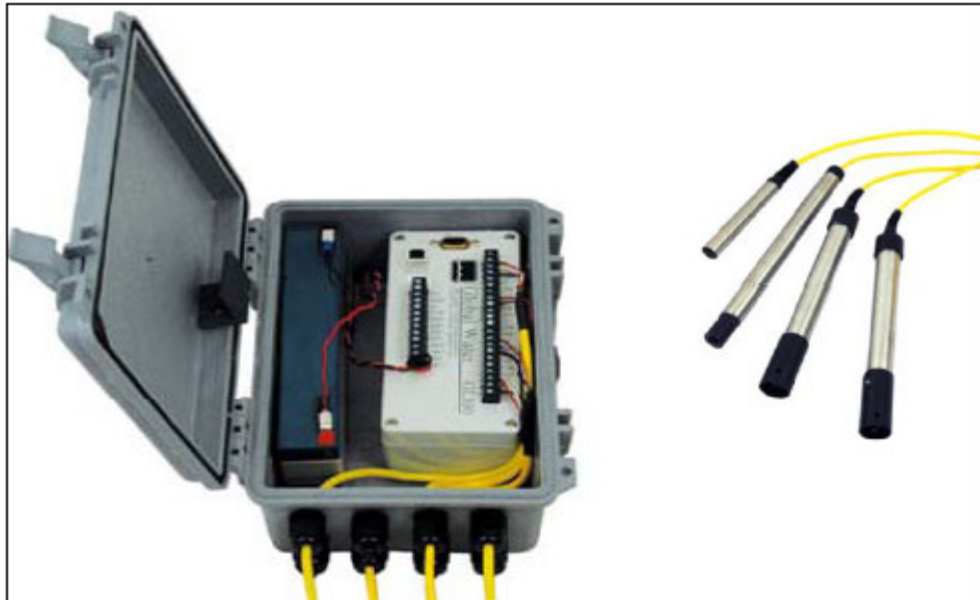


Fig. 15 sistema de monitoreo de la calidad del agua

El dispositivo móvil cuenta con un generador de energía (panel solar), para que siempre este en funcionamiento.

Una vez que ha recibido los datos enviados por el microcontrolador, los envía vía mensaje de texto hacia un servidor que se encuentra en la estación central, los datos recibidos se almacenan en una base de datos que alimenta una aplicación web que se encarga de graficar y mostrar estos datos en Internet, para que el usuario que así lo requiera pueda verlos.

Los parámetros monitoreados con diversos sensores serán transmitidos a un servidor central vía mensaje de texto usando dispositivos móviles en red, que por medio de comandos AT se comunicaran con la tarjeta de adquisición de datos para su transmisión la recepción de estos será en un servidor que contendrá una aplicación web que se encargara de poner los datos en internet para que los usuarios que los soliciten los puedan consultar desde cualquier parte en que se encuentren.

3 DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En primer lugar la luz solar incide en los paneles ó módulos fotovoltaicos formados de material semiconductor de silicio cristalino que posee efecto fotoeléctrico. Cuando la célula recibe luz, libera electrones cerca de la unión entre las dos capas. La capa tipo n atrae a los electrones libres, y deja intervalos cerca de la unión entre las capas. Estos intervalos o “agujeros” se llenan con electrones procedentes de la capa tipo p, y la corriente eléctrica empieza a circular. Es decir, transforma la luz solar en energía eléctrica continua de 12 V. Posteriormente esa electricidad se debe acumular en baterías para disponer de energía durante periodos nocturnos ó de poca irradiación solar (Fig. 16).

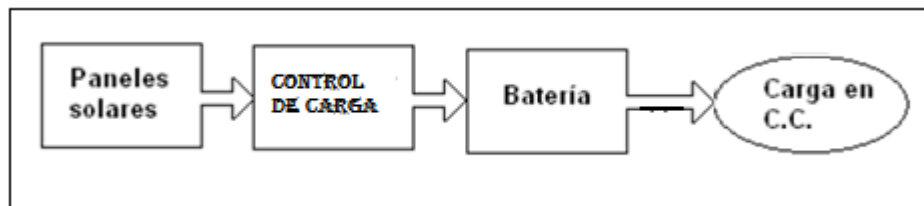


Fig. 16 Diagrama del proceso fotovoltaico

Para determinar las dimensiones de la instalación fotovoltaica se toma en cuenta los siguientes parámetros partiendo de la potencia que requiere el sistema, el tiempo de operación principalmente, como se muestra en la tabla número 3.

Para el calculo de una instalación fotovoltaica se necesita saber la carga a consumir y el voltaje de alimentación, si es posible para una mejor comprensión hacer una tabla como la siguiente (tabla 3). Y llenarla en base a lo que se requiere que para este caso se necesita alimentar una carga de 12 VDC a 3W, durante las 24 horas del día.

Tabla 3. Parámetros a considerar

Elemento	voltaje	Potencia (W)	Horas (h)	Potencia diaria (W-h)
Estación (equipo)	12	3	24	72

Al multiplicar las horas de operación por la potencia requerida por la carga se tienen 72 W que es el producto de 24h x 3W.

Estimación de las dimensiones y la cantidad de módulos y baterías requerida para el sistema fotovoltaico considerando una batería de 12V de cd. Para lo cual se hace el siguiente procedimiento:

A continuación se deben seguir los siguientes pasos partiendo de estos datos para determinar la corriente que se requiere nombraremos cada paso con la letra A;

a) Cálculo de la corriente requerida

A1 Carga total diaria (sumar la columna Energía (W-h))	72 W/h
A2 Tensión CD del sistema	12 v
A3 Carga diaria corriente (A1/A2)	6 A/h
A4 Multiplicar con el factor de seguridad 20% (para compensar las pérdidas en las baterías y otros componentes)	1.2
A5 Carga diaria corriente corregida (A4*A3)	7.2 A/h
A6 Promedio de horas de sol por día.	5 horas
A7 Amperaje que el sistema tendrá que producir (A5/A6)	1.44 A

b) Cálculo del número de paneles

B1 Amperaje máximo del modulo solar seleccionado (según especificaciones del fabricante 30 W)	2 A
B2 Divida la línea A7 entre la B1 para obtener el número de módulos que se necesita	0.72
B3 Redondee al número completo inmediato superior	1

c) Calculo del número de baterías

C1 Carga total diaria (A5)	7.2 A/h
C2 Días de reserva (este es el tiempo que el sistema tiene que estar funcionando sin sol)	2 días
C3 Capacidad nominal del banco de baterías (C1*C2)	14.4 A/h
C4 Factor de profundidad de descarga (generalmente 70%, significa que siempre se deja un 30% de reserva en las baterías)	0.7
C5 Capacidad corregida del banco de baterías (C3/C4)	20.57 A/h
C6 Capacidad nominal de batería	20 A/h
C7 Número de baterías (C5/C6)	1.028
C8 Número de baterías (redondear C7)	1

De acuerdo con los resultados se requiere un solo modulo fotovoltaico de 12 v a 2 A. y una batería de 20 A/h

Entre los paneles solares y la batería es necesario incluir un controlador de carga de modo que cuando la batería esté cargada (por medida de su tensión "Voltaje") el controlador cierra el paso de corriente eléctrica desde los paneles solares a la batería, para impedir la sobrecarga de ésta y por consiguiente el acortamiento de su vida útil. De igual forma cuando ésta se encuentre por debajo de su tensión nominal se debe abrir el circuito hacia la carga para evitar que se descargue por completo la batería.

3.2 CONTROL DE CARGA DE LA BATERIA

Una vez comprendido el calculo para determinar el modulo fotovoltaico, sistema de almacenamiento, comportamiento y funcionamiento de los módulos solares procedemos al diseño del controlador de carga con un microcontrolador pic18f4550 de acuerdo con los parámetros y condiciones obtenidos y señaladas a continuación.

Basado en el comportamiento de los controladores y tempocontroladores de carga se diseño un circuito el cual permite el control adecuado de la carga y descarga de una batería para optimizar su vida útil. Y de acuerdo con las propiedades de un acumulador o batería de la tabla 4, la batería se encuentra totalmente cargada a los 12.7v en lo que se descarga a los 11.7 en su totalidad, por lo que se programó de acuerdo a estas propiedades.

Tabla 4. Nivel de porcentajes de la batería de acuerdo al voltaje.

Estado	Voltios/placa	Voltios/conjunto
Cargada	2.12	12.70
Cargada 75 %	2.10	12.60
Cargada 50 %	2.08	12.45
Cargada 25 %	2.03	12.20
Descargada	1.95	11.70

Debido a que el panel llega a entregar hasta 20V y al estar en paralelo con la batería, esta se carga de acuerdo a las pruebas realizadas cuando esta llega a los 14V aproximadamente, cuando la entrada RA0 del microcontrolador mide este valor, abre el circuito que va del panel a la batería cayendo el voltaje a 12.7 V (carga máxima de la batería) y no volviéndose a cerrar hasta que este valor cae a 12.3V que es el equivalen a cuando la batería esta a un 30% de su capacidad, evitando así que esta se descargue por completo. Ver (fig. 17).

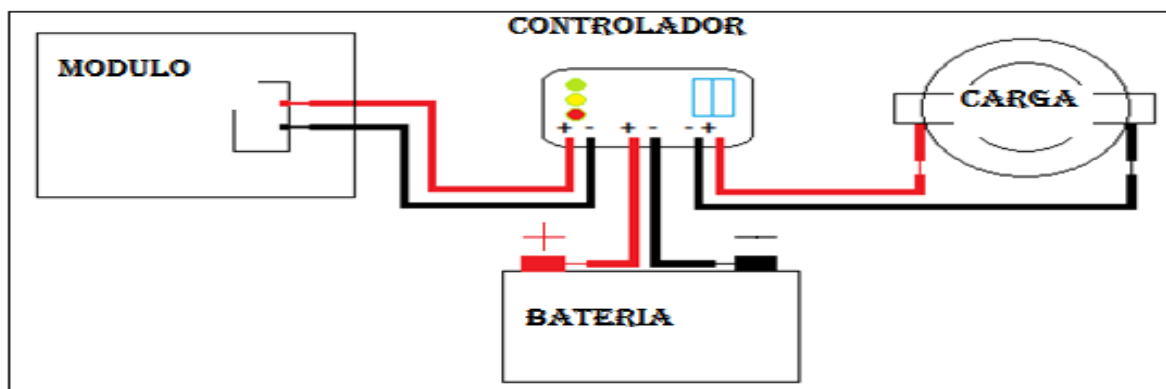


Fig. 17 Diagrama del sistema solar fotovoltaico

En esta etapa se controla la carga de la batería de manera más eficiente posible debido a que si dejamos que la batería se sobrecargue esta disminuye su vida útil, y poder así tener un uso más eficiente. De igual forma el microcontrolador cuenta con la condición para la descarga que solo sucederá en caso de que por alguna razón no prevista el voltaje baje de 11.7 V, es decir que el circuito que va de la batería a la carga se abre de tal forma que este impida que se descargue en su totalidad volviendo a cerrar este mismo hasta que el voltaje se recupere al llegar a 12 V para garantizar el buen funcionamiento del controlador de carga. Ver diagrama de flujo (fig. 18).

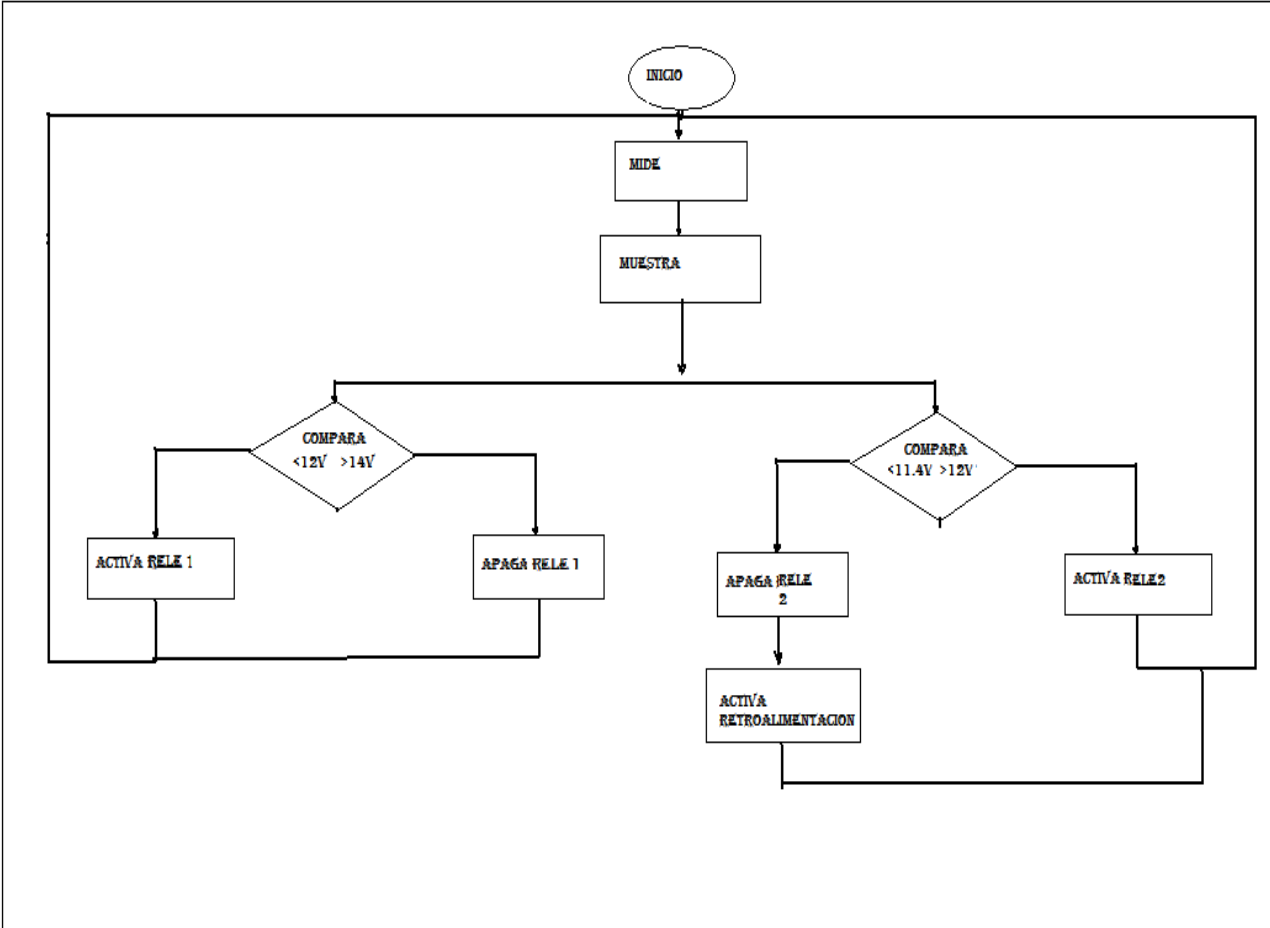


Fig. 18 Diagrama de flujo

A continuación se hace el diagrama esquemático en protel del circuito de control de carga para posteriormente hacer el diseño del PCB. (Fig. 19).

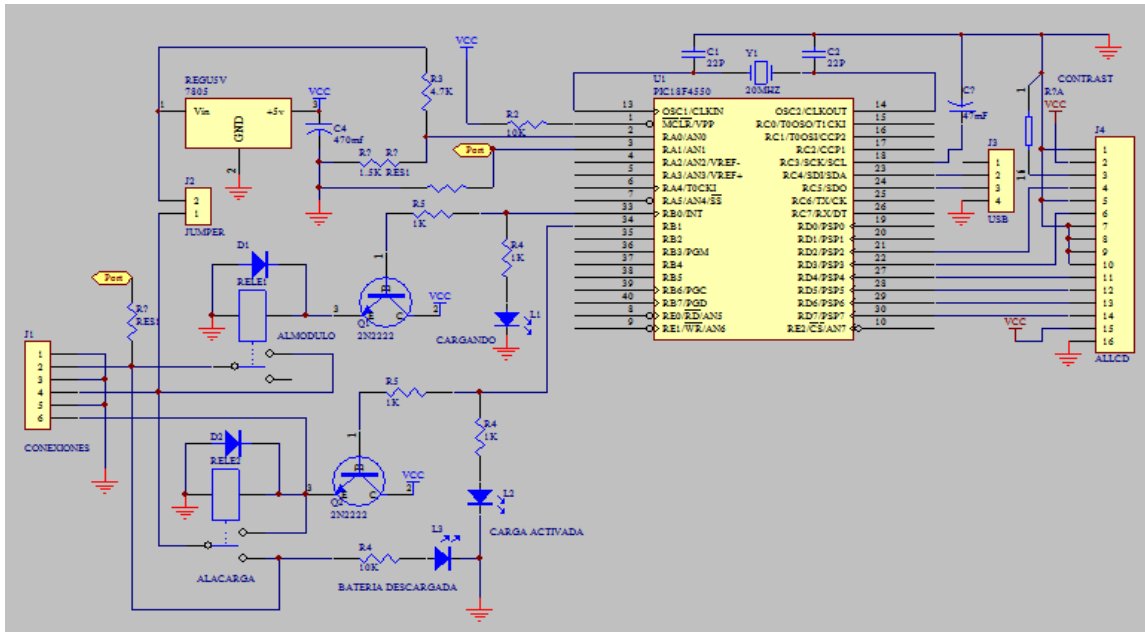


Fig. 19 diagrama esquemático del controlador de carga.

Consiste en un circuito que esta compuesto por un microcontrolador el cual se le habilita el convertidor analógico a digital para medir el nivel de carga de la batería mediante un divisor de voltaje (entrada), mediante el calculo del divisor de voltaje se puede adaptar los niveles de carga de la batería a un rango legible para el microcontrolador (0-5v) de acuerdo con los siguientes cálculos:

El modulo proporciona como máximo 20V y el microcontrolador acepta un máximo de 5V, por lo que con este divisor se reduce de manera proporcional el voltaje. Por lo que el valor de la R_2 debe ser un cuarto del valor de R_1 y si;

$$R_1 + R_2 = 6.2K$$

$$I(R_1 + R_2) = 20V$$

$$R1 = \left(\frac{V_{total} - V_{ref}}{I} \right) \therefore I = \frac{20}{(R_1 + R_2)} = \frac{20}{6.2K}$$

$$I = 322mA$$

$$R_1 = 20 - 5 = \frac{15V}{322mA} = 4.6K$$

$$R_2 + R_{total} - R_1 = 1.5K$$

Con este cálculo se determinan los valores de las resistencias del divisor de voltaje en función del valor máximo de la fuente, en la fig. 20 se muestra la ubicación del divisor de tensión el cual esta conectado al puerto RA0 del microcontrolador habilitado como entrada analógica.

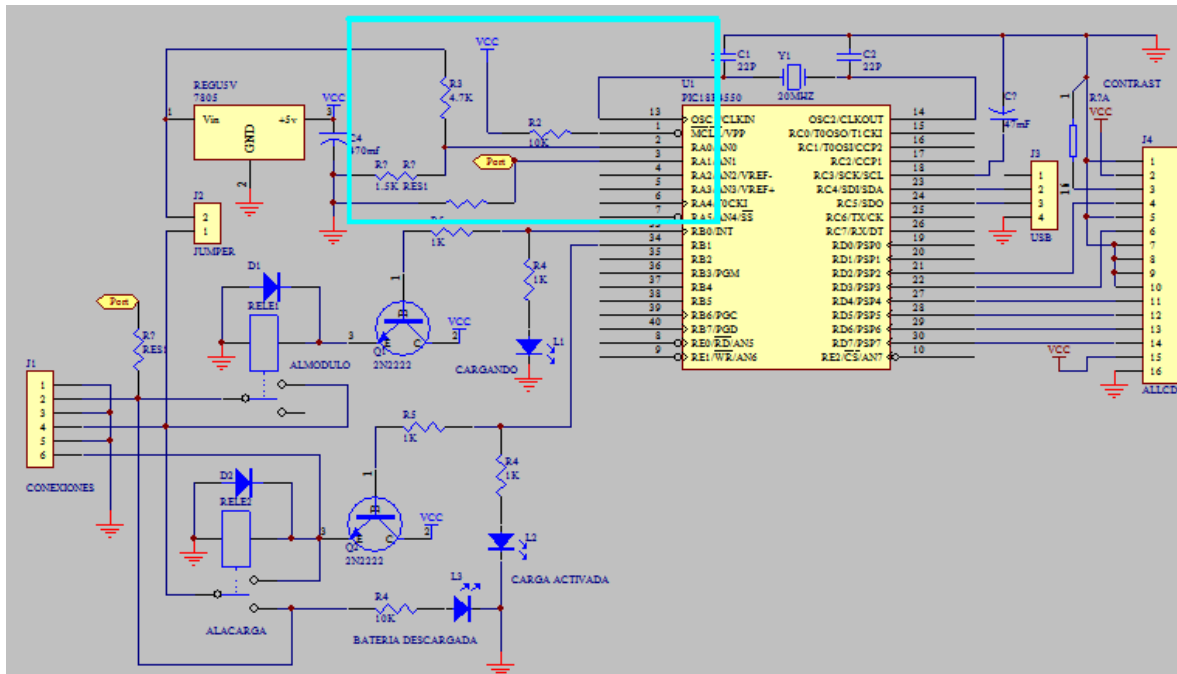


Fig. 20 Divisor de tensión

Con una regla de tres se logra visualizar lo que ocurre en el divisor de tensión para la obtención del voltaje de referencia.

$$\begin{matrix} 20 \dots\dots\dots 5v \\ 12.9v \dots\dots x \end{matrix} \quad \text{Donde } x=3.225v$$

De tal forma que pueda ser leído por el microcontrolador, el cual se configura a 8 bits de manera que el valor máximo es equivalente al numero de cuentas es decir de 5V = a 255 cuentas.

$$\begin{matrix} 5v \dots\dots\dots 255 \\ 3.225 \dots\dots x \end{matrix} \quad \text{Donde } x=164.4$$

Este cálculo es para determinar los valores del rango de los voltajes de referencia del convertidor analógico a digital del microcontrolador en función del número de cuentas del microcontrolador.

En el circuito también se cuenta con la posibilidad de conectar una pequeña pantalla LCD para ver el comportamiento en tiempo real de los cambios de voltajes. En el recuadro azul Fig. 21.

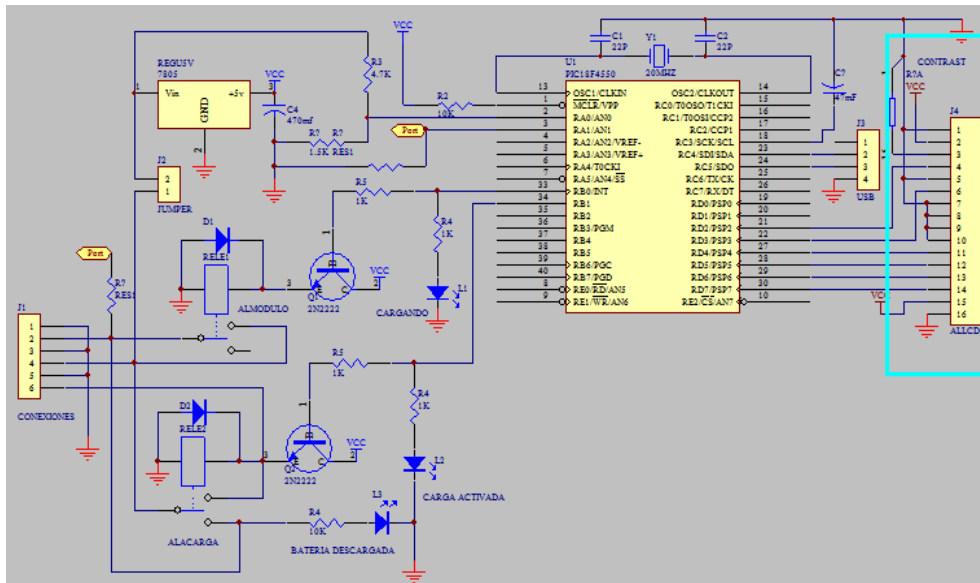


Fig. 21 Ubicación de la pantalla LCD.

El circuito cuenta con un par de relevadores los cuales son activados por el microcontrolador dependiendo el valor que tenga la entrada cabe hacer mención que se trata de un sistema de control de lazo cerrado debido a que hay una retroalimentación como se aprecia en la (Fig. 22). Los relevadores son disparados por transistores npn (2n2222) cuya base de estos proviene de los puertos de salida RB0 y RB1. También se observa que el microcontrolador, al ser alimentado con 5V DC se requirió de un regulador de tensión.

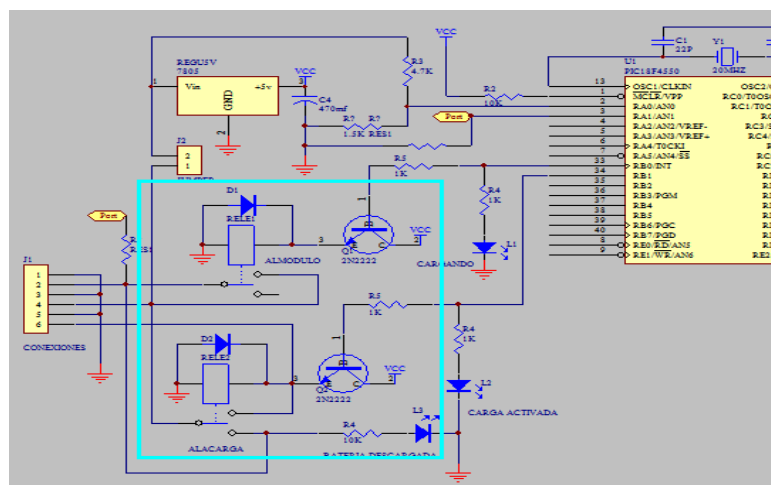


Fig. 22 Etapa de potencia

En el caso de las conexiones se consideran tres pares de conectores, el primer par es para conectar ambas terminales del panel solar, negativa y positiva respectivamente, en el segundo par van ambas terminales de la batería en el mismo orden negativa y positiva y por último en el tercer par se encuentran las salidas que van hacia la carga, lo que es el sistema de monitoreo. (Fig.23).

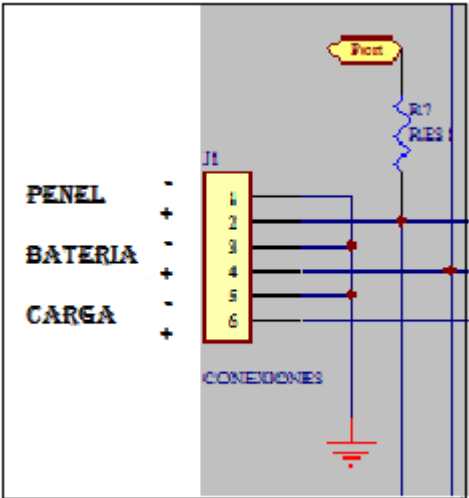


Fig.23 conexiones del dispositivo.

Una vez terminado el diseño del circuito y del PCB en prótel, se procede a la impresión del PCB en la tarjeta a la cual se le da el proceso de corrosión el cloruro férrico, se perfora y se ensamblan los componentes hasta llegar finalmente a la tarjeta de la (Fig. 24).

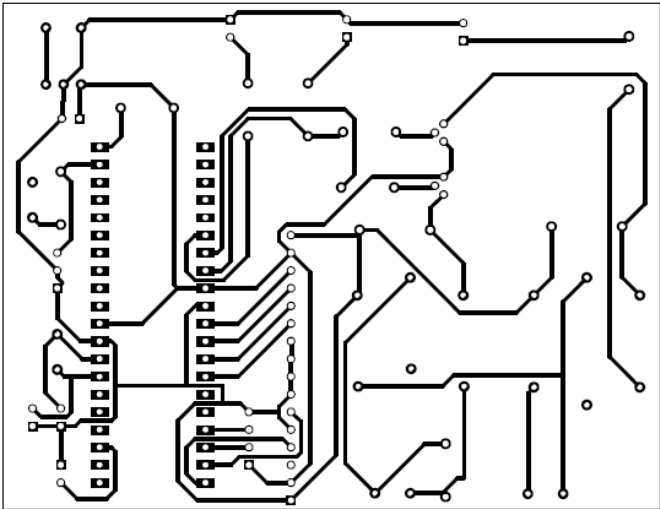


Fig. 24 diagrama de circuito impreso.

4 RESULTADOS

El circuito controlador de carga contiene dos relevadores que controlan el paso de corriente uno para el modulo fotovoltaico a la batería, y el otro de la batería a la carga que viene siendo el sistema de monitoreo, el primero para controlar la carga de la batería y el segundo que controla la descarga, es decir abre el circuito en caso de que esta baje de los 11.7v que es el equivalente a la descarga volviéndolo a cerrar cuando la entrada del microcontrolador registre un voltaje arriba de los 12V, este ultimo relevador solo se abrirá en un caso muy especial y es con la finalidad de evitar la descarga total de la batería ya que los voltajes nunca deben de bajar de los 12v (Fig. 25).

El primer relevador que es el que va del modulo a la batería y que controla la carga de la misma se mantiene cerrado siempre y cuando el voltaje oscile entre 12 y 14 V, al llegar este a los 14 se abre indicando que la batería llego a su carga máxima. En ese momento al ser desconectado el modulo el voltaje cae a los 12.7v (carga máxima) por lo que el microcontrolador mantiene abierto el circuito para evitar retroalimentación inmediata cerrándolo hasta que el voltaje caiga a los 12V.

4.1 MATERIAL UTILIZADO

- 1 microcontrolador pic18f4550
- 1 base de 40 terminales
- 1 lcd
- 3 pares de culcas
- 2 diodos
- 2 relevadores
- 1 placa de bakelita de 10X10 cm
- 2 transistores npn 2N2222
- 1 Regulador de voltaje 7805
- 11 resistencias de 1/2W
- 1 cable plano
- 1 tira de pines 3 leds
- 1 capacitores de 470 microfaradios



Fig. 25 tarjeta de control terminada.

4.2 FUNCIONAMIENTO

Además de controlar la carga y descarga adecuada de la batería, este diseño también cuenta con un LCD y con tres led's indicadores donde se visualiza el nivel de voltaje de la batería de tal forma que podamos medir en tiempo real el proceso de carga y descarga de la misma. Así como el estado de la batería (fig.26).



Fig. 26 LCD y leds.

En la fig. 27, Se observan los primeros led's vistos de arriba hacia abajo representan el estado de cada uno de los relevadores, el cual el led de arriba indica que la batería se encuentra suministrando energía a la carga es decir, que la batería se encuentra en el rango de operación adecuado, por lo que indica también el estado del relevador 1 que es el que controla el paso de corriente a la carga. Siendo el relevador 2 el que controla el paso de la corriente del modulo fotovoltaico a la batería el cual indica que la batería se esta cargando.

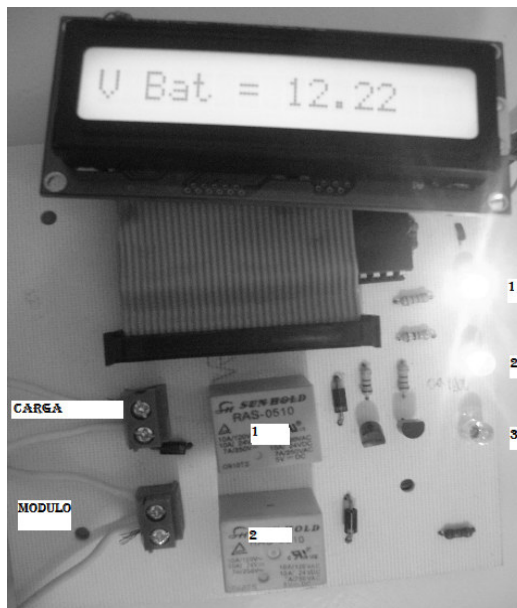


Fig. 27 Leds indicadores de operación enumerados.

Al estar encendidos ambos leds, es decir, al estar activados ambos relevadores quiere decir que la batería se encuentra cargando y a su vez el dispositivo se alimenta.

Al llegar a los 14 V, el relevador 2 se abre y el led 2 se apaga indicando que la batería se encuentra cargada, quedando únicamente activado el relevador 1 que siempre debe estar activado ya que es el que alimenta a la carga en este caso al sistema de monitoreo de la calidad del agua. Como se observa en la Fig. 28.



Fig. 28 led indicador de operación del circuito de carga

Como se aprecia en la imagen 27, el relevador de carga no se encuentra activado aunque el voltaje sea menor a los 14V debido a que solo se encenderá hasta cuando este caiga a 12v.

Por último, en la fig. 29 se muestra que cuando el voltaje baje de los 12V que no debe ocurrir, el relevador 1 se abrirá evitando la descarga total y encendiendo simultáneamente el tercer led indicando una posible descarga total en la batería. Esto con la finalidad de proteger a la batería de una descarga total optimizando su vida útil.

Esto puede llegar a ocurrir por algún corto, o fallo en la conexión del modulo fotovoltaico o en el mismo modulo o ya sea que algo se interponga, obstruyendo el paso de la radiación solar al modulo fotovoltaico por un tiempo mayor a dos días

aproximadamente que es el tiempo estimado de descarga de la batería sin ser alimentada.

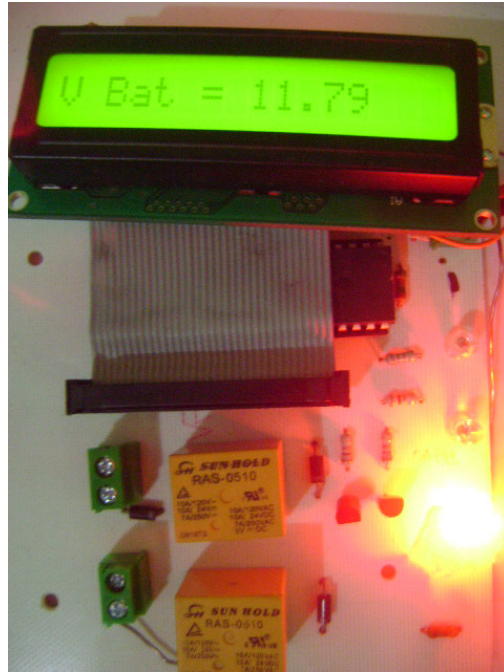


Fig. 29 led indicador de descarga

En el presente trabajo se aprendió el funcionamiento y el comportamiento de los módulos fotovoltaicos así como diseñar y proponer un modulo fotovoltaico y su respectivo almacenamiento en función a la carga requerida, además del diseño del mismo controlador de carga y descarga del acumulador.

CONCLUSIONES

Es muy importante aplicar los conocimientos adquiridos para proponer y dar solución a problemas realmente importantes, porque de que serviría dar solución a cuestiones que no tiene gran relevancia. Conocer la calidad del agua de las cuencas principales, no solo de Chiapas sino también de todo el país representa también, una mejor calidad en la producción agrícola, que usa agua de los ríos para regar, tomar nuevas medidas para dejar de contaminar los ríos, una mejor calidad en la toma de desiciones, etc. También es de vital importancia hacer uso de las herramientas que nos proporcionan las disciplinas como la electrónica que nos permiten hacer posible esta propuesta y cuando se unen esfuerzos con otras áreas del conocimiento (Química, Ing. Ambiental, Bioquímica, Sistemas) surgen respuestas y soluciones más integrales y efectivas.

En las siguientes etapas se va a perfeccionar el prototipo de pruebas, implementado y a los sensores a utilizar y de ser necesario hacer un rediseño de algunas partes del sistema, para hacer las pruebas de campo, y comprobar el funcionamiento del sistema. También se hará el desarrollo del portal de Internet y la programación de las gráficas para la interpretación correcta de cada uno de los parámetros medidos.

Bibliografías

Introducción a la metodología de la investigación
Santiago Zorrilla Arena
Aguilar de león y cal editores

Metodología de la investigación
Castañeda de la Torre Moran
Mc Graw Hill

Sistemas de control digital
Benjamín C. Kuo
Cecsa

Luminarias solares
<http://www.alternativaenergetica.com.mx/luminariasolar/luminaria-de-leds-para-alumbrado-publico-solar.html>

Energías renovables
<http://www.greenpeace.org/mexico/campaigns/energ-a-y-cambio-climatico/energ-as-renovables>

<http://www.cie.unam.mx/>

Calculo de paneles solares

http://www.torres-refrigeracion.com/pdf/art_fot_014.pdf

Dirección general

<http://www.dgest.gob.mx/>

Geografía

<http://maps.google.com/>

Ingenio solar

<http://www.tinet.cat/~sje/solar/solar.htm>

Sistema fotovoltaico

*<http://saecsaenergiasolar.com/fotovoltaico/introduccion/>

Paneles solares fotovoltaicos

*http://www.tecnoautomat.com/energia_solar_paneles_fotovoltaicos.htm

ANEXOS

Mediciones del comportamiento de carga

En esta parte se hacen pruebas y mediciones del comportamiento de la carga de una batería con un modulo fotovoltaico de 75 W en un día. En la tabla se observa el cambio de potencia en función del tiempo y en la (Fig. 30) la grafica.

Tabla 5. Cambio de potencia en función del tiempo.

Horas	voltaje (V)	corriente (I)	potencia (W)
8	11.5	2.9	33.35
9	12	3.5	42
10	12.5	3.88	48.5
11	12.92	4.55	58.786
12	13.21	4.53	59.8413
13	13.71	4.16	57.0336
14	14.18	3.53	50.0554
15	14	2.84	39.76
16	13.25	2.05	27.1625
17	12.45	1.18	14.691
18	12	1	12

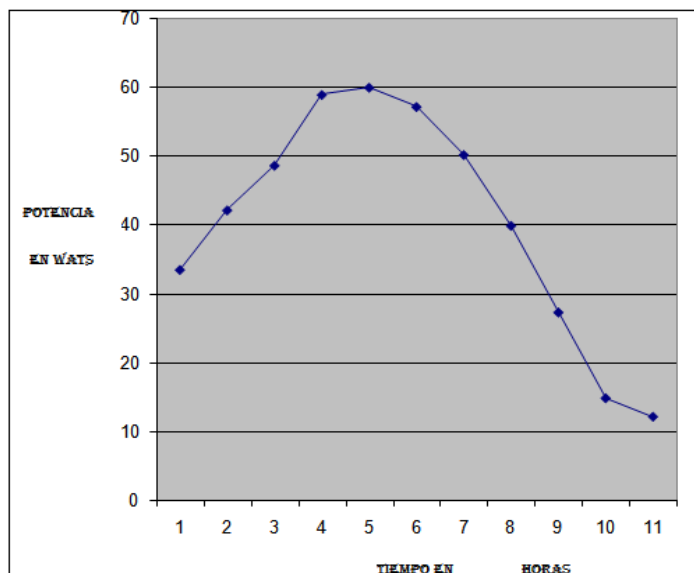
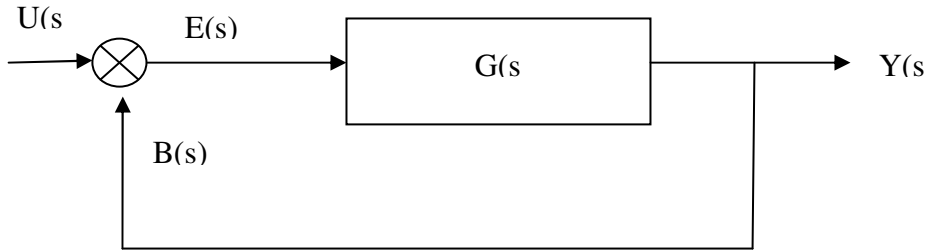


Fig. 30 curva del comportamiento de un panel solar en un día.

Función de transferencia para el sistema de control de laso cerrado



La función de transferencia del sistema es:

$$H_{(s)} = \frac{Y_{(s)}}{U_{(s)}} \dots\dots\dots\text{ec. 1}$$

Y sabemos que nuestra salida será +12V y nuestra entrada la función exponencial tenemos
Las transformadas de las ecuaciones son

$$\mathcal{L}\{e^{at}\} = \frac{1}{s-a} \dots\dots\dots\text{ec. 2}$$

Por lo que tenemos:

$$H_{(s)} = 12 \bullet \frac{1}{s-a} \dots\dots\dots\text{ec. 3}$$

Del diagrama de bloques obtenemos

$$Y_{(s)} = G_{(s)} E_{(s)}$$

$$E_{(s)} = U_{(s)} - B_{(s)} \because B_{(s)} = Y_{(s)}$$

$$E_{(s)} = U_{(s)} - Y_{(s)}$$

$$Y_{(s)} = G_{(s)} [U_{(s)} - Y_{(s)}]$$

$$Y_{(s)} = G_{(s)} U_{(s)} - G_{(s)} Y_{(s)} \quad \dots\dots\dots ec. 4$$

$$Y_{(s)} [1 + G_{(s)}] = G_{(s)} U_{(s)}$$

$$\frac{Y_{(s)}}{U_{(s)}} = \frac{G_{(s)}}{1 + G_{(s)}}$$

Sustituimos en nuestras ecuaciones 1,2,3,4

$$\frac{Y_{(s)}}{U_{(s)}} = H_{(s)} = 12 \cdot \frac{1}{s-a} \because \frac{G_{(s)}}{1 + G_{(s)}} = 12 \cdot \frac{1}{s-a}$$

$$12[1 + G_{(s)}] = G_{(s)} [s - a]$$

$$12 + 12G_{(s)} = G_{(s)} [s - a]$$

$$12 = G_{(s)} [(s - a) - 12]$$

$$G_{(s)} = \frac{12}{(s - a) - 12} = \frac{12}{s - (a + 12)}$$

Nuestro sistema quedaría:

